

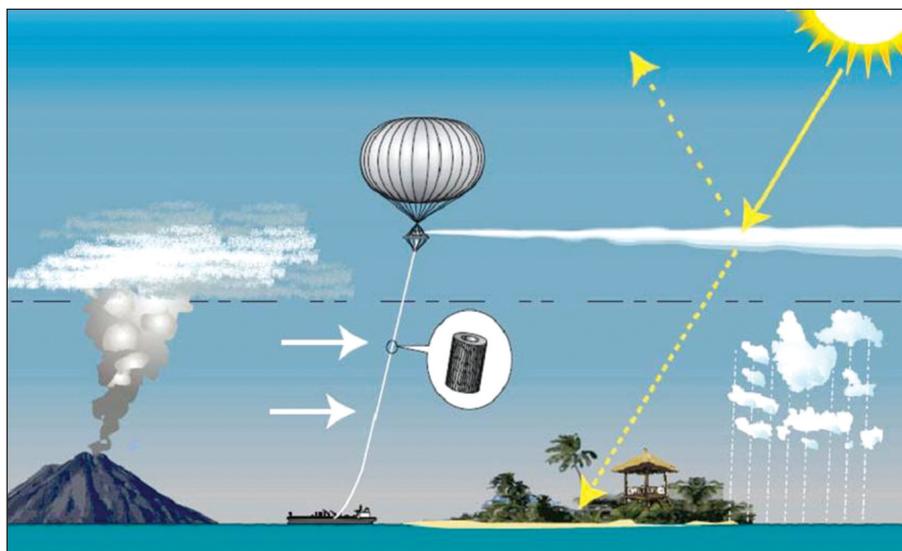
Inyección estratosférica de aerosoles

Descripción y propósito de la tecnología

La inyección estratosférica de aerosoles (SAI, por sus siglas en inglés) es una propuesta teórica de geoingeniería solar para rociar grandes cantidades de diminutas partículas reflejantes en la estratósfera, una capa superior de la atmósfera terrestre, con la meta de bajar algo la temperatura del planeta reflejando la luz solar hacia el espacio. Plantean rociar partículas reflectantes como dióxidos de azufre, sal finamente pulverizada o carbonato de calcio, desde aviones, disparando las partículas desde cañones de artillería o utilizando grandes mangueras para llegar al cielo.

Ninguno de estos enfoques de geoingeniería solar aborda las causas subyacentes del cambio climático. Lo que pretenden es controlar parte de la radiación solar entrante emulando las nubes de polvo ricas en azufre que permanecen en la atmósfera tras grandes erupciones volcánicas. A diferencia de una erupción volcánica, la inyección estratosférica de aerosoles supone la inyección constante de partículas para mantener las capas artificiales.

La inyección estratosférica de aerosoles con dióxido de azufre es la propuesta más estudiada. Simulaciones por computadora sugieren que esta técnica probablemente causaría sequías en África y Asia y estiman que podría poner en peligro las fuentes de alimentos y agua de dos mil millones de personas. Debido a los impactos globales



La inyección estratosférica de aerosoles mediante un globo de gran altitud es una de las propuestas de geoingeniería climática. Ilustración: Hugh Hunt, tomada de Wikipedia.

desiguales y a su potencial para ser convertida en arma, la geoingeniería solar conlleva desafíos insuperables para la gobernanza. Por ello, cientos de organizaciones de la sociedad civil de todo el mundo están haciendo un llamado para la prohibición global de la geoingeniería solar.¹

Actores implicados

La investigación sobre la inyección estratosférica de aerosoles se basa en gran medida en la modelización realizada en el hemisferio norte, en instituciones estadounidenses, como la Universidad de Harvard, y apoyada en gran medida por industrias que extraen y/o queman grandes volúmenes de combustibles fósiles, por multimillonarios y personas adineradas, como Bill Gates. Esas mismas fuentes de financiamiento conformaron el Fondo para el Análisis de Modelado de los Impactos

Dónde interviene	
-------------------------	---



en los Países en Desarrollo para la Gestión de la Radiación Solar (DECIMALS, por sus siglas en inglés), para aparentar que la investigación sobre la inyección estratosférica de aerosoles se ha expandido al hemisferio sur, aunque sólo está sucediendo debido a financiación de una organización del Norte gestionada por una mayoría de promotores de la geoingeniería. El gobierno de Estados Unidos es la fuente de financiamiento público más importante para la investigación y la modelización de la inyección estratosférica de aerosoles a escala global y regional desde 2008.

