



Carnegie Climate
Governance Initiative

An initiative of
CARNEGIE
COUNCIL for Ethics in
International Affairs

RESUMEN DE EVIDENCIAS Gobernanza para la modificación de la radiación solar

21 de enero de 2020

Resumen

Este informe resume las últimas evidencias en torno al Brillo de las nubes marinas (MCB, por sus siglas en inglés) y la Inyección de aerosol estratosférico (SAI, por sus siglas en inglés), dos importantes tipos de tecnologías de modificación de la radiación solar (MRS) que alteran el clima. Describe las técnicas, explora su preparación técnica, la investigación actual, los marcos de gobernanza aplicables y otras consideraciones sociopolíticas. Proporciona un análisis de los tipos de cuestiones y preocupaciones geopolíticas, incluida la seguridad, que las tecnologías pueden suscitar y la forma en que la gobernanza existente ayuda o no a abordarlas. También proporciona una visión general de los principales instrumentos de gobernanza existentes que son relevantes para su gobernanza.

Sobre C2G

Carnegie Climate Governance Initiative (C2G) no se pronuncia sobre si la SAI o el MCB deben ser investigados, probados o desplegados. Su objetivo es sensibilizar a los responsables políticos y proporcionarles información imparcial sobre estas tecnologías propuestas que alteran el clima y catalizar el debate sobre su futura gobernanza. El C2G ha preparado otros informes que analizan diversas tecnologías de eliminación del dióxido de carbono y modificación de la radiación solar junto con cuestiones asociadas. Estos informes están disponibles en [nuestro sitio web](#).



Índice

Introducción	3
SECCIÓN I: Brillo de las nubes marinas e Inyección de aerosol estratosférico	4
Introducción	4
Brillo de las nubes marinas (MCB)	5
Inyección de aerosol estratosférico (SAI)	8
SECCIÓN II: MRS, geopolítica y seguridad	14
Introducción	14
¿Cómo podría evolucionar el despliegue de MRS y por qué podría crear tensión?.....	14
Impactos asimétricos de MRS.....	15
La ausencia de poder para terminar el despliegue.....	16
Despliegue unilateral de MRS.....	16
MRS como un problema de impulsores libres.....	17
Contra-despliegue	17
Militarización e interés militar	18
Conflicto y guerra	18
Impacto de terminación	18
Posicionamiento geopolítico	19
Políticas de estados nacionales	19
Riesgo moral y disminución de la cooperación internacional	20
Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas	20
Secretario General de las Naciones Unidas	20
Actores no estatales	21
SECCIÓN III: Instrumentos de gobernanza	22
Introducción	22
Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB).....	22
Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal de 1987	23
Convención sobre la modificación ambiental (ENMOD).....	23
Convención sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP)	23
Convenio de Londres de 1972 y Protocolo de Londres de 1996(LC/ LP)	24
Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS)	24
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	25
El Acuerdo de París 2015.....	25
Gobernanza de la investigación	26
Otros foros o procedimientos	27
Conclusiones	27
Referencias	28

Introducción

Cuatro años después del Acuerdo de París sobre el cambio climático, se reconoce cada vez más que si no se aceleran las acciones, la limitación del aumento de la temperatura media mundial a 1,5-2 grados centígrados (°C) no se logrará solo con la reducción de las emisiones o las prácticas existentes de eliminación del carbono. Los científicos han comenzado a explorar el uso adicional de intervenciones a gran escala para limitar los impactos climáticos, incluidas técnicas de eliminación de dióxido de carbono (EDC) y modificación de radiación solar (MRS) (para una revisión de los posibles métodos, véase Zhang et al., (2015)). Existen numerosos métodos propuestos de MRS, muchos de los cuales difieren significativamente. Este informe se centra en los dos métodos de MRS que se considera que tienen el mayor potencial de enfriamiento: el Brillo de las nubes marinas (MCB) y la Inyección de aerosol en la estratosfera (SAI). Otras tecnologías de MRS propuestas incluyen, por ejemplo, el adelgazamiento de las nubes de cirros y la mejora del albedo de superficie.

El objetivo subyacente de las tecnologías de MRS es aumentar la reflectividad, conocida como “albedo”, de la superficie o la atmósfera de la Tierra. Un aumento en la cantidad de luz solar, conocida como radiación solar, que regresara al espacio alteraría el equilibrio de la radiación de la Tierra, funcionando como una sombra que enfriaría y contrarrestaría así algunos de los efectos del calentamiento por efecto invernadero.

Se espera que la duplicación de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera de los niveles preindustriales hasta 550 partes por millón en el aire ambiental genere 3 °C de calentamiento global (IPCC, 2007). Las estimaciones sugieren que si se desplegará la MRS, sería necesario devolver al espacio el 2 % de la luz solar para contrarrestar esta cantidad de calentamiento (Shepherd, 2009). Sin embargo, ni la SAI ni el MCB son un sustituto de la reducción de emisiones a cero neto, y luego a negativo neto, ya que no abordan la causa subyacente del calentamiento global, el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (Robock, 2018). Estos métodos tendrían muy poco efecto en la acidificación del océano. Además, dada la complejidad del sistema climático, pueden producirse consecuencias imprevistas en el despliegue de cualquiera de las dos tecnologías si se realiza a escalas que alteren el clima (Russell et al., 2012, Robock, 2018).

Actualmente está creciendo el interés en el potencial de la MRS para enfriar el clima global, o para reducir temporalmente la cantidad y duración de un aumento de temperatura que sobrepasa los objetivos de temperatura de París (Asayama, 2019). Esta sería una medida a corto plazo y se utilizaría solo si la reducción y eliminación de las emisiones de CO₂ no se hubieran producido con la suficiente rapidez. Tal despliegue terminaría una vez que las acciones para reducir o eliminar el exceso de GEI hubieran tenido éxito. Sin embargo, la MRS sigue siendo un desafío técnico, sociopolítico y de gobernabilidad complejo. Por ejemplo, el informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) sobre el calentamiento global de 1,5 °C (2018) señala: “Aunque algunas medidas de MRS pueden ser teóricamente efectivas para reducir un rebasamiento, se enfrentan a grandes incertidumbres y lagunas de conocimientos, así como a riesgos sustanciales, limitaciones institucionales y sociales para su despliegue relacionadas con la gobernanza, la ética y los impactos en el desarrollo sostenible. Tampoco mitigan la acidificación del océano”.

Este informe no es una evaluación completa y detallada de la MRS, ni de las dos técnicas aquí tratadas, la SAI y el MCB. Más bien, proporciona una descripción y un breve análisis de la preparación tecnológica, el panorama de la investigación y las cuestiones de gobernanza, geopolíticas, de seguridad y sociopolíticas asociadas a ellas. En la sección uno, se describen las diversas tecnologías y en la sección dos se analizan las cuestiones geopolíticas y las preocupaciones que pueden surgir. En la sección tres se analizan las herramientas e instrumentos de gobernabilidad que pueden aplicarse. Al IPCC se le ha encomendado la tarea de recopilar los conocimientos globales sobre las técnicas de MRS y su impacto en los itinerarios en su sexto informe de evaluación (IE6), que puede proporcionar un análisis más detallado a su debido tiempo.

SECCIÓN I: Brillo de las nubes marinas e Inyección de aerosol estratosférico

Introducción

En esta sección se presentan los dos principales enfoques de MRS y se describen su preparación técnica, la investigación actual, los marcos de gobernanza aplicables y otras consideraciones sociopolíticas. Con fines informativos, el C2G utiliza la definición de gobernanza del IPCC: “Un concepto amplio e inclusivo de todo el conjunto de medios para decidir, gestionar, implementar y supervisar las políticas y medidas. Mientras que el gobierno se define estrictamente en términos de estado-nación, el concepto más inclusivo de la gobernanza reconoce las contribuciones de varios niveles de gobierno (global, internacional, regional, subnacional y local) y los roles de contribución del sector privado, de los agentes no gubernamentales y de la sociedad civil para abordar los diversos tipos de asuntos a los que se enfrenta la comunidad global” (IPCC, 2018).

En la tabla 1 se presenta un panorama general de las dos tecnologías, su preparación tecnológica y algunos de los desafíos de gobernanza.

Tecnología propuesta	Disponibilidad tecnológica	Desafíos específicos de gobernanza
 <p>Brillo de las nubes marinas (MCB)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Siembra y blanqueo de las nubes sobre las superficies oceánicas, muy probablemente usando spray de sal marina, para reflejar la radiación solar de vuelta al espacio. • Existe un potencial para la consecución rápida de enfriamiento regional directamente después del despliegue. • El costo estimado anual por unidad de forzamiento radiativo ($W m^2$) es de 200 millones de dólares¹ (Shepherd, 2009). 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología teórica, basada en análogos naturales y modelos informáticos. • Cierta potencial para experimentos al aire libre a pequeña escala para 2020. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se lleva a cabo dentro de una Zona Económica Exclusiva (ZEE), la gobernanza sería para un solo país. En aguas internacionales, la regulación probablemente estaría cubierta por el derecho internacional consuetudinario. • La propuesta de usar sal marina puede interpretarse a su debido tiempo como un contaminante y la técnica estaría sujeta al Protocolo de Londres (PL). • Variación regional en los impactos (p. ej., temperatura e hidrología). • La aceptabilidad social sigue siendo incierta.
 <p>Inyección de aerosol estratosférico (SAI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se desplegarían aerosoles reflectantes en la estratosfera. • La modelización sugiere que es posible el enfriamiento planetario en un año. • El costo anual de reducir el forzamiento radiativo en $1 W m^2$ se estima en 5000 millones de dólares anuales¹ (Stavins & Stowe, 2019). Sugiere que los efectos de la duplicación de las concentraciones de dióxido de carbono podrían contrarrestarse con una inversión de entre 25 000 y 50 000 millones de dólares al año. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solamente conocimientos teóricos de la técnica. • Aún no se han desarrollado los mecanismos para su realización. • Problema de detección de atribuciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las medidas de gobernanza pueden incluir el derecho estatal y consuetudinario, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) e instrumentos modificados que podrían incluir instrumentos de contaminación del aire, la Convención de Viena y otros. • Las evidencias sugieren que pueden surgir posibles problemas geopolíticos y de seguridad y que la MRS puede suponer una carga para las instituciones y la cooperación internacionales. Potencial de riesgo moral y otras formas de disuasión de la mitigación.

¹ Una duplicación del CO₂ de la época preindustrial crearía un forzamiento radiativo de 3,7 $W m^2$ (Salter 2008) . -1 $W m^2$ equivaldría a reducir un 27 % el efecto de calentamiento de una duplicación de las concentraciones de CO₂.



Brillo de las nubes marinas (MCB)

Principio

El principio fundamental que subyace al MCB es el mismo que para la SAI: ambas buscarían aumentar el albedo. En el caso del MCB, se aplicaría un tratamiento a las nubes de los océanos para que fueran más brillantes, aumentando la cantidad de luz solar que se desviaría hacia el espacio, logrando así el enfriamiento. Al igual que la SAI, el MCB no abordaría la causa del calentamiento por las concentraciones de GEI y podría plantear cuestiones de riesgo moral, es decir, la MRS conlleva riesgos que pueden socavar los incentivos individuales, colectivos o políticos para llevar a cabo la mitigación (Lin, 2012).

Técnica y preparación

En partes de la atmósfera marina relativamente libres de polvo, se ha demostrado que el aumento del número de núcleos de condensación de nubes (partículas alrededor de las cuales las gotas de agua se unen para formar nubes) aumenta el albedo de las nubes de forma notable y también puede aumentar la longevidad de las nubes (Albrecht, 1989), como se ha demostrado in situ con el proyecto E-PEACE (Russell et al., 2013). Una intervención de MCB trataría de aumentar el número de núcleos de condensación de nubes mediante la pulverización sobre las nubes de partículas finas, probablemente de agua salada.

La escala del efecto de esta técnica podría ser muy grande. Por ejemplo, una duplicación de la concentración natural de gotas de nubes en el estrato marino frente a las costas occidentales de América del Norte y del Sur y la costa occidental de África compensaría aproximadamente una duplicación del CO₂ atmosférico (Latham et al., 2009). Sin embargo, no está clara la posibilidad de escalar el MCB a escala regional.

Los mecanismos de distribución podrían ser técnicamente sencillos. Por ejemplo, se ha sugerido que barcos o aeronaves que funcionen con energía solar podrían distribuir rutinariamente las partículas necesarias en los lugares precisos (Wood et al., 2018). Sin embargo, el diseño de la boquilla de pulverización para distribuir consistentemente partículas del tamaño correcto a la altitud correcta sigue siendo un reto de investigación.

La modelización sugiere que el MCB podría desplegarse en la región del Ártico produciendo un rápido efecto de enfriamiento (Parkes, 2012), ralentizando el derretimiento del hielo y enfriando la Tierra más ampliamente a su debido tiempo (Nalam et al., 2017). Sin embargo, este despliegue también puede impulsar el desplazamiento del calor desde las regiones al sur del Ártico hacia la región ártica, llevando aire más caliente hacia la región, contrarrestando algunos de los efectos directos del despliegue del MCB.

Al igual que con la mejora del albedo, como el brillo de las superficies terrestres, el MCB también podría desplegarse a nivel local, asegurando los beneficios regionales y tales intervenciones están siendo investigadas actualmente en el Instituto de Ciencias Marinas de Sídney (Ellis-Jones, 2017), o aquellas financiadas por el gobierno nacional australiano y el gobierno del estado de Queensland que están explorando el uso del MCB en la protección de la Gran Barrera de Coral (BRF, 2018).

Posibles riesgos y principales incógnitas

Los estudios de modelización de MRS, aunque permiten a los científicos simular y experimentar con condiciones, escenarios y vías alternativos que son simplemente imposibles empíricamente, también cierran ciertas dimensiones con posible relevancia especialmente para la gobernanza y la geopolítica. McLaren (2018) destaca las deficiencias (en particular en lo que respecta a la SAI) en "las suposiciones a menudo implícitas en la documentación sobre la eficacia, la precisión y la controlabilidad, sus métricas y métodos de agregación, y su uso de una hipótesis excesiva de cambio climático incesante". (McLaren, 2018). El primero de los puntos de McLaren puede llevar a una subestimación de los riesgos de fallo, contingencia moral y efectos distributivos inciertos. El segundo resta importancia a la posible vulnerabilidad localizada y diversa y a las desigualdades existentes que podrían exacerbarse. Y la última centra su atención en "los medios tecnológicos para evitar los extremos de impactos climáticos y alejarse de las obligaciones morales derivadas de las emisiones históricas y otras injusticias de los sistemas energéticos". (ibid.). Por lo tanto, las principales conclusiones de la modelización

en relación con la forma en que la MRS puede afectar a los riesgos climáticos están condicionadas a la omisión de dichos factores.

En cuanto a las variables que se incluyen en el trabajo de modelización, un reto técnico clave que queda por resolver es qué partículas se deben utilizar y cómo producir de forma consistente en el mar un suministro de las mismas de un diámetro y una cantidad adecuados. El material base candidato más probable es el agua de mar, un material que, a diferencia de los materiales candidatos de la SAI (véase más abajo) no tendría efectos más amplios sobre el medio ambiente o la salud.

No se sabe con certeza cómo responderá el clima al forzamiento radiativo a gran escala que puede tener el MCB. Los modelos climáticos sugieren que el MCB podría ser muy eficiente en la reducción del calentamiento global (Kravitz et al., 2014). Sin embargo, los riesgos podrían incluir cambios en el transporte dinámico de la humedad y el aire, que afecten a los sistemas meteorológicos y a importantes fenómenos climáticos locales como las lluvias monzónicas y el funcionamiento de los ecosistemas (Park et al., 2019, Keith et al., 2016, Mercado et al., 2009). Tales perturbaciones podrían dar lugar a problemas como la expansión de las tierras secas o las inundaciones, la degradación del medio ambiente y las preocupaciones por la seguridad alimentaria en los estados o regiones afectados.

Si se interrumpiera el despliegue del MCB que enfriara el planeta en un corto período de tiempo, podría producirse un “rebote” significativo y rápido de la temperatura, mientras el clima se reestabilizase (Kosgui, 2011). Este rápido aumento de la temperatura, conocido como “choque de terminación”, podría hacer subir las temperaturas más allá de lo que se habrían experimentado si no se hubiera realizado el MCB, y esto podría resultar perjudicial (Robock, 2018). Un choque de terminación de este tipo conlleva la posibilidad de impactos ambientales, económicos y sociales a gran escala (Matthews y Caldeira, 2007). Sin embargo, Parker e Irvine (2018) han argumentado, en el caso de la SAI, que también es capaz de producir un choque de terminación, que no hay escenarios obvios bajo los cuales se pueda permitir que ocurra una terminación rápida en un sistema bien gobernado, lo que sugiere que la comprensión de las implicaciones del cese puede ser suficiente para asegurar la resiliencia en el sistema de gobernanza global. Esto se aborda con más detalle en la Sección II.

Actividad de investigación actual

En diciembre de 2019 el gobierno de los estados Unidos (EE.UU.) autorizó por primera vez una financiación de 4 millones de dólares a la Administración Nacional y Atmosférica de los EE.UU. (NOAA, por sus siglas en inglés) para la investigación de “intervenciones climáticas solares”, que incluía “propuestas para inyectar material que influya en el clima” (Temple, 2019). El alcance de esta inversión abarca tanto al MCB como a la SAI.

