

El objetivo de 1,5 grados – Geoingeniería

El término colectivo “geoingeniería” abarca una variedad de tecnologías que intervienen en el sistema climático global con el fin de contrarrestar el cambio climático. Estas tecnologías se dividen, por un lado, en métodos para influir en el equilibrio térmico de la Tierra, el llamado Manejo de la Radiación Solar (MRS), y por otro lado, en métodos para eliminar el CO₂ de la atmósfera, la llamada Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR). Sin embargo, todas las tecnologías están asociadas con riesgos sociales, políticos y ambientales y, por lo tanto, deben ser cuestionadas críticamente.¹

Proceso de elaboración de las tecnologías de geoingeniería

El tema de la geoingeniería es desarrollado con la ayuda de un trabajo en grupo. Cada grupo se informa sobre un método específico de geoingeniería desde una perspectiva social preestablecida. Se investiga la relación entre las causas y los efectos y se llega al fondo de la cuestión principal sobre las ventajas (potenciales) y los inconvenientes (peligros) de la geoingeniería. La presentación de los resultados en forma de discusión en un programa de entrevistas entrena la capacidad de razonamiento, promueve las estrategias de resolución de problemas de los alumnos y estimula una reflexión metacognitiva final.

Los materiales y los resultados obtenidos de las tecnologías

Introducción: El video (aprox. 10 min)

La introducción es realizada por el profesor o profesora. El breve vídeo "¿Qué es la geoingeniería?" introduce a los alumnos al tema:

La geoingeniería se refiere a varios enfoques tecnológicos con los que se podría combatir activamente el cambio climático. Por ejemplo, se han desarrollado filtros de CO₂ que filtran los gases de efecto invernadero de la atmósfera. El video muestra que las medidas tecnológicas de la geoingeniería, por sí solas, no serán suficientes para reducir las emisiones de CO₂ a cero.

Fase de trabajo práctico: Trabajo en grupo y carteles de aprendizaje (aprox. 35 min)

En ocho pequeños grupos de aproximadamente 3 a 4 alumnos, se procesan los métodos de geoingeniería “Aerosoles en la estratosfera” y “Captura directa del aire” desde cuatro perspectivas sociales (política, ciencia, industria y economía, pueblos indígenas). Para cada grupo hay una hoja de trabajo separada con enlaces de investigación para la tarea respectiva. La división en grupos puede realizarse de forma autónoma o por parte del profesor o profesora. En la hoja de trabajo se formula un total de dos tareas: En primer lugar, los grupos pequeños deben crear un cartel de aprendizaje sobre su tema (aprox. 35 min). Para ello, los estudiantes deben informarse primero sobre la geoingeniería en general a través de la hoja informativa "El objetivo de 1,5 grados – Geoingeniería (hoja informativa)", que está disponible en el Portal CREA. A continuación, los grupos pequeños pueden profundizar en su tema con los enlaces de investigación proporcionados en la hoja de trabajo. En el cartel de aprendizaje se tratará la explicación del

¹ IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001 https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf

funcionamiento del método de geoingeniería, el estado actual de la investigación y los ejemplos de aplicación, así como las oportunidades y los riesgos desde la respectiva perspectiva del grupo pequeño. Como ayuda opcional, se pueden distribuir a los grupos pequeños las tarjetas de información (pág. 9 y 10).

Verificación de resultados: Presentación de los resultados como discusión en un programa de entrevistas (aprox. 45 min)

