

GEOINGENIERÍA SOLAR

Industrias y Servicios 2

Integrantes:

- **CAMPATI, Bruno**
- **CLEMENT, María**
- **DE MEZZO, Facundo**

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Índice

¿Qué es la geoingeniería solar?	3
Historia	4
Tipos	7
Datos Técnicos de la Gestión de Radiación Solar SRM	8
Técnicas SRM	9
Blanqueamiento de nubes	11
Adelgazamiento de los cirros	12
Inyección de aerosoles estratosféricos	13
Ventajas	14
Desventajas	14
Experimentos de geoingeniería solar en el mundo real	15
Make Sunsets	17
En ARGENTINA:	18
La geoingeniería y los reclamos por la propiedad intelectual	19
Acuerdos internacionales	20
Geopolítica global	21
Conclusión	23
Bibliografía	25

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

¿Qué es la geoingeniería solar?

La geoingeniería solar, también conocida como gestión de la radiación solar, es un conjunto de técnicas diseñadas para reducir la temperatura del planeta reflejando la luz solar o permitiendo que escape más calor al espacio, con el fin de aliviar el calentamiento global.

El sol es la principal fuente de energía para todos los procesos que ocurren en el sistema tierra - atmósfera - océano. Los rayos de sol atraviesan la atmósfera dispersándose para llegar a la tierra como fuente de energía de todos los seres vivos.

El calor de la tierra queda retenido en la misma por el dióxido de carbono acumulado en la atmósfera.

Es por esto, que gestionando la luz solar o el calor de la tierra, se puede reducir la temperatura del planeta, ayudando con el calentamiento global.

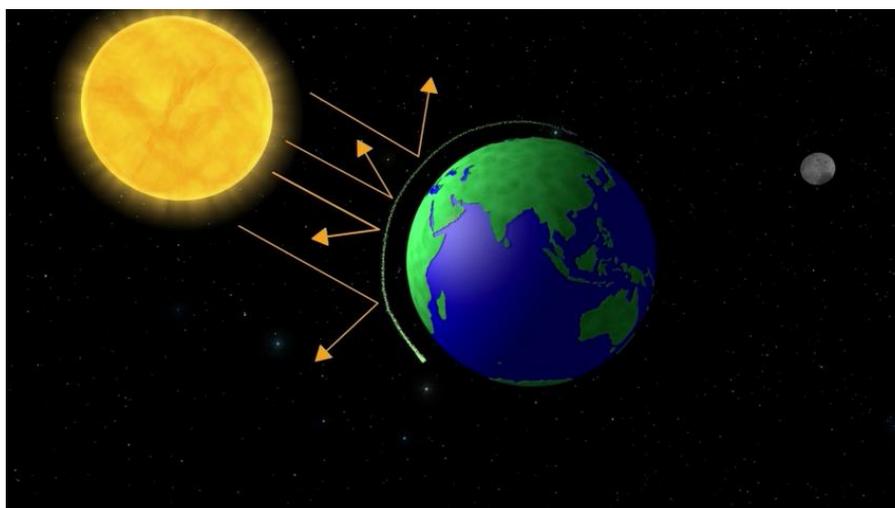


Figura 1. Geoingeniería solar.

La urgencia de la crisis climática despertó el debate entre científicos y gobiernos sobre métodos para frenar la subida de la temperatura. Allí aparece la geoingeniería, un término que engloba todas aquellas técnicas diseñadas para modificar el clima y aliviar los efectos del calentamiento global.

Además, la geoingeniería es la intervención intencional en gran escala en los océanos, suelos y/o la atmósfera de la Tierra, con el propósito de combatir el cambio climático. David Keith, físico de la Universidad de Calgary, describe a la geoingeniería como “una solución expedita que emplea tecnología adicional para contrarrestar efectos no deseados sin eliminar su causa de origen”.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Historia

Desde 1940 se llevan a cabo experimentos para modificar el clima: en esta década Bernard Vonnegut descubrió que el humo del yoduro de plata provocaba que las nubes entregarán su lluvia. El meteorólogo James Pollard Espy publica "The Philosophy of Storms", un libro en el que expone su teoría térmica de la formación de tormentas y los detalles de un método a través del cual la lluvia puede ser producida artificialmente en tiempos de sequía.

En 1965, el Comité Asesor de Ciencias del entonces presidente de EE. UU., Lyndon Johnson, advirtió que podía ser necesario aumentar la reflectividad de la Tierra para compensar el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El comité llegó incluso a sugerir que se rociaran partículas reflectantes a través de los océanos. Resulta revelador que en este primer informe presidencial sobre la amenaza del cambio climático, ni siquiera se mencionara la idea de reducir las emisiones.

Entre 1967 y 1972: durante la guerra de Vietnam, la fuerza aérea de EEUU realiza más de 2600 vuelos de combate para sembrar nubes sobre el norte y el sur de Vietnam, Laos y Camboya, para hacer la ruta intransitable y provocar que toda la cosecha de arroz de Vietnam del Norte se pudriera. Apodado Operación Popeye, el programa es el primer ejemplo conocido de manipulación hostil del clima en la historia militar. Aunque las lluvias sí se incrementaron, la Fuerza Aérea no pudo establecer un vínculo claro entre el fenómeno y la campaña encubierta.



Figura 2. Noticia de The New York Times acerca de la "Operación Popeye".

El climatólogo soviético Mikhail Budyko es conocido como el primero en sugerir que podríamos contrarrestar el cambio climático imitando un fenómeno volcánico ocurrido en 1815: La explosión del Monte Tambora en Indonesia fue famosa por provocar el "Año sin verano". En su libro publicado en 1974 planteó la posibilidad de quemar azufre en la estratosfera, creando una neblina reflectiva muy parecida a la que surge de las erupciones volcánicas.

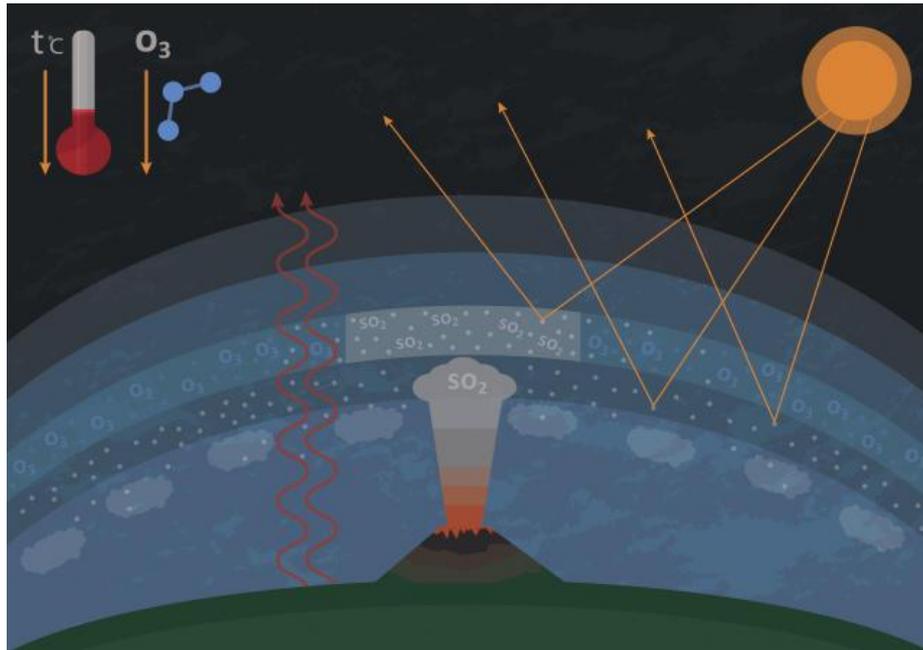


Figura 3. Neblina de dióxido de azufre mediante erupciones volcánicas.

