

Geoingeniería en la estratosfera: el auge de la financiación para la investigación en geoingeniería a gran altitud

Febrero 23, 2026



Esta actualización sobre la Inyección Estratosférica de Aerosoles (SAI, por sus siglas en inglés) resume los últimos avances en el [Mapa de la Geoingeniería](#), destacando las nuevas tendencias que deben seguir la sociedad civil y los movimientos por la justicia climática en sus luchas contra la geoingeniería a nivel mundial.

*Este texto es la última parte de una serie de cuatro actualizaciones sobre geoingeniería solar, en las que detallaremos los proyectos de gestión de la radiación solar a distintas distancias entre la Tierra y el Sol, desde la superficie terrestre y a través de las nubes hasta la estratosfera y más allá. Ha sido investigada y redactada por **Anja Chalmin** y publicada con el apoyo del equipo del Monitor de la Geoingeniería.*

Avances críticos que cubre esta actualización:

- A pesar de los enormes riesgos e incertidumbres que rodean su implementación, la financiación para la investigación en geoingeniería solar, en particular la inyección estratosférica de aerosoles (SAI), está aumentando rápidamente: la financiación total para el Manejo de la Radiación Solar (SRM) se triplicó en 2025.
- La empresa emergente israelí y estadounidense Stardust Solutions, con ánimo de lucro, ha recaudado 60 millones de dólares para llevar a cabo experimentos de SAI al aire libre, lo que representa la mayor ronda de financiación jamás realizada para la investigación sobre el SRM.
- La empresa estadounidense Make Sunsets ha anunciado que permitirá el uso libre de regalías de su tecnología SAI patentada, al tiempo que seguirá vendiendo “créditos de enfriamiento” tras el lanzamiento de sus globos.
- La financiación impulsada por empresas, lideradas por multimillonarios de los sectores tecnológico y financiero, ha alcanzado recientemente nuevas cotas, siendo especialmente notables las subvenciones concedidas por la Fundación Simons, que ha lanzado un fondo de 50 millones de dólares, así como por la Fundación Quadrature Climate y Reflective.
- La Iniciativa Degrees ha publicado más estudios que modelan el despliegue de la inyección estratosférica de aerosoles en los peores escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. A menudo, esta información no se divulga de manera transparente, lo que puede generar una percepción sesgada de la tecnología.
- La financiación pública para la geoingeniería solar también creció significativamente en 2025, liderada por el fondo de investigación SRM, de 57 millones de libras esterlinas, de la Agencia de Investigación e Invención Avanzada (ARIA) del Reino Unido, y por el programa de estudio quinquenal del Consejo de Investigación del Medio Ambiente Natural (NERC).
- El uso de la SRM se justifica cada vez más como una forma de evitar puntos de inflexión climáticos

catastróficos. Sin embargo, este planteamiento de riesgo-riesgo no contempla toda la gama de retos medioambientales, sociales, económicos y geopolíticos que ello conllevaría.

- La 20.ª Conferencia Ministerial Africana sobre el Medio Ambiente (AMCEN) y numerosas organizaciones de jóvenes africanos han manifestado su oposición a la SRM debido a los importantes riesgos ecológicos, éticos y geopolíticos que esta plantea.

Introducción: La financiación para la SAI y la SRM en general despegó en 2025

La inyección estratosférica de aerosoles (SAI) es el enfoque más destacado en el manejo de la radiación solar (SRM). Consiste en esparcir grandes cantidades de partículas diminutas y reflectantes, como aerosoles de sulfato, en la capa superior de la atmósfera terrestre para reflejar la luz solar de vuelta al espacio.

La SAI está asociada a riesgos e incertidumbres importantes. Entre ellos se incluyen daños a la salud humana, a los ecosistemas y a la capa de ozono, una reducción de los rendimientos agrícolas y cambios significativos en los patrones de precipitación. No se pueden descartar otras consecuencias no deseadas del despliegue de esta tecnología, ya que los modelos climáticos no pueden captar toda la complejidad de las interacciones y los procesos atmosféricos. Esto se debe, en parte, a que muchas de estas interacciones y procesos aún no se comprenden del todo.

Otro riesgo importante de la SAI es el denominado “choque de terminación”. Para enmascarar los efectos del calentamiento provocado por los gases de efecto invernadero, sería necesario mantener las concentraciones de partículas mediante inyecciones regulares durante el despliegue de la SAI. Sin embargo, la interrupción repentina del despliegue de la SAI provocaría un aumento rápido de la temperatura y cambios en las precipitaciones, con importantes repercusiones en los ecosistemas.

En última instancia, la SAI socavaría las soluciones reales a la crisis climática, ya que incentivaría que los esfuerzos de mitigación climática se centren en soluciones tecnológicas rápidas en lugar de en reducciones reales y profundas de las emisiones.

Esta actualización tecnológica describe el desarrollo comercial de la SAI y aborda el creciente volumen de financiación, en particular, la del sector privado. También se analizan las prioridades de investigación, incluidas las de The Degrees Initiative, y se destaca el creciente número de proyectos de investigación centrados en la preparación para el despliegue de la SAI. Señala que los puntos de inflexión se están convirtiendo en un motor cada vez más importante de la investigación sobre la SAI.

Nuestra investigación muestra que la financiación total para la SRM, de la que la SAI es el componente principal, se triplicó en 2025 respecto a 2024 y que la financiación pública representó la mayor parte del incremento. Estos datos se analizan en detalle en las siguientes secciones de este artículo.