La presentación tiene lugar en forma de una puesta en escena de un programa de entrevistas. Los estudiantes primero forman un grupo de los cuatro grupos pequeños del método de geoingeniería respectivo y se presentan sus carteles de aprendizaje entre sí (aprox. 10 min). A continuación, el grupo recibe del profesor o profesora las tarjetas de roles (pág. 11) para el programa de entrevistas, que los alumnos se reparten entre sí. Los roles son de un facilitador y de invitados de cuatro áreas sociales diferentes, que corresponden a los pequeños grupos de trabajo en grupo (política, ciencia, industria y economía, pueblos indígenas). Los alumnos deben discutir los argumentos y las estrategias de resolución de problemas en conjunto de antemano y ensayar el juego de roles en su grupo (aprox. 10 min). Luego, cada grupo realizará el programa de entrevistas ante toda la clase (aprox. 10 a 15 min por programa de entrevistas). El "público" puede tomar nota de las preguntas durante el juego de roles y hacerlas a los invitados del programa de entrevistas después de la discusión. Los encuestados siguen tratando de defender su posición. Por último, puede celebrarse una breve votación, por ejemplo a mano alzada o mediante un procedimiento de votación por mociones (levantarse de los escaños o "método de las cuatro esquinas") para determinar cuál es la posición más convincente. También es posible una reflexión metacognitiva de la discusión, moderada por el profesor o profesora, para reflexionar sobre la razón por la que las diferentes posiciones se presentaron de manera más o menos convincente. Alternativamente, la presentación también se puede realizar como una discusión (por ejemplo, creada como un debate tipo "pecera").

Objetivos didácticos

En esta unidad didáctica se amplía el conocimiento especializado sobre el tema del cambio climático y la geoingeniería. La elaboración independiente de los métodos individuales de geoingeniería a través de una investigación promueve el aprendizaje autodirigido y las competencias de autoorganización. El trabajo en grupo requiere competencias sociales y cooperativas, por lo que los alumnos aprenden a elaborar antecedentes más complejos y a tener en cuenta las diferentes perspectivas de los actores.

A través del juego de roles, los alumnos adoptan una postura sobre el cambio climático apoyada en materiales. y desde diferentes perspectivas, se sensibilizan sobre este tema y obtienen así una visión de los complejos efectos y del proceso de toma de decisiones políticas. El resultado del debate es abierto, no hay preguntas "incorrectas" o la solución "correcta" para responder a la pregunta de orientación sobre los costos y beneficios de la geoingeniería. Por lo tanto, la capacidad de comunicación, la capacidad de razonamiento y la capacidad de evaluación se fomentan a través de la discusión y la coordinación al final.

El término “geoingeniería” y las diferentes tecnologías

El término geoingeniería fue acuñado por primera vez en la década de 1970 por el físico italiano Cesare Marchetti. La geoingeniería (o también ingeniería climática) se refiere a las intervenciones deliberadas y de gran alcance en el sistema climático con medios técnicos. Se están investigando varios métodos para influir específicamente en el clima y, por lo tanto, contrarrestar el cambio climático y el calentamiento global progresivo. En particular, la reducción de la radiación solar incidente a través del Manejo de la Radiación Solar (MRS) y la eliminación de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), de la atmósfera a través de métodos de Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR) podría ser una solución temporal para “facilitar” los objetivos de reducción y el objetivo de 1,5 grados del Acuerdo de París sobre el Clima. Sin embargo, el esfuerzo, los costos y los riesgos de cada método no son despreciables y deben tenerse en cuenta.²

Manejo de la Radiación Solar (MRS)

Las tecnologías del MRS tienen como objetivo reflejar la radiación solar de vuelta al espacio. Las intervenciones en el balance energético de la Tierra son posibles al aumentar la reflexión de la radiación de onda corta entrante o al aumentar la radiación de onda larga.

Aerosoles en la estratosfera

La introducción de aerosoles reflectantes (sobre todo sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre) en la estratosfera baja aumenta la reflexión de la luz solar incidente. Esto causa una reducción de la radiación de onda corta. Como resultado, la temperatura promedio global disminuye. Se puede encontrar más información sobre la implementación técnica y el estado actual de la investigación en la hoja informativa "El objetivo de 1,5 grados: Geoingeniería (hoja informativa)".