Diciembre 1976: Impulsada a actuar por las actividades de siembra de nubes en Vietnam por los Estados Unidos, la Asamblea General de la ONU aprueba la Convención Sobre Técnicas de Modificación Ambiental, que prohíbe la guerra climática y otros usos hostiles de la manipulación climática "que tengan efectos vastos, duraderos o graves." El tratado entra en vigor un poco menos de dos años después, y es finalmente ratificado por 76 países.

La forma más famosa de geoingeniería solar supone la pulverización de partículas en la estratosfera, un enfoque conocido como "inyección estratosférica" o "dispersión estratosférica de aerosoles".

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

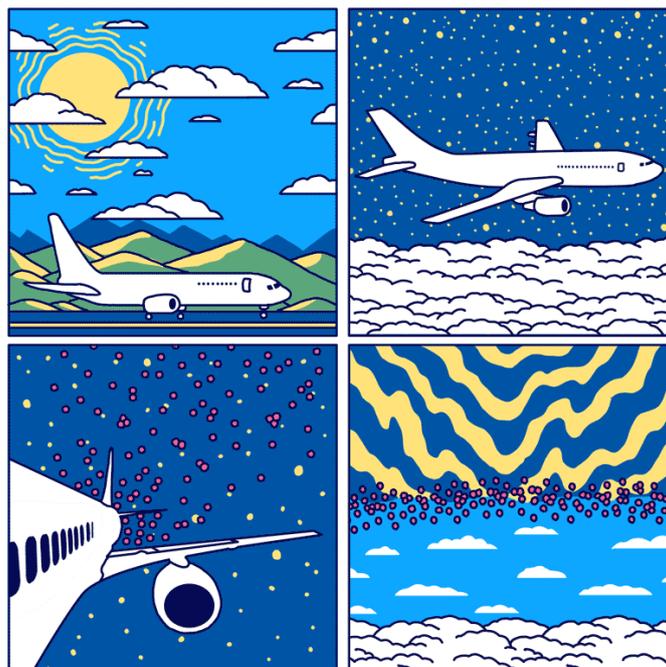


Figura 4. Pulverización de partículas en la estratósfera.

La popularidad de este enfoque se debe a que la naturaleza ya ha demostrado que es posible. Así pasó durante la erupción masiva del Monte Pinatubo (Filipinas) en el verano de 1991. El fenómeno arrojó al cielo unas 20 millones de toneladas de dióxido de azufre. Al reflejar la luz solar de vuelta al espacio, las partículas de la estratosfera ayudaron a reducir las temperaturas globales alrededor de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los siguientes dos años. La erupción equivale a un experimento natural perfecto, que ofrece a los científicos un modelo de cómo podrían desarrollarse en el futuro esfuerzos deliberados para contrarrestar el calentamiento global.

En las décadas siguientes, este concepto apareció ocasionalmente en algunos trabajos de investigación y en conferencias científicas. Pero no llamó mucho la atención hasta finales del verano de 2006, cuando el químico atmosférico ganador del Premio Nobel, Paul Crutzen, animó a realizar investigaciones de geoingeniería en un artículo en *Climatic Change*. Su postura resultó especialmente significativa porque Crutzen había ganado el Nobel por su investigación sobre los peligros del creciente agujero de ozono, y uno de los efectos conocidos del dióxido de azufre es la reducción de la capa de ozono.

En otras palabras, él pensaba que el cambio climático era una amenaza tan grande que valía la pena explorar una solución que él sabía que podría generar otros peligros graves.

Se cree que debido a las declaraciones de Crutzen en las últimas dos décadas las grandes potencias han realizado grandes investigaciones en técnicas de geoingeniería y han comenzado con experimentos a pequeñas escalas que iremos desarrollando a lo largo de este informe.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Tipos

Actualmente, la comunidad científica los divide en dos tipos: **remover gases de efecto invernadero** de la atmósfera (GGR por sus siglas en inglés Removing Greenhouse Gases), y **gestionar la radiación solar** (SRM por sus siglas en inglés Solar Radiation Managment).

Dentro de las GGR podemos destacar las siguientes tecnologías propuestas:

- Forestación: plantar árboles a escala global.
- Biocarbón: quemar biomasa o material vegetal y usarlo como fertilizante para que su carbono quede atrapado en el suelo.
- Bioenergía con captura y secuestro de carbón: cultivar biomasa, quemarla para producir energía y capturar y aislar el CO₂ generado en el proceso.
- Captura del aire ambiental: construir máquinas que extraigan el CO₂ directamente del aire y lo almacenen en otra parte.
- La Agencia Internacional de Energía informó un crecimiento en la capacidad operativa mundial de captura directa de aire:

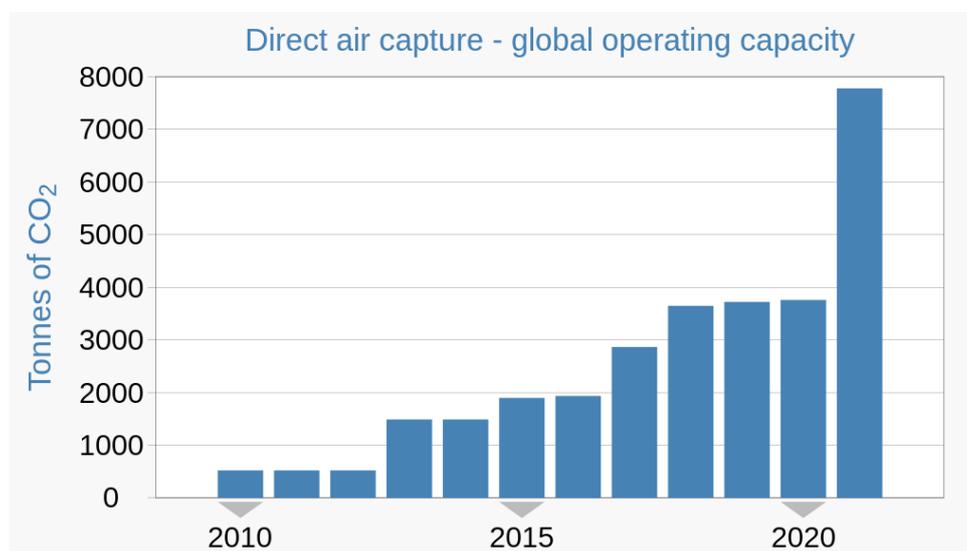


Figura 5. Gráfico de Toneladas de CO₂ vs. Año.

- Fertilización oceánica: añadir nutrientes al mar en lugares seleccionados para aumentar la producción de fitoplancton, que absorbe CO₂ de la atmósfera.
- Meteorización aumentada: exponer una gran cantidad de minerales que reaccionan con el dióxido de carbono a la atmósfera y almacenar los compuestos resultantes en los océanos o bajo tierra.
- Aumento de la alcalinidad oceánica: moler, dispersar y disolver tipos de roca como silicato, caliza o hidróxido de calcio en el mar para aumentar su capacidad de almacenar carbono y mejorar directamente la acidificación del océano.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

El costo de remover los gases de efecto invernadero varía según la tecnología utilizada. En 2021, la captura directa del aire costaba entre USD 250 y 600 por tonelada de CO₂, mientras que la extracción con biocarbón costaba USD 100 y las soluciones naturales como la reforestación menos de USD 50.

El biocarbón es más costoso pero duradero como sumidero de carbono, mientras que las soluciones naturales tienen riesgos. Se están desarrollando estándares y mercados para la extracción de dióxido de carbono.

