

El derecho de la geoingeniería: aproximaciones a los riesgos, responsabilidades y gobernanza global como medida para mitigar el cambio climático*

The right of Geoengineering: Approaches to risks, responsibilities and global governance as a measure to mitigate climate change

Juan Pablo Sarmiento Erazo ^a

Universidad de La Sabana, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7303-3300>

DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.vj73.dgar>

Recibido: 14 diciembre 2023

Aceptado: 19 abril 2024

Publicado: 12 julio 2024

Resumen:

La emergencia climática que se experimenta en la actualidad podría impulsar y brindar el ambiente político y económico para el desarrollo de tecnologías que intencionalmente modifiquen el clima. En este artículo se argumenta que, a partir de modelos preexistentes de gobernanza global del clima y el ambiente, y de los precedentes judiciales relativos a la responsabilidad internacional de los Estados, se hace necesario ajustar el modelo actual, de cara a dirigir una acción colectiva global, coordinada y solidaria, basada en la ciencia, que permita restablecer el holoceno y estabilizar el clima. De esta manera, se proponen alternativas a partir de las experiencias previas, como el Protocolo de Montreal y el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y casos de responsabilidad internacional derivados del depósito de sustancias tóxicas en el ambiente, para construir un modelo de evaluación integrado que prohíba aquellas tecnologías riesgosas por cuenta del principio de precaución y en el que se desarrollen e implementen las tecnologías de captura de carbono que garanticen la estabilización del clima, sin abandonar o aplazar los compromisos de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) del Acuerdo de París.

Palabras clave: principio de precaución, Enmod, restauración forestal, agricultura regenerativa, captura directa de aire (DAC), bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS), guerra ambiental, guerra geofísica.

Abstract:

The climate emergency currently being experienced could drive and provide the political and economic environment for the development of technologies that intentionally modify the climate. This article argues that, based on pre-existing models of global climate and environmental governance and judicial precedents regarding the international responsibility of States, it is necessary to adjust the current model in order to lead a global, coordinated and supportive collective action, based on science, to restore the Holocene and stabilize the climate. In this way, alternatives are proposed based on previous experiences, such as the Montreal Protocol and the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and cases of international responsibility derived from the deposit of toxic substances in the environment, to build an integrated assessment model that prohibits risky technologies on account of the precautionary principle and in which carbon capture technologies are developed and implemented to ensure climate stabilization, without abandoning or postponing the commitments to reduce greenhouse gases (GHG) of the Paris Agreement.

Keywords: Precautionary Principle, ENMOD, Forest Restoration, Regenerative Agriculture, Direct Air Capture (DAC), Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS), Environmental Warfare, Geophysical Warfare.

Introducción

El cambio climático se puede manifestar de dos maneras: con el cambio lento y paulatino de las condiciones climáticas y de su impacto en los ecosistemas, la agricultura y otras actividades económicas dependientes de la naturaleza, y, segundo, por medio de efectos físicos adversos, como tormentas e inundaciones, con impactos graves, directos e inmediatos en las comunidades humanas.¹ Esta diferencia ha determinado la acción política global y local, que suele hacer más énfasis en el proceso y las variables institucionales sobre hechos

climáticos o hidrológicos que afectan drásticamente a las comunidades, y ha suspendido o desarrollado pocas políticas públicas atinentes a fenómenos climáticos que se desarrollan lenta y gradualmente.² Cualquiera de estas circunstancias —grandes catástrofes o la transformación paulatina, pero grave y directa del entorno— supone situaciones desestabilizadoras con resultados contingentes que alteran las condiciones de existencia de comunidades —usualmente vulnerables—. Estos resultados contingentes, además, producen disturbios civiles resultado de las interacciones complejas entre procesos, actores, organizaciones e instituciones.³

En los últimos años, el cambio climático ha sido calificado como la mayor amenaza a la seguridad global, y ha sido reconocido como una de las causas de la extinción masiva de especies que enfrenta el planeta. Por esta razón, ha pasado de ser un desafío ambiental a un problema de seguridad y derechos humanos.^{4,5} En este sentido, el derecho humano a la pervivencia ha ido ganando espacio, pues se ha construido desde la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, aprobada en Estocolmo el 16 de junio de 1972; la Declaración de Río Sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992; el Protocolo de Kyoto de 2005; la Declaración Universal de Derechos Humanos Emergentes, que, en su artículo 3.º, reconoce el derecho a habitar el planeta y el medioambiente; el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (Pidesc); el Convenio Europeo de Derechos Humanos —artículo 8.1—; el Protocolo de San Salvador —artículos 7 (e) y 11—; la Carta Africana de Derechos Humanos y de los Pueblos —artículo 24—, y la Corte Interamericana (CoIDH) en su Opinión Consultiva OC23/17 de 15 de noviembre de 2017, solicitada por la República de Colombia. Por ello, de estos instrumentos y la misma opinión consultiva, tanto de la CoIDH como de las Naciones Unidas, coinciden en indicar que varios derechos humanos son vulnerables a la degradación del medioambiente, y, por ello, conectan o subsumen el derecho al ambiente sano en un derecho humano. En otras palabras, las obligaciones ambientales de los Estados son inescindibles de sus obligaciones de respeto y garantía de los derechos humanos —ONU, Opinión consultiva OC-23/17—.

Además de los instrumentos indicados, otros documentos internacionales se han preocupado por el cambio climático y la conservación del medioambiente, este último, como medio para conservar y estabilizar el clima. La Convención de Estocolmo en 1972 es uno de estos instrumentos que, en palabras de Shridath Ramphal, fue “el principio de un cimiento sobre el cual iba a elevarse, si no un monumento a la supervivencia de la humanidad, al menos las primeras bases de construcción para mantener la Tierra como un lugar adecuado para la vida humana”.⁶ También se resaltan más de 250 Acuerdos Multilaterales sobre el Medio Ambiente (Amuma), algunos de los cuales fueron citados líneas atrás, relativos a diversas cuestiones ambientales.⁷ Con todo, estas herramientas internacionales suelen contar con composiciones normativas que disponen de una amplia libertad de apreciación nacional, que jurídicamente configuran normas “*soft law*” o de “derecho blando”,⁸ y por ello resulta frecuente que estos acuerdos multilaterales sobre el medioambiente ganen eficacia significativa.