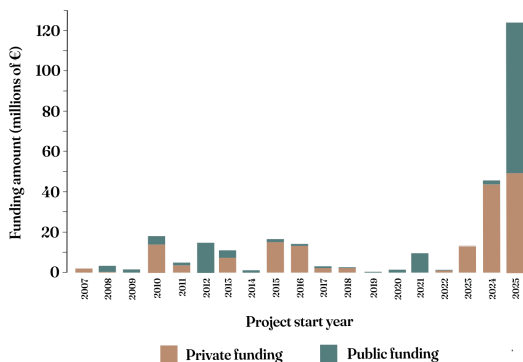


Figura 1: Financiación total anual concedida a proyectos de SRM. Esta cifra se basa en datos de la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (2024) que

abarcen el periodo 2007-2024. Los datos para 2025 han sido añadidos por Geoengineering Monitor e incluyen las siguientes fuentes de financiación (convertidas a euros): ARIA (62,48 millones de euros), NERC (11,55 millones de euros), Stardust Solutions (50,4 millones de euros), ACtIon4Cooling (0,08 millones de euros) y la Fundación Nacional Suiza para la Ciencia (2,28 millones de euros).

Despliegue con fines lucrativos de la SAI: la geoingeniería solar como modelo de negocio

La empresa estadounidense-israelí Stardust Solutions completa la mayor ronda de financiación jamás realizada para experimentos de geoingeniería solar

Stardust Solutions es una empresa emergente con ánimo de lucro, financiada por inversores y fundada en 2023 por los investigadores israelíes Amiad Spektor, Eli Waxman y Yanai Yadov, quien es antiguo científico jefe adjunto de la Comisión de Energía Atómica de Israel. La empresa con fines lucrativos está constituida en Delaware (Estados Unidos). Su sede se encuentra en las afueras de Tel Aviv (Israel).

Los investigadores llevan realizando ensayos en interiores desde 2022 y probando el hardware de SAI en exteriores desde 2024. A partir de 2026, la empresa tiene la intención de llevar a cabo ensayos de campo con el SAI, para lo cual liberará sus partículas reflectantes patentadas desde aviones que vuelan a unos 18 kilómetros sobre el nivel del mar. La ubicación exacta de los ensayos aún no se ha revelado públicamente.

Stardust afirma haber desarrollado un nuevo tipo de partícula reflectante para SAI y está intentando patentarla. Aún no se ha revelado la naturaleza de estas partículas, pero la mpresa anunció que publicaría sus principales conclusiones a principios de 2026. La empresa recaudó 60 millones de dólares en capital riesgo en octubre de 2025 para sus ensayos de campo, lo que constituyó la mayor ronda de financiación jamás realizada por una empresa de SRM. Desde su fundación, Stardust ha recaudado 75 millones de dólares. Entre los principales inversores se encuentran la israelí-canadiense Awz Ventures, un fondo de capital con fuertes vínculos con las agencias militares y de inteligencia israelíes; Lowercarbon Capital, dirigida por el multimillonario tecnológico, inversor de capital riesgo y antiguo ejecutivo de Google Chris Sacca; la sociedad holding holandesa Exor; el antiguo ejecutivo de Facebook Matt Cohler; y las empresas estadounidenses Future Positive, Future Ventures, Never Lift Ventures, Starlight Ventures, Nebular y Lauder Partners. Otros inversores son los grupos británicos Attestor, Kindred Capital, Orion Global Advisors y el fondo de capital riesgo para empresas en fase inicial llamado Earth.Now. En el futuro, Stardust tiene la intención de buscar contratos gubernamentales para el despliegue de SAI.

La empresa estadounidense Make Sunsets permite el uso libre de derechos de la tecnología SAI patentada

Make Sunsets Inc. está a la vanguardia de los esfuerzos para comercializar la tecnología SAI. Su objetivo es crear nubes reflectantes en la estratosfera mediante la liberación de partículas de dióxido de azufre (SO₂). Para ello, se lanzan globos llenos de hidrógeno que transportan aproximadamente 1,7 kilogramos de SO₂ desde el nivel del suelo. Estos globos ascienden hasta la estratosfera, donde se espera que estallen a una altitud de 20 kilómetros o más debido a la disminución de la presión atmosférica, liberando las partículas de SO₂.

La empresa vende "créditos de enfriamiento" basados en este enfoque y afirma que un gramo de SO₂ liberado compensa el efecto de calentamiento de una tonelada de CO₂ durante un año. Sin embargo, la empresa no aporta ninguna prueba científica que respalde esta afirmación. Make Sunsets también afirma que puede "crear un enfriamiento suficiente para compensar el nuevo calentamiento de este año" con 7 millones de dólares estadounidenses en SO₂ y unos costes de implementación de 23 millones de dólares. Una vez más, no hay pruebas científicas que respalden esta afirmación.

En 2022, la empresa estadounidense realizó sus primeros vuelos de prueba desde Baja California (México) sin el

consentimiento del gobierno mexicano ni de las comunidades locales. Tras hacerse públicos estos experimentos, México anunció su intención de prohibir nuevos lanzamientos de globos, por lo que Make Sunsets trasladó los experimentos posteriores a Estados Unidos. La Secretaría mexicana de Medio Ambiente citó pruebas de que las técnicas de SRM no reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y tienen un impacto desigual en el medio ambiente, la salud y las comunidades.