El empresario Elon Musk donó USD 100 millones para premiar la mejor tecnología de captura de carbono. La Comisión Europea se prepara para certificar la extracción de CO₂ y se considera agregarla al Esquema de Comercio de Emisiones del Reino Unido.

En 2022, una alianza liderada por Stripe anunció un fondo de casi mil millones de dólares para recompensar a las empresas que capturan y almacenan carbono. Sin embargo, el mercado actual es pequeño en comparación con las necesidades futuras.

En este informe nos concentramos en **investigar tecnologías asociadas a la SRM.**

Datos Técnicos de la Gestión de Radiación Solar SRM

En promedio, la atmósfera terrestre recibe una radiación solar de 340 W/m². Sin embargo, debido a la presencia significativa de gases de efecto invernadero en la atmósfera, la diferencia neta entre la cantidad de luz solar absorbida por la Tierra y la energía radiada al espacio ha aumentado de 1,7 W/m² en 1980 a 3,1 W/m² en 2019. Este desequilibrio, conocido como forzamiento radiativo, implica que la Tierra retiene más energía de la que libera, lo que provoca un aumento en las temperaturas globales.

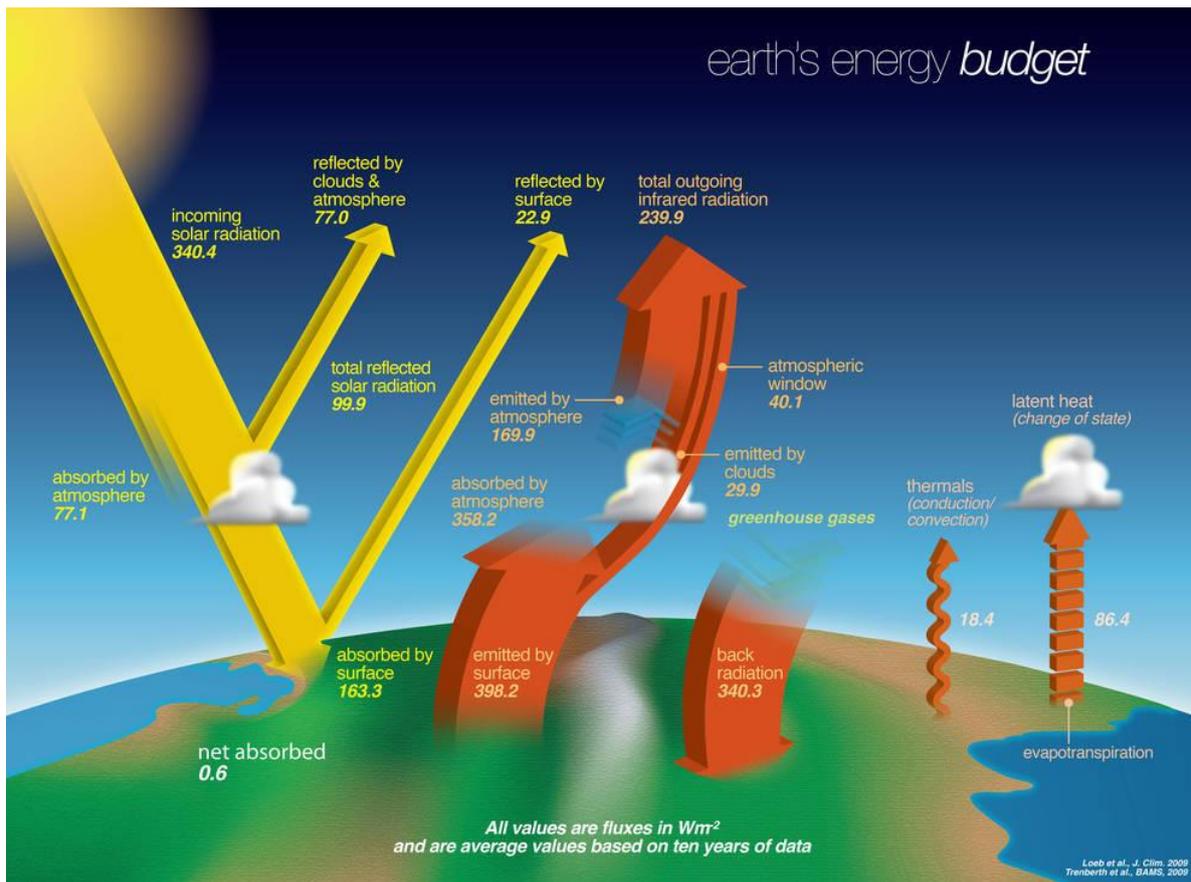


Figura 6. Gestión de Radiación Solar.

Técnicas SRM

Las tecnologías para el manejo de la radiación solar están dirigidas para contrarrestar los efectos de los gases de efecto invernadero mediante el incremento de la radiación de la luz solar de vuelta al espacio exterior. Existen muchas técnicas y tecnologías SRM, pero lo común en todas es que no afectan la concentración de gases de efecto invernadero; su único propósito es contrarrestar algunos de sus efectos. La remoción o el mal funcionamiento de estas tecnologías derivarían en drásticos y rápidos incrementos de la temperatura del planeta.

Si bien hay múltiples técnicas tales como:

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

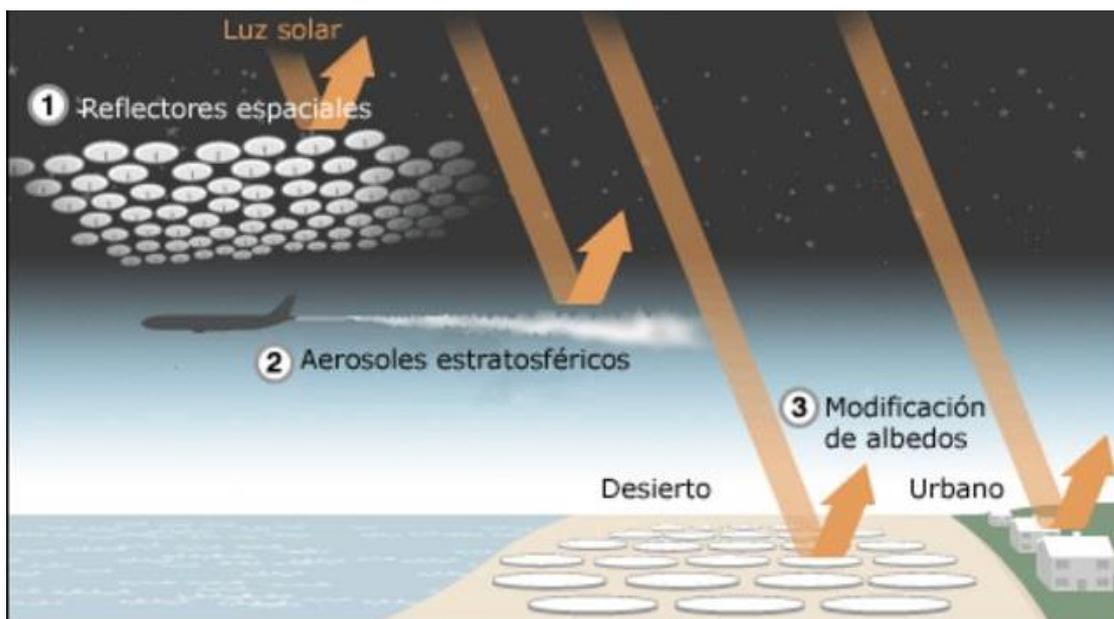


Figura 7. Técnicas SRM.

- **Reflectores espaciales:** la idea es bloquear una pequeña parte de la luz solar antes de que llegue a la Tierra.
- **Techos blancos:** Esta técnica no es exactamente de geoingeniería solar, pero se relaciona con la reducción del calentamiento global. Implica pintar techos de blanco para reflejar más luz solar de vuelta al espacio y reducir la cantidad de energía absorbida por los edificios. Aunque es una técnica relativamente simple y económica, su efectividad es limitada en comparación con otras técnicas de geoingeniería solar.