Ventajas (potenciales)

- La eficacia es demostrable gracias a fenómenos naturales como las erupciones volcánicas.
- La radiación solar incidente se puede reducir en gran medida mediante un uso relativamente pequeño del material.
- Debido a la falta de precipitación en la estratosfera, los aerosoles estratosféricos tienen una vida útil de 1 a 2 años y deben introducirse con menos frecuencia.
- Las tecnologías para la introducción de los aerosoles en la estratosfera ya han sido probadas y están disponibles. Entre otras cosas, se discute la introducción de combustible para aviones o la combustión de globos de aire caliente.

² Fuentes utilizadas para la descripción y evaluación de los métodos de geoingeniería. Las dos primeras fuentes son originalmente en alemán:

- Rickels et al. (2011): ¿Intervenciones específicas en el clima? Un balance del debate sobre la ingeniería climática. Estudio exploratorio para el Ministerio Federal de Educación e Investigación: https://www.fona.de/medien/pdf/Bestandsaufnahme_Debatte_Climate_Engineering_de.pdf
- Agencia Federal del Medio Ambiente (2011): Geoingeniería: ¿protección efectiva del clima o megalomanía?: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4125.pdf>
- IPCC (2022): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf
- <https://www.geoengineeringmonitor.org/>

Desventajas (peligros)

- La reducción de la radiación solar sobre el suelo puede influir en la formación de nubes en la troposfera, lo que provocaría cambios en las condiciones de precipitación regionales. Las simulaciones del modelo pudieron demostrar perturbaciones en los eventos de lluvia estacionales (por ejemplo, el monzón asiático de verano), que son un requisito previo para la producción de alimentos de gran parte de la población local.
- Las reacciones químicas en los aerosoles de sulfato pueden conducir a una degradación acelerada del ozono estratosférico.
- El efecto del método es difícil de controlar con el estado actual de la investigación, ya que muchas variables inexplicables pueden provocar efectos secundarios cuando sea introducido. No se puede descartar un enfriamiento demasiado rápido o un calentamiento rápido.

Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR)

Las tecnologías para la CDR tienen como objetivo reducir la concentración de CO₂ atmosférico mediante el aumento de los depósitos de dióxido de carbono terrestres o marinos, así como mediante la creación de nuevos sumideros de dióxido de carbono.

Captura directa del aire

Captura directa del aire (DAC) describe el método de geoingeniería para filtrar el dióxido de carbono del aire ambiente. El CO₂ capturado puede almacenarse y conservarse o reutilizarse como materia prima. Se puede encontrar más información sobre la implementación técnica y el estado actual de la investigación en la hoja informativa "El objetivo de 1,5 grados: Geoingeniería (hoja informativa)".

Ventajas

- La tecnología ya está en uso en varios proyectos más pequeños, y en la actualidad se están planificando otras instalaciones más grandes.
- El CO₂ capturado también se puede utilizar como materia prima, por ejemplo, en el procesamiento de alimentos o en combinación con hidrógeno para la producción de combustibles sintéticos.
- El método se puede utilizar prácticamente en cualquier lugar. No es absolutamente necesario estar cerca de las fuentes de emisión, pero puede aumentar la eficiencia.

Desventajas

- El funcionamiento de los sistemas DAC requiere una gran cantidad de energía.
- Los productos químicos necesarios para el filtrado deben ser eliminados con cuidado y de forma respetuosa con el medio ambiente.
- No es seguro que el almacenamiento sea irreversible a largo plazo y que no se puedan producir brotes de CO₂ en el futuro.
- El almacenamiento es muy costoso energéticamente y no hay muchos depósitos geológicamente adecuados para un almacenamiento seguro a largo plazo.

Estado actual de la técnica

Muchas de las tecnologías aún no han madurado o no se han implementado a gran escala. En el caso del MRS con aerosoles en la estratosfera, el estado de la investigación sigue siendo limitado. Actualmente solo existen estudios de modelado y ensayos de campo más pequeños. Aunque los estudios han demostrado que la introducción de aerosoles en la estratosfera puede enfriar la

Tierra, los efectos exactos, especialmente a nivel regional, así como las consecuencias a largo plazo, aún no se pueden prever.