En abril de 2025, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) solicitó información a Make Sunsets, indicando que evaluaría si las actividades de la empresa estaban sujetas a la Ley de Aire Limpio. Esta solicitud se produjo en respuesta a las preocupaciones sobre la contaminación y la necesidad de supervisión regulatoria. El SO₂ es un contaminante regulado por la Ley de Aire Limpio porque la exposición a este gas puede irritar los pulmones y contribuir a problemas ambientales como la lluvia ácida. La información solicitada es principalmente de carácter técnico y jurídico. La EPA sigue revisando la respuesta de Make Sunsets.

En noviembre de 2025, Make Sunsets afirmó haber lanzado más de 200 globos y haber vendido más de 200 000 “créditos de enfriamiento” a alrededor de mil clientes. Más del 70% de estas ventas se realizaron a dos clientes no revelados. La mayoría de los lugares de lanzamiento de globos se encuentran en Nevada y California (EE. UU.), pero no todos se han dado a conocer al público.

En diciembre de 2025, Make Sunsets anunció que se le había otorgado su primera patente en Estados Unidos. Dicha patente cubre un sistema basado en globos diseñado para transportar un contenedor recargable de SO₂ desde una estación terrestre hasta la estratosfera. Una vez allí, el SO₂ líquido se evapora y se dispersa. El sistema puede funcionar desde múltiples estaciones terrestres. El contenedor puede almacenar y liberar líquido a presión y puede rellenarse. Un sistema de ajuste de elevación y propulsores de dirección permite subir o bajar el contenedor entre las estaciones terrestres y la estratosfera.

Make Sunsets concede a las empresas el uso gratuito de la tecnología, siempre que liberen menos de una tonelada de SO₂ a la atmósfera al año. Las empresas que deseen liberar más de una tonelada deberán obtener una licencia. Además del lanzamiento de globos, se han propuesto otros métodos de despliegue, como aviones con una capacidad de carga útil de 4 toneladas y tubos aéreos amarrados al suelo que ascienden hasta la estratosfera.

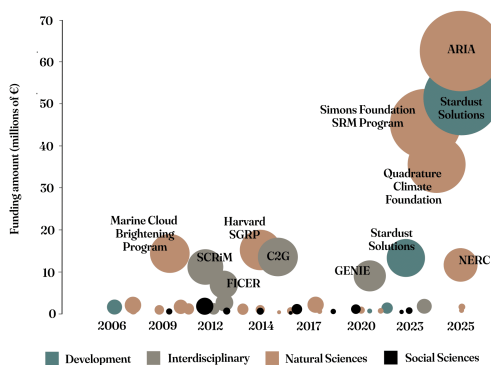


Figura 2: Tamaño de los proyectos de SRM en función de la financiación. Esta cifra se basa en los datos de la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (2024) correspondientes al periodo 2007-2024. Los datos de 2025 han sido añadidos por el Monitor de la Geoingeniería e incluyen las siguientes fuentes de financiación (en euros): ARIA (62,48 millones), Quadrature Climate Foundation (36,9 millones), NERC (11,55 millones), Stardust Solutions (50,4 millones), ACtIon4Cooling (0,08 millones) y la Fundación Nacional Suiza para la Ciencia (2,28 millones).

La financiación corporativa para la investigación

sobre el SRM crece a pasos agigantados

La Fundación Simons ha concedido 50 millones de dólares para financiar la investigación sobre el SRM

En 2024, la Fundación Simons, fundada por el matemático y gestor de fondos de cobertura James Simons y su socia Marilyn Simons, otorgó 14 subvenciones en apoyo de la SRM, proporcionando hasta 10 millones de dólares al año hasta 2029. Esta suma no tuvo precedentes en todo el período 2007-2023 (véase la Fig. 2). Las subvenciones respaldan diez proyectos de investigación sobre SAI, así como la investigación sobre el adelgazamiento de las nubes de fase mixta y cirros.

Estos proyectos son los siguientes:

- La Universidad de Washington investigará el uso de aerosoles de calcita y óxido de aluminio para la SAI
- La Universidad de Washington tiene como objetivo reforzar los modelos existentes sobre la evolución de la pluma de la SAI
- La Universidad de Harvard tiene como objetivo identificar alternativas al ácido sulfúrico para la SAI
- La ETH de Zúrich modelará y estudiará experimentalmente los procesos atmosféricos implicados en la SAI, incluidas las alternativas al ácido sulfúrico
- La Universidad de Columbia utilizará un tubo de flujo de aerosoles para investigar los aerosoles propuestos para la SAI a temperaturas estratosféricas
- La Universidad de Ciudad del Cabo, en Sudáfrica, investigará aerosoles alternativos para su uso en la SAI, incluyendo diamantes triturados, polvo, calcita y otros candidatos
- La Universidad McGill, en Canadá, estudiará las propiedades microfísicas de las partículas de aerosol en condiciones estratosféricas en un laboratorio
- El Observatorio Meteorológico Físico de Davos / Centro Mundial de Radiación en Suiza investigará los procesos químicos asociados con los aerosoles alternativos para la SAI
- El Centro Nacional de Investigación Atmosférica investigará aerosoles alternativos para su uso en la SAI y su impacto en el ozono y la formación de nubes de hielo
- La Universidad de Princeton modelará una nueva estrategia de SRM que tiene como objetivo alterar las temperaturas estratosféricas y comparará los resultados con la SAI

La Fundación Quadrature Climate (QCF) destina 37 millones de euros a la investigación sobre SRM

Fundada en 2019, la QCF se financia con los beneficios del fondo de cobertura Quadrature Capital, que cuenta con una participación de 170 millones de dólares en empresas de combustibles fósiles. En 2024, la QCF anunció planes para destinar 37 millones de euros a la investigación sobre SRM a lo largo de tres años, lo que representa menos del 5% de su cartera de financiación de 930 millones de dólares.