En una acción vinculada, el congresista californiano McNerney presentó al Congreso de los Estados Unidos el 19 de diciembre de 2019 un proyecto de ley que propone permitir a la NOAA establecer un programa formal de investigación sobre la alteración del clima. La Ley de Investigación de Intervención en el Clima Atmosférico – H.R.5519 (ACIRA, 2019) busca “mejorar capacidades de medición y evaluación para comprender las intervenciones atmosféricas propuestas en el clima de la Tierra, incluidos, con carácter prioritario, los efectos de las intervenciones propuestas en la estratosfera y en los procesos de aerosoles de las nubes” (ACIRA, 2019). Este proyecto de ley tiene como objetivo mejorar el conocimiento de la química estratosférica y los efectos y riesgos potenciales de SAI y MCB. Es importante señalar que también otorgaría a la NOAA autoridad de supervisión para revisar e informar sobre los experimentos de SAI y MCB propuestos por otros grupos de investigación en los Estados Unidos.

No hay en marcha ningún programa de trabajo de campo que incluya el despliegue a pequeña escala. Sin embargo, el proyecto de Brillo de nubes marinas en la Universidad de Washington, está liderando la actividad de investigación en el área y ha descrito un plan de investigación (Wood, 2018) para ayudar a abordar algunos de los desafíos restantes que incluyen: Experimentos de campo de MCB para proporcionar una mejor comprensión de las interacciones entre las nubes y los aerosoles, y el efecto del MCB en la física de las nubes; cómo generar, distribuir y observar las partículas de una manera ecológicamente beneficiosa; y, el estudio de las implicaciones climáticas regionales. A escala local, actualmente se están investigando intervenciones, con financiación del gobierno australiano (BRF, 2018), con vistas a reducir el calentamiento estacional que está causando el blanqueamiento del coral en algunas partes de la Gran Barrera de Coral. Una medida que podría beneficiar al sector turístico vinculado con el Arrecife.

Consideraciones sociopolíticas

No existe un mercado establecido ni teorizado que impulse un movimiento hacia el despliegue. La infraestructura (vehículos de despliegue) no está disponible actualmente. La percepción pública y las probables respuestas al MCB son inciertas, aunque las investigaciones en el Reino Unido sugieren que la percepción de control del MCB puede reducir las preocupaciones de los ciudadanos sobre la gobernabilidad de la técnica (Bellamy et al., 2017). Considerando los posibles problemas, junto con el valor conocido de la participación pública en la evolución tecnológica, se han hecho llamamientos para explorar las percepciones públicas en relación con el MCB sobre la Gran Barrera de Coral (McDonald et al., 2019)

Gobernanza

El MCB requiere gobernanza, no solo porque una decisión de despliegue equivaldría a una decisión intencional que afectaría al clima de la Tierra, y por lo tanto a todos los habitantes, sino también porque puede afectar a otros sistemas como los océanos, el clima, la agricultura, los ciclos hidrológicos regionales y la productividad biológica (Shepherd, 2009), afectando a los estados y regiones, tanto positiva como negativamente, y de diferentes maneras. El MCB podría entonces, potencialmente, generar tensiones geopolíticas y desafíos de gobernabilidad relacionados con la seguridad (véase la Sección II sobre los asuntos geopolíticos y de seguridad de MCB y SAI). Además, la posibilidad de que se produzca un choque de terminación puede plantear otras cuestiones de gobernanza relacionadas con la toma de decisiones, la supervisión y la validación (Kosgui, 2011). Vinculadas a todos estos efectos están las cuestiones sobre la gobernanza de la investigación y la ampliación de la investigación a los ensayos de campo y el despliegue (SRMGI, 2011, Parker, 2014). Suponiendo que en el despliegue se utilice la pulverización de agua de mar, las responsabilidades en virtud de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS, por sus siglas en inglés) y el Convenio de Londres y el Protocolo de Londres (LC/LP, por sus siglas en inglés) en materia de protección contra la contaminación del medio marino no limitarían el despliegue, a menos que, como se señala en la sección 24 de un informe del Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino (GESAMP, 2018), el depósito de partículas de sal en la superficie del océano se interpretara como el depósito de “desechos u otras materias” en virtud del Protocolo de Londres. Por otra parte, los países tendrían, en general, libertad para realizar el MCB en alta mar, siempre que se haga con “la debida consideración” de los intereses de otros estados. Sin embargo, si se utilizaran otras partículas, las convenciones y el protocolo podrían ser relevantes para aquellos que buscan hacer tanto el trabajo de campo como el despliegue a gran escala. La supervisión de los efectos del despliegue tendría connotaciones de gobernanza y no se ha resuelto cómo se podría hacer el seguimiento del MCB (tanto del despliegue como de sus efectos).



Inyección de aerosol estratosférico (SAI)

Principio

La SAI busca reducir la temperatura media global aumentando la cantidad de partículas de aerosol reflectantes en la baja estratósfera. Un aerosol es una suspensión de finas partículas sólidas o gotitas líquidas, en el aire (u otro gas); ejemplos de aerosoles naturales son la niebla y el polvo. La evidencia del efecto de dichas partículas se puede constatar en el ambiente natural. Por ejemplo, en 1991, el Monte Pinatubo, un volcán de Filipinas, entró en erupción, descargando en la estratosfera unos 20 millones de toneladas de dióxido de azufre (SO₂). Las partículas de sulfato procedentes de Pinatubo aumentaron el albedo global, reflejando suficiente energía solar de vuelta al espacio para enfriar el clima global unos 0,5 °C de media durante los dos años siguientes, después de los cuales las temperaturas volvieron a ser proporcionales a las concentraciones de GEI existentes.

La SAI desplegaría aerosoles en la estratosfera a una distancia de entre 7 y 15 kilómetros sobre el nivel del mar (Labitzke y Van Loon, 2012). La estratósfera es una zona relativamente estable en la atmósfera donde hay menos mezcla vertical que horizontal, lo que significa que una partícula de aerosol podría permanecer en la estratósfera, reflejando la radiación solar durante un período medido en años (Keith, 2013). Si la inyección se llevara a cabo en la troposfera (la parte baja de la atmósfera), las partículas quedarían rápidamente atrapadas en el aire turbulento y volverían a caer al nivel del suelo en cuestión de semanas. Se espera que la SAI pueda tener efectos de enfriamiento casi inmediatos y directos y es probable que sea capaz de proporcionar un enfriamiento a escala planetaria en el plazo de un año (Keith, 2013).

Técnica y preparación

Los mecanismos de distribución con aerosoles no están resueltos, aunque se espera que la distribución en aeronaves sea el método más práctico y económico (Robock et al., 2009, Keith, 2013, Stilloe, 2015). Dado que la capacidad de enfriamiento de los aerosoles estratosféricos parece aumentar con la altitud (Krishnamohan et al., 2019), para ser plenamente eficaces, los aviones tendrían que volar a aproximadamente 20 000 metros y estar equipados con un kit de pulverización para la distribución de partículas (Keith, 2013). Las boquillas para expulsar aerosoles del tamaño deseado son factibles, pero aún no se han desarrollado ni probado (véase la actividad de investigación más abajo). Los aviones, si bien son capaces de volar a 20 000 metros de altitud, actualmente no son capaces de volar a esta altura con una carga pesada durante períodos de tiempo prolongados (Smith & Wagner 2018).

Dos factores clave impulsan el interés en la SAI; la rapidez con la que puede surtir efecto, junto con la alta eficiencia potencial de enfriamiento y el bajo costo directo del despliegue. La SAI tiene el potencial teórico de una gran ventaja sobre el forzamiento climático del carbono antropogénico. Se sugiere que 1 kg de azufre situado en la estratosfera podría compensar el efecto de calentamiento de varios cientos de miles de kilogramos de CO₂. Keith (2013) ha calculado que el forzamiento radiativo adicional de los 240 000 millones de toneladas de carbono liberadas por la actividad humana desde el comienzo de la revolución industrial podría reducirse a la mitad mediante una inyección anual de 1 millón de toneladas de aerosol. Se sugiere que el despliegue de una flota de 20 aviones podría proporcionar el suficiente forzamiento radiativo para producir un enfriamiento climático detectable (Keith, 2013) aunque, debido a que las partículas caerán de la estratosfera con el tiempo (las estimaciones sugieren que en el orden de tres años), tendrán que ser reemplazadas continuamente para mantener el nivel de enfriamiento. Los efectos de mayor escala requerirían soluciones aeronáuticas más complejas, pero estas pueden encontrarse adaptando la tecnología aeronáutica existente. Debido a que es posible que solo se necesiten pequeñas cantidades de material para crear un efecto detectable, existe cierta preocupación sobre cómo gobernar la escala de cualquier prueba de campo futura, desde proyectos a pequeña escala hasta investigaciones que puedan cambiar el clima. Esto se analiza con más detalle en la sección de gobernanza de la investigación que se incluye a continuación.

La relativa facilidad teórica de implementación, combinada con la eficiencia radiativa de los aerosoles, sugiere que los costos directos de SAI podrían ser bajos, en relación con la reducción de las emisiones (Brahic, 2009). Las evaluaciones sugieren que SAI podría distribuirse usando aviones por un costo de menos de 10 mil millones de dólares por año para 2 W m⁻² (Stavins & Stowe 2019). A modo de comparación, una duplicación de la

concentración de CO₂ desde su valor preindustrial hasta 550 partes por millón de aire ambiente (ppm) daría un forzamiento radiativo de alrededor de 3,7 W m⁻² y un calentamiento global de equilibrio estimado en alrededor de +3 °C (rango de 2,0 a 4,5 °C) (IPCC 2007).

En una revisión realizada por la Royal Society del Reino Unido se estimaba que los costos de implementación de SAI podrían ser unas 1000 veces menos costosos que algunas otras tecnologías que alteran el clima. (Shepherd, 2009). Sin embargo, MacKerron (2014) ha llamado la atención sobre la importancia de los costos económicos indirectos sobre las estimaciones de costos directos, estableciendo paralelismos con la SAI y la industria nuclear que inicialmente se esperaba que proporcionara energía “demasiado barata para medirla” (Strauss, 1954), pero que ahora requiere subvenciones estatales para mantenerse. Muchas estimaciones de costos de la SAI excluyen, por ejemplo, los costos indirectos como los esquemas para compensar a los “afectados”, o los costos que se derivan de las fricciones sociales o internacionales que resultan de la MRS (véase más abajo). Las evaluaciones que incluyen evaluaciones de costos más completas, indican que sería posible reducir la tasa de calentamiento a la mitad (reduciendo el forzamiento radiativo en -0,25 W m⁻²) a un costo de 2,25 mil millones de dólares anuales después de una inversión previa a la puesta en marcha de la infraestructura, que incluye la investigación y el diseño de aviones - de 3,5 mil millones de dólares (Smith y Wagner, 2018).

Posibles riesgos y principales incógnitas

La elección de las partículas no se ha resuelto. El tamaño de las partículas es importante porque el aerosol debe ser lo más “reflectante” posible y debe permanecer in situ y estable durante el mayor tiempo posible (Rasch et al., 2008). Cuanto más grandes sean las partículas (mayores de dos décimos de micrón), menos efectivas serán en la dispersión de la luz, para una determinada masa desplegada (Keith, 2013). Las partículas más grandes también se condensan, coagulan y aumentan de tamaño más rápidamente que las partículas más pequeñas y, por lo tanto, caerían de la estratosfera más rápidamente que las partículas pequeñas.

La introducción de sulfatos, una de las varias partículas candidatas, no crearía un cambio único en la química atmosférica porque los sulfatos se introducen continuamente en la atmósfera de forma natural. Por ejemplo, el polvo meteórico, las eyecciones volcánicas y las emisiones de fuentes marinas, terrestres, químicas e industriales contienen sulfatos (Keith, 2013). La interacción de los sulfatos dentro de la atmósfera ya está ocurriendo y ha sido investigada. Se sabe, por ejemplo, que las emisiones de azufre procedentes de la navegación marítima tienen un efecto refrigerante y según Eyring et al (2010), las temperaturas medias globales podrían ser hasta 0,25 °C más bajas de lo que habrían sido de otro modo. Esta información juega un papel importante en la construcción del caso para elegir los sulfatos frente a otras partículas (Shepherd, 2009, Stiggoe, 2015).

El comportamiento e interacciones en la atmósfera de otros posibles aerosoles de SAI se entienden con menos detalle. La forma en que el óxido de aluminio (alúmina) impacta en la estratosfera se entiende parcialmente después de los estudios de la NASA realizados para entender cómo la pluma del cohete del transbordador espacial, que incluía cantidades de alúmina, podría afectar el ozono (Ross y Sheaffer, 2014). Los óxidos de aluminio son comunes en los polvos minerales naturales, lo que proporciona una fuente de datos para futuras investigaciones sobre sus impactos (Lawrence y Neff, 2009). Además, existe una base más amplia de conocimientos sobre la alúmina a partir de su uso como material industrial (Weisenstein et al., 2015). Hay una base de evidencias menos constatada para el diamante, un material sugerido por Keith et al., (2016) para los propósitos de la SAI, aunque hay algunas pruebas de que las nanopartículas de diamante no son tóxicas para los sistemas biológicos (Schrand et al., 2007).

El potencial de que la SAI genere la pérdida de ozono se considera un riesgo importante de su despliegue (Morton, 2015, Robock, 2018). El ozono protege toda la vida en la Tierra de los dañinos rayos ultravioleta (GES-DISC, 2016). Los cambios en los aerosoles en la estratosfera podrían influir en su química y reducir la abundancia de ozono en la estratosfera (Tilmes and Mills, 2014). Este efecto se midió después de la erupción del Monte Pinatubo en 1991 (McCormick, 1995), un ejemplo de cómo el conocimiento existente puede servir para comprender la SAI. Si bien la capa de ozono aún se está recuperando de los efectos de los clorofluorocarbonos que agotan la capa de ozono (CFC), los estudios sugieren que cualquier nuevo estrés en la columna de ozono total, especialmente en las latitudes altas y medias, antes de 2050, provocaría un aumento considerable de la luz ultravioleta en la superficie de la Tierra (Heckendorn et al., 2009) y la recuperación del agujero de la capa de ozono en la Antártida podría retrasarse al menos 40 años (Tilmes and Mills, 2014).

Algunas posibles partículas de SAI pueden tener el potencial de mejorar el ozono. La alúmina es un aerosol sólido que por sí solo no aumentaría el volumen del ácido sulfúrico acuoso que impulsa las reacciones en los sulfatos que conducen a la pérdida de ozono (Keith, 2013). Sin embargo, introducen nuevos riesgos, que incluyen posiblemente el de actuar como catalizador que causa reacciones que pueden afectar al ozono (Keith et al., 2016).

Algunos aerosoles candidatos pueden causar daños al caer de la estratosfera a la troposfera formando lluvia ácida o contaminación del aire, lo cual afectaría al medio ambiente terrestre (Keith, 2013). El número resultante de muertes o enfermedades es incierto porque las "caídas" se distribuirían globalmente, incluso en áreas remotas despobladas. Sin embargo, Keith (2013) argumenta que la tasa de mortalidad sería notablemente menor que el número de muertes relacionadas con el cambio climático antropogénico, que se evitarían mediante el enfriamiento suministrado por la SAI.

No se sabe con certeza cómo responderá el clima al forzamiento radiativo a gran escala que puede tener el SAI. Los modelos climáticos sugieren que una SAI de un compuesto ideal teorizada podría ser muy eficiente en la reducción del calentamiento global simulado mediante un modelo (Kravitz et al., 2014). Sin embargo, los riesgos podrían incluir cambios acelerados en el transporte dinámico de la humedad y el aire, que afectarían a los sistemas meteorológicos y a importantes fenómenos climáticos locales como las lluvias monzónicas y el funcionamiento de los ecosistemas (Keith et al., 2016, Mercado et al., 2009). Por ejemplo, Simpson et al. (2019), sugieren que si la SAI se desplegara en un escenario de altos GEI, podría haber una sequía sustancial en la Amazonia, partes de África y la India, lo que podría tener implicaciones significativas para los ecosistemas y la productividad de los cultivos. En un escenario de alta concentración de GEI, la SAI también podría alterar el ciclo estacional en lugares de gran latitud, causando inviernos más cálidos y veranos más fríos (Jiang et al., 2019) con implicaciones ambientales y de otro tipo potencialmente importantes.

Al igual que en el caso de MCB, existe un potencial choque de terminación asociado a la SAI. Aunque se esperaría que la tasa de cambio en el forzamiento radiativo creado por una parada de la SAI fuera más lenta que con el MCB, ya que los aerosoles permanecerían in situ más tiempo que las nubes brillantes, es posible que la tasa de choque de terminación no fuera significativamente diferente debido al tiempo que tarda el clima global en calentarse.

El despliegue de la SAI, si es lo suficientemente grande, podría cambiar el aspecto del cielo. El azul característico de un día sin nubes podría dejar de verse. Más bien, el cielo podría parecer que tiene un fino velo de niebla o nube de alto nivel (Kravitz et al., 2012). Aunque se sabe que la luz difusa ayuda a las plantas, incluidos los cultivos, a crecer más rápidamente, se desconocen los efectos emocionales y psicológicos que pueden tener en los humanos y en otras formas de vida.

Al igual que con el MCB, se ha sugerido que la SAI podría desplegarse en la región del Ártico. La modelización sugiere que tiene el potencial de reducir rápidamente la amplificación polar, retardar el derretimiento del hielo y reducir el calentamiento global (Nalam et al., 2017). Sin embargo, también puede tener efectos secundarios similares a los del MCB, incluida la generación de desplazamiento de calor desde las regiones del sur hacia el Ártico, lo que podría contrarrestar algunos efectos del despliegue de la SAI (Tilmes et al., 2014). Además, la modelización sugiere que el despliegue de la SAI en el Ártico podría provocar que la zona de conversión intertropical se moviera hacia el sur, afectando negativamente a los climas de esa región, incluido el monzón (Nalam et al., 2017), a menos que se equilibre con un despliegue de la SAI comparable en el Hemisferio Sur (Nalam et al., 2018).