Existen tres técnicas que son principales:

- El **aclareamiento de nubes** marinas consiste en intentar que las nubes bajas sobre el océano sean más reflectantes rociándolas con sal marina. Las nubes más blancas reflejan más luz solar al espacio.
- El **adelgazamiento de los cirros** se centra en las nubes más altas de la atmósfera, sembrándolas con partículas de aerosol en un intento de adelgazarlas para que atrapen menos calor.
- Pero el método más estudiado es la **inyección de aerosoles estratosféricos**. Consiste en rociar aerosoles -como partículas de dióxido de azufre- en la estratosfera, a más de 17 kilómetros por encima de la superficie terrestre, para que reflejen la luz solar en el espacio. Podría hacerse con globos o aviones especializados capaces de volar a gran altitud.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

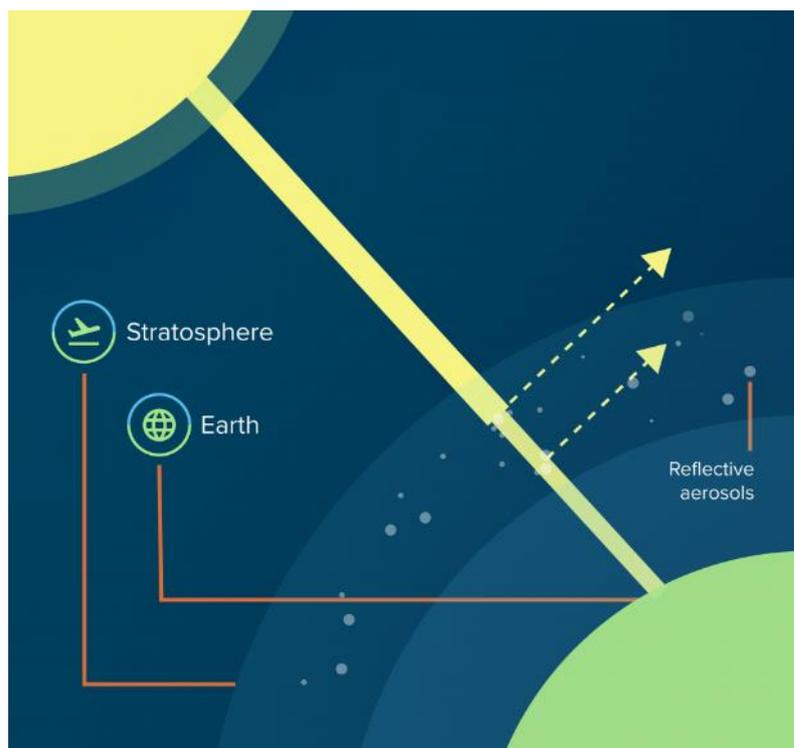


Figura 8. Técnica de aerosoles reflectivos.

Blanqueamiento de nubes

La teoría subyacente al blanqueamiento de nubes consiste en modificar la composición de las nubes al inyectarles agua de mar para aumentar su brillo. Esto se lograría mediante la liberación continua de finas gotas de agua de mar en el cielo, donde los diminutos cristales de sal actuarían como núcleos alrededor de los cuales el vapor de agua se condensaría, formando nubes o engrosando las existentes, lo que las haría más reflectantes. Más del 25% de los océanos del mundo están cubiertos por capas delgadas y bajas de estratocúmulos (por debajo de los 2400 metros). El blanqueamiento de nubes es otra técnica para gestionar la radiación solar y podría reducir la temperatura atmosférica sobre los océanos.

Sin embargo, existe un peligro asociado a esta técnica, que radica en la posibilidad de usar gotas de tamaño incorrecto, lo que podría disminuir en lugar de aumentar la cobertura de nubes, resultando en un calentamiento neto en lugar del enfriamiento deseado. Si las partículas son demasiado pequeñas, no lograrán blanquear las nubes, sino que interactuarán con las partículas ya presentes, desencadenando una competencia entre ellas. Si las partículas son demasiado grandes, simplemente caerán al mar.

Aunque la modificación de las nubes podría ser efectiva para reducir la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra, también se plantean preocupaciones sobre posibles efectos secundarios no deseados. Las propuestas para reducir la luz solar que llega a la Tierra no solo enfriarían la temperatura, sino que también podrían alterar la circulación global,

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

lo que acarrearía graves consecuencias como cambios en los patrones de tormentas y precipitaciones en todo el mundo. Modificar la composición de las nubes en una cuarta parte de la superficie terrestre afectaría los patrones climáticos y podría perturbar los ecosistemas marinos, incluyendo la vida de aves y plantas. Además, esta técnica trasciende las fronteras nacionales y requeriría acuerdos internacionales para su implementación.

La investigación de esta técnica se lleva a cabo principalmente por científicos preocupados por el aumento de la temperatura en los océanos y sus efectos en la vida marina, especialmente en relación con el blanqueamiento de los corales causado por el calentamiento global.

Adelgazamiento de los cirros

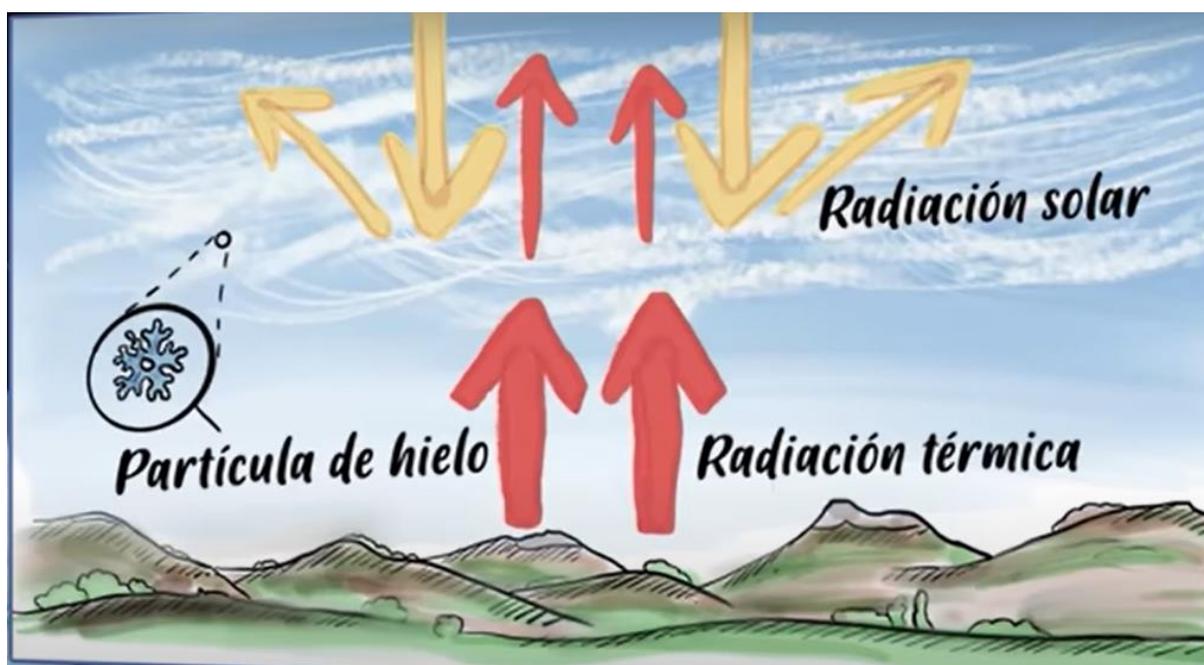


Figura 9. Técnica de adelgazamiento de los cirros.