Los instrumentos antes enunciados junto al Acuerdo Marco de París dan cuenta del avance progresivo y quizá pausado de la comunidad internacional hacia la mitigación y adaptación al cambio climático, que enfoca sus esfuerzos en el control y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Con todo, algunos países desarrollados y empresas privadas han empezado a experimentar y desplegar tecnologías —geoingeniería— que intencionalmente pretenden manipular el clima y el medioambiente con el propósito de mitigar el cambio climático, estabilizar el clima o provocar precipitaciones en una zona determinada.

La geoingeniería comprende el desarrollo tecnológico que pretende manipular el clima o el medioambiente a gran escala de manera intencional, interviniendo en los sistemas climáticos locales o globales, para mitigar los efectos del cambio climático. En la actualidad, la geoingeniería se ha planteado a partir de la restauración forestal, la agricultura regenerativa, la captura directa de aire (DAC), la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (Beccs),⁹ la captura directa de carbono por medio químico o mecánico, la alteración de la radiación solar, la fertilización o alcalinización del océano y la plantación artificial de nubes, entre otras técnicas.

Lo anterior es reforzado por dos ideas antagónicas: la primera, indicaría que la geoingeniería permitiría mantener el modelo económico basado en la explotación de hidrocarburos y, de esta manera, conservaría el modelo económico apoyado en una matriz energética sostenida por carbón; la segunda idea indica que incluso si se cumplieran las metas de emisiones —cuestión que es poco probable— es necesario desplegar acciones para revertir los efectos que el Antropoceno ha producido en el clima global.

Efectivamente, se teme que el desarrollo de esta tecnología con fines pacíficos pueda reemplazar otros esfuerzos para controlar y estabilizar el clima alterado por la emisión de gases de efecto invernadero por cuenta de las actividades antrópicas. Sin embargo, quienes defienden el desarrollo de tecnologías para alterar el clima consideran que es probable que en cualquier escenario, aun cumpliendo las metas de emisiones del Acuerdo de París, la geoingeniería es necesaria para el futuro.¹⁰ De acuerdo con Herndon (2015), la geoingeniería se ha desarrollado en el marco de dos opciones para mitigar el calentamiento global: capturar el dióxido de carbono o bloquear la luz solar que llega a la tierra.¹¹ Según Herndon, atrapar el dióxido de carbono es difícil, tiene costos prohibitivos, su desarrollo tecnológico ha sido lento y aún se encuentra en estudio. Por su parte, bloquear el sol es una alternativa más económica, fácil de llevar a cabo y tiene precedentes en la naturaleza como lo son la inyección de cenizas en la alta atmósfera (estratosfera) como consecuencia de erupciones volcánicas.

No obstante, es importante resaltar que la comunidad internacional ha llegado a acuerdos previos sobre la geoingeniería y la manipulación intencionada del clima. Algunos casos determinaron la visión precautelatoria sobre el desarrollo de esta tecnología, como lo fueron la Operación Mangosta, entre 1961 y 1962;¹² Operación Popeye, entre 1967 y 1972;¹³ el programa Aurora Activa (Haarp),¹⁴ y otros que mencionaremos más adelante. No obstante, los mismos acuerdos internacionales también admitieron a la geoingeniería con fines pacíficos para atenuar las consecuencias del clima en la vida humana, como, por ejemplo, con el proyecto *Stormfury*¹⁵ o la fertilización oceánica con hierro (OIF, por sus siglas en inglés),¹⁶ iniciado entre 1960 y 1980. Inclusive, el Geoengineering Monitor¹⁷ —sitio que monitorea los proyectos de geoingeniería, con la colaboración de ETC Group, Biofuelwatch, Heinrich Boell Foundation y Global Forest Coalition— ha identificado 1240 proyectos de geoingeniería desarrollados entre 2018 y 2023, de los cuales 906 se ejecutaron o se encuentran activos, 34 proyectos han sido cancelados y 320 se encuentran en planeación. De los 1240 proyectos de geoingeniería, 748 están orientados a la captura directa de GEI de la atmósfera, 20 a la manipulación y manejo de la radiación solar, 68 a la manipulación de las nubes y precipitaciones, 55 a la captura de carbón por medio del cultivo algas y 349 son experimentales¹⁸.

Con todo, aunque se trata de una técnica explorada hace décadas, con un notable crecimiento desde el 2018 —probablemente incentivados por créditos de CO₂ a Shopify y Stripe, y otros instrumentos que permiten obtener beneficios de las compensaciones por emisiones de CO₂—, carecería de un marco jurídico y una gobernanza global que involucre a todos los actores de la comunidad internacional. Es probable que el marco existente de la gobernanza climática global, como el Acuerdo de París sobre el cambio climático, podría dar un sentido a los límites y compromisos en torno a la geoingeniería, pero probablemente requiera de una subestructura que responda a nuevos desafíos para la citada estructura, que identifique, al menos, responsabilidad, financiación, compensaciones y construcción de consensos para su implementación.

En efecto, la aplicación de técnicas existentes o nuevas tecnologías orientadas a la manipulación del clima pueden superar el marco jurídico internacional que existe, principalmente, por cuenta del grado de incertidumbre sobre los efectos que algunas de estas técnicas pudiesen tener, la toma de decisiones y los riesgos asumidos, así como la financiación para el desarrollo y la implementación de la geoingeniería. De esta forma, en la medida en que las técnicas de geoingeniería podrían tener efectos transfronterizos y, a largo plazo, con consecuencias desconocidas, también se requiere determinar responsabilidades de los impactos negativos y cómo se pueden reparar los daños.

Otro desafío a la gobernanza global del clima que hemos anticipado tendría que ver con la participación y la toma de decisiones sobre el uso de la geoingeniería, pues la realidad política internacional indica que los países con capacidad para desarrollar la tecnología e implementarla serían finalmente quienes tomarían la decisión de aplicar las tecnologías de la geoingeniería, prescindiendo de la voz de los países del sur global y transfiriendo posiblemente los efectos negativos a comunidades vulnerables de países en desarrollo.