Actividad de investigación actual

Hasta la fecha, toda la investigación sobre la SAI ha sido teórica, ya sea explorando los efectos climáticos, basándose en modelos climáticos (Berdahl et al., 2014, Irvine et al., 2009), soluciones potenciales de ingeniería y, en particular, buscando una mejor comprensión de los temas de gobernanza (Horton et al., 2018, Macnaghten y Owen, 2011, Stavins y Stowe, 2019, Rouse, 2018) y la valoración social de la tecnología (Bellamy et al., 2012, Stilgoe, 2015). El trabajo en estas áreas continúa con un esfuerzo de investigación distribuido globalmente (aunque la mayoría de los académicos que trabajan en este campo tienen su sede en los EE.UU. y Europa).

Como se ha señalado anteriormente, en diciembre de 2019 el gobierno de EE.UU. autorizó una financiación de 4 millones de dólares a la NOAA para la investigación que podría incluir la investigación de la SAI (Temple, 2019).

Además, la propuesta de Ley de Investigación de Intervención en el Clima Atmosférico (ACIRA, 2019) que, de ser aprobada, financiaría la investigación de la SAI y otorgaría a la NOAA la autoridad de revisión y supervisión de informes sobre los experimentos de la SAI en los EE.UU., lo cual podría ser un desarrollo importante.

Actualmente, la mayor parte de la investigación de ciencias físicas de la SAI se centra en la modelización de los experimentos de la SAI, muchos de los cuales se llevan a cabo a través del “Proyecto de Intercomparación de Modelos de Geoingeniería” (GeoMIP, 2020), un proyecto coordinado por la comunidad del Programa Mundial de Investigación Climática (Tilmes et al., 2015). El primer experimento relacionado con la SAI que se ha llevado a cabo fuera del laboratorio está ahora en desarrollo. Anunciado el 24 de marzo de 2017 (Temple, 2017), el Experimento de Perturbación Estratosférica Controlada (ScoPEX) prevé avanzar en el entendimiento de cómo los aerosoles estratosféricos pueden ser relevantes para la SAI (ScoPEX, 2019). El proyecto tiene como objetivo desplegar en la estratosfera un paquete de instrumentos en un globo controlado, donde se liberaría entre 0,1 y 2 kg de carbonato de calcio, y potencialmente sulfato, para crear una masa de aire perturbada de 1 km x 100 m. El instrumento medirá posteriormente los cambios en el aire perturbado, incluyendo los cambios en la química, la densidad del aerosol y la forma en que se dispersa la luz (ScoPEX, 2019). El proyecto está financiado por la Universidad de Harvard a partir de un fondo recaudado de donaciones filantrópicas. El proyecto busca aprender más sobre la eficiencia potencial de la SAI y sus riesgos. Los hallazgos podrían mejorar la capacidad de los modelos para predecir mejor cómo el despliegue a mayor escala podría perturbar el ozono estratosférico (ScoPEX, 2019). Como parte de la propia gobernanza del proyecto, se ha establecido un comité asesor de expertos, en parte para reconocer e identificar las implicaciones sociales y políticas de la realización de la investigación propuesta. Se espera que el proyecto pruebe en 2020 el paquete de globos e instrumentos de gran altitud, sin carga útil.

Dadas las incertidumbres descritas anteriormente, una mayor investigación podría ayudar a comprender mejor cómo puede afectar la SAI en el Ártico y otras regiones a los climas de otras partes del planeta.

El potencial de los efectos negativos para la salud que se han asociado con la SAI (Effiong y Neitzel, 2016), sugieren que una mayor investigación de la SAI debe tratar de comprender mejor las implicaciones de la exposición a, y la evaluación de, cualquier propiedad toxicológica de los sulfatos potenciales y otros materiales.

Consideraciones sociopolíticas

Aunque solo ha habido un número limitado de estudios, las respuestas del público a la SAI han sido generalmente negativas. Los estudios han sugerido, por ejemplo, que es probable que la sociedad esté más preocupada por la incertidumbre de los efectos del despliegue y las posibilidades de que surjan resultados perjudiciales y lo que estos pueden significar. Los estudios también han indicado que la sociedad percibe la MRS, y en particular la SAI, como una tecnología muy poderosa con una capacidad de gran alcance para los efectos con los que los científicos están asumiendo el papel de “jugar a ser Dios” (Macnaghten y Szerszynski, 2013, Pidgeon et al., 2012, Merk et al., 2015, Braun et al., 2018).

Algunos investigadores de SAI reconocen que corren el riesgo de que les falte o se perciba que les falta humildad, mientras trabajan en el desarrollo de los medios para controlar el clima, una ambición que Keith (2013) ha reconocido que puede parecer arrogante. Se ha sugerido que la conciencia de los investigadores sobre la aceptabilidad social de otros campos de investigación controvertidos, como la nanotecnología y la biología sintética, puede haber formado su pensamiento y fomentado un enfoque cauteloso para el desarrollo de la técnica (Sarewitz, 2010).

Hasta la fecha, pocas personas no especialistas han participado en los debates sobre el futuro de la gestión sostenible de los recursos naturales. Por ejemplo, los pueblos indígenas han figurado ampliamente en la documentación sobre tecnología de alteración del clima como uno de los principales grupos afectados, por ejemplo, en el Ártico. Sin embargo, algunos han señalado que aún no han estado visibles en los debates sobre el futuro de la MRS (Buck, 2018). En términos más generales, ha habido pocos “intentos de analizar las preocupaciones que las poblaciones podrían albergar y cómo esas preocupaciones podrían informar las discusiones sobre ética y políticas” (Carr y Preston, 2017). Esta participación limitada en el diálogo sobre SAI y los bajos niveles de conocimientos asociados a ella (Pidgeon et al., 2012) pueden, sin embargo, ser superados a través de “la educación rápida y deliberada tanto de diversos colectivos como de aquellos involucrados en el proceso político sobre lo que la MRS es, cuáles son sus beneficios y riesgos potenciales, y por qué los científicos están contemplando este conjunto de posibles tecnologías (Wagner y Zizzamia 2019).

Hay incertidumbre respecto a quién podría optar por desplegar la SAI, pagar por ella o cualquier pérdida o daño que pudiera surgir del despliegue (Reynolds, 2019). Se ha identificado que la MRS no es necesariamente un proyecto humanitario sencillo, pero, como sugiere Buck (2012), podría ponerse al servicio de una amplia gama de intereses. La participación de los filántropos en la financiación de la investigación y los debates sobre la financiación pública han planteado por sí mismos importantes cuestiones sobre cómo se podría o debería impulsar la investigación y el desarrollo (Nisbet, 2019), y están en curso debates sobre qué intereses podrían estar alineados con la MRS o ser antagónicos. A algunos les preocupa que los escépticos del clima puedan pasar rápidamente de una posición de negación climática a una fuerte defensa de la gestión sostenible de los recursos naturales (Morton, 2015) y que algunos grupos que ya se pensaba que estaban invirtiendo grandes sumas de dinero para evitar o posponer la mitigación, puedan optar por promover la gestión sostenible de los recursos naturales como una forma de lograr o proteger sus modelos de negocio (McLaren, 2016).

Una encuesta reciente de los centros de investigación independientes muestra que la mayoría sigue sin conocer la MRS, aunque una mayoría de ellos se declaran a favor de la financiación de la investigación sobre MRS como una alternativa a la mitigación (Collomb, 2019). En una declaración detallada, la Red internacional de acción por el clima (CAN, por sus siglas en inglés), la red más grande del mundo de organizaciones de la sociedad civil (OSC) que trabaja en el fomento de la acción gubernamental para abordar el cambio climático, recomendó unánimemente la adaptación y la mitigación como soluciones de primera línea a favor de la MRS. La CAN también se opone firmemente a la experimentación y al despliegue de la MRS en el exterior a la luz de los riesgos que conlleva (CAN, 2019).

Entre los colectivos hay un grupo poco formado, llamado "Chemtrailers" (rastreadores de estelas químicas) que cree que las estelas de los aviones son rastros de sustancias químicas desconocidas que se dispersan en la atmósfera y que forman parte de un programa a gran escala para la modificación del tiempo meteorológico y del clima, o de control de la población (Cairns, 2014). Este grupo asocia estas creencias estrechamente con la SAI. Aunque se trata de un fenómeno marginal, en 2017, el Estudio Cooperativo de Elecciones del Congreso sugirió que el 10 % de la población estadounidense estaba segura de que "la conspiración de la estela química era completamente cierta" y, otro 20 - 30 % pensaba que la teoría tenía "algo de veracidad" (Tingley y Wagner, 2017). Este ejemplo ilustra que hay temas más amplios en torno a la confianza, la política y la comunicación y muestra cómo las tecnologías concebidas en abstracto invariablemente entran en condiciones sociales e intersociales complejas que pueden ser difíciles de incorporar en una gobernanza completa de la MRS en el futuro.

Gobernanza

La necesidad de la gobernanza de SAI surge no solo de su capacidad para afectar intencionadamente al clima de la Tierra, sino también porque puede afectar a otros sistemas como los océanos, el clima, la agricultura, los ciclos hidrológicos regionales, el ozono estratosférico, las nubes de la troposfera de gran altitud y la productividad biológica (Shepherd, 2009), así como a los sistemas sociales, las estructuras y los valores profundamente arraigados. Dado que estos efectos pueden afectar de manera diferente a los estados y regiones, tanto positiva como negativamente, el despliegue de la SAI podría potencialmente dar lugar a desafíos geopolíticos y de gobernanza relacionados con la seguridad. Se ha sugerido que estos podrían incluir riesgos de conflicto, que se abordan en la sección II. Además, los efectos humanos, sociales y económicos conocidos y desconocidos complican los problemas de la gobernanza. Por otra parte, la posibilidad de que se produzca un choque de terminación, o las cuestiones del peligro moral o de la disuasión de la mitigación también plantean importantes cuestiones en torno a la toma de decisiones, la supervisión y la validación (Kosgui, 2011). Vinculado a todos estos efectos están las preguntas sobre cómo gobernar la investigación de la SAI a medida que pasa de la modelización y del laboratorio al exterior (SRMGI, 2011; Parker, 2014).

Dado que la SAI viene acompañada de preguntas sobre los riesgos, los beneficios, la justicia y las incertidumbres y que es política y económicamente compleja, y porque también pueden producir algunos efectos ambientales con efectos diferenciales en las comunidades, se sugiere, (Stilgoe, 2015, Macnaghten y Owen, 2011, Buck, 2019) que deben introducirse las perspectivas de los ciudadanos sobre la forma en que se desarrolla la SAI en los procesos de deliberación de la gobernanza en la etapa más temprana en un modo de coproducción.

Se ha demostrado que la inclusión de públicos no solo mejora el proceso de innovación (Genus y Stirling, 2018) sino que, en el caso de la SAI, se sugiere que generaría nuevos conocimientos sobre cómo las tecnologías y técnicas pueden afectar a la vulnerabilidad y la resiliencia al cambio climático a escala comunitaria y regional

(Buck, 2018). Se sugiere, entonces, como se recomienda al gobierno de los Estados Unidos (Parthasarathy et al., 2010), que las oportunidades de involucrar a los ciudadanos en la evolución de cualquier planificación deben ser consideradas como una parte clave del proceso.

El proyecto de investigación Inyección de Partículas Estratosféricas para la Ingeniería Climática (SPICE, por sus siglas en inglés) es un caso de estudio útil de las respuestas públicas inesperadas a la SAI y la incertidumbre y complejidad de la gobernanza de la investigación de la SAI. El anuncio del proyecto fue ampliamente difundido en los medios de comunicación en términos negativos (Cooper, 2011; Ruz, 2011; Monbiot, 2011; Daily Mail, 2011) y algunos elementos del proyecto se retrasaron inicialmente seis meses para permitir un mayor compromiso con las partes interesadas. El día del anuncio del retraso del proyecto, se presentó una petición (ETC, 2011) al Secretario de estado para la Energía y el Cambio Climático del Reino Unido, en la que se pedía la suspensión del proyecto a la luz de las preocupaciones y un posible conflicto de intereses con el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. Después de la consulta, los financiadores tomaron la decisión de retrasar aún más los elementos del proyecto para permitir que el equipo del proyecto emprendiera un trabajo de compromiso más amplio (Macnaghten y Owen, 2011).

Tabla 2 – Resumen de las virtudes, debilidades y riesgos de MCB y SAI

VIRTUDES	DEBILIDADES	RIESGOS
Tiene un alto potencial de efectividad y se espera que sea capaz de proporcionar enfriamiento planetario.	Aunque la investigación sugiere que la entrega es técnicamente factible, los detalles de los mecanismos de distribución aún no han finalizado.	Los ensayos de campo, el despliegue o la amenaza de despliegue pueden crear tensiones interestatales y regionales (véase la sección II a continuación).
Los costos, dada la eficacia potencial, son bajos.	Actualmente no hay claridad sobre cómo se gobernarán ambas tecnologías.	Si se escogieron los sulfatos como el agente activo preferido de SAI, pueden reducir el ozono atmosférico. El MCB que utiliza agua de mar no presentaría tales riesgos.
El funcionamiento de las nubes en la atmósfera se entiende razonablemente bien. Las interacciones de los aerosoles en la estratosfera son menos conocidas, aunque los estudios sobre las erupciones volcánicas proporcionan cierta información valiosa.	Las respuestas climáticas al MCB y a la SAI son inciertas. Por ejemplo, existe la posibilidad de que se produzcan cambios en los patrones de las precipitaciones.	Existe la posibilidad de que se produzca una migración a gran escala después de que se produzca cambios en los patrones climáticos.
Aunque se necesitarán buques marítimos y vehículos de despliegue a gran altitud (probablemente aeronaves), no se requerirá ninguna reestructuración de las infraestructuras mundiales o de los sistemas de suministro de energía.	Se necesitan más pruebas de investigación para documentar los debates sobre la gobernanza.	Si se produjera una terminación abrupta de los despliegues, podría producirse un choque de terminación climática que diera lugar a un rápido aumento de las temperaturas.
	Ninguno de los dos enfoques puede ser socialmente aceptable.	La acidificación de los océanos continuaría sin disminuir si las tecnologías sustituyeran a las medidas de mitigación del cambio climático.

Las discusiones posteriores condujeron a la retirada eventual completa de los elementos experimentales del proyecto en mayo de 2012. Esta decisión se tomó, según el sitio web del proyecto SPICE (Watson, 2012), debido a cuestiones de gobernanza y propiedad intelectual.

Debido al posible impacto transfronterizo de la SAI, será esencial algún nivel de gobernanza regulatoria internacional y varios instrumentos actuales tienen tracción sobre la SAI (así como otras tecnologías que alteran el clima tratadas en este informe). La Sección III de este informe examina algunos de esos instrumentos, principios no vinculantes o códigos de conducta que se aplicarían en parte a la SAI. Antes de esta discusión, en la Sección II se examinan más detalladamente las cuestiones geopolíticas y de seguridad relacionadas con la MRS.

SECCIÓN II: MRS, geopolítica y seguridad

Introducción

En esta sección se examinan cuestiones geopolíticas y relacionadas con la seguridad, incluidas la amenaza, el uso y el control de la fuerza militar, cuestiones más amplias de estrategia y política y cuestiones más generales sobre la seguridad social, humana y ambiental, en el contexto de los riesgos e incertidumbres identificados en las evaluaciones de la tecnología antes mencionadas.

El cambio climático ya está dando lugar a problemas de seguridad mundial, incluidas las tensiones provocadas por la migración climática vinculada al agotamiento de los recursos alimentarios e hídricos y a la modificación de los vectores y las zonas de distribución de las enfermedades. Está creando nuevos riesgos que los gobiernos, las instituciones y las comunidades son incapaces de predecir o gestionar. Estos riesgos y las tensiones asociadas funcionan como multiplicadores de amenazas que agravan situaciones ya delicadas y tienen la capacidad de contribuir a la agitación social e incluso al conflicto violento (Ruttinger et al., 2015). Por ejemplo, se identificó el cambio climático como un multiplicador de amenazas en el período previo al estallido de la guerra civil siria (Kelley, 2015), en la que la escasez de agua relacionada con el clima en Siria, Iraq y Turquía causó la muerte de ganado, elevó los precios de los alimentos y afectó a la salud de la población. En respuesta, un millón y medio de ciudadanos del campo se trasladaron a las ciudades de Siria, que ya estaban acogiendo a un gran número de inmigrantes de la guerra de Irak, lo que creó importantes tensiones (Kelley, 2015).

¿Cómo podría evolucionar el despliegue de MRS y por qué podría crear tensión?

Aunque la SAI y el MCB tienen la capacidad teórica de cambiar rápidamente el clima, no es el caso de que cualquier despliegue futuro sea capaz de enfriar el planeta muy rápidamente. La SAI, por ejemplo, requeriría el despliegue lento y continuo de aerosoles en la estratosfera por medio de aeronaves (u otros medios) (Keith, 2013). En teoría, se requeriría un proceso incremental en el que el volumen y la densidad de los aerosoles aumentarían a lo largo de un período de meses antes de que su acumulación comenzara a tener un efecto medible sobre la temperatura. (Morton, 2015). En el caso del MCB, aunque podría ser posible que se desplegara rápidamente un solo aparato o un pequeño número de aparatos y abrillantaran las nubes, para tener un efecto a escala climática que pudiera conducir a tensiones políticas se necesitaría una gran flota. (Shepherd, 2009). Sin embargo, el MCB requeriría un despliegue a menor escala para lograr un enfriamiento localizado, por ejemplo para proteger los ecosistemas en peligro, como los arrecifes de coral o para enfriar las ciudades costeras. Si esas ciudades se encuentran en regiones disputadas o de alta tensión, un despliegue unilateral, sin advertencia ni diálogo, podría ser un detonante de la tensión, incluso aunque el enfriamiento fuera beneficioso para todas las partes.