En 2019, el gobierno de Estados Unidos asignó 4 millones de dólares a la Asociación Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) para realizar investigaciones sobre geoingeniería solar. La inyección estratosférica de aerosoles con dióxido de azufre es uno de los enfoques que explora la NOAA. El único experimento de campo de inyección estratosférica de aerosoles conocido inyectó sulfato en la tropósfera y fue realizado por una institución rusa en 2009.²

SCoPEX: Experimento de inyección estratosférica de aerosoles

David Keith, con sede en la Universidad de Harvard, es el principal promotor de la geoingeniería solar. Tiene inversiones en esta tecnología, ha cabildeado gobiernos y gestiona, junto con Ken Caldeira, el Fondo para la Investigación Innovadora del Clima y la Energía (FICER, por sus siglas en inglés), un fondo multimillonario para la geoingeniería financiado por Bill Gates desde 2007. Keith también comisionó un estudio a una empresa aeroespacial estadounidense que argumenta la viabilidad del despliegue a gran escala de las tecnologías de geoingeniería solar. A principios de 2017, puso en marcha el Programa de Investigación de Geoingeniería Solar de Harvard, con la meta de recaudar 20 millones de dólares de financiamiento de varios multimillonarios y fundaciones privadas, para ejecutar el experimento SCoPEX a cielo abierto.³

Junto con otros ingenieros e investigadores, Keith ha propuesto una serie de experimentos de campo,⁴ entre ellos el "Experimento de Perturbación Estratosférica Controlada" (SCoPEX, por sus siglas en inglés).

// La inyección estratosférica de aerosoles podría modificar el equilibrio radiativo de la Tierra y está asociada a importantes riesgos potenciales e incertidumbres: impactos extremos en fenómenos meteorológicos, ecosistemas, alteración de patrones de lluvia y rendimientos agrícolas; mayor erosión de la capa de ozono, disminución de efectividad de la producción de energía solar, impactos en la salud humana y muchos más. //

El objetivo explícito de este experimento es adquirir más datos para la modelización de la geoingeniería solar y poder predecir los efectos a mayor escala de la inyección estratosférica de aerosoles, mediante el monitoreo de las propiedades de reflectividad de las partículas inyectadas y su impacto en la atmósfera circundante. Prevén pruebas de campo para dispersar partículas de diferentes sustancias químicas desde un globo en la estratósfera a una altura de 20 kilómetros sobre la Tierra. El globo se dirigirá desde tierra y estará equipado con instrumentos científicos, incluyendo sensores para recolección de datos.⁵

Sin embargo, más que un experimento científico, este experimento de geoingeniería solar se ha señalado como un ejercicio de relaciones públicas —un modo de ir construyendo aceptación de los experimentos en el mundo real, con el fin de preparar el camino para pruebas de mayor alcance y duración que lleven en última instancia al despliegue a gran escala de este tipo de geoingeniería.⁶



Los volcanes también inyectan aerosoles en la estratósfera, y tras las erupciones sobrevienen duras sequías y hambrunas.

Foto: R. Clucas, tomada de Wikipedia.

Otros actores

Hay grandes empresas para las que “salvar el mundo” —exclusivamente a través de algún tipo de “solución” tecnológica— se está convirtiendo cada vez más en un requisito estructural para continuar con su negocio, sobre todo cuando dependen en gran medida de los combustibles fósiles. Estas compañías tratan de cambiar las normas políticas para que nociones y actividades antes impensables —como la geoingeniería solar y otras propuestas— empiecen a ser más conocidas y aceptables.

ExxonMobil es una de esas empresas. El Dr. Haroon Khesghi, su asesor científico principal, es la persona de contacto de Exxon en materia de geoingeniería, contratado en el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore.⁷ A través de sus esfuerzos, ExxonMobil ha influido en informes “independientes” sobre geoingeniería y ha financiado un informe que aboga por la remoción de dióxido de carbono y la geoingeniería solar. Khesghi también ha sido autor en varios informes del IPCC y ha sido denunciado por la sociedad civil por esta participación. El ex director general de ExxonMobil y ex Secretario de Estado estadounidense, Rex Tillerson, ha descrito el cambio climático como un “problema de ingeniería” con “soluciones de ingeniería”.⁸