Finalmente, el debate jurídico en torno a la geoingeniería también debe resolver la potencial dependencia de estas tecnologías que podría desviar la atención de la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y abordar las causas del cambio climático. Lo anterior, en la medida en que la justificación actual y las inversiones que se están realizando para el desarrollo de algunas tecnologías de geoingeniería pretenden conservar nuestro modelo económico, industrial y social actual, y se encuentran concentradas en Estados Unidos y la Unión Europea, como puede observarse en el Geoengineering Monitor.¹⁹

Como se indicó, es posible que la geoingeniería sea una necesidad y una herramienta ineludible de cara a reparar los efectos adversos que han causado las emisiones de GEI por el ser humano, y, de esta manera, garantizar la pervivencia humana, aún si se cumplieren las metas de reducción de emisiones del Acuerdo de París. En este escenario, junto a la necesidad de resolver los desafíos antes enunciados, es probable que se requiera de la adaptación o de un nuevo marco que determine la acción colectiva global, coordinada y solidaria, basada en la ciencia y no en el poder económico y político de una nación o bloque, o de inversiones privadas, que permita restablecer el Holoceno y estabilizar el clima. En el mismo sentido, se haría necesario activar el principio de precaución para controlar aquellas técnicas más extremas, cuyos riesgos sean inciertos, y que tuviesen la potencialidad de provocar daños graves directos e irreversibles a los ecosistemas, a la salud humana o al clima.

De cara a estos desafíos y las alternativas que deberá explorar la comunidad internacional, se expondrá el marco jurídico internacional para el control de emisiones de GEI y la apertura a la geoingeniería como alternativa complementaria para estabilizar el clima global (primer acápite), para luego exponer la necesidad de reorganizar la gobernanza global para la realización solidaria, prudente y coordinada y las responsabilidades derivadas del uso de la geoingeniería, así como el papel del principio de precaución para aquellas técnicas que puedan provocar daños graves e irreversibles (segundo acápite), de cara a garantizar la pervivencia humana.

Acuerdos internacionales para el control de emisiones de GEI y la geoingeniería como alternativa complementaria para estabilizar el clima global

Como se mencionó, la geoingeniería cuenta con antecedentes, como arma de guerra, al menos, en su potencialidad. Por esta razón, la guerra ambiental y la guerra geofísica, han sido objeto de censura por parte de la Organización de las Naciones Unidas, por medio de la Resolución 3264 de 1974, que fue adoptada para prohibir toda influencia en el medioambiente y en el clima con fines militares y hostiles de otra índole que fueran incompatibles con el mantenimiento de la seguridad internacional, con el bienestar y con la salud de los seres humanos. El artículo 2.º de la citada resolución, prohíbe la influencia activa sobre la superficie terrestre, los fondos marinos y oceánicos, el subsuelo, el medio marino, la atmósfera y cualquier otro elemento del ambiente, con el fin de causar daños.

En la resolución explícitamente se indican qué actividades configuran la modificación activa del clima, a saber: 1) la introducción de sistemas nubosos de reactivos químicos con el fin de provocar la condensación de humedad y otros medios que conduzcan a una redistribución de recursos hídricos; 2) la modificación de elementos del clima y del régimen hidrológico de las aguas continentales en cualquier parte de la superficie terrestre; 3) la influencia directa o indirecta de los procesos eléctricos de la atmósfera; 4) la alteración

directa o indirecta de los elementos del equilibrio energético e hídrico de los fenómenos meteorológicos; 5.-La modificación directa o indirecta de los parámetros físicos y químicos de las aguas, litorales marítimos y fondos marinos y oceánicos que conduzcan a la modificación del régimen hidrológico, del intercambio de agua y de la ecología de la masa biológica de mares y océanos, que conduzcan a la modificación del régimen hidrológico, del intercambio de agua y de la ecología de la masa biológica de mares y océanos; 6) la estimulación directa o indirecta, por cualesquiera métodos o medios, de ondas sísmicas que produzcan terremotos y los procesos y fenómenos concomitantes, así como de las que produzcan olas destructivas en los océanos, inclusive del tipo de los maremotos; 7) la influencia directa o indirecta en la superficie de las masas acuosas que conduzca a una modificación del intercambio térmico y gaseoso entre la hidrosfera y la atmósfera; 8) la creación de campos electromagnéticos y acústicos artificiales estables en los océanos y mares; 9) la modificación, por cualesquiera métodos o medios, del estado natural de los ríos, lagos, pantanos y otros elementos hídricos de los continentes que conduzca al descenso del nivel de las aguas, desecación, inundación, sumersión, destrucción de instalaciones hidrotécnicas o tenga otras consecuencias perjudiciales; 10) la alteración, por medios mecánicos, físicos o de otro tipo, del estado natural de la litosfera, inclusive la superficie continental, que conduzca a la erosión, modificación de la estructura mecánica, desecación o inundación del suelo y destrucción de los sistemas de irrigación y bonificación de tierras.

Ahora bien, la convención de 1976 sobre la prohibición de utilizar técnicas de modificación ambiental con fines militares u otros fines hostiles (Enmod) explícitamente indica que las disposiciones del acuerdo no impiden la utilización de técnicas de modificación ambiental con fines pacíficos ni que contravendrán los principios generalmente reconocidos y las normas aplicables del derecho internacional relativos a esa utilización. Incluso, la convención indica que los Estados parte se comprometen a facilitar el intercambio más amplio posible de información científica y tecnológica sobre la utilización de técnicas de modificación ambiental con fines pacíficos.

La citada convención, si bien es prohibitiva sobre la alteración del clima como arma de guerra, se anticipó a la cooperación internacional en torno a la geoingeniería, así como al deber de los Estados de compartir información científica para el desarrollo de tecnologías de modificación del clima. Por una parte, estableció que los Estados parte que puedan desarrollar y aplicar la tecnología de modificación climática contribuirán, individual o conjuntamente, con otros Estados u organizaciones internacionales, a la cooperación económica y científica internacional en la preservación, mejora y utilización del medioambiente con fines pacíficos, teniendo en cuenta las necesidades de las regiones en desarrollo del mundo. Segundo, indicó que el uso bélico de la modificación ambiental puede ser denunciado por el Estado afectado o potencialmente perjudicado ante el Consejo de Seguridad, quien abriría una investigación.