La orden de cualquier posible despliegue de la MRS en relación con otras medidas para abordar el cambio climático es incierta. Por ejemplo, el despliegue de la MRS podría comenzar después de que se hubieran implementado todos los esfuerzos para reducir las emisiones. La MRS podría entonces desplegarse para proporcionar refrigeración en un interregno mientras la capacidad de EDC (tanto en términos de tecnologías como de escala) se incrementara hasta que alterara el clima. En este punto, la MRS podría reducirse a medida que el EDC surtiera efecto. Un escenario diferente, por ejemplo, podría ser un despliegue de la MRS realizándose simultáneamente con la reducción de emisiones. En tal escenario, se introducirían y aumentarían las técnicas de EDC y, cuando estuvieran teniendo efectos a escala climática, la MRS se reduciría. Otras sugerencias han incluido el uso de la MRS como una herramienta de "emergencia" para proporcionar enfriamiento en tiempos de crisis. Cada uno de estos escenarios crea una serie diferente de desafíos de gobernanza. Por ejemplo: quién, y usando qué evidencia, decide que la reducción de emisiones y la EDC han fallado y que es oportuno desplegar la MRS; o, cómo podría supervisarse y verificarse la EDC y quién evaluaría autoritariamente la MRS y decidirá cuándo es el momento de desplegar o disminuir el despliegue de la MRS. La forma en que podría desentrañarse esta complejidad es incierta en el entorno de gobernanza actual. ¿Quién, por ejemplo, debería organizar los debates sobre las órdenes de despliegue de las tecnologías imaginadas y de dónde provendría su autoridad?

La naturaleza gradual del efecto sobre la temperatura de cualquier MRS a gran escala es útil en el contexto de la seguridad. Los errores de seguridad, incluidos los conflictos, surgen frecuentemente cuando la información y la inteligencia son escasas y se requieren respuestas urgentes, caracterizadas por una rápida toma de decisiones estratégicas durante las cuales se pueden cometer errores y hacer cálculos erróneos (Chalecki y Ferrari, 2018).

Sin embargo, las políticas globales de MRS y cambio climático son complejas e inciertas. En el caso de la MRS, no está respaldada por un marco de gobernanza probado y comprobado (Reynolds, 2019), ni por una comprensión universalmente acordada de cuál es el propósito o el funcionamiento de las tecnologías. El conjunto de preferencias y perspectivas de los países sobre el clima, el desarrollo, la seguridad y otros objetivos interrelacionados y de amplio alcance ya es amplia y divergente. Dentro de este contexto, la gestión sostenible de los recursos naturales puede entenderse de manera muy diversa, y no necesariamente como una medida de emergencia necesaria para detener el peligroso cambio climático mundial. Por ejemplo, podría considerarse una amenaza para los recursos recientemente accesibles en el Ártico; como una continuación o extensión del colonialismo; o para continuar o incluso ampliar las economías existentes de combustibles fósiles y de extracción.

Además, si la MRS ofrece la capacidad, real o supuesta, de adaptar el clima, la promesa de ganancias (o males evitados) para los países y regiones podría ser grande, aumentando el potencial de tensión y controversia (Parker et al., 2018). Si la capacidad de enfriamiento climático se hiciera disponible a través de la MRS, podría ser necesario tomar decisiones sobre qué tipo de sociedades climáticas desean crear colectivamente. ¿Cuál sería la temperatura correcta, a qué costo y sobre qué base se acordaría? En otras palabras, “¿quién ajustaría el termostato global o local?” ¿Cómo podrían ser los procesos estratégicos y geopolíticos dentro de esta toma de decisiones y qué lógicas de acción serían las más predominantes?

Algunos países podrían apreciar una temperatura mucho más fría que otros, aceptar diferentes tipos o niveles de riesgos que otros o aplicar diferentes marcos generales, y las relaciones de poder serían clave para el desarrollo de estos temas (Schellnhuber, 2011). ¿Qué papel deberían tener los científicos en esto? ¿Será la policía mundial para la protección del clima o asesores en un proceso mucho más amplio en el que su evidencia es solo una parte del ruido? ¿Estarán dispuestas las regiones o los estados poderosos a debatir incluso la posibilidad de compartir o renunciar al control del termostato y aceptarán los países más débiles? ¿O deberíamos, como sugiere Macnaghten (2013), buscar un diálogo global verdaderamente plural sobre el diseño futuro de nuestro planeta? En caso afirmativo, ¿cómo funcionaría eso y quién tomaría las decisiones y rendiría cuentas en última instancia?

Quién podría elegir el despliegue de la MRS, y en qué circunstancias no está claro (Barrett, 2014), al igual que el futuro del sistema internacional podría caracterizarse por la consolidación, la continuidad o la inclinación hacia un orden menor. Los problemas que surgen de los escenarios alternativos son variables. Si se alcanzara un consenso mundial para el despliegue, respaldado por un proceso de diálogo multilateral que llevara al consentimiento y al consenso no solo sobre la decisión de desplegar, sino también sobre dónde, cuánto, durante cuánto tiempo y con qué objetivos, y esto fuera acompañado de un programa de supervisión y verificación rigurosos y legítimos, las tensiones de seguridad podrían ser pequeñas. Alternativamente, si se produjera un despliegue unilateral (o “minilateral”) de la MRS, sin consulta internacional y con metas y objetivos inciertos que proponer o implantar, la comunidad mundial bien podría responder negativamente (Barrett, 2014).

Impactos asimétricos de MRS

Un despliegue podría mejorar el clima para algunos y deteriorarlo para otros (Robock et al., 2009). En la actualidad, no hay pruebas suficientes para proporcionar una comprensión sólida de las asimetrías que pueden ocurrir en diferentes escenarios de despliegue, y esto puede justificar una mayor investigación. Si, después de un despliegue, se produjeran asimetrías negativas y se produjera un daño o una pérdida, cómo se podría compensar, si es que se podría compensar, por quién y bajo qué jurisdicción no se ha discutido en el ámbito político, aunque se explique en algunas publicaciones académicas, por ejemplo, Parker et al. (2018) y Chalecki y Ferrari (2018). Para complicar aún más esta cuestión está el asunto de la atribución. Actualmente, la modelización del clima no es lo suficientemente sensible como para atribuir con seguridad los recientes fenómenos climáticos extremos a las emisiones antropogénicas de GEI (Pielke, 2019), aunque la ciencia está mejorando rápidamente.

Hay incluso menos capacidad, o incluso una metodología teórica, que podría determinar si un evento extremo, o una serie de eventos producidos tras un despliegue de una MRS, fueron causados por el despliegue, el cambio climático que la MRS estaba tratando de abordar o, de hecho, si eran eventos normales, en caso de ser dañinos. Sin la capacidad de atribución, e incluso con ella, puede esperarse que un país o región, o sus ciudadanos, que experimentaran eventos extremos después de un despliegue de una MRS, percibirían que esos eventos estarían directamente relacionados con el despliegue y culparan a los responsables de la MRS por cualquier daño y pérdida (Chalecki, 2018). Si se desarrolla este escenario entre países o regiones que ya están experimentando tensiones políticas, las implicaciones podrían ser significativas. Por ejemplo, si dos países limítrofes, ambos con capacidad para fabricar armas nucleares y en estado de alta tensión estuvieran involucrados en tal escenario, una escalada de las tensiones podría ser altamente perjudicial.

La ausencia de poder para terminar el despliegue

Actualmente, no existe ningún mecanismo de gobernanza in situ, incluidos los marcos normativos o el derecho internacional, que sea adecuado o capaz de proporcionar un marco para la gestión del riesgo de desastres (Reynolds, 2019). Como tal, no hay restricciones legales que impidan que cualquier estado (u otro actor) elija desplegar el MCB o la SAI. Aunque existe una serie de instrumentos y mecanismos internacionales que podrían modificarse o instrumentalizarse para proporcionar un marco, en la actualidad esto no ha comenzado (en la Sección III se revisan esos instrumentos y mecanismos con más detalle).

Se cuestiona si un sistema de gobernanza internacional globalmente eficaz, transparente y responsable, o un modelo policéntrico de parches de instrumentos y medidas, sería más apropiado para la MRS (Nicholson, 2018; Redgwell, 2011; Armeni y Redgwell, 2015). Este informe no explora estos temas en detalle, pero puede ser útil anotar algunas preguntas clave que permanecen sin respuesta. Entre ellas: ¿cómo se podría, o debería, llegar a un consenso mundial respaldado por múltiples gobiernos, organizaciones internacionales, OSC, grupos ambientales y críticos y otros? (Macnaghten and Owen, 2011); y, ¿cómo podrían y deberían ejecutarse, en el contexto de una intervención individual a escala planetaria, los sistemas de gobernanza globales, transparentes y responsables, en los que todos los actores pudieran participar libremente de manera democrática, con la plena participación de la sociedad civil? (Bellamy et al., 2012).

Despliegue unilateral de MRS

La actual falta de gobernanza para detener un despliegue determinado da lugar a preocupaciones sobre el despliegue unilateral. Mientras que los estados pequeños con un poder geopolítico y/o una fuerza económica limitados pueden ser disuadidos de realizar el despliegue por la amenaza de sanciones o incluso de una intervención militar, los estados poderosos o una coalición de estados que trabajen juntos, podrían no ser disuadidos tan fácilmente. Tal escenario de despliegue unilateral y no gobernado, si la SAI o el MCB pudieran desplegarse técnicamente, podría entonces presentar una seria amenaza a la seguridad global.

Algunos que trabajan en el despliegue teórico de la MRS sugieren que el despliegue unilateral es poco probable (Parson y Ernst 2013), y sostienen que requeriría una capacidad física y técnica mayor de la que sería posible para muchos salvo para los países más grandes y poderosos. Además, Horton (2011) sugiere que las interdependencias normales en la geopolítica, la dependencia mutua y la necesidad de cooperación en un mundo globalizado disiparían la voluntad de un solo país de actuar en solitario y desplegar la MRS. Sin embargo, otros consideran que los países grandes y poderosos y las coaliciones de estados más pequeños, incluidos los más afectados por el cambio climático, por ejemplo, por el aumento del nivel del mar, pueden tener la capacidad y la motivación para actuar (Ricke, et al., 2010; Chalecki y Ferrari, 2018).

Parker et al., (2018) sugieren que sería posible que un estado único, grande y poderoso, desplegara la MRS por sí solo, lo cual, dada la mínima gobernanza disponible en la actualidad, y debido al poder político y económico más amplio de dicho estado, podría ser imparable, al menos inicialmente. Tal acción puede recibir contestación y crear nuevos problemas geopolíticos. Si dicho estado desplegara la MRS y surgieran o se considerara que surgieran daños y pérdidas importantes como resultado de dicho despliegue, podría producirse una situación de crisis geopolítica debido a las percepciones de causalidad, sean o no correctas. Se desconoce cómo resolvería esto la comunidad global, a menos que se hubiera desarrollado de antemano una forma de gobernanza de MRS que funcionara. Barrett (2019) ha sugerido que, si un solo estado considerara el despliegue de la MRS, cualquier tratado que lo prohibiera tendría poco efecto, porque los estados que probablemente considerarían el despliegue unilateral probablemente tampoco serían signatarios de dicho tratado.

En el caso de una “coalición de voluntad” de estados más pequeños, aunque no unilateral en el verdadero sentido, formarían lo que Parker et al. (2018) describen como una “minilateral”, que sería más sólida ante cualquier presión que potencialmente pudiera ejercerse sobre estados individuales solos. Una coalición de este tipo podría ser vista como no más legítima que un despliegue de MRS de un solo estado pequeño, creando tensiones internacionales similares a las que surgen en el escenario de un despliegue de MRS de un solo estado grande. Si se formara un grupo minilateral, se sugiere (Lloyd & Oppenheimer, 2014) que dicho grupo podría ser atractivo para otros y crecer hasta convertirse en un actor más legítimo y poderoso.

MRS como un problema de impulsores libres

La MRS presenta un novedoso problema de acción colectiva, que está en desacuerdo con la tradicional mitigación del clima que se entiende como un bien público. Los beneficios de la mitigación de un solo país no son rivales y no son excluyentes porque, mientras que el país que actúa paga los costos económicos y otros costos de sus actividades de mitigación, los beneficios ambientales que surgen se comparten en todo el mundo. Esto crea un problema de “impulsores libres” (Stavins et al., 2014); existe un incentivo para que los países se aprovechen de los esfuerzos de mitigación de otros países, mientras deciden no tomar medidas de mitigación similares. La MRS, sin embargo, crea lo que Weitzman (2015) describe como un problema de “impulsores libres”.

Como la relación beneficio/costo de la MRS es grande, un país o “colectivo de MRS” que lo desplegara podría elegir desplegar la MRS para adaptarse mejor a sus propias necesidades climáticas; ellos a su vez estarían determinando el nivel de enfriamiento para todos los demás países del mundo. Este problema de impulsores libres es importante porque el clima recién creado que es ideal para la parte que realiza el despliegue, ya sea una coalición o un solo estado, puede no ser deseable para otros y el proceso a través del cual sucediera violaría las normas comunes de la justicia procesal. Por ejemplo, algunos se están beneficiando actualmente del cambio climático y preferirían conservar esos beneficios. Alternativamente, un despliegue de la MRS podría causar, o amenazar con causar, cambios en el clima de los países que no realicen el despliegue, lo que podría incluir cambios en las precipitaciones que llevarán a problemas en los recursos hídricos o en la producción de alimentos.

La naturaleza de los impulsores libres de la MRS centra la atención en los desafíos creados por esta tecnología globalmente disruptiva que, sin el debate sobre la gobernanza durante la actual fase de desarrollo, seguirá siendo un entorno geopolítico fragmentado y no gobernado. Las ventajas para un solo país o coalición de desplegar la MRS pueden ser demasiado atractivas desde el punto de vista político como para frenar la decisión de desplegarla (Parker et al., 2018). Esto podría ocurrir si hubieran estado experimentando eventos climáticos extremos más frecuentes que estuvieran asociados con el cambio climático y/o estuvieran sometidos a una presión política por parte de ciudadanos o aliados, u otras presiones políticas dentro de su país o región para abordar el cambio climático. En un entorno político de este tipo, un país, incluidos los estados más pequeños, pueden verse tentados a no buscar un acuerdo multilateral y desplegar la MRS. En tal escenario, habría poco o nada que la comunidad internacional pudiera hacer para detener el despliegue, salvo las intervenciones militares, que podrían ser en sí mismas ilegales (véase Conflicto y guerra más adelante). Barrett et al., y Gertner (2014 y 2017) han sugerido que el contradespliegue podría ser una alternativa a la respuesta militar.

Contradespliegue

El contradespliegue ha sido definido por Parker, et al. (2018) como “el uso de medios técnicos para negar el cambio en el forzamiento radiativo causado por el despliegue de MRS”. La idea sugiere que un país o un conjunto de países podría amenazar con contrarrestar cualquier efecto de enfriamiento de los despliegues de MRS de otros, ya sea para disuadir el despliegue en primer lugar o para revertir o ralentizar los efectos de cualquier despliegue real. Los medios técnicos que podrían utilizarse para ello son inciertos y no son actualmente objeto de ningún esfuerzo de investigación. Sin embargo, es posible que incluyan el uso de un agente de calentamiento (por ejemplo, la liberación a gran escala de un GEI o el cese deliberado de las medidas de mitigación) o que traten de neutralizar con una interrupción física (por ejemplo, eliminando o alterando químicamente los aerosoles desplegados o cambiando las características de las nubes brillantadas utilizando núcleos de nubes muy grandes). Una tercera opción sería la acción militar directa contra las infraestructuras que se despliegan, medida que podría interpretarse como un acto de guerra.

Los resultados de las contramedidas son altamente inciertos (Parker et al., 2018). ¿Podrían, por ejemplo, conducir a un nuevo tipo de conflicto climático o fomentar una “carrera armamentista” de despliegue y contradespliegue cada vez más acelerado? La capacidad de contrarrestar el despliegue podría ser una

herramienta política útil, tanto en relación con el control de la gestión sostenible de los recursos naturales como en el marco más amplio del proceso político mundial y la amenaza de utilizar contramedidas podría ser un elemento disuasorio. ¿Quién debería o podría controlar el acceso a cualquier futura contramedida, los países individuales que se sienten amenazados o quizás un servicio climático internacional bajo los auspicios de un tratado o acuerdo?

Militarización e interés militar

Históricamente ha habido un interés militar en las técnicas de modificación del clima, por ejemplo, la Operación Popeye durante la guerra de Vietnam trató de influir en los patrones de lluvia para interrumpir las capacidades de transporte y comunicación. Briggs (2013) sugiere que la naturaleza menos “controlable” o susceptible de convertirse en objetivo de la SAI, combinada con la controversia que se asocia con la MRS, la hace poco atractiva como arma militar. Sin embargo, podría darse el caso de que, si se produjera cualquier despliegue futuro, sería realizado por cuerpos militares utilizando infraestructura militar. La MRS puede, por lo tanto, integrarse en intereses estratégicos y geopolíticos internacionales más amplios (Nightingale y Cairns, 2014). Esto podría acarrear problemas a la MRS, incluso cuando se utilice sin intención maliciosa o estratégica. Como una pieza potencial de infraestructura supercrítica de la que dependiera el clima global (dada la amenaza del problema de la terminación), la MRS puede convertirse en el blanco de medidas de seguridad para protegerse contra grupos civiles críticos, sabotadores ecológicos, terroristas, operaciones estatales o catástrofes naturales. El vínculo entre la MRS y las instituciones y agentes de seguridad probablemente se vería fortalecido por esta dinámica.