David Hone, cabildero en jefe de Shell, es un evangelista de las “emisiones negativas” y cada vez apoya más abiertamente la geoingeniería solar.⁹ Steve Koonin, por entonces jefe científico de BP, dirigió un proyecto para determinar la viabilidad del hardware para los experimentos de geoingeniería solar.¹⁰

El científico en jefe y vicepresidente de Sistemas Integrados de Defensa de Boeing, David Whelan (antes parte de DARPA), también participa activamente en los debates sobre geoingeniería, afirmando que hay un pequeño equipo en Boeing que estudia la cuestión. Ha puesto en discusión pública la viabilidad técnica de hacer llegar megatoneladas de sulfatos en aerosol a diferentes niveles de la estratósfera mediante aviones o cañones grandes.¹¹

Impactos de la tecnología

Al igual que con todas las tecnologías de geoingeniería solar que sólo abordan las temperaturas globales de la superficie, cabe esperar perturbaciones dramáticas en el sistema climático si se despliega la inyección estratosférica de aerosoles. La inyección estratosférica de aerosoles (SAI) podría modificar el equilibrio radiativo de la Tierra y está asociada a importantes riesgos potenciales e incertidumbres: impactos extremos en fenómenos meteorológicos, ecosistemas, alteración de patrones de lluvia y rendimientos agrícolas; mayor erosión de la capa de ozono, disminución de efectividad de la producción de energía solar, impactos en la salud humana y muchos más.¹² Las primeras investigaciones sobre inyección estratosférica de aerosoles realizadas por el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido descubrieron que la SAI podría provocar una grave sequía en la región africana del Sahel. Aunque los investigadores argumentan que ese efecto negativo podría supuestamente contrarrestarse inyectando partículas también en la estratósfera del hemisferio sur, esto probablemente provocaría falta de lluvias en el noreste de Brasil y otras regiones.¹³

Un reciente estudio de modelización que simula los efectos climáticos de la SAI encontró posibles consecuencias negativas similares. La inyección en el hemisferio norte podría atenuar los huracanes en el Atlántico

Norte, lo que podría ser una buena noticia para el Caribe, pero probablemente crearía más sequías en el África subsahariana y en partes de India. Inyectar aerosoles en el hemisferio sur no crearía sequías, pero sí más huracanes en el Atlántico Norte.¹⁴

El calentamiento regional también es probable, según los resultados del Proyecto de Intercomparación de Modelos de Geoingeniería (GeoMIP) publicado en 2014. En él se planteó que las temperaturas en los trópicos se podrían enfriar como consecuencia de la inyección estratosférica de aerosoles, pero que las latitudes más altas se calentarían y las capas de hielo y el hielo marino del Ártico seguirían disminuyendo, mientras que las anomalías de temperaturas extremas seguirían aumentando.

El llamado efecto de interrupción o “choque de terminación” es otro riesgo importante: “Si la geoingeniería se detuviera de golpe, se produciría un rápido aumento de la temperatura y de las precipitaciones a un ritmo entre 5 y 10 veces superior al del calentamiento global gradual”.¹⁵ Un estudio científico publicado en Nature en 2018 demostró que el choque causado por la interrupción repentina de la geoingeniería solar tendría graves impactos en la biodiversidad. Esto significa que detener la inyección estratosférica



de aerosoles una vez comenzada podría ser más peligroso que la situación antes de iniciarla. El agotamiento de la capa de ozono es otro efecto secundario importante de SAI.¹⁶

Los estudios sobre los impactos de SAI en la salud pública son limitados, pero un análisis reciente sugiere que se pueden esperar impactos adversos. Se sabe poco sobre la toxicidad de algunos de los aerosoles que se han sugerido y no hay consenso sobre cuáles son los niveles aceptables de exposición a estos aerosoles. En caso de que se desplegara la inyección estratosférica de aerosoles hay muy pocas formas de evaluar sus posibles impactos en la salud pública.¹⁷

La geoingeniería solar exagera los desequilibrios de poder a nivel mundial

La perspectiva de controlar las temperaturas globales plantea serias cuestiones de poder y justicia: si la geoingeniería solar funciona, ¿quién puede controlar el termostato de la Tierra y ajustar el clima para sus propios intereses? ¿Quién tomará la decisión de desplegarla a gran escala si se considerara que estas medidas tan drásticas son técnicamente viables, y los intereses de quienes quedarán al margen?