En mayo de 2025, la iniciativa de Ingeniería de Sistemas Climáticos (CSEI) de la Universidad de Chicago recibió una subvención de 5 millones de dólares de QCF para apoyar la investigación sobre SRM. La subvención permitirá a investigadores de la Universidad de Chicago, la Universidad Estatal de Colorado, la Universidad de Harvard, la Universidad de Hawái, la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign y socios de importantes empresas de ingeniería investigar la SAI.

Los temas de investigación incluyen:

- Opciones de aeronaves para la liberación de aerosoles en la estratosfera utilizando tanto tecnologías establecidas como novedosas, la adaptación de aeronaves existentes y el examen de la logística de la manipulación y el transporte del azufre.
- Modelización para reducir la incertidumbre sobre cómo se forman las partículas de aerosol en la estela de las aeronaves.
- Exploración de formas de aumentar la capacidad mundial para monitorear los aerosoles en la estratosfera.

- Evaluación de la eficacia de la SAI y sus posibles consecuencias.

QCF también apoya la iniciativa “The Degrees Initiative”, la Universidad de Exeter (750 000 libras esterlinas en 2024), la investigación sobre la respuesta de los indicadores climáticos en escenarios de SAI y las condiciones de cultivo de los cultivos de lujo tras la implementación de SAI.

Reflective, con sede en EE. UU., financia investigaciones que modelan el despliegue de la SAI cerca de los polos

Reflective es una organización de investigación financiada con fondos filantrópicos, con sede en el área de la Bahía de San Francisco, California. Su misión es *“acelerar radicalmente el ritmo de la investigación y el desarrollo tecnológico de la SAI, de modo que el mundo cuente con los datos y las herramientas necesarios para tomar decisiones informadas sobre la SAI”*. Reflective considera que la SAI es un medio eficaz para mitigar el impacto del cambio climático y evitar puntos de inflexión. Esta postura no es sorprendente, dado que el Consejo Asesor Científico de la organización incluye al investigador de SAI David Keith. Keith inició el Experimento de Perturbación Controlada Estratosférica (SCoPEX), que modeló la SAI y planeó llevar a cabo un experimento de campo de SAI, el cual fue cancelado debido a protestas.

Reflective está financiada por el Renaissance Philanthropy Fund a través de su programa de Investigación Avanzada para Emergencias Climáticas (ARC), que apoya el desarrollo de otros enfoques de geoingeniería. Varios de los demás financiadores de Reflective, entre ellos el Cohler Charitable Fund, el LAD Climate Fund, Open Philanthropy y Outlier Projects, tienen un historial de apoyo financiero a la SRM.

En 2025, Reflective seleccionó a ocho equipos beneficiarios y les proporcionó financiación para modelar el despliegue de SAI a menor altitud cerca de los polos. La empresa también ha desarrollado un simulador de SAI diseñado para permitir que personas no especializadas comprendan y exploren la SAI. La empresa afirma que *“los escenarios que hemos simulado muestran de manera consistente que la SAI sí tiene el potencial de enfriar el planeta”*. Esto muestra un claro sesgo a favor del despliegue de la SAI, a pesar de que el objetivo declarado de la empresa es dotar al mundo de datos y herramientas para tomar decisiones informadas.

La Iniciativa Degrees sigue dando prioridad a la investigación sobre la implementación de la SRM

La Iniciativa DEGREES (Investigación y Evaluación de la Gobernanza en los Países en Desarrollo para SRM) tiene como objetivo facilitar la participación de los países del Sur Global en la investigación relacionada con la implementación y la gobernanza de la SRM. La Iniciativa está financiada principalmente por fundaciones dirigidas por multimillonarios del sector tecnológico y financiero del Norte Global. Algunas de estas fundaciones también financian experimentos al aire libre y la comercialización de tecnologías de geoingeniería.

En 2024, el Monitor de la Geoingeniería publicó un informe que analizaba la financiación de la Iniciativa, su agenda de investigación y su sesgo hacia el Norte Global. Este artículo ofrece una actualización de ese informe y refuerza sus conclusiones generales.

Registrada en el Reino Unido, la iniciativa apoya la investigación sobre SRM mediante dos fondos. El Fondo de Modelización Degrees (DMF) investiga el impacto de la SRM en las condiciones climáticas del Sur Global. El Fondo Sociopolítico Degrees (SPF) busca investigar las implicaciones sociales y políticas de la SRM en estas regiones. Actualmente, la iniciativa financia a 35 equipos de investigación, incluidos nueve equipos del SPF. Además, recientemente ha seleccionado cuatro nuevos equipos de investigación del DMF en Cabo Verde, Jordania, Marruecos y la República del Congo, que tienen previsto comenzar a trabajar en enero de 2026.

Los equipos de investigación del DMF se centran principalmente en el modelado del despliegue de SAI. De los 54 estudios revisados por pares publicados por los equipos del DMF al momento de escribir esto, más del 95% (52) modelaron el despliegue de SAI. Doce de estos estudios también modelaron el escenario G6solar, un escenario hipotético de SRM que implica una disminución uniforme de la radiación solar entrante para enfriar el planeta. De los estudios restantes, dos modelaron la geoingeniería espacial, uno modeló el despliegue del blanqueamiento de nubes marinas, otro modeló los efectos de la SRM en los ciclos hidrológicos y otro revisó los posibles impactos

climáticos de la SAI, el MCB y la eliminación de CO₂.