Los cirros son nubes altas con forma de plumas. Están tan alto que en realidad están formadas por partículas de hielo. Indican buen tiempo cuando están desparramadas en el cielo azul. El hielo hace que refleje un poco de radiación solar pero también hace que no escape la radiación térmica.

Si estos cristales de hielo son numerosos y pequeños, las nubes cirros impiden que la radiación terrestre de onda larga escape al espacio, teniendo un impacto climático similar al de los gases de efecto invernadero. En presencia de núcleos de hielo naturales, como el polvo, los cristales de hielo que se forman son menos numerosos y más grandes, duran menos y tienen menos efectos climáticos.

Lo interesante de esta técnica es que en la actualidad ya existen experiencias de manipulación de las nubes. Sin ir más lejos en Mendoza se realiza la lucha antigranizo a

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

través de la inyección de yoduro de plata para modificar la nucleación del hielo en las nubes y así evitar, o en su defecto disminuir, la precipitación de granizo.

Inyección de aerosoles estratosféricos

Como mencionamos anteriormente, la idea de inyectar aerosoles estratosféricos se toma de los volcanes.

Esta técnica de geoingeniería cae en la categoría de manejo de la radiación solar e intenta reducir la cantidad de luz solar que entra en la atmósfera de la Tierra mediante pequeñísimas partículas reflejantes colocadas en la estratósfera.

En 1991 la erupción del volcán Monte Pinatubo en Filipinas arrojó 20 millones de toneladas de dióxido de sulfuro en la estratósfera y el planeta entero se enfrió 0.5 grados centígrados. Aunque la idea de los volcanes artificiales se propuso por vez primera en 1977, el concepto se ha refinado en los años recientes. Los científicos calculan que una reducción del 2% de la luz del sol podría evitar el aumento de la temperatura resultante de la duplicación del CO₂ atmosférico.

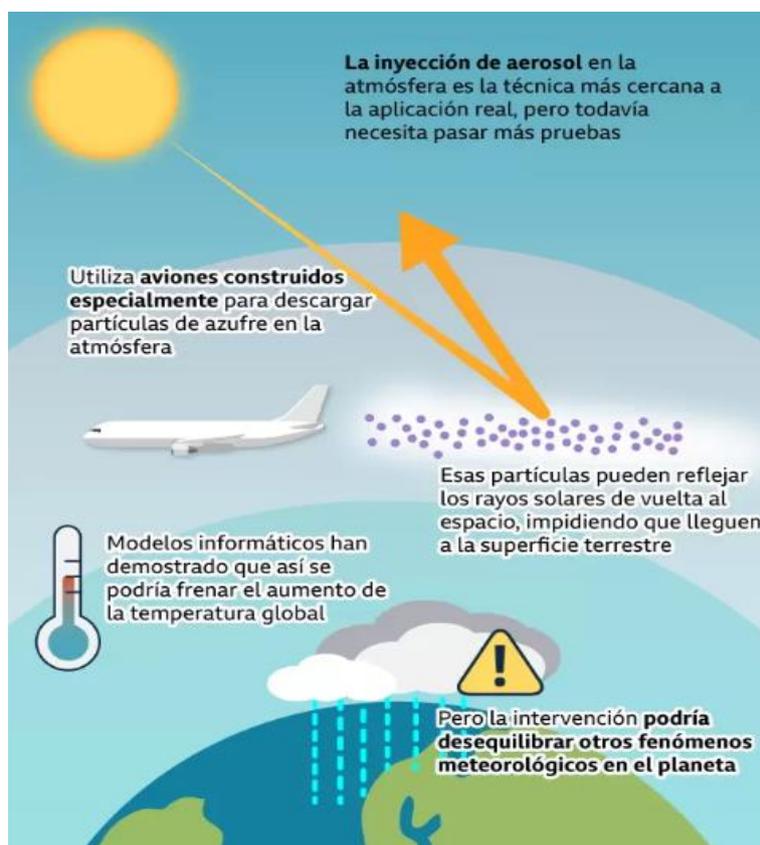


Figura 10. Técnica de inyección de aerosoles estratosféricos (Explicación).

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Ventajas

- Rapidez en desplegarse.
- Reversibilidad directa de los efectos del cambio climático.
- Precio relativamente pequeño (Un estudio de Harvard de 2018 estimó que costaría alrededor de US\$ 2.250 millones al año durante un periodo de 15 años).

Desventajas

- Habría más daños a la capa de ozono en tanto las partículas de sulfato en la estratósfera proveerían de superficies adicionales con las que reaccionarían los gases clorados, tales como CFC y HFC.
- La habilidad para arrojar partículas en áreas específicas donde se necesita reducir la luz del sol (por ejemplo el Ártico o Groenlandia) es altamente especulativa y es probable que las partículas se difundan hacia cualquier otro lugar.
- Riesgo de que la manipulación del termostato del planeta pueda alterar el régimen de lluvias, es probable que los niveles de precipitación se reduzcan en algunas regiones. Enormes emisiones volcánicas de partículas de sulfato en el pasado han ocasionado disminución o ausencia de lluvias monzónicas y grandes sequías en las latitudes tropicales.
- Los efectos podrían variar de una región a otra, y algunas zonas se beneficiarían mientras otras se verían perjudicadas, lo que aumentaría las posibilidades de conflicto.
- Las toneladas de partículas que necesitan propulsarse regularmente hacia la estratósfera encontrarán su camino de regreso a la Tierra. Todo lo relacionado con la salud y la seguridad ambientales y la contaminación por partículas, incluyendo las nuevas partículas manufacturadas, son relevantes en los esquemas internacionales de contaminación.
- Diseñar la estratósfera con geoingeniería facilita que la industria continúe con su propia contaminación atmosférica. Por lo tanto, podría ser aprovechada por los contaminadores como una forma de seguir contaminando, y por los gobiernos como una distracción de las políticas para reducir la contaminación que calienta el planeta.
- Se está sugiriendo a los países africanos como campo de pruebas de estas tecnologías..
- Como las partículas de aerosol no suelen permanecer en la atmósfera más de un año, la geoingeniería solar tendría que mantenerse continuamente. Si se interrumpe, existe el riesgo de que se produzca un "choque de terminación" que desate todo el calentamiento acumulado.
- Sería necesaria una cooperación internacional sin precedentes. Significaría que los países tendrían que colaborar para siempre, incluidos los que actualmente están en guerra.
- La reducción de la eficacia de las celdas fotovoltaicas mediante la reducción del monto de la luz solar que recibirían.
- La geoingeniería solar no reduciría directamente la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y, por lo tanto, no soluciona otros problemas como la acidificación de los océanos.

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

- Si bien se disminuiría el daño a los cultivos por calores extremos, pero esta “sombra” también haría que se reduzca la productividad debido a la reducción de la luz solar.

Experimentos de geoingeniería solar en el mundo real

Al analizar la evolución de la geoingeniería solar en el apartado “historia” desarrollado anteriormente, se observa que se han llevado a cabo "experimentos" desde la década de 1940. Sin embargo, es importante destacar que a partir de 2006, con la aparición del concepto de geoingeniería solar, los experimentos han adquirido una mayor envergadura y han tenido intenciones diferentes a las mencionadas en los inicios de esta actividad.

En 2009, un equipo de científicos rusos realizó el que se considera el primer experimento de geoingeniería al aire libre. Colocaron generadores de aerosol en un helicóptero y en un coche y rociaron partículas a alturas de hasta 200 metros. En un artículo el equipo afirmó que el experimento había reducido la cantidad de luz solar que llegaba a la superficie. (Vale la pena señalar que Yuri Izrael, un escéptico climático y asesor científico de Vladimir Putin, fue el autor principal del estudio y el editor de la revista).