La primera revisión realizada a la convención tuvo lugar en Ginebra, en 1984. En su declaración final, reconoció que la convención había demostrado su efectividad, y consideró que la definición del término de técnicas de modificación ambiental, contenida en su artículo 2.º, había sido adecuada para satisfacer los propósitos de la convención y, por último, destacó que ninguna de las partes contratantes se había visto obligada a invocar los mecanismos de verificación contenidos en esta.²⁰ La segunda conferencia para la revisión de la convención ENMOD (1992) intentó algunas modificaciones, principalmente orientadas a la guerra del Golfo, como consecuencia del incendio provocado a pozos petroleros en territorio de Kuwait y la desecación de los humedales de Mesopotamia como arma contra las minorías chiitas. No obstante, ninguna proposición fue adoptada, pues Irak no hacía parte de la convención y la versión de 1976 siguió vigente. En 2013, el secretario general de las Naciones Unidas invitó a las partes a expresar sus opiniones sobre la celebración de una tercera conferencia, pero las respuestas positivas no alcanzaron el número necesario para su convocatoria.

Quizá, el otro instrumento que complementa y que probablemente haga más rigurosa la aplicación del Enmod sea el estatuto de la Corte Penal Internacional, aprobado en Roma en 1998, que establece como *crimen de guerra* el ataque intencional a sabiendas de que causará pérdidas de vidas, lesiones a civiles o daños a bienes

de carácter civil o daños extensos, duraderos y graves al medioambiente natural que serían manifiestamente excesivos en relación con la ventaja militar concreta y directa de conjunto que se prevea.²¹

No obstante, la Enmod es la convención que de manera más detallada da cuenta de los antecedentes de la geoingeniería y la regulación internacional sobre la materia. Aunque algunas críticas se pueden realizar respecto a su alcance, pues no contempla reglas ni prohibiciones de su uso en conflictos no internacionales, tampoco prohíbe el desarrollo previo a su empleo, y, junto con el Estatuto de Roma, cuenta con un umbral de incumplimiento muy alto, pues implica una afectación grave, duradera y extensa sobre el ambiente.²²

En todo caso, la Enmod permite dar cuenta de las primeras líneas que se han elaborado desde el derecho internacional para el desarrollo y el establecimiento de los límites y fines pacíficos de la geoingeniería. Tres aspectos pueden ser relevantes y deben centrar nuestra atención sobre la Convención Enmod. En primer lugar, el llamado al *desarrollo colaborativo y pacífico* de la geoingeniería; en segundo lugar, la cooperación económica y científica para la preservación, mejora y utilización del medioambiente con fines pacíficos, teniendo en cuenta las necesidades de las regiones en desarrollo del mundo. En tercer lugar, la lista de actividades que se considera que alteran el clima, permite identificar la tecnología que en la actualidad conocemos como *geoingeniería*, y que, por el momento, se ha concentrado en la captura directa de carbono, la alteración de la radiación solar, la fertilización del océano y la plantación artificial de nubes.

Ahora bien, junto a la citada convención, los Estados han materializado en el derecho internacional su preocupación por el cambio climático y han arribado a un abultado número de convenciones, tratados, acuerdos y protocolos, que tienden a controlar y reducir los GEI y proteger el ambiente, como herramienta para estabilizar el clima. Aunque en las primeras líneas de este trabajo se enunciaran algunos instrumentos internacionales sobre el clima, los siguientes pueden ser instrumentos que complementarían el Enmod, y que permiten controlar la experimentación y probablemente las consecuencias del depósito de sustancias tóxicas en el ambiente: el Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la Biotecnología; el Convenio de Cartagena sobre la protección y el desarrollo del medio marino en la región del Caribe; el Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono; el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono; el Convenio de Basilea sobre el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos; el Convenio marco de cambio climático; el Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos en el comercio internacional; el Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes (POPS).²³

Por supuesto, la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) y, más concretamente, el Protocolo de Kyoto, así como el Acuerdo de París, son instrumentos centrales, erigidos para el compromiso de los países de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El Protocolo de Kyoto entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de que fuese ratificado por 55 Estados, que sumaban el 55% de las emisiones de efecto invernadero a la atmósfera. A 2016, casi el 40% de los países responsables de las emisiones a la atmósfera se encontraba excluido, en el que se resalta el rechazo de Estados Unidos por ratificar el acuerdo, uno de los países más contaminantes del planeta, junto con la República Popular de China,²⁴ que también había expresado reservas para la adopción del acuerdo.²⁵ Por otro lado, el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París cuentan con mecanismos flexibles para su implementación. En virtud del Acuerdo de París, los países tienen que alcanzar sus metas principalmente a través de medidas nacionales²⁶ y, suplementariamente, cuentan con herramientas y mecanismos diseñados por el tratado.

El proceso de implementación del Protocolo de Kyoto ha sido calificado por algunos sectores como un fracaso de la comunidad internacional para la reducción de la contaminación por carbono.²⁷ Exceptuando algunos logros, las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera han aumentado durante el periodo de vigencia de los compromisos adquiridos en Kyoto, habiendo experimentado un descenso únicamente durante la crisis económica de 2008 y 2009.²⁸ Las decisiones internacionales se han movido regresivamente, cada vez más desatendiendo los procesos de mitigación, procurando ahora la adaptación de mecanismos para

la compensación por pérdidas y daños, con menor atención a la búsqueda de soluciones efectivas sobre las causas de la crisis climática.²⁹

Las renegociaciones del Protocolo de Kyoto tampoco lograron mayores compromisos. La cumbre de Bali de 2007, diseñada para construir un acuerdo que sustituyera el Protocolo de Kyoto a partir de 2013, se convirtió en una declaración política de intenciones, sin compromisos jurídicamente vinculantes, en la que no se establecieron siquiera objetivos claros para la reducción de GEI. Posteriormente, en Cancún (México), en 2010, los Estados vinculados, pese a lograr una demarcación de objetivos concretos —la reducción de los gases de efecto invernadero de entre un 25% y un 40% para 2020—, tampoco se obtuvo un acuerdo vinculante y aceptado por todos los participantes en materia de reducción de emisiones, de ayudas económicas y de tecnológicas efectivas para la adaptación al cambio climático de los países más vulnerables, y confirmó un elevado grado de indiferencia de los Estados desarrollados, que difirieron sus compromisos con las soluciones más adecuadas a los problemas que ellos, en gran medida, han contribuido a generar.³⁰ Igualmente, el acuerdo celebrado en París tampoco expone mayores compromisos, a largo plazo se procura limitar el aumento de la temperatura a 1,5 °C sobre los niveles preindustriales, para lo cual se proponen los países parte

lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible, teniendo presente que los países en desarrollo tardarán más en lograrlo, y a partir de ese momento reducir rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero.