A primera vista, los impactos modelados del despliegue de SAI parecen ser variados e incluyen cambios en el monzón de África Occidental, la producción de cacao, el riesgo de malaria, las olas de calor marinas y la evolución de las trayectorias de las tormentas. Sin embargo, todos los modelos han seguido en última instancia la misma estructura:

- Se seleccionaron uno o más modelos y escenarios climáticos del IPCC para comparar la evolución del escenario climático con y sin la SAI. Se eligieron con mayor frecuencia las trayectorias de altas emisiones de gases de efecto invernadero y nunca se consideró una trayectoria de bajas emisiones.
- Los modelos analizaron la influencia de la SAI en la temperatura y/o en las precipitaciones.
- Se sacaron conclusiones basadas en estas tendencias, por ejemplo, sobre el impacto en el cultivo de cacao, las olas de calor marinas o las condiciones para la propagación de la malaria.

De los 51 estudios de modelización financiados por el DMF basados en los escenarios climáticos del IPCC, 44 utilizan escenarios del IPCC de alto a intermedio, mientras que 16 utilizan el escenario climático SSP5-8.5 del IPCC, el peor de los casos con las emisiones de gases de efecto invernadero más altas. El RCP8.5, que supone que no hay esfuerzos de mitigación y una concentración de CO₂ cuatro veces mayor que la de los niveles preindustriales, es el escenario del IPCC más elegido, ya que se ha seleccionado 22 veces. Los escenarios más optimistas, como los de bajas emisiones de gases de efecto invernadero (SSP1-2.6 y RCP2.6), nunca se han utilizado en los estudios de modelización financiados por el DMF. La mitad de los estudios del DMF que modelan el despliegue de SRM se basan únicamente en el escenario climático más pesimista: la trayectoria con las emisiones de gases de efecto invernadero más altas y sin medidas de mitigación climática.

Los escenarios que implican un forzamiento radiativo muy alto, como el RCP8.5 y el SSP5-8.5, conducen a mayores aumentos de temperatura y, en consecuencia, a impactos climáticos más sustanciales debido a cambios más severos en el sistema climático. Por lo tanto, la elección del escenario influye en los resultados de la modelización, ya que las temperaturas más altas aumentan la probabilidad de que el efecto de enfriamiento teórico de las técnicas de SRM se modele de manera más favorable.

Por esta razón, el escenario climático del IPCC utilizado en los estudios de modelización debería comunicarse de forma transparente, pero no siempre es así. De las 37 publicaciones financiadas por el DMF basadas en los escenarios RCP8.5 o SSP5-8.5, solo 26 indican en sus resúmenes qué escenario se utiliza. Esto oculta el hecho de que la modelización no representa toda la gama de escenarios climáticos del IPCC, ni refleja los escenarios más probables ni la trayectoria actual. Esto podría dar lugar a una percepción inexacta de la SAI, por lo que los responsables políticos podrían considerar estos estudios como evidencia de que la geoingeniería solar es una alternativa viable a las reducciones urgentes de emisiones.

Esta percepción errónea de la SAI podría verse aún más reforzada por el hecho de que las publicaciones más recientes de Degrees hacen referencia a los resultados de estudios anteriores de Degrees. Sin embargo, no dejan claro que esos estudios se basan en gran medida en los peores escenarios posibles.

La Iniciativa Degrees afirma que es “imparcial respecto a la SRM: sobre si debería utilizarse alguna vez y cómo debería regularse”. Sin embargo, su enfoque de investigación y la forma en que presenta los resultados de los estudios que financia desempeñan un papel fundamental en la normalización y la legitimación de la geoingeniería solar como estrategia de mitigación viable. Al hacerlo, actúa como un trampolín hacia los experimentos de SRM al aire libre. Otra prueba de esto es que el Foro Global de Degrees celebrado en Ciudad del Cabo en 2025 se centró en gran medida en el despliegue de la SAI y en las tecnologías de implementación.

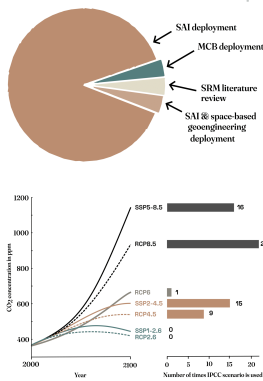


Figura 3: Arriba: Temas centrales de los estudios financiados por el 54 Degrees Modelling Fund (DMF) publicados hasta octubre de 2025. SRM = Gestión de la radiación solar, MCB = Aclaramiento de nubes marinas, SAI = Inyección estratosférica de aerosoles. Abajo: Escenarios climáticos RCP y SSP del IPCC y el número de veces que se han modelado en los estudios del DMF. Fuente: Investigación propia.

La cantidad de investigación sobre SAI financiada con fondos públicos también está aumentando rápidamente

La Agencia de Investigación e Innovación Avanzada (ARIA) del Reino Unido ha concedido fondos a cinco proyectos de este tipo.

ARIA es una agencia del gobierno británico dedicada a financiar la investigación. Su programa de investigación “[Climate Cooling](#)”, dotado con 57 millones de libras, está financiando investigaciones sobre varias tecnologías de geoingeniería que se han comentado en artículos anteriores de esta serie. Entre ellas se incluyen [planes espaciales](#) y [geoingeniería solar en la atmósfera inferior](#), como el MCB y el SAI.