Figura 11. Desarrollo del 1° experimento de geoingeniería.

Uno de los primeros intentos de llevar a cabo un experimento de geoingeniería anunciado abiertamente, fue el proyecto SPICE, aunque finalmente se descartó. La idea era bombear partículas por una tubería hasta un globo de gran altitud que las dispersaría en la estratosfera. Pero la propuesta generó un gran rechazo público muy fuerte, especialmente después de que se descubriera que algunos de los investigadores ya habían solicitado la patente de esta tecnología.

El que podría ser el siguiente (y oficial) experimento de geoingeniería ha sido propuesto por científicos de la Universidad de Harvard. Los investigadores quieren lanzar un globo equipado con hélices y sensores que rocíe una pequeña cantidad de carbonato de calcio en la estratosfera. Luego, el globo atravesaría la columna e intentaría medir parámetros como hasta dónde se dispersan las partículas, cómo interactúan con otros gases y su nivel reflectante. El equipo ya ha recaudado los fondos, creado un comité asesor, contratado a una compañía de globos y comenzado a trabajar en el hardware necesario.

Mientras tanto, investigadores de la Universidad de Washington, en colaboración con el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto (ambos en EE. UU.) Y otros grupos, han

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

propuesto experimentos a pequeña escala como parte de un programa de investigación más amplio para aprender más sobre el potencial del "brillo de las nubes marinas". El equipo ya está recaudando fondos para desarrollar un "instrumento de investigación de la física de las nubes". Su objetivo es rociar una pequeña cantidad de sal marina en algún lugar de la costa del Pacífico de EE.UU.



Figura 12. Brillo de nubes marinas.

También se han realizado algunos esfuerzos iniciales en otras áreas de la geoingeniería, que incluyen más de una docena de los llamados experimentos de fertilización con hierro en el océano abierto, según Nature. El concepto consiste en que lanzar hierro al agua estimularía el crecimiento del fitoplancton, que aumentaría su captura de dióxido de carbono del aire. Pero los científicos dudan de si funcionaría bien y de qué tipo de efectos secundarios podría tener en los ecosistemas oceánicos. Grupos ambientales y otros han criticado los primeros esfuerzos en esta área, argumentando que han avanzado sin los permisos ni la supervisión científica adecuados.

En 2019, el Congreso de EEUU asignó USD 4 millones a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica para la investigación estratosférica, parte de los cuales se destinaron a la geoingeniería solar. Y el año pasado, el gobierno de Biden anunció un plan de investigación de cinco años para explorar el concepto.



Figura 13. NOAA.

Las organizaciones de investigación también están aportando fondos. En febrero, Degrees Initiative, con sede en el Reino Unido, anunció que destinaría USD 900.000 a la investigación en países de África, Asia y Sudamérica para estudiar cómo podría afectar esta tecnología al hemisferio sur.

Un intento de los investigadores de la Universidad de Harvard de probar un globo a gran altitud en la Suecia ártica en 2021 fue abandonado tras la protesta de la población

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

indígena sami. Una carta en nombre del Consejo Sami decía que la geoingeniería solar "conlleva riesgos de consecuencias catastróficas".

Y tras el lanzamiento del globo de Make Sunset, el gobierno mexicano anunció en enero que prohibiría los experimentos de geoingeniería solar.

La gran pregunta es: **¿Alguien está haciendo geoingeniería de verdad?**

Los investigadores destacan que estos experimentos no pertenecen a la geoingeniería: las cantidades de material involucrado son demasiado pequeñas para alterar las temperaturas globales. De hecho, a pesar de una vasta y variada gama de teorías de conspiración que circulan por internet diciendo lo contrario, actualmente nadie está llevando a cabo geoingeniería a escala planetaria.

Esto se debe a una norma acordada por la Convención sobre Diversidad Biológica de Naciones Unidas de 2010: sólo pueden llevarse a cabo pruebas de geoingeniería a pequeña escala y siempre y cuando no afecten la biodiversidad.

Esta limitación se logró en parte por la presión de activistas del grupo internacional ambientalista Acción sobre la Erosión, Tecnología y Concentración (ETC). Ellos dicen que la preocupación principal es "el control internacional de los sistemas planetarios: el agua, la tierra y el aire.

Make Sunsets

En base a nuestra investigación sólo encontramos una empresa comercial que utiliza la geoingeniería solar. Ya que todas las demás son instituciones de investigación (organizaciones gubernamentales, instituciones educativas, o centros de investigación).

De su página web podemos observar que ya hacen nubes reflectantes, de gran altitud y biodegradables que refrescan el planeta. Imitando los procesos naturales, sus nubes brillantes pueden prevenir el calentamiento global catastrófico.

Específicamente, liberan un compuesto natural a través de globos reutilizables para crear nubes reflectantes en la estratosfera. 1 gramo de sus nubes compensa el calentamiento que genera 1 tonelada de emisiones de CO₂ durante un año. Después de 2 años, las nubes se convierten en abono y vuelven a asentarse en la Tierra. Otro beneficio que presentan es que al entregar las nubes con globos reutilizables, se genera un gran ahorro.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

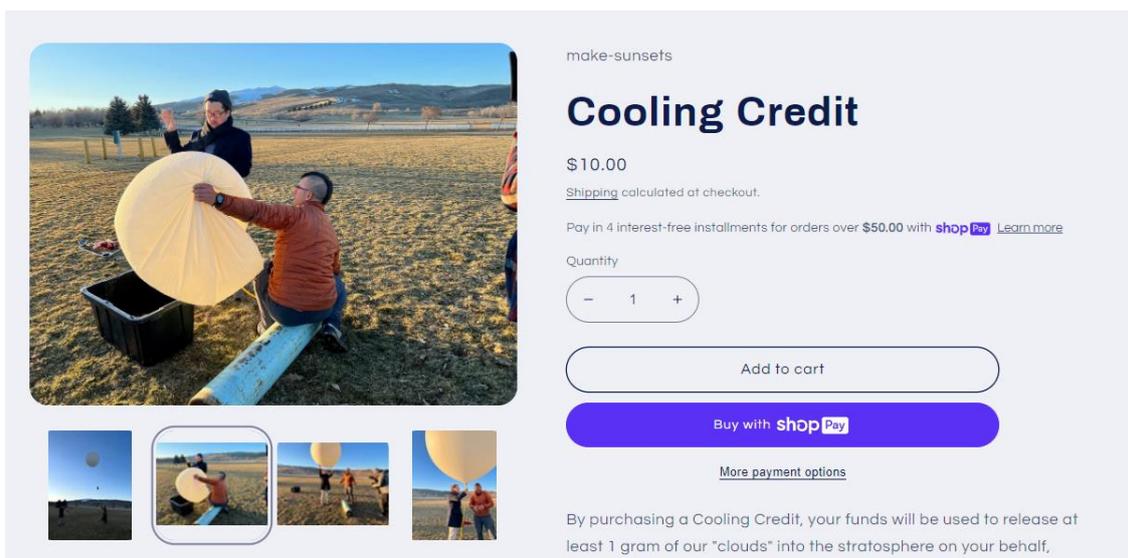


Figura 14. Make Sunsets.

En ARGENTINA:

El único proyecto encontrado al respecto en Argentina es de la ONG Degrees Initiative, nombrada anteriormente. La iniciativa DEGREES (DEveloping country Governance, REsearch and Evaluation for SRM), con sede en el Reino Unido, pretende ampliar el debate sobre la Gestión de la radiación solar en todo el mundo y ha puesto en marcha el Fondo de Modelización DEGREES (DMF). El DMF proporciona financiación para permitir a los científicos del hemisferio sur los enfoques de la SRM y analizar los impactos potenciales de la SRM en sus regiones.