Así, en el marco de la XXI Conferencia sobre Cambio Climático, celebrada en París en el 2015, se resaltó que

el cambio climático representa una amenaza apremiante y con efectos potencialmente irreversibles para las sociedades humanas y el planeta y, por lo tanto, exige la cooperación más amplia posible de todos los países y su participación en una respuesta internacional efectiva y apropiada, con miras a acelerar la reducción de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.

Los recientes informes sobre el cambio climático y los hechos notorios que lo respaldan presionan soluciones jurídico-políticas, de cara, quizá, no solo a reducir las emisiones de GEI, sino a buscar maneras de revertir sus efectos y desplegar las acciones positivas que supongan nutridos recursos para la recuperación de la funcionalidad de los ecosistemas y la estabilización del clima.

Los intereses económicos y políticos derivados de algunas actividades extractivas y productivas han coadyuvado a que la comunidad internacional eluda consensos sobre la situación ambiental e incluso han desplegado campañas de negación sobre el cambio ambiental. Adicional a esto, las tendencias de izquierda y derecha —en especial, las elecciones presidenciales de Estados Unidos en 2016— le han sumado peso ideológico al control de emisiones GEI y la protección del medioambiente. La consecuencia es evidente, pues estas posiciones ideológicas han politizado, polarizado y eludido consensos respecto a los compromisos para reducir las emisiones GEI —como descarbonizar la economía y proteger el ambiente y los recursos naturales—, muy a pesar de las evidencias científicas sobre la crisis ambiental, el cambio climático y la extinción masiva de especies. Por esto, es posible que tan siquiera proponer acciones globales coordinadas y solidarias para el desarrollo de tecnologías para la alteración intencional del clima, para su restauración y el restablecimiento de su capacidad de regular y estabilizar los pulsos hídricos sea aún más lejana.

Con todo, los hechos ambientales más próximos, los desastres ambientales y las temperaturas extremas alcanzadas en los últimos años³¹ parecen presionar la inclusión de esta agenda en la discusión de la comunidad internacional. Como se expuso, el derecho internacional del medioambiente parecería estar colmada de instrumentos, cuya eficacia parecería ser poca. Salvo lo que parecería ocurrir con el Protocolo de Montreal y la Convención de Viena, la mayor parte de los Amuma no han respondido a la urgente situación en la que nos encontramos. Además, si bien una acción global es la ruta consensuada para la desaceleración del cambio climático, lo reportado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) da cuenta de que la acción pública no puede limitarse a la contracción de algunas actividades antrópicas que

generan GEI. De allí que la geoingeniería sea una alternativa que probablemente tendrá lugar, como una acción afirmativa, de cara a recuperar y estabilizar el clima global.

No obstante, como se acaba de mencionar, quizá el protocolo de Montreal sea el primer caso exitoso en el derecho internacional ambiental. En 2015, los profesores Chipperfield *et al.*³² evidenciaron que la capa de ozono se ha venido recuperando o, por lo menos, ha reducido el ritmo de erosión en la Antártida. En el citado artículo, los autores prueban que el agujero en la capa de ozono habría crecido en un 40% en 2013, con una mayor pérdida en las latitudes subpolares, si no hubiera sido por el Protocolo de Montreal. Sin embargo, en la actualidad, la pérdida de ozono en ambos polos ha sido mucho menor. Si bien no se espera que el cloro estratosférico regrese a los niveles de 1980, sino hasta el 2050, se trata de un caso de éxito que supone una contribución para mitigar el calentamiento global, debido a la relación probada entre el aumento de la pérdida de ozono estratosférico, la dinámica estratosférica y el clima de la superficie.

Sorprende además que el Protocolo de Montreal sea uno de los tratados más ampliamente ratificados en la historia de la Naciones Unidas.³³ Su objetivo principal es la reducción del consumo de sustancias que agotan y deterioran la capa de ozono. Adicionalmente, es responsable hasta la fecha, conjuntamente con el Tratado de Viena, de una significativa reducción en el consumo de sustancias controladas que agotan la capa de ozono. En 2007, se llevó a cabo la Decimonovena Reunión de las Partes —en Montreal entre el 17 y 21 de septiembre del 2007—, en la que se realizaron ajustes al Protocolo de Montreal. Dentro de estos cambios se encuentra la fijación de unos objetivos específicos a los que se deben ceñir los países adscritos al protocolo para el control y la eventual erradicación en 2030 de las sustancias agotadoras de ozono (SAO), como los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), congelando su consumo en el promedio 2009-2010 (denominado *línea de base*) desde 2013. Se trata de un caso que podríamos considerar exitoso y que, incluso, siguiendo a Stavro,³⁴ se constituye como un hito en los acuerdos internacionales para preservar el ambiente, ya que a la fecha reciente es el único que ha logrado resultados tangibles.

El protocolo de Montreal contrasta con el Acuerdo de París, aprobado en la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (COP 21) en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Sin embargo, como ya se mencionó, la contracción de las democracias liberales³⁵ y la emergencia de liderazgos nacionalistas o neopopulistas, como el de Donald Trump en Estados Unidos o el de Jair Bolsonaro en Brasil, dejaron sentir sus posiciones en acciones concretas en contra de la implementación de los acuerdos para la protección del medioambiente, y con ello pusieron en juego no solo el consenso internacional para proteger el ambiente sano, sino la supervivencia humana y la habitabilidad del planeta.