La Captura directa del aire mediante filtros de CO₂ funciona como pequeñas plantas piloto que actualmente captan casi 0,01 millones de toneladas de CO₂/año. En los Estados Unidos hay una planta para la captura de 1 millón de toneladas de CO₂/año en desarrollo avanzado. En la hipótesis de cero emisiones netas para 2050, la IEA (Agencia Internacional de Energía) asume que la captura directa de CO₂ del aire debe aumentar a casi 60 millones de toneladas de CO₂/año para 2030.³ Por lo tanto, el alcance tendría que aumentarse considerablemente, ya que estos sistemas necesitarían una inmensa energía para funcionar. Esta energía debería provenir de fuentes de energía renovables con el fin de que el CO₂ no sea liberado de nuevo para la producción de energía. Si simplemente se almacena CO₂ de la quema de combustibles fósiles, el efecto sobre la reducción de CO₂ en la atmósfera es cero. Tampoco está claro si los emplazamientos de almacenamiento en los que se inyecta el CO₂ hoy en día son seguros y pueden mantener el CO₂ durante mucho tiempo.

Geoingeniería: ¿Salida o camino equivocado?

La geoingeniería se debate dentro del discurso social como una posible salida a la crisis climática. Sin embargo, el IPCC deja claro en su sexto informe de evaluación que para estabilizar el calentamiento global y lograr el objetivo de 1,5 grados, son prioritarias la prevención de las emisiones de gases de efecto invernadero y la conversión a energías renovables. Las medidas de geoingeniería se pueden utilizar adicionalmente para apoyar este proceso, pero el impacto y la eficacia son actualmente tan bajos que la prevención de emisiones sigue siendo la medida más importante.⁴

Algunas de las medidas propuestas también entran en conflicto con los principios básicos de la política ambiental internacional y los diversos acuerdos internacionales para protección del medio ambiente. Por ejemplo, en 2013 se aprobó una prohibición vinculante a nivel mundial de la fertilización oceánica comercial (promueve el crecimiento de algas que supuestamente fijan el CO₂) con el “Convenio de Londres sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias”.⁵

El debate sobre el uso de la geoingeniería también debe continuar desde el punto de vista de la ética, la economía, la sociología, la ciencia jurídica y la ciencia política, debido al posible impacto global sobre los ecosistemas y las sociedades, y la utilización debe sopesarse cuidadosamente.

³ IEA (2022): Direct Air Capture <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>

⁴ IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001 https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf

⁵ Organización Marítima Internacional: Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias: <https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/Convention-on-the-Prevention-of-Marine-Pollution-by-Dumping-of-Wastes-and-Other-Matter.aspx>

Nota al margen: Otros métodos de geoingeniería

Manejo de la Radiación Solar (MRS)

Reflectores en el espacio

Al situar materiales reflectantes (sobre todo se habla de superficies reflectantes) en órbitas estables entre el Sol y la Tierra, una parte de la radiación de onda corta incidente se refleja directamente de vuelta al espacio.

Ventajas

- La radiación de onda corta reflejada ya no contribuye al calentamiento de la atmósfera de la Tierra, lo que resulta en un enfriamiento de la superficie del planeta.
- En principio, sería posible un sombreado uniforme de la Tierra.
- Según los cálculos del modelo, los cambios climáticos causados por el efecto invernadero antropogénico podrían reducirse significativamente.

Desventajas

- La implementación requiere una cantidad extremadamente alta de material y una extensa fase de desarrollo.
- La posición de los reflectores tendría que corregirse una y otra vez; debido a la distancia (espacio cercano a la Tierra) esto solo es posible mediante un esfuerzo extremadamente alto.
- La radiación térmica de la Tierra podría verse obstaculizada, lo que provocaría un calentamiento.
- En el caso de un sombreado no uniforme, la consecuencia serían diferencias regionales en la irradiación solar. Esto tendría un impacto de gran alcance en la circulación atmosférica y oceánica y, por lo tanto, en las temperaturas, la evaporación, la nubosidad y las precipitaciones en muchas regiones del mundo.