Figura 15. La iniciativa DEGREES.

En Argentina, el equipo de investigación del DMF tiene su sede en Buenos Aires, en la Universidad de Buenos Aires (UBA) y en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET). Este equipo, liderado por Ines Camilloni, Profesora del Departamento de Ciencias Atmosféricas y Oceánicas de la Universidad de Buenos Aires, investigadora del CONICET, desarrolló un proyecto de geoingeniería solar en La Plata:

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

“Impacts of SRM on the La Plata Basin’s hydroclimate in South America”

Desde 2018, el equipo de investigación ha estado modelando los posibles impactos de los MER en la disponibilidad de agua dulce y las temperaturas en la Cuenca del Plata. La modelización se basa en un modelo climático desarrollado en el Hemisferio Norte: Geoengineering Large Ensemble (GLENS) project.

En general, los reportes publicados hablan de una baja general en las temperaturas, y también, una modificación en los ciclos hídricos. “En la cuenca de la Plata, nuestros resultados nos indican que puede haber un aumento en las lluvias. ¿Qué quiere decir esto? De implementarse el SAI en el mundo, la Argentina tendrá que ver qué pasa con las represas hidroeléctricas del río Paraná, y los cultivos de la zona”, precisa Camiloni.

La geoingeniería y los reclamos por la propiedad intelectual

Como si la reestructuración del clima no fuese suficientemente controvertida, un puñado de geoingenieros están avanzando hacia la privatización del proceso al reclamar derechos de propiedad intelectual sobre las técnicas de la geoingeniería. El aspecto político de las patentes siempre ha sido un tema que provoca división al momento de emerger en los distintos foros internacionales. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) no es la excepción.

En relación con las tecnologías climáticas, las restricciones a la difusión de la tecnología por medio de un monopolio de 20 años resultan claramente contraproductivas si lo que se quiere es realizar acciones urgentes. Aquí, la propiedad intelectual propicia que los propietarios de las patentes realicen negocios muy lucrativos a través de los contratos de licencia o de las cuotas por transferencia, o bien, que tengan más poder de negociación para crear un “ambiente de negocios” más favorable. Al igual que lo que ocurre con otras industrias de alta tecnología, las ganancias por el otorgamiento de licencias de tecnologías patentadas de geoingeniería se volverán en un impulso para que los gobiernos apoyen el desarrollo, la investigación y difusión de la geoingeniería, sin importar la ética, la seguridad o la eficacia.

A medida que las técnicas de geoingeniería se mueven del ámbito de la teoría al de su emplazamiento en el mundo real, la existencia de patentes bajo control de individuos y empresas privadas podría significar que las decisiones sobre los bienes comunes climáticos serán tomadas por el sector privado. De hecho, los geoingenieros ya están afirmando que sus patentes les otorgan derechos comerciales extensos sobre los bienes comunes en los que operan.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023



Figura 16. Representación gráfica de la Propiedad Intelectual.

Acuerdos internacionales

Actualmente no existe ningún acuerdo internacional para el uso de la geoingeniería, y las leyes de cada país difieren enormemente, por no hablar de los vacíos legales que aún existen sobre este asunto.

El Acuerdo de París ratificado por la práctica totalidad de los países del mundo, se publicó en 2015 para luchar contra el cambio climático. En su primer párrafo ya se dice que “la temperatura media del planeta no deberá subir más de 2°C y en medida de lo posible quedarse en 1,5°C de aumento”, un umbral que se estableció desde el mundo científico y que se considera como punto de no retorno. Una vez pasados esos +2°C con respecto a la temperatura media, estaríamos abocados a los peores escenarios del calentamiento global y lo cierto es que la temperatura ya ronda el +1°C de aumento.

Aunque el acuerdo dice eso, no dice cómo debe hacerse y tampoco da los mecanismos para conseguirlo, ni limita las emisiones ni pone umbrales a los países. Para muchos científicos, dejó abierta la puerta a la geoingeniería, y dado el avance que están haciendo algunos países desde esa fecha, podríamos estar cada vez más cerca de algunas de estas técnicas, en vista a que las naciones no se ponen de acuerdo para frenar sus emisiones y estas no dejan de aumentar año a año. La única solución para algunos, solo puede estar en estas aplicaciones.

En vez de atacar las causas de fondo, y cambiar el modelo económico y de desarrollo actual, puede parecer que haya cierto interés en seguir con nuestro crecimiento sustentando en estos combustibles, para poder seguir emitiendo sin cambiar nada, pero que a cambio tengamos quien nos retire del CO₂ o quien enfríe el planeta con escudos para que no siga calentándose.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023



Figura 17. Representación gráfica de Acuerdos Internacionales.

Geopolítica global

Los países más pobres son los que se ven más afectados por los fenómenos meteorológicos extremos y los cambios climáticos a largo plazo, lo que representa un desafío para su capacidad de adaptación y resiliencia. La relación entre el cambio climático y los conflictos es un tema de debate, ya que algunos sugieren que puede ser un factor que contribuye a la ingobernabilidad y los conflictos, mientras que otros argumentan que los conflictos son simplemente el resultado de una situación política inestable en el país.

La pregunta es **¿cómo construimos el conflicto en el cuadro?**

La relación entre el cambio climático y los conflictos no es directa ni lineal, y está influenciada por **múltiples factores interconectados**, lo que dificulta la predicción precisa de cómo el cambio climático puede provocar conflictos en un lugar determinado. No obstante, los defensores de la acción climática enfrentan el desafío de transmitir esta complejidad de manera efectiva, ya que la falta de comprensión puede llevar a la inacción y al sufrimiento continuo de las comunidades más vulnerables al cambio climático y a los conflictos.

Estos elementos pueden poner en duda la seguridad de las naciones desde ambas perspectivas del concepto de seguridad. Desde la perspectiva de la seguridad como consecuencia de la paz, podemos observar una definición integral en el concepto de "gran seguridad (HUGE):

Ésta vincula la seguridad humana, con la seguridad de género y la seguridad ambiental, que ofrece una perspectiva transdisciplinaria de análisis con traslapes entre estas seguridades particulares. El conjunto de estas políticas interrelacionadas se enfoca hacia un mundo descentralizado, participativo, sustentable y diverso, donde existen mecanismos de

<i>Tema: Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

resolución pacífica de conflictos con la cooperación entre instituciones públicas y privadas, así como la sociedad organizada.

Así, entre ambas perspectivas la resolución de conflictos dependerá de la correcta implementación de las políticas y estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático en este nuevo esquema de seguridad de las negociaciones.

El conflicto con el cambio climático puede resultar problemático al no poder separarse con claridad de la inestabilidad política del país. Esta cuestión puede dar raíz a conflictos entre naciones. Esto puede ser por lucha por recursos naturales, refugiados climáticos, lo que puede provocar migraciones masivas y conflictos en las fronteras de los países o alguna otra situación que detone la ingobernabilidad de un país o la inestabilidad de una región.

Tema: Geoingeniería Solar					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Conclusión

La geoingeniería es una estrategia que busca manipular el clima de la Tierra a gran escala con el fin de combatir el cambio climático. Sin embargo, su aplicación plantea varios desafíos éticos, políticos y técnicos que deben ser considerados cuidadosamente antes de su implementación.

La geoingeniería presenta riesgos tanto como lo hace el cambio climático, por lo que es fundamental identificar cuáles son esos riesgos. Si bien la geoingeniería podría reducir la frecuencia y severidad de las olas de calor y desacelerar el derretimiento del hielo, también podría tener efectos sobre el ciclo del agua, la salud humana, la producción de alimentos, los ecosistemas y el acceso al agua dulce, lo que podría ser beneficioso o perjudicial dependiendo del lugar del mundo. A pesar de que se habla cada vez más sobre la geoingeniería en ámbitos científicos y políticos, no hay consenso sobre su uso.