Lo anterior retrasó y tuvo impactos a muy corto plazo en ecosistemas estratégicos, como la Amazonía brasileña.³⁶ En este agitado contexto político, los tratados internacionales sobre el cambio climático perderían todavía más eficacia, y lograr un consenso global puede ser más evasivo que antes. Por esto, como lo indica el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y los indicadores recogidos por el Banco Mundial,³⁷ las acciones no han sido suficientes, y, probablemente, han sido muy pocas. Incluso, los indicadores del Banco Mundial, disponibles de 1970 a 2023,³⁸ dan cuenta de un acelerado crecimiento en las emisiones de gases de efecto invernadero totales, emisiones de CO₂, emisiones de metano (kt de equivalente de CO₂), con mayor profundidad desde 1990. Por otra parte, actividades como la ganadería extensiva, la extracción y producción de hidrocarburos y la generación de energía siguen dependiendo en buena medida del petróleo y sus derivados.

El informe del IPCC sugiere que las alteraciones en la composición de la atmósfera del planeta que se suma a la variabilidad por la desigualdad en el desarrollo y distribución de la riqueza no se satisfarán con el control de las emisiones, pues probablemente el punto crítico alcanzado exigirá una intervención decidida, coordinada y global para capturar las emisiones generadas en las últimas décadas, estabilizar el clima y recuperar la composición de la atmósfera.

Lo antedicho nos conduce a un entorno poco favorable para el desarrollo de una acción global coordinada, solidaria y basada en la ciencia. Por un lado, la inestabilidad política de grandes emisores como Estados Unidos, Reino Unido y Rusia limita las posibilidades de alcanzar un consenso para el desarrollo, las inversiones y las responsabilidades derivadas de la geoingeniería. Segundo, la creciente emisión de GEI da cuenta de la ineficacia de los instrumentos orientados al cambio climático, pues, a diferencia del Protocolo de Montreal, no se trata de limitar emisiones específicas de ciertas industrias, sino de la transformación de una economía global basada en hidrocarburos. Tercero, el despliegue de tecnologías costosas, que requieren enormes inversiones, supone que las naciones desarrolladas y con capacidad instrumental y tecnológica realicen acuerdos en los que incorporen a todas las naciones en la toma de decisiones, indistintamente de las contribuciones que realicen para su ejecución.

Ahora bien, tanto el Protocolo de Montreal como el Acuerdo de París cuentan con un sistema de gobernanza que puede indicar cuáles podrían ser las líneas que seguiría un acuerdo orientado hacia la generación y aplicación de la geoingeniería, a escala global, coordinada y solidaria. El sistema de gobernanza del Protocolo de Montreal se basa en los siguientes principios:

1) *Cooperación Internacional*. El protocolo promueve la cooperación entre países para abordar un problema ambiental global. Los países signatarios se reúnen periódicamente en reuniones de las partes para discutir los avances, compartir información y tomar decisiones colectivas.

2) *Implementación gradual*. El protocolo establece un calendario gradual para la eliminación progresiva de sustancias dañinas para el ozono, como los clorofluorocarbonos (CFC) y otros productos químicos. Cada país debe tomar medidas para cumplir con las restricciones establecidas en el protocolo.

3) *Reportes y evaluaciones*. Los países miembros deben presentar informes periódicos sobre sus actividades y progresos en la reducción de sustancias dañinas. Además, se realizan evaluaciones científicas regulares para monitorear el estado de la capa de ozono y el cumplimiento de las metas del protocolo.

4) *Asistencia financiera*. El protocolo reconoce que algunos países en desarrollo pueden necesitar apoyo financiero y tecnológico para cumplir con sus obligaciones. Se establecen fondos y mecanismos para ayudar a estos países a hacer frente a los desafíos relacionados con la eliminación de sustancias agotadoras del ozono. El Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal ofrece asistencia financiera y tecnológica a países en desarrollo para cumplir con sus obligaciones de reducción de sustancias agotadoras de ozono.

Por su parte, el Acuerdo de París, dada su amplitud, nace desde la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y, por esto, su sistema de gobernanza es más extenso, y cuenta con los siguientes principios.

1) *Contribuciones nacionalmente determinadas (NDC, por su sigla en inglés)*. Los países firmantes presentan sus propias contribuciones nacionalmente determinadas, que son planes y metas específicas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas contribuciones reflejan las circunstancias y capacidades individuales de cada país.

2) *Transparencia y rendición de cuentas*. El acuerdo establece un marco de transparencia que requiere que los países informen de manera periódica sobre sus emisiones y esfuerzos de mitigación. Esto fomenta la rendición de cuentas y permite evaluar el progreso hacia los objetivos del acuerdo.

3) *Revisión global*. Se prevé una revisión global periódica para evaluar el progreso colectivo hacia los objetivos del acuerdo y para impulsar la acción climática más ambiciosa. Estas revisiones se realizan cada cinco años, y los países pueden actualizar y mejorar sus NDC en cada ciclo de revisión.

4) *Apoyo financiero y tecnológico*. El acuerdo reconoce la necesidad de apoyo financiero y tecnológico para los países en desarrollo, permitiéndoles abordar el cambio climático y adaptarse a sus impactos. Los países desarrollados se comprometen a proporcionar recursos financieros y transferencia de tecnología.

5) *Fondo Verde para el Clima*. El acuerdo establece el Fondo Verde para el Clima, que proporciona financiamiento a los países en desarrollo para que puedan adaptarse al cambio climático y mitigar sus emisiones.

Para agregar, en la COP28, que tuvo lugar en diciembre del 2023 en Dubai, a pesar de las múltiples críticas debido a la elección del país anfitrión —productor de petróleo— y al presidente de la COP de ese año, el Sultán Al Jaber —ministro de Industria de Emiratos Árabes Unidos y presidente de la petrolera Adnoc—, se creó el Fondo para pérdidas y daños climáticos, que busca que los países vulnerables y en vía de desarrollo puedan acceder a recursos para hacer frente a los impactos de la crisis climática que ya tienen lugar en estos territorios. Los donantes en el año 2023 fueron los Emiratos Árabes Unidos, con un aporte de US 100 millones para empezar a operar el fondo; Alemania, con US 100 millones; Reino Unido, con 60 millones de libras; Estados Unidos, con US 17 millones, y Japón, con US 10 millones. Como se constata, el propósito es que los países altamente contaminantes contribuyan para reparar los daños sufridos por comunidades vulnerables. No obstante, en el citado fondo no se establecieron plazos estrictos, objetivos y ni se fijaron compromisos estables que determinen qué países están obligados a contribuir.³⁹