Conflicto y guerra

Si la MRS se desplegara unilateralmente, o la desplegara un colectivo de estados o mediante otro tipo de acuerdo y causara, o se percibiera que ha causado un daño ambiental a gran escala cambiando perjudicialmente, por ejemplo, el monzón y afectando a millones de personas. No existen instrumentos jurídicos que legitimaran las acciones militares contra quienes hubieran desplegado y hubieran causado daños (Chalecki y Ferrari, 2018).

Cualquier represalia, bajo la doctrina de la guerra justa, tendría una validez cuestionable. Si bien los estados tienen derecho a defender su soberanía, actualmente existe cierta incertidumbre sobre los derechos de los estados a la soberanía ecológica, aunque hay algunas limitaciones a la soberanía de los estados individuales que se derivan del deber de evitar dañar la soberanía de otros. Además, mientras que en un escenario extremo la MRS podría crear una guerra como un daño ambiental, esto habría ocurrido sin que hubiera habido ningún evento que se reconociera como una guerra en los términos del Protocolo de Ginebra, creando una contradicción para los principios actuales del “Derecho de la Guerra” (Chalecki y Ferrari, 2018). Cualquier represalia con fuerzas de seguridad sería difícil de justificar legalmente y requeriría nuevas interpretaciones de los principios subyacentes de la guerra justa, es decir, causa justa, intención correcta, autoridad adecuada, probabilidad de éxito, proporcionalidad, no combatientes, último recurso y justicia comparativa. Ninguno de los cuales, en el caso de los daños derivados de la MRS, puede abordarse mediante la comprensión normal del conflicto (Chalecki y Ferrari, 2018). ¿Quiénes son, por ejemplo, los no combatientes y cómo se podría lograr la justicia comparativa? Sin embargo, las normas e innovaciones jurídicas surgen de manera inesperada, a menudo en respuesta a acontecimientos dramáticos, por ejemplo, como se vio a raíz de los ataques terroristas del 11 de septiembre. Por lo tanto, puede ser posible que la comunidad internacional resuelva rápidamente una posición jurídica a la luz de una respuesta militar amenazada o real a la MRS.

Impacto de terminación

Como se ha señalado anteriormente, tanto el MCB como la SAI conllevan un riesgo potencial conocido como choque de terminación (Jones et al., 2013). Si se terminara rápidamente el despliegue de cualquiera de los dos enfoques de MRS, la modelización del clima indica que las temperaturas globales “rebotarían”, calentando rápidamente el clima mundial. Este rápido calentamiento podría tener implicaciones significativas, por ejemplo, en el clima, en los patrones de precipitación y en el número y la escala de eventos extremos (Jones et al., 2013). Además, la biodiversidad se vería afectada ya que las especies, si bien se adaptan a un cambio climático lento, se ven gravemente afectadas por un cambio rápido (Shah, 2014). El efecto ya se está viendo en partes del mundo con las actuales tasas de calentamiento, que son sustancialmente más lentas que los cambios que probablemente ocurran con la terminación abrupta de la MRS (Shah, 2014). La alteración del clima y de

los ecosistemas asociados en la escala posible plantearía desafíos significativos para la humanidad, mucho más difíciles que los del cambio climático hasta la fecha y probablemente daría lugar a profundas tensiones geopolíticas. Sin embargo, la terminación abrupta podría ser un escenario poco probable.

Si un estado que despliegue una MRS terminara su programa de MRS, sufriría algunas de las consecuencias de la terminación experimentada por otros países. El país que despliegue la MRS, si se enfrentara a una amenaza grave de otras naciones podría considerar la terminación rápida como una contraamenaza. De lo contrario, el calentamiento mutuamente asegurado y los daños asociados, y las posibles medidas compensatorias como las sanciones económicas y de otro tipo impuestas por la comunidad mundial, sugieren que hay muy pocas circunstancias, si es que hay alguna, en las que un estado que realice el despliegue decida poner fin a la situación (Parker e Irvine, 2018). Sin embargo, es probable que esta propensión a evitar la terminación se debilite si los estados que despliegan la MRS son también más ricos y más avanzados tecnológicamente y, por lo tanto, también entre los más capaces de adaptarse a los efectos de los cambios repentinos de temperatura. No obstante, la amenaza de un choque de terminación sería menor si más de un estado tuviera acceso a la capacidad de MRS. Si este fuera el caso, cualquier decisión de terminar por parte de un país podría ser contrarrestada por un segundo país con capacidad de MRS que decidiera el despliegue para estabilizar el clima.

Baum et al., (2013) han sugerido que un colapso social total que lleve a una crisis existencial o extrema para la humanidad, provocada, por ejemplo, por una guerra nuclear, podría dejar a los supervivientes sin la capacidad de mantener la MRS. El choque de terminación resultante podría entonces poner aún más tensión en la población restante creando una “doble catástrofe” (Cairns, 2014). Un mundo con despliegue de MRS podría por tanto ser menos resistente a los choques sistémicos. Es un reto imaginar un sistema de gobernanza que sea capaz de hacer frente a circunstancias tan extremas.

Posicionamiento geopolítico

Podrían surgir riesgos de seguridad de la capacidad de MRS si los países o alianzas deciden utilizar la sugerencia, o la amenaza de despliegue, para obtener una ventaja estratégica. Este posicionamiento geopolítico podría, por ejemplo, utilizarse para crear presión sobre regiones específicas disputadas y de alto valor como el Ártico, el Himalaya o el Medio Oriente, enfrentando entre sí a actores regionales o incluso globales (Cairns, 2014). Los costos relativamente bajos y el alto aprovechamiento que algunos creen que los métodos de MRS permiten podrían convertir esto en una alternativa a las amenazas tradicionales, especialmente para las potencias que de otra manera no podrían proyectar el poder, aunque la imprecisión de los efectos contribuiría a que esto fuera arriesgado. En tales escenarios, el MCB sería quizás la técnica preferida debido a sus capacidades más controlables que no son inherentes en la SAI. Un despliegue de MCB que es o se sugiere que es capaz de crear sequía en el Oriente Medio, por ejemplo, si la reclamación se ajusta realmente a la verdad, podría crear presión sobre la región para que responda, ya sea cumpliendo cualquier demanda que se haga o tomando represalias de alguna forma. Sin ningún tipo de marco de gobernanza, es difícil percibir cómo se podrían evitar o resolver estos escenarios.

Políticas de estados nacionales

Un país puede decidir invertir en la MRS no solo en respuesta al cambio climático, sino también por razones políticas internas (Morton, 2015). La MRS puede, por ejemplo, ser considerada políticamente atractiva como una expresión del poder estatal debido a su potencial impacto a gran escala, incluso si el despliegue pareciera inviable (de manera similar a las capacidades de las armas nucleares) (Corry, 2017). Quizás, dados los costes esperados tanto del MCB como de la MRS, la rentabilidad en términos de prestigio nacional podría considerarse rentable para algunas administraciones (Symons, 2019). Por tanto, habiendo invertido y desarrollado una capacidad nacional de MRS, las presiones para su despliegue pueden llegar a ser difíciles de ignorar para algunas administraciones (Gardiner, 2010). Una situación que podría crear incertidumbre en la comunidad de la gobernanza mundial del clima.

Lockley (2019) ha sugerido que el uso o la propuesta de uso de MRS podría conducir a disturbios civiles que podrían ir desde la protesta hasta la acción directa contra la infraestructura de MRS y las cadenas de suministro. Dichas actividades podrían ser coordinadas internacionalmente y podrían extenderse a intervenciones terroristas. Cualquier respuesta terrorista podría ir en contra de las operaciones de la MRS, de las concentraciones de personas, figuras políticas o puntos de referencia, con los terroristas actuando en “nombre” de aquellos que experimentan los efectos negativos del despliegue de la MRS. Lockley (2019) también sugiere que los terroristas podrían optar por tratar de dañar la infraestructura de la MRS en protesta por otras

injusticias percibidas que no están relacionadas con la MRS o el cambio climático.

Riesgo moral y disminución de la cooperación internacional

Stilgoe (2015) y otros han discutido el tema del riesgo moral. La idea de que el efecto de enfriamiento de la MRS podría proporcionar a ciertos grupos de interés una excusa para continuar usando los combustibles fósiles a las tasas actuales o incluso aceleradas. Esto también podría ocurrir como resultado de la modelización teórica si la promesa de la MRS identificada en los estudios de modelización disuade de la reducción de las emisiones a corto plazo reduciendo el costo social futuro percibido del carbono.

La labor realizada por la comunidad internacional a lo largo de muchos años para desarrollar entendimientos, principios, normas y objetivos comunes, como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en relación con el cambio climático, ha sido un poderoso mecanismo de diplomacia mundial (Depledge, 2005). Aunque todavía no han encontrado soluciones completas al cambio climático, han desempeñado un papel importante en la geopolítica ayudando a reunir a los estados en torno a un desafío común y, a través de ello, han desarrollado nuevos entendimientos y relaciones (Bulkeley, 2010). Si, como sugirió Morton (2015), la MRS condujera a un deterioro de la diplomacia climática internacional y a un nuevo marco de la relación de la comunidad mundial con el CO₂ y la necesidad de su reducción, esos poderosos mecanismos de discusión global podrían verse disminuidos. Puede que se perciba la necesidad de discusiones multilaterales menos urgentes, o que la MRS pueda desencadenar una actitud más adversa a los daños climáticos y a la culpa por los eventos climáticos si la MRS introduce un “culpable” más directo en las negociaciones climáticas globales, o de otra manera diluye la fuerza de las relaciones y el entendimiento mutuo. Por el contrario, es posible que la MRS impulse la diplomacia climática mundial (Keith y Parker, 2013), pero al introducir nuevos antagonismos es más probable que se erosione la capacidad futura de trabajar para proteger el clima mundial u otros entornos y cuestiones asociadas. Tal escenario podría tener posibles implicaciones inciertas para la futura política global, no solo en relación con el medio ambiente, sino también en un sentido más amplio. Sin embargo, Morrow (2019) sugiere que los programas de investigación de la SAI impulsados por la misión podrían, si se les da la forma adecuada, no solo transmitir los conocimientos sobre los efectos del despliegue de la SAI, sino también promover la justicia, la legitimidad y reducir la probabilidad de que surja un escenario de riesgo moral.

Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas

En el contexto de la serie de posibles escenarios que teóricamente podrían surgir como resultado de las amenazas de despliegue o de cualquier despliegue real de la MRS, el Secretario General de las Naciones Unidas y el Consejo de Seguridad pueden ser incluidos en el proceso de gobernanza (Jamieson, 2013). La responsabilidad del Consejo de Seguridad de trabajar para mantener la paz y la seguridad internacionales se establece en el Capítulo VII de la Carta de las Naciones Unidas, que permite al Consejo “determinar la existencia de toda amenaza a la paz, quebrantamiento de la paz o acto de agresión y emprender acciones militares y no militares para restablecer la paz y la seguridad internacionales” (ONU, 2019).

Como parte de su función, el Consejo puede, bajo los auspicios del Artículo 42 de la Carta de las Naciones Unidas, recomendar métodos de ajuste o términos de arreglo y puede imponer sanciones o el uso de la fuerza para mantener o restaurar la paz.

Desde que se planteó por primera vez en abril de 2007, cuando el Consejo celebró su primer debate público para examinar las posibles consecuencias del cambio climático para la paz y la seguridad internacionales (Chalecki y Ferrari, 2018), la cuestión de si el Consejo es un órgano adecuado para debatir el cambio climático ha sido objeto de controversia. El tema aún no está claramente resuelto, a pesar de un debate abierto del Consejo de seguridad, celebrado en enero de 2019, que analizó los impactos de los desastres relacionados con el clima en la paz y la seguridad internacionales (ONU, 2019). Cualquier decisión del Consejo de actuar contra una amenaza o un despliegue de MRS podría crear tensiones en el sistema de las Naciones Unidas.

Secretario General de las Naciones Unidas

Hasta la fecha, la MRS no ha irrumpido en el pensamiento actual de la ONU. Por ejemplo, el Informe del Secretario General de la ONU de 2018, titulado “Lagunas en el derecho ambiental internacional y en los instrumentos relacionados con el medio ambiente: hacia un pacto mundial para el medio ambiente” (UNSG, 2018), solicitado por la Resolución de la Asamblea General (A/RES/72/277) en respuesta a una solicitud de Francia en 2017 para que la

ONU creara un “Pacto Mundial para el Medio Ambiente”, solo menciona de pasada las tecnologías que alteran el clima en una discusión sobre la diversidad biológica y no hay ninguna referencia en absoluto a la MRS.

Dada esta limitada referencia a la MRS dentro del sistema de las Naciones Unidas hasta la fecha, es poco probable que el Departamento de Operaciones de Mantenimiento de la Paz, el departamento de las Naciones Unidas encargado de la planificación, preparación, gestión y dirección de las operaciones de mantenimiento de la paz, ni el Departamento de las Naciones Unidas de Asuntos Políticos y de Mantenimiento de la Paz (DPPA, por sus siglas en inglés), que busca prevenir y resolver conflictos mortales en todo el mundo, tengan la MRS en sus radares. Ciertamente, ninguno de los dos ha publicado hasta la fecha ningún material relacionado con el tema. Por lo tanto, es difícil predecir cómo el Secretario General de las Naciones Unidas o el Consejo de Seguridad podrían responder a la disponibilidad de la MRS o a cualquier escenario potencial que dé lugar a cuestiones o preocupaciones geopolíticas o de seguridad.

Actores no estatales

Las estimaciones de costos actuales de la MRS sugieren que el despliegue puede ser asequible para otros actores que no sean países (Crutzen, 2006; Smith y Wagner, 2018). Se ha sugerido que las grandes corporaciones o individuos conocidos como “Greenfinger” (mecenas ecológicos) (Victor, 2008) que actúan solos o incluso a través de una iniciativa financiada de “crowdfunding” podrían tener capacidad de despliegue de la MRS en el futuro (Morton, 2015). Cuáles podrían ser las motivaciones para tal despliegue, o cómo podría responder la comunidad global a los despliegues de tales grupos, y qué implicaciones geopolíticas, si las hubiera, podrían no estar claras (Horton, 2019). Por ejemplo, ¿cómo respondería la comunidad mundial a un colectivo internacional de activistas financiado o patrocinado por filántropos, que lanzan por su propia decisión globos de microaerosol que se construyen fácilmente a partir de componentes de libre acceso? ¿Cuáles serían las respuestas si el enfriamiento se lograra con efectos positivos, o si el enfriamiento estuviera planteando importantes desafíos ambientales, políticos o incluso de seguridad? Podría producirse una situación más compleja si solo desplegaran activistas de un país y un segundo país, poco amistoso, experimentara efectos negativos.

SECCIÓN III: Instrumentos de gobernanza

Introducción

En la última década ha habido un considerable debate genérico sobre las herramientas e instrumentos de gobernanza de la MRS. De esto, las técnicas que buscan tener un efecto global, como la SAI y el MCB han sido un tema central. Esta sección se centra en la legislación actual y en algunos principios o códigos de conducta clave no vinculantes que se aplican. El propósito de esta sección es destacar las disposiciones más importantes, pero no analizarlas en profundidad. Reynolds (2018), Scott (2013 y 2015) y Redgwell (2011) han elaborado descripciones detalladas del derecho internacional relacionadas con las tecnologías que alteran el clima para quienes deseen seguir explorando. En la tabla 3 se presenta un breve resumen.

Tabla 3 – La aplicabilidad de los instrumentos jurídicos al MCB y a la SAI

Instrumentos legales	Aplicables actualmente	
	MCB	SAI
Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)	Sí	Sí
Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal de 1987	No	Sí, solamente en relación con los aerosoles que dañan el ozono
Convención sobre la modificación ambiental (ENMOD)	Solo si se usa como arma militar	Solo si se usa como arma militar
Convención sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP) Convenio de Londres de 1972 y el Protocolo de Londres de 1996	No	No
Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS)	Sí	No
Convenio de Londres de 1972 y el Protocolo de Londres de 1996	No	No
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	Poco claro	Poco claro
El Acuerdo de París 2015	Potencialmente como un instrumento para ayudar a mejorar la transparencia y discutir los mecanismos de mercado	Potencialmente como un instrumento para ayudar a mejorar la transparencia y discutir los mecanismos de mercado
Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (MARPOL)	No	No

Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)

El CDB de 1993, con 196 partes, tiene tres objetivos principales:

- conservar la diversidad biológica;
- el uso sostenible de la biodiversidad; y
- la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de los recursos genéticos.

El CDB es uno de los pocos convenios que ha abordado directamente las tecnologías que alteran el clima. La atención inicial se centró en las actividades de fertilización del océano cuando, en la novena Conferencia de las Partes (COP, por su siglas en inglés) del Convenio, se adoptó la decisión IX/16 que instaba a los signatarios a “garantizar que las actividades de fertilización de los océanos no se lleven a cabo hasta que exista una base científica adecuada que justifique dichas actividades, incluida la evaluación de los riesgos asociados, y se establezca un mecanismo mundial transparente y eficaz de control y regulación de dichas actividades; con la excepción de los estudios de investigación científica a pequeña escala dentro de las aguas costeras” (CDB, 2008, p.7).