Modificación de las nubes cirros

Las nubes cirros (nubes de hielo a gran altura) reducen tanto la radiación de onda larga como la radiación de onda corta. Qué efecto predomine dependerá de la latitud geográfica de la nube, así como de su altura, el tamaño de las partículas e incluso la forma de los cristales. Por lo general, los cirros tienen un efecto de calentamiento, ya que predomina el efecto de obstrucción de la radiación de onda larga. La introducción de núcleos de hielo puede dar lugar en los cirros a menos partículas de hielo pero de mayor tamaño, que caen más rápidamente. Por lo tanto, la disolución de los cirros se acelera artificialmente, lo que tendría un efecto de enfriamiento.

Ventajas

- La tecnología para la introducción de núcleos de hielo es sencilla y ya está probada; por ejemplo, aviones comerciales podrían ser utilizados para esto.
- El consumo de material es extremadamente bajo, ya que los estudios solo asumen unos pocos núcleos de gérmenes de hielo por vuelo.

Desventajas

- El estado de la investigación sobre los posibles efectos meteorológicos secundarios es muy deficiente.
- La modificación de los cirros puede causar fuertes efectos secundarios regionales, por ejemplo, para el monzón.

- El efecto de enfriamiento que se pretende también podría ocasionar cambios no deseados en el ciclo del agua y la circulación atmosférica.

Aumento del albedo de las nubes

Este método de geoingeniería tiene como objetivo aumentar la reflectividad de las nubes mediante la introducción de núcleos de condensación artificiales. Este método se discute principalmente para las nubes estratocúmulos marinas, ya que la concentración natural presente de núcleos de condensación en las regiones marítimas es muy baja y, por lo tanto, el efecto de la introducción artificial sería más efectivo. El enriquecimiento artificial de la atmósfera marítima con núcleos de condensación tiene como consecuencia que se forman más y más pequeñas gotas dentro de las nubes y, por lo tanto, la luz solar es reflejada más intensamente. Los núcleos de condensación artificiales siendo actualmente debatidos son principalmente partículas de sal, que podrían extraerse directamente del agua de mar y pulverizarse en la atmósfera.

Ventajas

- La tecnología de la introducción ha sido investigada y podría ser implementada, por ejemplo, por barcos o aviones.
- El efecto de enfriamiento es inmediato y tendría un efecto significativo.

Desventajas

- Una aplicación a gran escala influiría en los patrones meteorológicos y de flujo regionales y presentaría efectos secundarios en el ciclo hidrológico.
- El aumento de la presencia de nubes reduce la irradiación lumínica sobre la superficie de la Tierra; esto puede afectar a los ecosistemas, por ejemplo, al crecimiento de las plantas.
- Dado que las nubes tienen una distribución espacial irregular, la liberación de núcleos de condensación tendría que repetirse en mayores cantidades con suficiente distribución espacial y regularidad. El gasto técnico, energético y económico aún no se ha investigado lo suficiente debido a las muchas variables.

Aumento del albedo de la superficie

La mejora del albedo de la superficie contempla varias propuestas para aumentar la reflectividad de las superficies como método de geoingeniería. La mayoría de las veces se discuten las modificaciones de pastizales, campos, asentamientos y áreas desérticas (por ejemplo, vegetación más reflectante, manipulación de cultivos, techos reflectantes o pavimento modificado).

Ventajas

- Los materiales y tecnologías necesarios ya están disponibles.
- El aumento del albedo de la superficie en las zonas urbanas puede conducir, además, a la mitigación de las islas de calor urbanas (aglomeraciones con temperaturas más altas que las zonas rurales circundantes).

Desventajas

- Las medidas para aumentar el albedo superficial son costosas y tienen un efecto de enfriamiento relativamente pequeño.
- La cobertura de áreas desérticas o el uso de cultivos manipulados amenazarían los ecosistemas y la biodiversidad existentes.
- Sería necesaria la limpieza y renovación periódica de las superficies reflectantes.

Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR)

Absorción de carbono terrestre

La absorción de carbono terrestre se refiere a las medidas para restaurar el volumen de almacenamiento preindustrial del suelo y la vegetación (por ejemplo, mediante la forestación y la forestación o la rehumectación de pantanos, la producción y el almacenamiento de biocarbón).

Ventajas

- Las medidas y tecnologías son conocidas y se pueden aplicar de inmediato, dependiendo del país y la ubicación elegida.
- El biocarbón podría ser un subproducto de los residuos agrícolas y forestales.
- Los procedimientos son reversibles.

Desventajas

- El cambio en el uso de la tierra, que se produce, por ejemplo, por la forestación, puede ocasionar inicialmente la pérdida de hábitat y la amenaza a la biodiversidad local.
- La forestación causa una reducción del albedo de la superficie y, por lo tanto, puede contrarrestar el efecto de enfriamiento.

Absorción de carbono marino

Los océanos son el sumidero de carbono más grande e importante de nuestro planeta. La absorción de carbono marino incluye medidas para aumentar el contenido de CO₂ de los océanos. Estos procesos pueden ser biológicos (fertilización oceánica), físicos (introducción directa de CO₂ en capas más profundas del agua) o químicos (aceleración artificial de los procesos de meteorización, especialmente en rocas calcáreas y de silicato).

Ventajas

- Las tecnologías ya están disponibles en parte, se pueden implementar de inmediato y en los océanos ya están en la fase de prueba (por ejemplo, en el Pacífico Norte o en el Pacífico Ecuatorial)
- El potencial de reducción de CO₂ mediante la absorción de carbono marino es muy alto.

Desventajas

- En particular, los procesos físicos para aumentar el contenido de CO₂ no son permanentes y, por lo tanto, solo serían un método limitado y a corto plazo.
- Las cantidades de roca necesarias para los procesos de meteorización química son muy altas, además, la meteorización artificial excesiva también puede llevar a la alcalinización de los océanos.
- Todos los procesos requieren un enorme esfuerzo logístico y energético; además, por ejemplo, la fertilización oceánica podría generar una competencia de nutrientes frente a la producción de alimentos en tierra.
- Los posibles efectos secundarios nocivos, como el aumento de la acidificación de los océanos, pueden tener un impacto irreversible en los ecosistemas marinos.
- Muchas medidas de captación de carbono marino (fertilización oceánica e introducción directa de CO₂ en los océanos) fueron prohibidas por los Protocolos de Londres.⁶

⁶ Fuentes utilizadas para la descripción y evaluación de los métodos de geoingeniería. Las fuentes son originalmente en alemán:

- Rickels et al. (2011): ¿Intervenciones específicas en el clima?: https://www.fona.de/medien/pdf/Bestandsaufnahme_Debatte_Climate_Engineering_de.pdf