Cinco de los 22 equipos de investigación están estudiando temas relacionados con el SAI.

- [El proyecto PULSE](#) (Comprensión pública, liderazgo y ética social en la gobernanza de las tecnologías de enfriamiento de la Tierra en comunidades afectadas por la actividad volcánica en el contexto filipino). Con sede en la Universidad de Filipinas, Los Baños, ha recibido 150 000 libras y se desarrollará entre 2025 y 2027. El proyecto tiene como objetivo explorar la opinión pública y las consideraciones éticas relacionadas con la SAI y la SRM, y recomendar estructuras de gobernanza para los procesos de toma de decisiones.
- [El proyecto TRUSS](#) (Hacia una validación robusta e imparcial de las simulaciones de SAI) tiene su sede en el Institut Teknologi Sepuluh Nopember de Indonesia, ha recibido 350 000 libras y se desarrollará entre 2025 y 2028. Con una duración de 2025 a 2028, busca perfeccionar los modelos de intervención climática para mejorar la fiabilidad de los resultados de los modelos de SAI y las evaluaciones de impacto. El proyecto tiene como objetivo cuantificar y reducir las incertidumbres en las simulaciones de SAI.
- El proyecto “[Definición de la escala mínima de una prueba de SAI: un primer paso fundamental hacia un experimento al aire libre a gran escala](#)” es un proyecto con sede en la Universidad de Cornell, en EE. UU. Se ejecutará de julio de 2025 a julio de 2027 y ha recibido 500 000 libras esterlinas. El proyecto busca determinar el alcance de un experimento de campo necesario para limitar significativamente las incertidumbres al liberar SO₂ desde una aeronave, como el movimiento de las columnas de aire. Para ello, se llevará a cabo un experimento hipotético lo más realista posible, lo que permitirá aplicar las conclusiones a situaciones de la vida real.
- [El proyecto StratoGuard](#) (Vigilancia global de la geoingeniería mediante microglobos de gran altitud) lo lleva a cabo Voltitude Limited en Farnborough, Reino Unido. El proyecto, que se extenderá de 2025 a 2028, ha recibido una financiación de 600 000 libras esterlinas. El proyecto busca desarrollar tecnologías clave para

un sistema global de sensores compuesto por globos de microaltitud (mHAB) alimentados con energía solar, que se desplegarán principalmente en la estratosfera. Este sistema está pensado para servir como herramienta básica de monitoreo para la SRM. El proyecto demostrará un mHAB optimizado que incorpora avances técnicos, como la integración y demostración de una sonda contadora de partículas.

- El proyecto [“Materiales novedosos para la inyección estratosférica de aerosoles”](#) tiene su sede en la Universidad de Cambridge, en el Reino Unido. Se desarrollará entre junio de 2025 y junio de 2028 y ha recibido 5,5 millones de libras esterlinas. El proyecto busca ampliar el conocimiento sobre diversos materiales alternativos para la inyección estratosférica de aerosoles (ASAIM) mediante la combinación de experimentos de campo, trabajo de laboratorio y modelización. Se investigarán las propiedades químicas y ópticas de las partículas mediante vuelos de globos estratosféricos y aviones; sin embargo, no se liberarán sustancias a la estratosfera durante estos vuelos. La dispersión y el esparcimiento de los aerosoles se medirán en pruebas de laboratorio y se modelará el impacto climático de los ASAIM.

Además de los cinco proyectos centrados en las ISC, la Iniciativa Degrees recibió 2 millones de libras esterlinas de financiación de ARIA para su [proyecto GRID-CC](#) (Reducción de escala de impactos globales a regionales para el enfriamiento climático). Este proyecto tiene como objetivo crear un repositorio de libre acceso con datos climáticos detallados para el Sur Global, que se alojará en la Universidad de Ciudad del Cabo, en Sudáfrica. Estos datos permitirán realizar proyecciones climáticas de alta resolución para facilitar la modelización global y regional. Se compararán los impactos de la SRM con los del cambio climático, con un enfoque particular en prevenir los puntos de inflexión. Este enfoque problemático de riesgo-riesgo se analiza en otras secciones de este artículo.

El Consejo de Investigación del Medio Ambiente Natural (NERC) del Reino Unido está financiando un estudio de cinco años sobre los impactos climáticos de la SAI y el MCB

Los [programas de investigación del NERC](#) “Marine CLOUD Brightening” (MACLOUD) y “Evaluación de la intervención climática a través de nuevas estrategias potenciales” (ECLIPSE) tienen como objetivo modelar los posibles impactos de la implementación a gran escala de técnicas de SRM. El programa, que se extenderá de 2025 a 2030, cuenta con un presupuesto de 10,5 millones de libras y no incluirá experimentos de campo. El programa examinará los impactos climáticos de la SAI y la MCB mediante análogos naturales, como erupciones volcánicas y cambios en las emisiones del transporte marítimo, y revisará los datos existentes. El proyecto también analizará técnicas de SRM menos estudiadas, como el uso de nanocristales de celulosa para la SAI. Entre los socios del proyecto se encuentran universidades británicas como Birmingham, Cambridge, Edimburgo, Exeter, Leeds, Manchester, Oxford y Reading, además del Imperial College de Londres y del Centro de Investigación Internacional sobre el Clima y el Medio Ambiente de Noruega. Los estudios forman parte del programa [“Modelización de las respuestas ambientales a la SRM”](#) del NERC.