En 2010, con el fin de proteger la diversidad biológica, el CDB fue más allá cuando la Décima Conferencia de las Partes alentó a las Partes, a otros gobiernos y a organizaciones pertinentes, y pidió al Secretario Ejecutivo, que tomara su decisión (X/33(8)(w)) de que “no se llevaran a cabo actividades de geoingeniería relacionadas con el clima que pudieran afectar a la diversidad biológica hasta que hubiera una base científica adecuada que justificara dichas actividades y una consideración apropiada de los riesgos asociados para el medio ambiente y la diversidad biológica y los impactos sociales, económicos y culturales asociados...”. (CDB, 2010, p.5) se toman en consideración cuando se realizan trabajos sobre la biodiversidad y el cambio climático. Cabe señalar, sin embargo, que la recomendación del CDB no incluía estudios de investigación científica a pequeña escala realizados en entornos controlados que ayudaran a identificar los posibles impactos en el medio ambiente. Posteriormente, las COP 11 y 13 reafirmaron esta decisión.

Aunque la posición del CDB parece sólida, no es vinculante para las Partes, ni los Estados Unidos son Parte. El lenguaje utilizado es “suave”, sólo invita a las partes a considerar la orientación en lugar de exigir que las partes cumplan y solo se extiende bajo el mandato del CDB en relación con la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de los recursos biológicos (Reynolds, 2018). La evocación del principio de precaución por parte del CDB puede, sin embargo, ser una importante demostración de la voluntad del derecho internacional de adoptar tales medidas a tiempo. Sin embargo, las limitaciones del CDB también resaltan que los protocolos y convenciones individuales existentes, tal como están estructurados actualmente, solo podrían formar una base incompleta para la regulación global (Redgwell, 2011), lo que constituye un elemento importante de la gobernanza, porque cada una de ellas se aplica a temas y cuestiones específicas y discretas, mientras que la SAI operaría a escala, a través de los límites de los tratados actuales.

Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal de 1987

El Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono de 1985 (PNUMA, 1985) y el Protocolo de Montreal de 1987 (PNUMA, 1987), que han sido ratificados por 197 estados (todos los miembros de la ONU y la UE, la Santa Sede, Niue y las Islas Cook), tienen como objetivo la protección contra el agotamiento de la capa de ozono. Dado que la inyección de aerosoles y, en particular, de sulfatos puede dañar el ozono atmosférico, ambos pueden aplicarse a la SAI. Sin embargo, en esta etapa no está claro si la SAI puede dañar la capa de ozono o en qué medida puede hacerlo (Keith, 2018), por lo que el alcance de su aplicabilidad a la SAI tampoco está claro. Una reciente solicitud al Protocolo de Montreal para preparar un informe que analice los posibles impactos de la SAI sobre el ozono podría ayudar a aclarar este tema.

Convención sobre la modificación ambiental (ENMOD)

La ENMOD de 1977 (ONU, 1977), formalmente la Convención de 1976 sobre la Prohibición de Uso Militar y Otros Usos Hostiles de Técnicas de Modificación Ambiental, prohíbe el uso intencional de modificación ambiental por una parte contra otra con fines hostiles, y prohíbe terminantemente el uso de guerra climática, actividades que han sido previamente emprendidas por los EE.UU. durante la Guerra de Vietnam (Hersh, 1972). No se espera que la ENMOD sea aplicable a la SAI a menos que se utilice como arma militar en primera instancia. Aunque existe la posibilidad de que la SAI se utilice de esta forma (Brzoska et al., 2012), generalmente se considera poco probable (Rayner, 2017). En segundo lugar, la Convención tiene un alcance limitado, ya que solo ha sido firmada por 73 países, lo que deja a muchos países no firmantes con libertad para actuar, entre ellos Francia, miembro permanente del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas.

Convención sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP)

La CLRTAP (CLRTAP, 1979) entró en vigor en 1983. Se implementó mediante el Programa Europeo de Supervisión y Evaluación, bajo la dirección de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. La Convención incluye 22 contaminantes, la mayoría de los cuales son plaguicidas e insecticidas. Actualmente hay 51 signatarios y, como tal, la convención sufre de los mismos retos de cobertura que la ENMOD. Además, ni los sulfatos ni otros posibles aerosoles de SAI, ni las potenciales partículas de MCB están incluidos como contaminantes prohibidos. Por otra parte, la Convención define la contaminación atmosférica transfronteriza como “la contaminación del aire cuyo origen físico esté situado total o parcialmente en el área bajo la jurisdicción nacional de un estado y que tenga efectos adversos en el área bajo la jurisdicción de otro estado a una distancia tal que no sea generalmente posible distinguir la contribución de las fuentes de emisión

individuales o grupos de fuentes" (CLRTAP, 1979, p.2). Dado que si se desplegara la SAI o el MCB, sería posible identificar las fuentes de las partículas (aunque hay que reconocer que esto podría ser una tarea compleja), la Convención, tal como está redactada, sería difícil de aplicar. Dado que la Convención tiene como objetivo la protección contra los contaminantes, esto crea una paradoja en el sentido de que tanto el MCB como la SAI puede que no sean contaminantes, y puede que no sean considerados como tales en el contexto de su función de mitigación de los efectos de los GEI antropogénicos, considerados en sí mismos como contaminantes, aunque no figuren en la Convención.

Convenio de Londres de 1972 y Protocolo de Londres de 1996(LC/ LP)

Conocido como el Convenio de Londres, la Convención sobre la Prevención de la Contaminación Marina a Causa del Depósito de Desechos y Otros Materiales fue adoptado en 1972 y entró en vigor en 1975. El Protocolo de Londres de 1996 entró en vigor en 2006. Los dos instrumentos funcionan en paralelo y cuando se aprobó el Protocolo, las partes acordaron que no se harían más enmiendas a la Convención. El Protocolo aborda directamente el tema de la gestión sostenible de los recursos naturales (así como las tecnologías de EDC) y está evolucionando en el contexto del debate actual sobre la "geoingeniería" marina. El artículo clave es el Artículo 3.1 que requiere que las Partes "...apliquen un enfoque preventivo a la protección ambiental contra el vertido de desechos u otras materias..." y sobre este artículo se incluye una enmienda en el Anexo 4 para incluir la colocación de materias para actividades de "geoingeniería" marina.

Las Partes trataron por primera vez las cuestiones de tecnología que alteran el clima en junio de 2007, con la propuesta de un experimento de fertilización oceánica que pretendía colocar partículas de hierro en los océanos para crear una aceleración en el crecimiento del plancton y, por lo tanto, en la absorción del CO₂ (Brahic, 2007). Posteriormente, en 2008, la resolución LC-LP.1(1) decidió que las actividades de fertilización oceánica distintas de la investigación científica legítima eran contrarias a los objetivos de ambos instrumentos. En 2010, las Partes adoptaron un Marco de evaluación de la investigación científica sobre la fertilización de los océanos (OFAF) (resolución LC-LP.2(2)). Aunque ninguna de las dos resoluciones era legalmente vinculante, en 2013 se adoptaron las enmiendas para regular las actividades de fertilización de los océanos mediante la resolución LP.4(8). Estas enmiendas no se aplican al MCB ni a la SAI. Sin embargo, la decisión de las Partes de incluir enmiendas en el Protocolo en respuesta a una posible tecnología de alteración del clima demuestra que, en caso de que el MCB o la SAI condujeran a la introducción de sustancias potencialmente dañinas en los océanos, las Partes podrían estar dispuestas a ejercer la facultad de regular la investigación o el despliegue de MCB/SAI.

Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS)

La UNCLOS fue aprobada en 1982 y enmendada en 1994 y 1995. Parte XII – Las secciones "Protección y preservación del medio marino" e "Investigación científica marina" de la Parte XIII se ocupan de las obligaciones pertinentes en materia de protección del medio ambiente en el marco de la Convención que se aplican a las actividades del MCB. Los principales artículos son:

- El Artículo 192 establece que los estados tienen la responsabilidad de proteger y preservar el medio ambiente marino;
- El Artículo 192 establece que los estados tienen la responsabilidad de proteger y preservar el medio ambiente marino; Esto incluye la contaminación por GEI y las actividades de "geoingeniería" marina;
- El Artículo 195 prohíbe la transferencia, directa o indirecta, de peligros o contaminantes de una zona a otra;
- El Artículo 204(2) exige a los estados que controlen las actividades que permitan para determinar si pueden causar contaminación;
- El Artículo 206 exige a los estados que evalúen los posibles efectos de sus actividades si hay motivos para creer que estas pueden causar contaminación o daños;
- El Artículo 210(6) exige el cumplimiento del Convenio/Protocolo de Londres en materia de vertidos;
- El Artículo 240(d) exige a los estados que garanticen que la investigación científica marina, realizada en o bajo sus áreas de jurisdicción o en alta mar, cumpla con las disposiciones de protección del medio ambiente marino de UNCLOS;
- El Artículo 257 otorga a los estados y a las organizaciones internacionales competentes el derecho a llevar a cabo investigaciones científicas marinas en los mares más allá de los límites de la zona económica exclusiva (ZEE), es decir, dentro del patrimonio mundial; y
- El Artículo 263 responsabiliza a los estados y a las organizaciones internacionales competentes de garantizar que la investigación se lleve a cabo de conformidad con la Convención.

Los Artículos 257 y 263 plantean cuestiones interesantes sobre: quién decide qué es y qué no es ciencia legítima; quién y por qué mecanismos mantienen los estados el control de la ciencia cuando el equipo, la financiación y la información estén ampliamente disponibles; y, ¿cómo se puede esclarecer el despliegue y la investigación para los fines de la Convención, por quién y con qué fin? La importancia potencial de las negociaciones de las Naciones Unidas para un nuevo acuerdo internacional en el marco de la UNCLOS es una Convención en evolución y está en marcha un proceso intergubernamental que conducirá a un instrumento internacional jurídicamente vinculante en el marco de la Convención, sobre la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad marina de las zonas que se encuentran fuera de la jurisdicción nacional.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

Adoptada en 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) proporciona un marco general para los esfuerzos intergubernamentales con el fin de hacer frente al cambio climático y puede desempeñar un papel en la gobernanza mundial de las tecnologías que alteran el clima, como la SAI y el MCB en el futuro. Sin embargo, no está claro en este momento cuál podría ser ese papel, si es que lo hay. En este contexto, tres elementos clave de la Convención son:

- Preámbulo - "Afirmando que las respuestas al cambio climático deberían coordinarse de manera integrada con el desarrollo social y económico con miras a evitar efectos adversos sobre este último, teniendo plenamente en cuenta las necesidades prioritarias legítimas de los países en desarrollo para el logro de un crecimiento económico sostenido y la erradicación de la pobreza";
- Artículo 2 - "El objetivo último de la presente Convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes, es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible"; y,
- Artículo 4.1.d - "Promover la gestión sostenible y promover y apoyar con su cooperación la conservación y el reforzamiento, según proceda, de los sumideros y depósitos de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, inclusive la biomasa, los bosques y los océanos, así como otros ecosistemas terrestres, costeros y marinos".

Los Artículos 2 y 4 anteriores se mencionan en el contexto de la preocupación por el riesgo moral de que SAI o MCB, si se despliegan, puedan contrarrestar los esfuerzos para reducir las emisiones de GEI.

El Acuerdo de París 2015

Adoptado en diciembre de 2015, el Acuerdo de París es un acuerdo en el marco de la CMNUCC. El propósito fundamental del Acuerdo es fortalecer la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura mundial en el presente siglo muy por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1,5°C. En un análisis del Acuerdo, Craik y Burns (2016) han sugerido que aunque la SAI no estaría bajo los auspicios del Acuerdo, potencialmente podrían proporcionar los instrumentos y mecanismos de procedimiento para ayudar a satisfacer las demandas de transparencia, proporcionar un foro de debate público sobre el despliegue de SAI y MCB, definir potencialmente los mecanismos de mercado para financiar cualquier despliegue futuro y crear una estructura para su supervisión y verificación. En un análisis posterior de cómo las tecnologías que alteran el clima podrían introducirse con éxito en el ámbito del Acuerdo, Craik y Burns (2019) identifican la necesidad de claridad sobre el funcionamiento de las estructuras de contabilidad e incentivos para las tecnologías.

Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (MARPOL)

Desarrollado por la Organización Marítima Internacional (OMI) para minimizar la contaminación de los océanos y los mares, el Convenio MARPOL se centra en los vertidos, el petróleo y la contaminación atmosférica de los buques. Entró en vigor en 1983 y 156 estados forman parte de la Convención. En general, no se han abordado en la Convención las revisiones de los mecanismos de gobernanza internacional pertinentes a la gestión sostenible de los recursos, aunque Talberg et al. (2017) mencionan el MARPOL en relación con la fertilización de los océanos. Dependiendo de la forma en que la OMI y los signatarios interpreten las partículas de MCB, si alguna vez se despliegan desde los buques, la técnica podría llegar a estar sujeta al Convenio. Sin embargo, no está claro cuál podría ser ese papel.

Gobernanza de la investigación

En la actualidad, ningún investigador está argumentando a favor del despliegue de MRS a escala climática y la mayor parte del trabajo se centra en obtener una mejor comprensión del potencial de la MRS y sus efectos, predominantemente a través de la modelización y la investigación en laboratorio. Algunos también están planeando realizar pruebas de campo, por ejemplo, pruebas de MCB sobre la Gran Barrera de Coral y un despliegue de partículas a muy pequeña escala en la estratosfera. Actualmente, esta investigación se rige por los protocolos de investigación habituales de las instituciones y organismos profesionales. Sin embargo, la investigación de MRS es controvertida y da lugar a muchas preguntas. Esto está, en parte, animando a algunos a promover la idea de un código de conducta voluntario para la investigación en MRS, mientras que en los EE.UU. hay propuestas para que las responsabilidades de supervisión limitadas se entreguen a una agencia científica nacional (véase más abajo).

La Iniciativa de Gobernanza de la Gestión de la Radiación Solar (SRMGI, por sus siglas en inglés), un proyecto internacional impulsado por una ONG que trabaja para expandir la conversación global sobre la gobernanza de la investigación de la gestión de la radiación solar, ha tomado nota de las siguientes preguntas clave (SRMGI, 2019):

- ¿Quién decide si la investigación procede, y qué debe investigarse?
- ¿Quién paga la investigación? ¿Quién se beneficia?
- ¿Qué garantiza que la investigación se lleve a cabo de manera transparente y que todos los resultados se compartan abiertamente?
- ¿Cómo se pueden escuchar las diferentes prioridades de investigación de los diferentes grupos?
- ¿Qué se puede hacer para asegurar que la investigación de MRS no distraiga al público y a los políticos de la tarea de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero?

Con el tiempo, los ensayos de campo pueden producir una perturbación del clima, lo que da lugar a una aplicación de la MRS con efectos y riesgos inciertos y difíciles de predecir (Robock, 2009). El límite de la gobernanza de la investigación/aplicación no está resuelto y se ha cuestionado si debería haber alguna delimitación entre ambos, o si la evolución de la tecnología desde la modelización y la investigación en laboratorio hasta las pruebas atmosféricas a escala debería tratarse como un todo continuo a efectos de gobernanza (SRMGI, 2011 y Parker, 2014). Parsons y Keith (2013) han sugerido que sería apropiado medir el efecto de enfriamiento en vatios por metro cuadrado de trabajo de campo. También se han propuesto otras mediciones, como alguna forma de medir la respuesta social (Sugiyama, 2017). Si se requiere un punto de delimitación, no se sabe con certeza cuál podría ser y quién podría decidir sobre él así como supervisarla y verificarla.

A la luz de los complejos temas asociados con la agenda, varios códigos de conducta no vinculantes han sido desarrollados por aquellos activos en MRS y otras tecnologías que alteran el clima, tales como los Principios de Oxford (Rayner et al., 2009), los Principios de Asilomar para la investigación en técnicas de ingeniería climática (Asilomar, 2010), el Código de conducta para la investigación responsable en geoingeniería (Hubert, 2017) y el Grupo de trabajo académico sobre la gobernanza de la ingeniería climática (Netra et al., 2018). Todos estos principios o códigos reconocen que la transparencia en la toma de decisiones, la participación pública y la publicación abierta de los resultados de la investigación son claves para asegurar el máximo compromiso público y la confianza en la gobernanza de la investigación en MRS (y en las tecnologías que alteran el clima en general). Sin embargo, aunque tales códigos alientan a los investigadores a actuar de manera responsable

y mesurada, dado que son voluntarios y no disponen de medidas de confiscación, no pueden disuadir a un investigador comprometido.

La propuesta de Ley de Investigación de Intervención en el Clima Atmosférico de EE.UU. - H.R.5519 (ACIRA, 2019), si se aprueba, no solo establecería un programa de investigación sobre la alteración del clima en la NOAA, sino que también otorgaría a la Agencia autoridad de supervisión para revisar e informar al gobierno de EE.UU. sobre los experimentos de SAI y MCB. El alcance de estas facultades, si se conceden, sigue sin estar claro en esta etapa en espera de que se aclaren y se discutan durante cualquier avance del proyecto de ley. Sin embargo, existe cierto potencial para la evolución de un nuevo mecanismo de gobernanza de la investigación en los EE.UU. bajo los auspicios del proyecto de ley que otros estados se interesan por él.

Otros foros o procedimientos

Además de los descritos anteriormente, otros foros o procesos que podrían participar en la gobernanza de las tecnologías que alteran el clima son la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Asamblea General de las Naciones Unidas, el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, los estados nacionales, los organismos regionales como la Unión Africana y la Unión Europea, los grupos de investigación, las organizaciones de la sociedad civil, los intereses comerciales y el público.