Material de trabajo adicional para el trabajo en grupo

Aerosoles en la estratosfera

<p>Enviar aerosoles (partículas diminutas que se mezclan con el aire y se quedan flotando allí) a la estratosfera es un método para el Manejo de la Radiación Solar (MRS).</p>	<p>Las tecnologías del Manejo de la Radiación Solar (MRS) tienen como objetivo reflejar la radiación solar de vuelta al espacio.</p>	<p>Intervenciones en el equilibrio energético de la Tierra aumentando la reflexión de la radiación entrante de onda corta o de onda larga.</p>
<p>Con el método "Aerosoles en la estratosfera", se introducen partículas (de menor tamaño) en la estratosfera inferior.</p>	<p>Las partículas de la estratosfera reflejan la radiación solar de onda corta.</p>	<p>Para este método, generalmente se discute la introducción de sulfuro de hidrógeno o dióxido de azufre, que se oxida en la estratosfera para formar partículas de sulfato.</p>
<p>Con el método "Aerosoles en la estratosfera" se simulan erupciones volcánicas que presentan un efecto de enfriamiento.</p>	<p>Las complejas regulaciones globales hacen que sea poco atractivo para las empresas implementar medidas de geoingeniería.</p>	<p>Larga vida útil de los aerosoles (de 1 a 2 años). Luego, los aerosoles descienden y el efecto disminuye.</p>
<p>Muchas posibilidades de introducción, por ejemplo, a través de combustible para aviones o mediante la combustión de globos de aire caliente.</p>	<p>El estado de la investigación con respecto al MRS con aerosoles en la estratosfera sigue siendo limitado. Hasta ahora, solo hay estudios y ensayos de campo más pequeños.</p>	<p>Las simulaciones por computador sugieren que el método podría causar sequías adicionales en África y Asia; los suministros de alimentos y agua podrían estar en riesgo.</p>
<p>Los efectos a largo plazo aún no se han investigado. Todavía no se pueden hacer declaraciones sobre los efectos sobre los eventos climáticos, los ecosistemas, la química del ozono, etc.</p>	<p>Podrían evitarse esfuerzos para prevenir las emisiones, por ejemplo, políticas poco atractivas (tarificación del CO₂, prohibición de los motores de combustión).</p>	<p>Las acciones de un estado podrían tener un impacto global, por lo que se necesitan regulaciones políticas globales elaboradas. Pueden surgir protestas contra las medidas de alto riesgo.</p>
<p>Se pueden financiar proyectos de investigación que conduzcan a la mejora de las tecnologías y a nuevos conocimientos sobre los procesos medioambientales globales.</p>	<p>Los procesos medioambientales globales son demasiado complejos para poder intervenir en ellos mediante tecnologías sin que se existan riesgos. Las actividades de investigación de campo pueden ya tener efectos negativos.</p>	<p>El calentamiento global y las consecuencias resultantes para el medio ambiente podrían reducirse.</p>

- Agencia Federal del Medio Ambiente (2011): Geoingeniería: ¿protección eficaz del clima o megalomanía?: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4125.pdf>
- <https://www.geoengineeringmonitor.org/>

Captura directa del aire

<p>La Captura directa del aire, es decir, la eliminación de gases de efecto invernadero del aire, principalmente el CO₂, es un método de eliminación de dióxido de carbono (CDR).</p>	<p>Reducción de la concentración de CO₂ en la atmósfera mediante la captura y el almacenamiento de CO₂.</p>	<p>Las reacciones químicas eliminan el CO₂ de la atmósfera.</p>
<p>Dos de los procesos más desarrollados utilizan disolventes líquidos o absorbentes sólidos.</p>	<p>El CO₂ se disuelve en el disolvente líquido, por ejemplo, solución concentrada de hidróxido. El CO₂ se adhiere a la superficie de los absorbentes sólidos, por ejemplo, las resinas sintéticas.</p>	<p>Después de la captura, el dióxido de carbono debe ser liberado de nuevo, lo que requiere altas temperaturas. Esto requiere un alto consumo de energía.</p>
<p>El CO₂ liberado de nuevo se almacena, por ejemplo, bajo tierra, o se reutiliza como materia prima, por ejemplo, en bebidas, materiales de construcción o productos químicos a base de carbono.</p>	<p>Hasta ahora, solo hay centros de prueba. Para mostrar un efecto sobre el clima, la Captura directa del aire tendría que funcionar a una escala mucho mayor.</p>	<p>No hay muchos depósitos geológicamente adecuados para un almacenamiento seguro a largo plazo.</p>
<p>Peligro de futuras erupciones de CO₂ debido a fugas. Además, no es seguro que el almacenamiento sea irreversible a largo plazo.</p>	<p>Se puede utilizar de manera eficiente directamente en la fuente de emisión.</p>	<p>Todos los métodos de captura directa del aire conocidos hasta ahora son extremadamente costosos y consumen mucha energía.</p>
<p>Para las empresas, el desarrollo de tecnologías para la captura y el almacenamiento de CO₂ resulta lucrativo.</p>	<p>Podrían evitarse esfuerzos para prevenir las emisiones, por ejemplo, políticas poco atractivas (tarificación del CO₂, prohibición de los motores de combustión).</p>	<p>Las acciones de un estado podrían tener un impacto global, por lo que se necesitan regulaciones políticas globales elaboradas. Pueden surgir protestas contra las medidas de alto riesgo.</p>
<p>Se debe cuestionar críticamente si la tecnología es respetuosa con el clima, por ejemplo, debido al alto consumo de energía y a los productos químicos utilizados.</p>	<p>Los procesos medioambientales globales son demasiado complejos para poder intervenir en ellos mediante tecnologías sin que se existan riesgos. Las actividades de investigación de campo pueden ya tener efectos negativos.</p>	<p>El calentamiento global y las consecuencias resultantes para el medio ambiente podrían reducirse.</p>
<p>El consumo de agua en el proceso de separación, extrapolado a dimensiones relevantes para el clima, puede agravar la escasez de la misma.</p>	<p>Las complejas regulaciones globales hacen que sea poco atractivo para las empresas implementar medidas de geoingeniería.</p>	<p>Seguiría siendo posible la continuidad de las emisiones; las actividades productoras no tendrían que cambiar a alternativas con menos emisiones.</p>