El riesgo de convertir la inyección estratosférica de aerosoles en un arma es considerable. La idea de controlar el clima se originó con las estrategias militares, lo que llevó a la firma de la Convención internacional que prohíbe utilizar técnicas de modificación ambiental con fines militares u otros fines hostiles (ENMOD, por sus siglas en inglés). Los líderes militares de Estados Unidos y otros países han pensado desde hace décadas sobre las posibilidades de manipular el clima para utilizarlo como arma. Que el objetivo explícito de una tecnología sea “combatir el cambio climático” no garantiza que su uso se limite sólo a esa aplicación. El historiador James Fleming sostiene que si alguien puede controlar el termostato de la Tierra, esto puede y será utilizado con fines militares. Incluso antes de su uso hostil, cualquier estado o actor que afirme ser capaz de alterar los patrones climáticos globales tendrá una poderosa moneda de cambio geopolítica con la que amenazar e intimidar.¹⁸

La geoingeniería solar es la excusa perfecta para la inacción ante el cambio climático

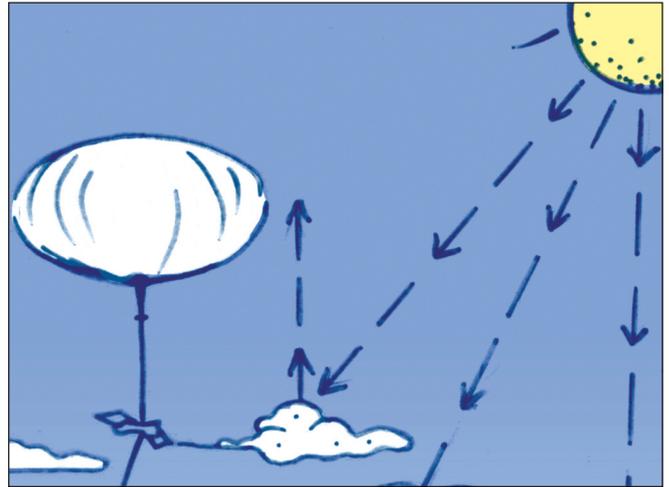
La geoingeniería solar y la geoingeniería en general funcionan como una "excusa perfecta" tanto para negacionistas del cambio climático, como para industrias y gobiernos que buscan evitar los costos políticos de las reducciones de carbono y continuar con sus negocios como siempre. Para quienes buscan paralizar una acción climática significativa, el desarrollo activo de herramientas y experimentos de geoingeniería se presenta como la vía preferida para abordar el cambio climático y se utiliza como argumento para suavizar las restricciones que se deben imponer a las industrias que emiten grandes cantidades de carbono. Esta argumentación ya es usada por centros de estudio conservadores en Estados Unidos, como el American Enterprise Institute.

Además, una vez desplegada la geoingeniería solar, su interrupción repentina provocaría un efecto de terminación que aumentaría rápidamente las temperaturas, creando una situación peor que antes de su despliegue. Por tanto, la geoingeniería solar crearía dependencia y mercados cautivos.¹⁹

La gobernanza de la geoingeniería solar parece ser imposible

Existe una moratoria de facto sobre la geoingeniería relacionada con el clima en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica, que articula claramente la necesidad de un mecanismo regulador global y transparente para la gobernanza antes de que se considere la experimentación. 196 países están de acuerdo en que se requiere un mecanismo multilateral porque reconocen que los impactos potenciales y los efectos secundarios de la geoingeniería estarán injustamente distribuidos.

Dado que la geoingeniería solar podría ser una herramienta para controlar el termostato de la Tierra que usen quienes tienen los recursos legales, económicos y tecnológicos, cualquier paso para hacer realidad esas capacidades debe ser acordado por consenso por todos los miembros de la ONU.



La inyección estratosférica de aerosoles, una técnica de geoingeniería, propone rociar partículas en la atmósfera superior para bloquear la luz solar.