Los defensores de la geoingeniería creen que es una herramienta necesaria para enfrentar los peores riesgos del cambio climático en el corto plazo, ya que los gobiernos no están haciendo lo suficiente para abordar la crisis climática. Los oponentes argumentan que, si ya estamos en una crisis climática, no es la mejor idea recurrir a tecnologías de impacto global. Sin embargo, es importante destacar que aún hay mucho por conocer acerca de los posibles riesgos y beneficios de la geoingeniería, incluyendo aspectos éticos, morales y de gobernanza.

Además, uno de los mayores problemas es que la geoingeniería puede ser vista como una excusa perfecta para que los gobiernos y las empresas no reduzcan sus emisiones de gases de efecto invernadero. Si bien la geoingeniería puede ser vista como una solución fácil y rápida para el cambio climático, es importante recordar que reducir las emisiones sigue siendo la mejor y más efectiva solución a largo plazo.

Otro problema importante es que para que la geoingeniería tenga un impacto visible sobre el clima, tendría que ser desplegada en escala masiva. Sin embargo, cualquier consecuencia no deseada también lo sería. No sabemos cómo podríamos retirar de la circulación una tecnología de escala planetaria.

Además, los gobiernos y las empresas más poderosas son quienes tienen los presupuestos y la tecnología para aplicar la geoingeniería de manera peligrosa. Los estados y pueblos más vulnerables no cuentan con esta capacidad y no tienen ninguna garantía de que sus derechos serán respetados.

También es importante considerar que muchas de las técnicas de geoingeniería podrían ser aplicadas de manera unilateral, lo que puede representar una amenaza para la comunidad internacional. Es urgente desarrollar un mecanismo multilateral para regular la geoingeniería y establecer una prohibición de cualquier intento unilateral de modificar el clima.

Además, la geoingeniería es una tecnología no confiable que puede ocasionar consecuencias no previstas debido a fallas mecánicas, errores humanos, insuficiente comprensión del clima de la Tierra, fenómenos naturales futuros, impactos transfronterizos, irreversibilidad o carencia de fondos.

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

La comercialización del clima y la posibilidad de lucrar con el carbono también es un problema. Si la geoingeniería se convierte en una solución viable para el cambio climático, puede haber una intensa competencia en las oficinas de patentes para desarrollar la tecnología. Además, ningún interés comercial debería ser admitido como influencia en la investigación y el desarrollo de tecnologías que pueden alterar el planeta.

Por lo que, la geoingeniería puede parecer una solución fácil y rápida para el cambio climático, pero presenta varios problemas importantes que deben ser considerados cuidadosamente y debe ser vista como una solución complementaria y no como una alternativa.

Por lo tanto, se puede concluir que la geoingeniería no es solo una cuestión ambiental, sino que también involucra cuestiones políticas, económicas y sociales. De modo que, es necesario comprender los riesgos que conlleva la geoingeniería y compararlos con los riesgos del cambio climático para tomar decisiones justas y equitativas.

A pesar de que la geoingeniería solar es una técnica potencialmente efectiva, barata y tecnológicamente factible, aún hay preguntas sin responder: ¿Cómo, cuándo y dónde se decidiría el uso de esta práctica? ¿Qué rol tendrán los países en desarrollo?

Y, finalmente **¿Quién controlaría el termostato del planeta?**

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

Bibliografía

1. DE, C. (Agosto 2010) Los esfuerzos por remendar al planeta. *ETC Group*. Recuperado de
www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/pdf_file/RetoolingPlanet_Agosto2010.pdf&clen=1135787&chunk=true
2. Degrees NGO. (s.f). Impacts of SRM on the La Plata Basin's hydroclimate in South America. *Degrees Initiative*. Recuperado de
<https://www.degrees.ngo/dmf/the-projects/argentina/>
3. DW Documental. (Octubre 2020). La geoingeniería contra el cambio climático. *YouTube*. Recuperado de
<https://www.youtube.com/watch?v=3LaLUREx8lg>
4. Fan, Y., Tjiputra, J., Muri, H., Lombardozi, D., Park, C. E., Wu, S., & Keith, D. (2021). Solar geoengineering can alleviate climate change pressures on crop yields. *Nature Food* 2(5), 373-381. Recuperado de
https://keith.seas.harvard.edu/files/tkg/files/fan_et_al_2021_nature_food.pdf?m=1622034220
5. Geoengineering Monitor. (2023). Proyectos de Geoingeniería. Recuperado de
<https://map.geoengineeringmonitor.org/>
6. IAgua. (Septiembre 2018). La geoingeniería solar no evita el daño a los cultivos por el calentamiento global. *iAgua España*. Recuperado de
<https://www.iagua.es/noticias/ep/geoingenieria-solar-no-evita-dano-cultivos-calentamiento-global>
7. James Temple. (Agosto 2019). Ocho preguntas para entender la geoingeniería y por qué es importante. *MIT Technology Review*. Recuperado de
<https://www.technologyreview.es/s/11361/ocho-preguntas-para-entender-la-geoingenieria-y-por-que-es-importante#:~:text=%C2%BFDe%20d%C3%B3nde%20surgió%20la%20idea,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>
8. Lampsakos. (2009).La Ingeniería. *Revista Digital Lámpsakos*. Recuperado de
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3625478.pdf>
9. Laura Paddison. (Febrero 2023). Los partidarios de una controvertida solución climática dicen que podría ser clave. Los críticos creen que es el camino a la catástrofe. *Noticia CNN en Español*. Recuperado de

Tema: <i>Geoingeniería Solar</i>					Trabajo Práctico Grupal N°4	
Versión	1	Fecha	18/05/23	Industrias y Servicios II	Facultad de Ingeniería - UNCuyo	Ciclo 2023

<https://cnnespanol.cnn.com/2023/02/13/partidarios-controvertida-solucion-climatica-clave-criticos-camino-catastrofe-geoingenieria-solar-trax/#:~:text=Consiste%20en%20rociar%20aerosoles%20%2Dcomo,se%20inspira%20en%20los%20volcanes>

10. Melissa Hogenboom. (Septiembre 2013). Geoingeniería para enfriar el planeta y revertir el cambio climático. *BBC Mundo*. Recuperado de

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/09/130925_ciencia_geoingenieria_tecnologias_para_revertir_cambio_climatico_np

11. Monitor Geoingeniería. (Enero 2021). Adelgazamiento de las nubes cirrus. *Geoengineering Monitor*. Recuperado de

<https://es.geoengineeringmonitor.org/wp-content/uploads/2022/02/06-cct-Formado-Final.pdf>

12. Southern Criss University. (Abril 2020). Cloud Brightening project. *YouTube*. Recuperado de

<https://www.youtube.com/watch?v=B0KeUlvWakg&t=89s>

13. The Economist. (Julio 2019). Could solar geoengineering counter global warming?. *YouTube*. Recuperado de

<https://www.youtube.com/watch?v=OGdz5gYqm-o&t=3s>

14. Vista al Mar. (2020). Iluminan las nubes con turbinas sobre la Gran Barrera de Coral en primera prueba mundial. *Vista al Mar*. Recuperado de

<https://www.vistaalmar.es/medio-ambiente/cambio-climatico/9049-iluminan-nubes-turbinas-gran-barrera-coral-primer-prueba-mundial.html>

15. Wikipedia. (Diciembre 2022). Geoingeniería solar. *En Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado de

https://es.wikipedia.org/wiki/Geoingenier%C3%ADa_solar