Tarjetas de roles para el juego de rol en el formato de programa de entrevistas

<p>Política</p> <p>Eres político o política y estás invitado(a) al programa de entrevistas “Oportunidades y riesgos de la geoingeniería desde diferentes perspectivas”.</p> <p>En el programa de entrevistas debes abordar las oportunidades y los riesgos desde tu perspectiva política.</p> <p>Piensa por ti mismo(a) en qué partido estás, qué cargo ocupas y si valoras la geoingeniería de manera positiva o negativa.</p>	<p>Ciencia</p> <p>Eres investigador(a) y estás invitado(a) al programa de entrevistas “Oportunidades y riesgos de la geoingeniería desde diferentes perspectivas”.</p> <p>En el programa de entrevistas debes abordar las oportunidades y los riesgos desde tu perspectiva científica.</p> <p>Piensa en el campo de tu investigación, tu profesión y si ves la geoingeniería de forma positiva o negativa.</p>
<p>Industria y economía</p> <p>Eres gerente y estás invitado(a) al programa de entrevistas “Oportunidades y riesgos de la geoingeniería desde diferentes perspectivas”.</p> <p>En el programa de entrevistas debes abordar las oportunidades y los riesgos desde tu perspectiva económica.</p> <p>Piensa por ti mismo(a) en el campo en el que opera tu empresa y si ves la geoingeniería de forma positiva o negativa.</p>	<p>Pueblos indígenas</p> <p>Eres miembro de un pueblo indígena y estás invitado(a) al programa de entrevistas “Oportunidades y riesgos de la geoingeniería desde diferentes perspectivas”.</p> <p>En el programa de entrevistas debes abordar las oportunidades y los riesgos desde tu perspectiva.</p> <p>Piensa por ti mismo(a) si valoras la geoingeniería de forma positiva o negativa.</p>
<p>Moderador / moderadora</p> <p>Eres moderador o moderadora del programa de entrevistas “Oportunidades y riesgos de la geoingeniería desde diferentes perspectivas”.</p> <p>Al comienzo del programa de entrevistas, explicas al público del programa de entrevistas el funcionamiento técnico del método de geoingeniería y el estado actual de la investigación. Si el método ya posee ejemplos de aplicación, puedes mencionarlos. A continuación, los expertos y las expertas invitados deben presentarse y dar su punto de vista en una breve declaración introductoria. A continuación, los expertos y las expertas invitados/as (y el público) pueden hacer preguntas y discutirlos entre ellos.</p> <p>Durante el programa de entrevistas, asegúrate de que todos los invitados y las invitadas tengan la palabra y de que se discutan de forma equilibrada las oportunidades y los riesgos.</p> <p>Trata de resumir los puntos de vista al final del programa de entrevistas: ¿Hubo un acuerdo? ¿Algunos o algunas se han dejado convencer por los argumentos de otros?</p> <p>Termina el programa de entrevistas agradeciendo a los invitados y las invitadas y al público.</p>	