Los proyectos de investigación financiados por la Agencia Espacial Europea buscan minimizar las incertidumbres en los modelos climáticos

El proyecto [“Aerosol Cloud Interactions for Cooling” \(ACTlon4Cooling\)](#), financiado por la European Space Agency (ESA, por sus siglas en inglés), tiene como objetivo evaluar la viabilidad y los riesgos de la SRM, así como aportar información para la gobernanza, la investigación y un posible marco de implementación. Con este fin, el proyecto busca mejorar la comprensión de las interacciones entre aerosoles y nubes para reducir las incertidumbres en los modelos climáticos y permitir una evaluación más precisa de los enfoques de SRM, incluidos SAI, MCB y CCT. Estas investigaciones incluyen observaciones y adquisición de datos desde satélites y desde tierra, así como la evaluación de mediciones de aerosoles volcánicos, de nubes marinas afectadas por las emisiones de las estelas de los barcos y de nubes cirros relevantes para la aviación. Estos datos se procesarán para alimentar simulaciones climáticas globales y regionales. Los resultados también [se utilizarán](#) para “facilitar el desarrollo de requisitos de monitoreo y de atribución para una misión satelital dedicada a la SRM”. El proyecto está liderado por el Centro Aeroespacial Alemán, en colaboración con el Observatorio Nacional de Atenas, en Grecia, y la Universidad de Leipzig, en Alemania.

El proyecto “Datos de satélites y modelos para informar sobre técnicas de modificación de la radiación solar”

(STATISTICS) también está financiado por la ESA y busca mejorar la precisión de los modelos climáticos al combinar la modelización climática con la observación de la Tierra desde satélite. Sostiene que la mayoría de los estudios de SRM se basan en la modelización climática y hacen un uso limitado de las observaciones del mundo real. STATISTICS aborda la SAI, el MCB, el CCT y el adelgazamiento de nubes de fase mixta. Investiga las interacciones entre aerosoles y nubes mediante el análisis de análogos naturales y antropogénicos, como las erupciones volcánicas y las emisiones industriales. El proyecto aspira a extraer conclusiones sobre los impactos climáticos de las medidas de modulación solar (SRM, por sus siglas en inglés), como el aumento de la reflectividad solar (SAI), mediante la comparación entre estudios observacionales y los resultados de modelos climáticos. A través de estas comparaciones, se volverá a evaluar la reducción de la densidad de los cirros y de las nubes de fase mixta. Además, se investigará la viabilidad de los experimentos de campo y de la implementación de la SRM basándose en análogos naturales. El proyecto STATISTICS está liderado por GRASP SAS (*Generalised Retrieval of Aerosol and Surface Properties*) en Francia, en colaboración con las siguientes instituciones: el CNRS-LOA (Laboratoire d'Optique Atmosphérique) y el CNRS-IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace) en Francia; el Instituto Max Planck de Meteorología en Alemania; la Universidad de Oslo en Noruega; y el Observatorio Meteorológico Físico de Davos y Perspectives Climate Research en Suiza.

El proyecto STATISTICS colabora con tres proyectos financiados por la UE: CERTAINTY, CleanCloud y Co-CREATE. CERTAINTY busca mejorar la comprensión de las interacciones entre aerosoles y nubes, así como de su impacto en el sistema terrestre. Para ello, se evaluarán datos satelitales a largo plazo con el fin de mejorar los modelos de pronóstico y aportar información sobre la mitigación y la adaptación climáticas. Entre otras cosas, el consorcio ha estudiado la influencia del polvo en el tiempo y el clima y ha modelado las emisiones de rocío marino de las grietas en el Ártico para cartografiar con mayor precisión la influencia de las interacciones entre aerosoles y nubes. CleanCloud también busca mejorar la comprensión de estas interacciones, para así mejorar las predicciones climáticas a corto y largo plazo. El proyecto Co-CREATE (*Conditions for Responsible Research of SRM - Analysis, Co-Creation, and Ethos*) pretende desarrollar directrices y principios para minimizar las incertidumbres relativas a las condiciones y la gobernanza de la investigación experimental sobre SRM y, por ende, facilitar la toma de decisiones por parte de las autoridades pertinentes.

En junio de 2025, los proyectos STATISTICS y ACTlon4Cooling —ambos financiados por la ESA— celebraron un taller sobre técnicas de SRM. Concluyeron que “los experimentos de campo a pequeña escala podrían llegar a ser necesarios, en última instancia, para resolver incertidumbres científicas clave que no pueden abordarse únicamente mediante experimentos con modelos, análogos naturales o estudios de laboratorio”.

Los puntos de inflexión como motor de la investigación y el despliegue de la SRM

El IPCC define un punto de inflexión como un umbral más allá del cual un sistema se reorganiza y no revierte a su estado original, incluso si se elimina la causa inicial. En el contexto del sistema climático, el término se refiere a un límite crítico en el que el clima cambia de un estado estable a otro, ya sea a escala global o regional.