Conclusiones

Se ha descrito el brillo de nubes marinas y la inyección de aerosol estratosférico, dos tipos de tecnología de modificación de la radiación solar, y se ha analizado su preparación técnica, la investigación actual, los marcos de gobernanza aplicables y otras consideraciones sociopolíticas. En el contexto de este análisis se han abordado una serie de cuestiones geopolíticas, incluidas las cuestiones de seguridad a las que pueden dar lugar las tecnologías, así como la forma en que los instrumentos de gobernanza existentes ayudan o no a abordar esas cuestiones.

Actualmente, no hay medidas, aparte de la influencia diplomática, que impida a los investigadores o a los estados llevar adelante las pruebas de campo o los despliegues a escala climática. Dado que los problemas geopolíticos y de seguridad identificados incluyen el potencial teórico de conflicto militar, el aumento de las tensiones entre países o regiones, la tensión de la diplomacia climática y la cooperación internacional más amplia, el contrarrestar el despliegue con la contestación asociada y los disturbios civiles, se sugiere que se requieran discusiones preliminares sobre cómo se podrían gobernar estas tecnologías.

Referencias

- ACIRA 2019 H.R.5519 - Atmospheric Climate Intervention Research Act. The House of representatives, US. Disponible en <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/5519/text?r=15&s=1>
- AHLM, L. JONES, A. STJERN, C. MURI, C. KRAVITZ, B & KRISTJÁNSSO, J 2017 Marine cloud brightening—as effective without clouds. Atmospheric Chemistry Physics. Vol. 17, 13071–13087. Disponible en <https://doi.org/10.5194/acp-17-13071-2017>
- ALBRECHT, B., A. 1989. Aerosols, cloud physics and fractional cloudiness. Science, 245, 1227-1230. Disponible en <https://science.sciencemag.org/content/245/4923/1227>
- ARMENI, C. & REDGWELL, C. 2015. International legal and regulatory issues of climate geoengineering governance: rethinking the approach. Climate Geoengineering Governance Working Paper Series. 09 March 2015: University College London, University of Oxford and University of Sussex.
- ASAYAMA, S. & HULME, M. 2019. Engineering climate debt: temperature overshoot and peak-shaving as risky subprime mortgage lending. Climate Policy, 19, 937-946. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2019.1623165>
- ASILOMAR 2010. The Asilomar Conference Recommendations on Principles for Research into Climate Engineering Techniques 2010 Prepared by the Asilomar Scientific Organizing Committee November 2010 Climate Institute Washington DC. Disponible en <http://www.climateresponsefund.org/images/Conference/finalfinalreport.pdf>
- BARRETT, S. 2014. Solar geoengineering's brave new world: Thoughts on the governance of an unprecedented technology. Review of Environmental Economics and Policy, 8, 249–269. Disponible en <https://doi.org/10.1093/leep/reu011>
- BARRETT, S. 2019. Some Thoughts on Solar Geoengineering Governance p 33 in Governance of the Deployment of Solar Geoengineering. Edited by Robert N. Stavins and Robert C. Stowe. Cambridge, Mass. Harvard Project on Climate Agreements, February 2019.
- BAUM, S., MAHER JR., T. & HAQQ-MISRA, J., 2013. Double Catastrophe: Intermittent Stratospheric Geoengineering Induced by Societal Collapse. Environment, Systems and Decisions, 33(1), pp.168 – 180
- BELLAMY, R., CHILVERS, J., VAUGHAN, N. & LENTON, T. 2012. A review of climate geoengineering appraisals. Wiley Interdisciplinary Review of Climate Change, 3, 597-615. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wcc.197>
- BELLAMY R, LEZAU J, PALMER J, 2017 Public perceptions of geoengineering research governance: An experimental deliberative approach Global Environmental Change Volume 45, July 2017, 194-202. Disponible en <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:d0805ee4-cffd-4de5-a46d-568676f21cf4>
- BERDAHL, M., ROBOCK, A., JI, D., MOORE, J. C., JONES, A., KRAVITZ, B. & WATANABE, S. 2014. Arctic cryosphere response in the Geoengineering Model Intercomparison Project G3 and G4 scenarios. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 119, 1308-1321. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013JD020627>
- BOWER, K. & CHOULARTON, T. 2008. Global temperature stabilization via controlled albedo enhancement of low-level maritime clouds. Philos Trans A Math Phys Eng Sci, 366, 3969-87.
- BRAHIC, C. 2009. Hacking the planet: The only climate solution left? New Scientist.Special report 25 Feb. 2009. Disponible en <https://www.newscientist.com/article/mg20126973-600-hacking-the-planet-the-only-climate-solution-left/>
- BRAUN, C., MERK, C., PÖNITZSCH, G., REHDANZ, K. & SCHMIDT, U. 2018. Public perception of climate engineering and carbon capture and storage in Germany: survey evidence. Climate Policy, 18, 471-484. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2017.1304888>
- BRIGGS, C. M. (2013). Is Geoengineering a National Security Risk? Geo-engineering Our Climate Blog. Disponible en <http://wp.me/p2zsRk-8U>
- BRF 2018. Barrier Reef Foundation. Media release: Reef 'sun shield' trials show promise to prevent coral bleaching. 27 March 2018. Disponible en <https://www.barrierreef.org/latest/news/reef-sun-shield-trials-show-promise-to-prevent-coral-bleaching>
- BRZOSKA, M., LINK, M. & NOTZ, N. 2012. Geoengineering - möglichkeiten und risiken Sicherheit and Frieden, 30, 185 - 193. Disponible en <https://www.nomos-elibrary.de/10.5771/0175-274x-2012-4-185/geoengineering-moeglichkeiten-und-risiken-jahrgang-30-2012-heft-4>
- BUCK, H. 2012. Geoengineering: Re-making Climate for Profit or Humanitarian Intervention? Development and Change, 43, 253-270.
- BUCK, H. J. 2018. Perspectives on solar geoengineering from Finnish Lapland: Local insights on the global imaginary of Arctic geoengineering. Geoforum, 91, 78-86.
- BULKELEY, H. & NEWELL, P. 2010. Governing Climate Change, Manchester, Routledge.

- CAIRNS, R. 2014. Discussion paper: Will Solar Radiation Management enhance global security in a changing climate? Climate Geoengineering Governance Project. Climate Geoengineering Governance Working Paper Series: 016. 12 November 2014. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/30610485.pdf>
- CAN, 2019. CLIMATE ACTION NETWORK Position on Solar Radiation Modification (SRM) September 2019. Climate Action International (CAN). Disponible en http://www.climateactionnetwork.org/sites/default/files/can_position_solar_radiation_management_srm_september_2019.pdf
- CARR, P & PRESTON, C. 2017 Skewed Vulnerabilities and Moral Corruption in Global Perspectives on Climate Engineering Environmental Values 26 (2017): 757-777. Disponible en <https://ideas.repec.org/a/env/journal/ev26ev2630.html>
- CBD 2008. COP 9 Decision IX/16 Biodiversity and climate change. Convention on Biological Diversity. Disponible en <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-09>
- CBD 2010. COP 10 Decision X/33. Convention on Biological Diversity. Disponible en <https://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-10>
- CHALECKI, E. & FERRARI, L. 2018. A New Security Framework for Geoengineering. Strategic Studies Quarterly, 82-106. Disponible en https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/SSQ/documents/Volume-12_Issue-2/Chalecki_Ferrari.pdf
- CLRTAP, U. 1979. UN Convention on Long-range Trans Boundary Air Pollution
- COLLOMB, J. 2019. US Conservative and Libertarian Experts and Solar Geoengineering: An Assessment, European journal of American studies 14-2 2019. Disponible en <http://journals.openedition.org/ejas/14717>
- COOPER, Q. 2011. Engaging with geoengineering. Material World. BBC Radio 4: British Broadcasting Corporation. Disponible en <http://www.bbc.co.uk/programmes/b006qyyb>
- CORRY, O. 2017 The international politics of geoengineering: The feasibility of Plan B for tackling climate change. Security Dialogue. 2017;48(4):297-315. doi:10.1177/0967010617704142
- CRAIK, A. & BURNS, W 2016 Climate Engineering under the Paris Agreement: A Legal and Policy Primer. Special report. Centre for International Governance Innovations. Disponible en <https://www.cigionline.org/sites/default/files/documents/GeoEngineering%20Primer%20-%20Special%20Report.pdf>
- CRAIK, A. & BURNS, W 2019 Climate Engineering under the Paris Agreement. The Environmental Law Reporter. Vol 49 (12) December 2019. Disponible en <https://elr.info/news-analysis/49/11113/climate-engineering-under-paris-agreement>
- CRUTZEN, P. 2006. Albedo Enhancement by Stratospheric Sulphur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma? Climatic Change, 77, 211-220. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-006-9101-y>
- DAILY MAIL. 2011. A helium balloon the size of Wembley Stadium and a 14-mile garden hose: How scientists plan to cool down the planet. The Daily Mail, 1 September 2011.
- DEPLEDGE, J. 2005. The Organization of Global Negotiations: Constructing the Climate Change Regime, Earthscan from Routledge.
- EFFIONG, U. & NEITZEL, R. 2016. Assessing the direct occupational and public health impacts of solar radiation management with stratospheric aerosols. Environmental Health, 15.
- ELLIS-JONES, F. 2017 Great Barrier Reef: Making clouds brighter could help to curb coral bleaching, scientists say, ABC News, 2017. Disponible en <http://www.abc.net.au/news/2017-04-25/cloud-brightening-could-help-cool-great-barrier-reef/8469960>
- ETC 2011. RE: The Stratospheric Particle Injection for Climate Engineering (SPICE) project. Open Letter to Chris Huhne, MP Secretary of State for Energy and Climate Change ed. Disponible en http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/pdf_file/NR%20SPICE%20270911_3.pdf
- EYRING, V., ISAKSEN, I. S. A., BERNTSEN, T., COLLINS, W. J., CORBETT, J. J., ENDRESEN, O., GRAINGER, R. G., MOLDANOVA, J., SCHLAGER, H. & STEVENSON, D. S. 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. Atmospheric Environment, 44, 4735-4771.
- GARDINER, S 2010 'Is arming the future with geoengineering really the lesser evil?' in S. Gardiner et al. (eds) Climate Ethics (Oxford: Oxford University Press), pp. 284-312.
- GeoMIP (2020) Geoengineering Model Intercomparison Project. Information available at <http://climate.envsci.rutgers.edu/GeoMIP/index.html> GESAMP 2019. High Level Review of a Wide Range of Proposed Marine Geoengineering Techniques. GESAMP Reports and Studies. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection. Disponible en <http://www.gesamp.org/publications/high-level-review-of-a-wide-range-of-proposed-marine-geoengineering-techniques>
- GENUS, A. & STIRLING, A. 2018. Collingridge and the dilemma of control: Towards responsible and accountable innovation. Research Policy, 47, 61-69. Disponible en <http://sro.sussex.ac.uk/id/eprint/71319>
- GERTNER, J (2017) Is it O.K. to tinker with the environment to fight climate change? The New York Times. Disponible en <https://www.nytimes.com/2017/04/18/magazine/is-it-ok-to-engineer-the-environment-to-fight-climate-change.html>

- HECKENDORN, P., WEISENSTEIN, D., FUEGLISTALER, S., LUO, B. P., ROZANOV, E., SCHRANER, M., THOMASON, L. W., AND PETER, T. 2009 The Impact of Geoengineering Aerosols on Stratospheric Temperature and Ozone, *Environ. Res. Lett.*, 4, 045108, doi:10.1088/1748-9326/4/4/045108,
- HERSH, S. 1972. Rainmaking is used as weapon by U.S. *The New York Times*, 3 July 1972. Disponible en <https://www.nytimes.com/1972/07/03/archives/rainmaking-is-used-as-weapon-by-us-cloudseeding-in-indochina-is.html>
- HORTON, J. B., REYNOLDS, J. L., BUCK, H. J., CALLIES, D., SCHÄFER, S., KEITH, D. W. & RAYNER, S. 2018. Solar Geoengineering and Democracy. *Global Environmental Politics*, 18, 5-24. Disponible en https://www.mitpressjournals.org/doi/full/10.1162/glep_a_00466
- HORTON, J. 2019. Evaluating Solar Geoengineering Deployment Scenarios in Governance of the Deployment of Solar Geoengineering. Edited by Robert N. Stavins and Robert C. Stowe. Cambridge, Mass.: Harvard Project on Climate Agreements, February 2019.
- HUBERT, A. M., 2017 Code of Conduct for Responsible Geoengineering Research October 2017. Disponible en <https://www.ucalgary.ca/grgproject/files/grgproject/revised-code-of-conduct-for-geoengineering-research-2017-hubert.pdf>
- IPCC 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon SD, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquie M, Averyt KB, Tignor M and Miller HL (eds). Cambridge University Press: Cambridge and New York. Disponible en <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- IPCC 2018. International Panel on Climate Change Special report on Global Warming of 1.5 degrees. Disponible en <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IRVINE, P. J., LUNT, D. J., STONE, E. J. & RIDGWELL, A. 2009. The fate of the Greenland Ice Sheet in a geoengineered, high CO₂ world. *Environmental Research Letters*, 4, 045109. Disponible en https://research-information.bristol.ac.uk/files/34705839/1748_9326_4_4_045109.pdf
- JAMIESON, D. 2013. Some what's, whys and worries of geoengineering. *Climatic Change*, 121, 527-537. Disponible en <https://as.nyu.edu/content/dam/nyu-as/faculty/documents/JamiesonWhysandWherefores.pdf>
- JIANG, J., CAO, L., MACMARTIN, D. G., SIMPSON, I. R., KRAVITZ, B., CHENG, W., VISIONI, D., TILMES, S., RICHTER, J. H. & MILLS, M. J. 2019. Stratospheric Sulfate Aerosol Geoengineering Could Alter the High-Latitude Seasonal Cycle. *Geophysical Research Letters*, 46, 14153-14163.
- JONES, A. 2013. The impact of abrupt suspension of solar radiation management (termination effect) in experiment G2 of the Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(17), pp.9743-9752. Disponible en <http://doi.wiley.com/10.1002/jgrd.50762>
- KEITH, D. W. 2013. *A Case for Climate Engineering*. Boston Review Books. Cambridge, USA, MIT Press.
- KEITH, D. W., WEISENSTEIN, D. K., DYKEMA, J. A. & KEUTSCH, F. N. 2016. Stratospheric solar geoengineering without ozone loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 14910-14914. Disponible en <https://www.pnas.org/content/113/52/14910>
- KELLEY, C. P., MOHTADI, S., CANE, M. A., SEAGER, R. & KUSHNIR, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201421533. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25733898>
- KOSGUI, T. 2011. Climate-economy modelling considering solar radiation management and its termination risk. 1st International Conference on Simulation and Modelling Methodologies, Technologies and Applications. Disponible en <https://www.scitepress.org/Papers/2011/35800/pdf/index.html>
- KRAVITZ, B., MACMARTIN, D. G. & CALDEIRA, K. 2012. Geoengineering: Whiter skies? *Geophysical Research Letters*, 39. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/journal/19448007>
- KRAVITZ, B., WANG, H., RASCH, P., MORRISON, H. & SOLOMON, A. 2014. Process-model simulations of cloud albedo enhancement by aerosols in the Arctic. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 372, 20140052. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25404677>
- KRISHNAMOHAN, K. P. S. P., BALA, G., CAO, L., DUAN, L. & CALDEIRA, K. 2019. Climate system response to stratospheric sulfate aerosols: sensitivity to altitude of aerosol layer. *Earth Systems Dynamics* 10, 885-900.
- LABITZKE, K. G. & VAN LOON, H. 2012. *The stratosphere: phenomena, history, and relevance*, Springer Science & Business Media. Disponible en <https://www.springer.com/gp/book/9783642636370>
- LATHAM, J., RASCH, P., CHEN, C. C., KETTLES, L., GADIAN, A., GETTELMAN, A., MORRISON, H., BOWER, K. & CHOULARTON, T. 2008. Global temperature stabilization via controlled albedo enhancement of low-level maritime clouds. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366, 3969-3987.