La gobernanza global para la realización solidaria, coordinada, responsable para el uso de la geoingeniería y el principio de precaución

Como se ha indicado en líneas atrás, la humanidad ya ha desarrollado y ejecutado algunas tecnologías de manipulación intencionada del clima. Herndon presenta, como ejemplo, experimentos para bloquear la luz solar que han utilizado cenizas volantes de carbón, en lugar de extraer y moler la piedra para producir cenizas volcánicas artificiales en cantidades suficientes como para enfriar el planeta. Las cenizas volantes de carbón se depositan en la troposfera, en lugar de la estratosfera, donde representa mayores riesgos para la salud humana y de los ecosistemas. Incluso, la sistemática fumigación aérea de estas sustancias, según Herndon, afecta al clima y al equilibrio térmico de la tierra de manera potencialmente contraria a la deseada. Durante el día, las cenizas volantes de carbón podrían bloquear la luz solar, pero por la noche frenan la pérdida de calor, actuando como preventivo de precipitaciones y contribuyendo al calentamiento global.⁴⁰

El anterior experimento abre el camino para evaluar los riesgos de que las fumigaciones se realicen en la troposfera, que podría implicar peligros a la salud y el medioambiente. El panel de expertos sobre el cambio climático resalta los retos especiales que surgen de las instituciones y los mecanismos internacionales que podrían coordinar la investigación y posiblemente controlar las pruebas y su implantación.⁴¹ Algunos de los compuestos que se podrían esparcir en la atmósfera con el propósito de reducir la radiación solar son el aluminio, el bario, el estroncio, el arsénico, el berilio, el boro, el cadmio, el cromo III y IV, el cobalto, el plomo, el manganeso, el mercurio, el selenio, el talio, el torio y el uranio, entre otras. Por supuesto, la acumulación e interrelación química de estas sustancias aumenta su toxicidad, lo que desencadena un importante catálogo de enfermedades que afecta a los individuos expuestos a ellos, especialmente a las poblaciones más vulnerables.⁴²

Por esta razón, es probable que, dados los hechos climáticos extremos ocurridos entre 2022, 2023 y 2024, nos encontremos en un escenario donde se deberán ponderar los riesgos generados por la geoingeniería y la pervivencia humana. Sin una gobernanza global y sin reglas que orienten la acción colectiva, los riesgos potenciales y desconocidos podrían eludir consensos y responsabilidades. Por otra parte, los silencios del derecho internacional otorgan una amplia discrecionalidad para que los países e inversionistas decidan la tecnología que van a desarrollar y desplegar, donde los criterios económicos de los potenciales inversionistas, así como el aprovechamiento de instrumentos que permiten obtener beneficios de las compensaciones por emisiones de CO₂, podrían balancear la preferencia hacia las alternativas más económicas, pero peligrosas, y excluirían aquellas que cuenten con costos altos o prohibitivos.

Por ello, el desarrollo de un modelo de evaluación integrado para la política climática que permita modelar tecnologías adicionales de eliminación de dióxido de carbono a través de la geoingeniería podría distribuir los costos, con criterios de solidaridad y ponderación de la responsabilidad en la contaminación. Así, la participación de cada región se tendría que ponderar inicialmente de acuerdo con la participación de esa región en las emisiones globales de GEI. Teniendo en cuenta estos pesos, el modelo integrado de medición del aporte y costo de tecnologías de geoingeniería asignaría la participación de mercado entre las regiones en función de la eficiencia económica, de modo que las regiones con opciones de captura de carbón más rentables suministren proporcionalmente más aportes a los costos de la tecnología adicional de eliminación de carbón. La ponderación desigual tendría, entonces, como factores de evaluación y distribución el tamaño geográfico o económico, la capacidad industrial, los aportes al cambio climático por emisiones GEI, los aportes negativos y otros factores relevantes (un modelo de comercio interregional de costos de eliminación de GEI es desarrollado por Morrow *et al.*⁴³).

Ahora bien, la gobernanza actual o ajustada del clima para abortar la geoingeniería tendría, en todo caso, que activar el principio de precaución y limitar el desarrollo de algunas tecnologías que ya se están ejecutando, con bases científicas y neutrales política y económicamente. Efectivamente, la alteración del clima por medio de precursores químicos a gran escala podría provocar daños irreversibles y graves a ecosistemas extendidos, tales como la fertilización del océano, el cultivo de nubes o el bloqueo de radiación solar por medio de la inyección en la atmósfera de aluminio, el bario, el estroncio, el arsénico, el berilio, el boro, el cadmio, el cromo III y IV, el cobalto, el plomo, el manganeso, el mercurio, el selenio, el talio, el torio y el uranio, entre otras. Es probable que la comunidad internacional, con el apoyo de bases científicas, deba precaver las consecuencias en la salud humana, los ecosistemas terrestres y marinos, y el mismo clima, y con esto activar el principio de precaución.

Ruiz Jarobo (2005) define el principio de precaución como la facultad que tienen entidades públicas de adoptar las medidas preventivas cuando exista incertidumbre científica.⁴⁴ Según Silvia Jaquenod de Zsögön “en materia ambiental son necesarias aquellas acciones que se anticipan a prevenir cualquier tipo de degradación ambiental, en lugar de limitarse a verificar, e internar a posteriori reparar, los daños ambientales”.⁴⁵ La estricta aplicación del principio de precaución implica que “si existen indicios de daño (en contraste con la certeza), deberá presumirse que la actividad es dañina, hasta que de manera concluyente se pruebe lo contrario”.⁴⁶ Por supuesto, la gravedad del peligro va acompañada de evidencia científica, que se opone a las meras sospechas de daño o en “percepciones tremendistas, ligeras o infundadas”. El temor es justificable, señala Drnas de Clément,⁴⁷ cuando una “evaluación científica previa pone de manifiesto que se puede razonablemente temer que los efectos potencialmente peligrosos para el medio ambiente o la salud humana, animal o vegetal de una actividad” que, finalmente, hace incompatible dicha actividad con la protección ambiental.