Si todos los gobiernos pudieran ponerse efectivamente de acuerdo sobre una cuestión tan compleja, con tantos aspectos sociales, económicos, ambientales e intergeneracionales en juego, incluyendo cómo y quién asumirá el costo y la carga de los impactos negativos y los daños, y si los países tuvieran la capacidad de aplicar las medidas climáticas necesarias y acordadas, que exigen persistencia y coherencia durante décadas o incluso siglos, posiblemente no existiría la crisis climática, pues podrían haber acordado normas claras y vinculantes para detener el exceso de emisiones antes de que llegaran a la actual situación. Incluso el Acuerdo de París, que parece una milagrosa convergencia de voluntades políticas, sólo duró algunos meses tras entrar en vigor antes de que Estados Unidos, país que es el mayor emisor histórico de gases de efecto invernadero, declarara que no lo respetaría.

El fracaso en lograr una gobernanza climática internacional justa y efectiva es un claro argumento en contra de seguir adelante con la geoingeniería y en particular con la geoingeniería solar, que es profundamente injusta y compleja y para la que hay escasas perspectivas de establecer el acuerdo que se necesitaría para gobernarla. Tal acuerdo requiere ser realmente democrático, tomar las decisiones por consenso, global y multilateral, (en todos esos casos porque de lo contrario, países poderosos o una mayoría puede imponer a otros que sufran los daños) jurídicamente

vinculante y de siglos de duración. Sin un mecanismo de gobernanza justo, una vez desarrolladas las herramientas será extremadamente difícil —o imposible— impedir que actores y gobiernos poderosos las utilicen, para su conveniencia y/o en contra de otros países. Por tanto, la gobernanza más adecuada para la geoingeniería solar es la prohibición.

Nivel de realidad

La inyección estratosférica de aerosoles se considera una forma rápida de geoingeniería del clima. Aunque en varios casos ha habido una oposición exitosa a los experimentos a cielo abierto, limitando la investigación a la modelización por computadora (aunque en Rusia se ha llevado a cabo un experimento de campo de inyección de aerosoles en la tropósfera),²⁰ existe presión constante por parte de algunos actores para normalizar este tipo de investigaciones y experimentos a campo abierto, lo que podría llevar a que la tecnología se desarrolle rápidamente. SCoPEX es el experimento de más alto perfil que se ha planteado sobre geoingeniería solar y ha sido rechazada por pueblos indígenas, organizaciones ambientalistas y de científicos en los sitios donde se ha pretendido realizar.²¹

Más información

Para más información sobre la inyección estratosférica de aerosoles, SCoPEX y la gobernanza de la geoingeniería solar, consulte:

SCoPEX:

<http://www.geoengineeringmonitor.org/2019/08/open-letter-scopex/>

The Big Bad Fix:

<http://www.geoengineeringmonitor.org/2017/12/3087/>

Fuel to Fire:

https://www.boell.de/en/2019/02/13/fuel-fire?dimension1=ds_geoengineering

Why the SDGs Require a Governance Debate Based on Precaution, Rights and Fairness:

<http://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/geoengineering-at-unea-4-why-the-sdgs-require-a-governance-debate-based-on-precaution-rights-and-fairness/>

Notas finales

- 1 Jones et al. (2017), "Impacts of hemispheric solar geoengineering on tropical cyclone frequency", en *Nat. Commun.*, vol. 8 (1382), <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01606-0>; Fuhr (2019), "Geoengineering at UNEA-4: Why the SDGs Require a Governance Debate Based on Precaution, Rights and Fairness", en *IISD, SDG Knowledge Hub*, 5 de marzo de 2019, <http://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/geoengineering-at-unea-4-why-the-sdgs-require-a-governance-debate-based-on-precaution-rights-and-fairness/>; Robock et al. (2010), "A Test for Geoengineering?", en *Science*, vol. 327(5965): 530-531, <http://doi.org/10.1126/science.1186237>
- 2 Stephens y Surprise (2019), "The hidden injustices of advancing solar geoengineering research", en *Global Sustainability*, vol. 3: 1-6, <https://doi.org/10.1017/sus.2019.28>; Grupo ETC y Fundación Heinrich Böll (2020), "Geoengineering Map", <https://map.geoengineeringmonitor.org/>; Kravitz y MacMartin (2020), "Uncertainty and the basis for confidence in solar geoengineering research", en *Nat. Rev. Earth Environ.*, vol. 1: 64-75, <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0004-7>
- 3 Grupo ETC y Fundación Heinrich Böll (2020), "Geoengineering Map: Fund for Innovative Climate and Energy Research (FICER)", <https://map.geoengineeringmonitor.org/other/fund-for-innovative-climate-and-energy-research-ficer/>; Grupo ETC y Fundación Heinrich Böll (2020), "Geoengineering Map: Harvard's Solar Geoengineering Research Program", https://map.geoengineeringmonitor.org/other/harvard_s-solar-geoengineering-research-program/
- 4 Keith et al. (2014), "Field experiments on solar geoengineering: report of a workshop exploring a representative research portfolio", en *Phil. Trans. R. Soc. A*, Vol. 372(2031), <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0175>
- 5 Grupo ETC y Fundación Heinrich Böll (2020), "Geoengineering Map: Stratospheric Controlled Perturbation Experiment (SCoPEX)", <https://map.geoengineeringmonitor.org/Solar-Radiation-Management/stratospheric-controlled-perturbation-experiment-scopex/>