- LAWRENCE, C. R. & NEFF, J. C. 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust: A synthesis of direct measurements of dust deposition. *Chemical Geology*, 267, 46-63. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254109000655>
- LIN, A. C. 2012. Does Geoengineering Present a Moral Hazard? *Ecology Law Quarterly* 40, 673. Disponible en <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/eclawq40&div=32&id=&page=>
- LLOYD, I. & OPPENHEIMER, M. 2014. On the Design of an International Governance Framework for Geoengineering. *Global Environmental Politics*, 14, 45-63.
- LOCKLEY, A 2019. Security of solar radiation management geoengineering. *Front. Eng. Manag.* 2019, 6(1): 102–116. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s42524-019-0008-5>
- MCCORMICK, M. P., THOMASON, L. W. & TREPTE, C. R. 1995. Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption. *Nature*, 373, 399-404. Disponible en <https://www.nature.com/articles/373399a0>
- MCDONALD, J., MCGEE, J., BRENT, K. & BURNS, W. 2019. Governing geoengineering research for the Great Barrier Reef. *Climate Policy*, 19, 801-811. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2019.1592742>
- MCLAREN, D.P. 2016 Mitigation deterrence and the “moral hazard” of solar radiation management. *Earth’s Future*, 4: 596-602. doi:10.1002/2016EF000445
- MCLAREN, D.P. 2018. Whose climate and whose ethics? Conceptions of justice in solar geoengineering modelling, *Energy Research & Social Science* 44, 209-221)
- MACKERRON, G. 2014. Costs and economics of geoengineering. *Climate Geoengineering Governance Working Paper Series*. Number 013. Oxford Martin School, University of Oxford, UK. Disponible en <http://www.geoengineering-governance-research.org/perch/resources/workingpaper13mackerroncostsandeconomicsofgeoengineering.pdf>
- MACNAGHTEN, P. & OWEN, R. 2011. Environmental science: Good governance for geoengineering. *Nature*, 479, 293-293. Disponible en <https://www.nature.com/articles/479293a>
- MACNAGHTEN, P. & SZERSZYNSKI, B. 2013. Living the global social experiment: an analysis of public discourse on solar radiation management and its implications for governance. *Global Environmental Change*, 23, 465-474. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378012001483?via%3Dihub>
- MATTHEWS, H. D. & CALDEIRA, K. 2007. Transient climate-carbon simulations of planetary geoengineering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 9,949–54. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17548822>
- 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, AND T. WATERFIELD 2018. Summary for Policymakers. 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*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- MERCADO, L. M., BELLOUIN, N., SITCH, S., BOUCHER, O., HUNTINGFORD, C., WILD, M. & COX, P. M. 2009. Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink. *Nature*, 458, 1014-1017. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19396143>
- MERK, C., PÖNITZSCH, G., KNIEBES, C., REHDANZ, K. & SCHMIDT, U. 2015. Exploring public perceptions of stratospheric sulphate injection. *Climatic Change*, 130, 299-312. Disponible en <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/130169/1/85620837X.pdf>
- MONBIOT, G. 2011. A balloon and hosepipe as the answer to climate change? It’s just pie in the sky. *The Guardian*, 2 September 2011.
- MORROW, D. R. 2019. A mission-driven research program on solar geoengineering could promote justice and legitimacy. *Critical Review of International Social and Political Philosophy*, 1-23
- MORTON, O. 2015. *The planet remade. How geoengineering could change the world*. Granta Books, UK.
- NALAM, A., GOVINDASAMY, B. & MODAK, A. 2017. Arctic Geoengineering: Effects on precipitation in tropical monsoon regions. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-017-3810-y>
- NALAM, A., BALA, G. & MODAK, A. 2018. Effects of Arctic geoengineering on precipitation in the tropical monsoon regions. *Climate Dynamics*, 50, 3375-3395. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-017-3810-y>
- NETRA, C, CHONG D, CONCA K, FALK R, GILLESPIE A, GUPTA A, JINNAH S, KASHWAN P, LAHSEN M, LIGHT A, MCKINNON C, THIELE L P, VALDIVIA W, WAPNER P, MORROW D, TURKALY C, NICHOLSON S., 2018. *Governing Solar Radiation Management*. Washington, DC: Forum for Climate Engineering Assessment, American University. Disponible en <https://doi.org/10.17606/M6SM17>

- NIGHTINGALE, P., & CAIRNS, R. (2014). The security implications of geoengineering: Blame, imposed agreement and the security of critical infrastructure. Arts and Humanities Research Council. Disponible en <http://www.geoengineering-governance-research.org/perch/>
- NISBET, M. C. 2019 Climate Philanthropy and the Four Billion (Dollars, That Is). Issues in science and policy Winter 2019. Disponible en <https://issues.org/wp-content/uploads/2019/01/Nisbet-Sciences-Publics-Politics-34-36-Winter-2019.pdf>
- PARK, C.-E., JEONG, S.-J., FAN, Y., TJIPUTRA, J., MURI, H. & ZHENG, C. 2019. Inequal Responses of Drylands to Radiative Forcing Geoengineering Methods. Geophysical Research Letters, 46, 14011-14020
- PARKER, A. 2014. Governing solar geoengineering research as it leaves the laboratory. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences., 372. Disponible en <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2014.0173>
- PARKER, A., HORTON, J. B., & KEITH, D. W. (2018). Stopping solar geoengineering through technical means: A preliminary assessment of counter-geoengineering. Earth's Future, 6, 1058-1065. Disponible en <https://doi.org/10.1029/2018EF000864>
- PARKER, A & IRVINE, P. 3/11/2018. The Risk of Termination Shock from Geoengineering. Earth's Future, 6, Pp. 456-467. Available at <https://keith.seas.harvard.edu/publications/risk-termination-shock-solar-geoengineering>
- PARKES, B., GADIAN, A. & LATHAM, J. 2012. The Effects of Marine Cloud Brightening on Seasonal Polar Temperatures and the Meridional Heat Flux. ISRN Geophysics, 2012, 7. Disponible en <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/142872/>
- PARSON, E. A., & ERNST, L. N. (2013). International governance of climate engineering. Theoretical Inquiries in Law, 14, 12-23. Disponible en <https://doi.org/10.1515/til-2013-015>
- PARSON, E. & KIETH, D. W. 2013. End the Deadlock on Governance of Geoengineering Research. Science, 339, 1278-1279. Disponible en <https://www.uvic.ca/research/centres/globalstudies/assets/docs/publications/End-the-Deadlock-on-Governance-of-Geoengineering-Research-Parson-and-Keith.pdf>
- PARTHASARATHY, S., RAYBURN, L., ANDERSON, M., MANNISTO, J., MAGUIRE, M. & NAJIB, N. 2010. Geoengineering in the Arctic: Defining the Governance Dilemma Science, Technology, and Public Policy Program. Environmental Research Letters, 4.
- PIELKE, R 2019 When Is Climate Change Just Weather? What Hurricane Dorian Coverage Mixes Up, On Purpose. Forbes, 4 September 2019. Disponible en <https://www.forbes.com/sites/rogerpielke/2019/09/04/when-is-climate-change-just-weather-what-hurricane-dorian-coverage-mixes-up-on-purpose/influence-on-sea-ice-and-climate-system>
- PIDGEON, N., CORNER, A., PARKHILL, K., SPENCE, A., BUTLER, C. & POORTINGA, W. 2012. Exploring early public responses to geoengineering. Philos Trans A Math Phys Eng Sci, 370, 4176-96. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22869796>
- RASCH, P., TILMES, S., TURCO, R., ROBOCK, A., OMAN, L., CHEN, J., STENCHIKOV, G. L. & GARCIA, R. 2008. An overview of geoengineering of climate using stratospheric sulphate aerosols Phil. Trans. Royal Society A, 366, 4007-403.
- RAYNER, S, KRUGER, T. SAVULESCU, J. 2009 The Oxford Principles of geoengineering research. Disponible en <http://www.geoengineering.ox.ac.uk/www.geoengineering.ox.ac.uk/oxford-principles/history/index.html>
- REDGWELL, C. 2011. Geoengineering the climate: Technological solutions to mitigation – failure or continuing carbon addiction? Carbon & Climate Law Review, 5. Disponible en <https://cclr.lexxion.eu/article/cclr/2011/2/177>
- REYNOLDS, J. 2019. Solar geoengineering to reduce climate change: a review of governance proposals. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 475, 20190255. Disponible en <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2019.0255>
- RICKE, K. L., MORGAN, M. G., & ALLEN, M. R. (2010). Regional climate response to solar-radiation management. Nature Geoscience, 3, 537-541. Disponible en <https://doi.org/10.1038/ngeo915>
- ROBOCK, R. 2008. 20 reasons why geoengineering may be a bad idea. Bulletin of the Atomic Scientists 64, 14-18.
- ROBOCK, A., MARQUARDT, A., KRAVITZ, B. & STENCHIKOV, G. L. 2009. The practicality of geoengineering. In: UNIVERSIT, R. (ed.) Submitted to Geophysical Research Letters. Online.
- ROBOCK, A. 2018. Stratospheric Sulphur Geoengineering—Benefits and Risks American Metrological Society 98th Annual Meeting Austin, Texas.
- ROUSE, P. 2018. How to govern the risks of stratospheric aerosol injection solar radiation management. PhD, University of Southampton. Disponible en <https://eprints.soton.ac.uk/424730/>
- ROSS, M. N. & SHEAFFER, P. M. 2014. Radiative forcing caused by rocket engine emissions. Earth's Future, 2, 177-196. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2013EF000160>
- RUSSELL, L., RASCH, P., MACE, G., JACKSON, R., SHEPHERD, J., LISS, P., LEINEN, M., SCHIMEL, D., VAUGHAN, N., JANETOS, A., BOYD, P., NORBY, R., CALDEIRA, K., MERIKANTO, J., ARTAXO, P., MELILLO, J. & MORGAN, M. G. 2012. Ecosystem impacts of

- geoengineering: A Review for developing a science plan. *AMBIO*, 41, 350-369. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3393062/>
- RUSSELL, L. M., SOROOSHIAN, A., SEINFELD, J. H., ALBRECHT, B. A., NENES, A., AHLM, L. WONASCHÜTZ, A 2013. Eastern pacific emitted aerosol cloud experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 709-729. Disponible en <https://arizona.pure.elsevier.com/en/publications/eastern-pacific-emitted-aerosol-cloud-experiment>
- RUTTINGER, L., SMITH, D., STANG, G., TÄNZLER, D., VIVEKANANDA, J., BROWN, O., CARIUS, A., DABELKO, G., DE SOUZA, R.-M., MITRA, S., NETT, S., PARKER, M. & POHL, B. 2015. A new climate for peace - taking action on climate and fragility risks. An independent report commissioned by the G7 members - Submitted under the German G7 Presidency. Disponible en <https://www.newclimateforpeace.org/thematic-reading/risk-briefings>
- RUZ, C. 2011. Scientists criticise handling of pilot project to 'geoengineer' climate. *The Guardian*, 17 November 2011.
- SALTER, S. SORTINO, G. & LATHAM, J. 2008 Sea-going hardware for the cloud albedo method of reversing global warming *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Disponible en <http://doi.org/10.1098/rsta.2008.0136>
- SAREWITZ, D. 2010. Not by experts alone. *Nature*, 466. Disponible en <https://www.nature.com/articles/466688a>
- SHELLNHUBER, H.J., 2011. Geoengineering: the good, the MAD, and the sensible. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(51), pp.20277-8. Disponible en <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3251148&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- SCHRAND, A., HUANG, H., CARLSON, C., SCHLAGER, J., ŌSAWA, E., HUSSAIN, S. & DAI, L. 2007. Are diamond nanoparticles cytotoxic? *The Journal of Physical Chemistry B*, 111, 2-7. Disponible en <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp066387v>
- SCOPEX. 2019. Stratospheric Controlled Perturbation Experiment (SCOPEX) [Online]. 12, Oxford St, Cambridge, MA 02138, USA: Harvard University. Disponible en <https://projects.iq.harvard.edu/keutschgroup/scopex>
- SCOTT, K. N. (2013). International Law in the Anthropocene: Responding to the Geoengineering Challenge. *Michigan Journal of International Law*, 34(2), 309-358. Disponible en <https://repository.law.umich.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1004&context=mjil>
- SCOTT, K. N. (2015). Geoengineering and the marine environment. In R. Rayfuse (Ed.), *Research Handbook on International Marine Law* (pp. 451-472). Edward Elgar Publishing.
- SHAH, A 2014 Climate Change Affects Biodiversity. *Global Issues. Social, Political, Economic and Environmental Issues*. Published 19 January 2014. Disponible en <http://www.globalissues.org/article/172/climate-change-affects-biodiversity>
- SHEPHERD, J. 2009. Geoengineering the climate - science, governance and uncertainty. Royal Society Policy Document October 2009. London: The Royal Society.
- SIMPSON, I. R., TILMES, S., RICHTER, J. H., KRAVITZ, B., MACMARTIN, D. G., MILLS, M. J., FASULLO, J. T. & PENDERGRASS, A. G. 2019. The Regional Hydroclimate Response to Stratospheric Sulphate Geoengineering and the Role of Stratospheric Heating. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 12587-12616. SNGA. 2017. Sierra Nevada Geoengineering Awareness. Disponible en <http://sngawareness.weebly.com/>
- SMITH, W and WAGNER, G 2018 Stratospheric aerosol injection tactics and costs in the first 15 years of deployment *Environmental Research Letters*, Volume 13, Number 1. Disponible en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aee98d>
- SRMGI 2011. Solar radiation management: the governance of research. Environmental Defence Fund, The Royal Society and TWAS. Disponible en https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/projects/solar-radiation-governance/DES2391_SRMGI%20report_web.pdf
- SRMGI 2019. Solar radiation management governance initiative: about the SRMGI Website. Available at www.srmgi.org/
- STAVINS, R & STOWE R 2019 Governance of the Deployment of Solar Geoengineering. Cambridge, Mass.: Harvard Project on Climate Agreements, February 2019. Disponible en https://geoengineering.environment.harvard.edu/files/sgrp/files/harvard_project_sg_governance_briefs_volume_feb_2019.pdf
- STAVINS, R., ZOU, J., BREWER, T., CONTE GRAND, M., DEN ELZEN, M., FINUS, M., et al. (2014). International cooperation: Agreements and instruments.
- IN O. EDENHOFER, R. PICHES-MADRUGA, Y. SOKONA, E. FARAHANI, S. KADNER, K. SEYBOTH, et al. (Eds.), *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (chap. 13, pp. 1001-1082). Cambridge, UK: Cambridge University Press
- STILGOE, J. 2015. *Experiment Earth. Responsible innovation in geoengineering*, Abingdon, Oxford, Earthscan.
- STRAUSS, L. 1954. Too cheap to meter, the great nuclear quote debate. This day in quote 16 September 1954. Disponible en <http://www.thisdayinquotes.com/2009/09/too-cheap-to-meter-nuclear-quote-debate.html>

- SUGIYAMA, M., ARINO, Y., KOSUGI, T., KUROSAWA, A. & WATANABE, S. 2017. Next steps in geoengineering scenario research: limited deployment scenarios and beyond. *Climate Policy*, 1-9. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14693062.2017.1323721>
- SYMONS, J. 2019. *Ecomodernism: technology, politics and climate change*. John Wiley and Sons pp224, ISBN 9781509531226
- TALBERG, A., CHRISTOFF, P., THOMAS, S., KAROLY, D. 2018 *Int Environ Agreements* 18: 229.
- TEMPLE, J. 2017. Harvard scientists moving ahead on plans for atmospheric geoengineering experiments [Online]. MIT. Disponible en <https://www.technologyreview.com/s/603974/harvard-scientists-moving-ahead-on-plans-for-atmospheric-geoengineering-experiments/>
- TEMPLE, J 2019 'The US government has approved funds for geoengineering research' MIT Technology Review, 20 December 2019. Disponible en <https://www.technologyreview.com/s/614991/the-us-government-will-begin-to-fund-geoengineering-research/>
- THOMASON, L., BURTON, S., LUO, B. & PETER, T. 2008. SAGE II measurements of stratospheric aerosol properties at non-volcanic levels. *Atmospheric Chemistry Physics*, 8, 983-995.
- TILMES, S. & MILLS, M. 2014. Stratospheric sulphate aerosols and planetary albedo. In: FREEDMAN, B. (ed.) *Global Environmental Change*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- TILMES, S., MILLS, M. J., NIEMEIER, U., SCHMIDT, H., ROBOCK, A., KRAVITZ, B., LAMARQUE, J. F., PITARI, G. & ENGLISH, J. M. 2015. A new Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP) experiment designed for climate and chemistry models. *Geosci. Model Dev.*, 8, 43-49.
- TINGLEY, D. & WAGNER, G. 2017. Solar geoengineering and the chemtrails conspiracy on social media. *Palgrave Communications*, 3, 12. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41599-017-0014-3>
- UN 1977. Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques. Geneva: UN. UN 2019 Security Council Report, Climate Change and Security, January 2019 Monthly Forecast. Disponible en <https://www.securitycouncilreport.org/monthly-forecast/2019-01/climate-change-and-security.php>
- UNEP 1985. The Vienna Convention for the Protection of The Ozone Layer. In: SECRETARIAT, T. O. (ed.). Vienna: UNEP.
- UNEP 1987. The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. In: SECRETARIAT, T. O. (ed.). Montreal, Canada.
- UNSG 2018. Gaps in international environmental law and environment-related instruments: towards a global pact for the environment. United Nations General Assembly Document A/73/419. November. Disponible en <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27070/SGGaps.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- VICTOR, D. 2008. "On the Regulation of Geoengineering." *Oxford Review of Economic Policy* 24 (2): 322-336. Disponible en <http://doi.org/10.1093/oxrep/grn018>
- WAGNER, G., & ZIZZAMIA, D. 2019 Green Moral Hazards. NYU Wagner Research Paper Forthcoming. Disponible en [SSRN: https://ssrn.com/abstract=3486990](https://ssrn.com/abstract=3486990) or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3486990>
- WATSON, M. 2012. Testbed news: A personal statement. SPICE - News. Disponible en <http://www.spice.ac.uk/news/view/testbed-news-SPICE>.
- WEISENSTEIN, D., KEITH, D. & DYKEMA, J. A. 2015. Solar geoengineering using solid aerosol in the stratosphere. *Atmospheric Chemistry Physics*, 15, 11835-11859. Disponible en <https://www.atmos-chem-phys.net/15/11835/2015/acp-15-11835-2015.html>
- WEITZMAN, M. L. 2015. A voting architecture for the governance of free-driver externalities, with application to geoengineering. *Scandinavian Journal of Economics*, 117, 1049-1068. Disponible en <https://doi.org/10.1111/sjoe.2012120>
- WOOD, R. 2018 Marine Cloud Brightening: Science, Feasibility and a Plan for Research. Presentation by Robert Wood Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle at Caltech. Disponible en <http://workshop.caltech.edu/geoengineering/presentations/10-wood.pdf>
- ZHANG, Z., MOORE, J. C., HUISINGH, D. & ZHAO, Y. 2015. Review of geoengineering approaches to mitigating climate change. *Journal of Cleaner Production*, 103, 898-907.



Información detallada sobre las técnicas y su gobernanza está disponible en el **Resumen de políticas de C2G: Gobernanza para la modificación de la radiación solar**