Entre los ejemplos se incluyen el deshielo del permafrost —lo cual liberaría enormes cantidades de metano a la atmósfera— y la regresión de la selva amazónica, en la que la reducción de los niveles de precipitación haría que el ecosistema fuera incapaz de sostenerse por sí mismo. El concepto de evitar los puntos de inflexión se utiliza cada vez más como argumento para profundizar en la investigación sobre el despliegue de la SRM:

- El *Global Tipping Point Report 2025*, por ejemplo, sugiere implementar una moratoria en el despliegue de la SRM y en los experimentos a gran escala, con el fin de evaluar los riesgos asociados y los beneficios potenciales. Este informe fue publicado por la Universidad de Exeter, cuya investigación en geoingeniería solar cuenta con el respaldo de ARIA y la Quadrature Climate Foundation, entre otros.
- Reflective considera que la SAI constituye un medio eficaz para mitigar el impacto del cambio climático y evitar los puntos de inflexión.
- Mengying Zhao y sus colaboradores —investigadores de la Universidad de Nanjing y la Universidad de Zhejiang (ambas en China), así como de la Universidad de Cornell (EE. UU.)— sostienen que las estrategias de SAI que han analizado mitigarían los riesgos asociados a numerosos elementos de inflexión. Entre sus entidades financiadoras se encuentran la Quadrature Climate Foundation y la Fundación Nacional de la Ciencia de los EE. UU. (NSF). Esta última ha respaldado la investigación, la modelización y los ensayos de

campo en el ámbito de la SRM durante más de 15 años; dicha labor incluye proyectos como GLENS, GeoMIP, E-PEACE y VOCALS-REX, así como investigaciones sobre SRM en la Universidad de Rutgers y la Universidad de California en Los Ángeles.

- Mark Symes, uno de los directores de programas de ARIA, declaró en una entrevista con The Guardian en abril de 2025 que “la amenaza inminente de los puntos de inflexión climáticos era una razón de peso para investigar la geoingeniería solar”.
- Gideon Futerman y otros investigadores de Gran Bretaña, Estados Unidos y China también citan la prevención de los puntos de inflexión como una ventaja clave de la SRM. Concluyen en un artículo de 2025 que “cuando la temperatura es un factor clave para la inflexión, una SRM bien implementada, homogénea y de reducción de picos podría ser, al menos parcialmente, eficaz para reducir el riesgo de alcanzar la mayoría de los puntos de inflexión examinados en comparación con los mismos escenarios de trayectoria de emisiones sin SRM”.

Este razonamiento constituye una forma de “enmarcado riesgo-riesgo” que los defensores de la geoingeniería pretenden introducir en el discurso político en torno a la SRM. En un intento por normalizar el debate sobre el uso de la SRM, los riesgos de su implementación se comparan cada vez más con los de alcanzar un punto de inflexión. Sin embargo, los riesgos que se comparan suelen limitarse deliberadamente a los relacionados con el cambio climático. En realidad, la implementación de la SRM implicaría una gama mucho más amplia de desafíos ambientales, sociales, económicos y geopolíticos.

Robert E. Kopp y otros, investigadores de la Universidad de Bristol, critican el marco del “punto de inflexión” por simplificar en exceso las diversas dinámicas de los complejos sistemas naturales y humanos y por transmitir una sensación de urgencia sin ofrecer una base sólida para la acción climática. Concluyen que “la profunda incertidumbre y la percepción de abstracción de los puntos de inflexión climáticos los hacen ineficaces para impulsar la acción y establecer objetivos de gobernanza”.

En un artículo publicado en el European Journal of Risk Regulation, Duncan P. McLaren analiza los riesgos asociados a la creación de expectativas de que la SRM pueda evitar algunos de los riesgos del cambio climático que, de otro modo, serían inevitables. El autor concluyó que:

- “La mayoría de las referencias al análisis de riesgo-riesgo parecen ser, ante todo, esfuerzos retóricos para defender la continuación de la investigación sobre la SRM”;
- “Una revisión detallada de la principal propuesta metodológica revela graves deficiencias prácticas y éticas tanto en el planteamiento como en las metodologías actuales del análisis de riesgo-riesgo”;
- “Estas deficiencias implican que no se resuelven las cuestiones éticas, se minimizan los efectos de interacción entre las posibles respuestas y se ignoran otras posibles respuestas excepcionales”;
- Concluye que “en lugar de identificar posibles vías de riesgo superior, el análisis de compensación de riesgos, integrado en un repertorio tecnocrático de gestión de riesgos, parece propiciar una dependencia excesiva de la SRM”.

Las principales organizaciones medioambientales y juveniles de África han dejado clara su oposición a la SRM

En la 20.ª Conferencia Ministerial Africana sobre el Medio Ambiente (AMCEN-20), celebrada en julio de 2025, se reafirmó este rechazo. La AMCEN-19 había solicitado un mecanismo de gobernanza global para impedir el uso de tecnologías de gestión de la radiación solar. La SRM se consideró inaceptable debido a los riesgos ecológicos, éticos y geopolíticos que conlleva. No solo el principal organismo ministerial africano en materia de medio ambiente dejó clara su oposición, sino también la juventud africana. En octubre de 2025, las organizaciones juveniles que trabajan en redes de justicia climática, proyectos de desarrollo comunitario y plataformas de incidencia basadas en la investigación en toda África declararon claramente que se oponen a la SRM como opción de política climática, ya que amenaza directamente los intereses ambientales y de desarrollo de África, desviando

la atención del mundo de soluciones reales y centradas en las personas, y creando nuevas amenazas con consecuencias devastadoras. En lugar de jugársela con los sistemas planetarios, estos movimientos juveniles reclaman “un cambio de rumbo basado en la ciencia y guiado por la justicia hacia vías sociotécnicas probadas”. Entre ellas se incluyen la energía renovable de propiedad comunitaria, la agroecología para la soberanía alimentaria, los sistemas hídricos resilientes al clima y la adaptación impulsada localmente y basada en los conocimientos indígenas y tradicionales.