- 6 Pierrehumbert (2017), "The trouble with geoengineers 'hacking the planet'", en *Bulletin of the Atomic Scientists*, 23 de junio de 2017, <https://thebulletin.org/2017/06/the-trouble-with-geoengineers-hacking-the-planet/>
- 7 Zundel (2017), "Trump Administration – A Geoengineering Administration?", reporte del Grupo ETC, 28 de marzo de 2017, <https://www.etcgroup.org/content/trump-administration-geoengineering-administration>
- 8 Associated Press (2012), "Climate change fears overblown, says ExxonMobil boss", en *The Guardian*, 28 de junio de 2012, <https://www.guardian.co.uk/environment/2012/jun/28/exxonmobil-climate-change-rex-tillerson>; Grupo ETC (2017), "Civil society: 'Oil companies should not author IPCC report'", 3 de mayo de 2017, <https://www.etcgroup.org/content/open-letter-ipcc-108-civil-society-organizations>
- 9 Hone (2017), "The geo-engineering taboo", en: *Energy Post*, 26 de junio de 2017, <http://energypost.eu/the-geo-engineering-taboo/>
- 10 Blackstock et al. (2009), "Climate Engineering Responses to Climate Emergencies", Novim, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0907/0907.5140.pdf>
- 11 Fora.tv (2010), "Geoengineering: Global Salvation or Ruin?", podcast producido por Commonwealth Club of California, <https://www.commonwealthclub.org/events/archive/podcast/geo-engineering-global-salvation-or-ruin>
- 12 Kravitz y MacMartin (2020), op. cit.; Robock et al. (2015), "20 reasons why geoengineering may be a bad idea", en *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 64(2):14-59, <https://doi.org/10.1080/00963402.2008.11461140>
- 13 Radford (2013), "Geoengineering could cause drought in Sahel", en *Climate Home News*, 2 de abril de 2013, <http://www.climatechangenews.com/2013/04/02/geoengineering-could-cause-drought-in-sahel/>
- 14 Jones et al. (2017), op. cit.
- 15 Robock (2014), "Stratospheric Aerosol Geoengineering", en *Issues in Environmental Science and Technology*, vol. 38, <http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/RobockStratAerosolGeo.pdf>
- 16 Heckendorn et al. (2009), "The impact of geoengineering aerosols on stratospheric temperature and ozone", en *Environ. Res. Lett.*, vol. 4(4), <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/045108>; Trisos et al. (2018), "Potentially dangerous consequences for biodiversity of solar geoengineering implementation and termination", en *Nature Ecology & Evolution*, vol. 2, <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0431-0>
- 17 Effiong y Neitzel (2016), "Assessing the direct occupational and public health impacts of solar radiation management with stratospheric aerosols", en *Environ. Health*, vol. 15(7), <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0089-0>
- 18 Fleming (2010), *Fixing the Sky: The Checkered History of Weather and Climate Control*, Columbia University Press, Nueva York, ISBN 9780231144131; Stephens y Surprise (2019), op. cit.; Heyen et al. (2019), "Strategic implications of counter-geoengineering: Clash or cooperation?", en *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 95, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.03.005>
- 19 Grupo ETC (2010), "Geopiracy: The Case Against Geoengineering, Comunicado 103", <http://etcgroup.org/content/geopiracy-case-against-geoengineering>; Robock (2014), op. cit.
- 20 Grupo ETC y Fundación Heinrich Böll (2020), "Geoengineering Map: Field experiment in Russia", <https://map.geoengineeringmonitor.org/Solar-Radiation-Management/field-experiment-in-russia/>
- 21 Sitio electrónico de información de organizaciones suecas sobre SCoPEX <https://stopsolareo.org/>