Con lo anterior, se tiene que las tecnologías más riesgosas, así fuesen las más económicas o rentables — incluso en términos de beneficios de las compensaciones por emisiones de CO₂— se prohibirían, como consecuencia de la potencialidad para producir daños irreversibles, graves y directos en el ambiente, la salud o el mismo clima. No obstante, esta es una decisión que debe ser adoptada por la gobernanza global, que necesariamente se tiene que desarrollar, probablemente, bajo la sombra del Acuerdo Marco de Cambio Climático, amparado por el panel intergubernamental de expertos (IPCC), con bases científicas neutrales. Como se mencionó, el ejemplo de la potencial invocación del principio de precaución a la aplicación de nuevas tecnologías para modificar el clima intencionalmente lo encarna la geoingeniería solar, por medio de la cual se inyectan aerosoles en la estratosfera para inhibir la afluencia de energía solar, y que ha generado reacciones en la comunidad científica, dados los efectos imprevisibles y graves que puede ocasionar la interacción de estos precursores químicos en el ambiente, la salud humana y el clima.⁴⁸

Lo antedicho podría investir un problema mayúsculo, que potencialmente podría afectar a todas las técnicas que impliquen irrigar químicos en la atmósfera o el medio marino —como la fertilización del océano—. En la actualidad, los proyectos de geoingeniería no parecerían haber alcanzado una escala global, de manera que la experimentación a escala podría estar limitada por el modelo y la representatividad del experimento, por lo que la incertidumbre científica contaría con una barrera de demostración, puesto que solo conoceríamos los efectos de la técnica, cuando se haya desplegado y producido efectos en el planeta.

Por otra parte, la ecuación económica-ambiental de la geoingeniería también podría ser negativo, puesto que el costo energético para la captura de carbón puede aportar más contaminantes a la atmósfera de manera indirecta, que la cantidad de emisiones que puede capturar. Así mismo, la captura y almacenamiento de carbono (CAC) podría agotar las zonas de almacenaje, e, incluso, se podría utilizar para una “recuperación mejorada de petróleo”. Por su parte, las Tecnologías de Emisiones Negativas (NET) y la Bioenergía con Captura y Almacenamiento de Carbono (BECCS), que pretenden aumentar la producción de energía y, al mismo tiempo, disminuir las emisiones, cultivando y quemando biomasa, que no necesariamente sería neutral, comprometería ecosistemas y suelos, pues los cultivos para bioenergía a gran escala requerirían de grandes extensiones.

Finalmente, cualquiera de estas tecnologías para lograr los objetivos para estabilizar el clima y mantener las temperaturas en el marco de acción del Acuerdo de París no podría dejar de lado la descarbonización de la economía, tanto por razones de aceptabilidad social y política como por razones prácticas. Como se anticipó, el Panel Intergubernamental de Expertos indicó que es posible que se deba adoptar estas tecnologías, complementarias a los compromisos para reducir las emisiones de GEI, debido a que es probable que las metas de emisiones y temperatura no sea alcanzado en la ventana de tiempo acordada, también será relevante que ninguna de estas técnicas signifiquen riesgos inciertos, graves e irreversibles a la salud humana, los ecosistemas y el mismo clima.

Tomando en consideración lo indicado, y debido a que no existe actualmente un acuerdo global sobre el desarrollo de la geoingeniería como lo hay para el Protocolo de Montreal o el Acuerdo de París, el modelo de gobernanza para la geoingeniería requeriría reglas especiales, principalmente sobre la participación, coordinación y compensación de eventuales daños. Sin embargo, se pueden sugerir algunos principios generales basados en los modelos de gobernanza existentes:

- Cooperación internacional: al igual que en el Protocolo de Montreal y el Acuerdo de París, cualquier modelo de gobernanza para la geoingeniería debería estar basado en la cooperación internacional. Los países tendrían que trabajar juntos para establecer normas y regulaciones que guíen la investigación, desarrollo y despliegue de tecnologías de geoingeniería.
- Marco legal y normativo: se necesitaría un marco legal y normativo sólido que establezca los principios éticos, las responsabilidades y las limitaciones de la geoingeniería. Este marco debería abordar temas como la autorización para llevar a cabo experimentos a gran escala, la evaluación de riesgos y beneficios, la protección ambiental y la rendición de cuentas.
- Evaluación científica y ambiental: al igual que en el Protocolo de Montreal y el Acuerdo de París, la toma de decisiones en la geoingeniería debería basarse en la evidencia científica y en una evaluación exhaustiva de los posibles impactos ambientales, sociales y económicos. Se requeriría una revisión rigurosa y continua de los proyectos de geoingeniería propuestos.
- Transparencia y participación pública: el proceso de toma de decisiones en la geoingeniería debería ser transparente y permitir la participación pública significativa. Esto ayudaría a evitar riesgos potenciales y garantizaría que las decisiones se tomen de manera inclusiva y democrática.
- Mecanismos de resolución de controversias: al igual que en el Protocolo de Montreal y el Acuerdo de París, podría ser necesario establecer mecanismos efectivos de resolución de disputas en el caso de desacuerdos entre los países o partes interesadas sobre cuestiones relacionadas con la geoingeniería.

- Fondo internacional: un fondo internacional similar al Fondo Verde para el Clima del Acuerdo de París podría ser necesario para apoyar la investigación, desarrollo y despliegue de tecnologías de geoingeniería sostenibles, así como para ayudar a los países más vulnerables a adaptarse a los posibles efectos secundarios.

No obstante, los anteriores serían espejos del modelo de gobernanza del Acuerdo de París. Probablemente, al tratarse de un proyecto que requiere experimentación y ejecución de inversiones cuantiosas que pocos países o bloques económicos podrían sufragar, resultaría indispensable incorporar otros elementos al modelo de gobernanza, que resuelvan, en especial, el acceso equitativo a la tecnología, puntualmente, en lo que puede implicar la manipulación del clima para provocar precipitaciones locales inducidas por sequías prolongadas; participación en las decisiones, para países que no tendrían medios para contribuir con inversiones o tecnología; transferencia tecnológica a los países más vulnerables. Finalmente, el modelo de gobernanza debería contar con un mecanismo de reparación y con recursos disponibles, que protejan a las poblaciones más vulnerables de países en desarrollo de contingencias o daños inciertos, pero directos, de la aplicación de geoingeniería. Esto implicaría algunas de las siguientes formas en las que se puede abordar estas necesidades del modelo de gobernanza:

- Asistencia financiera y tecnológica: similar al Fondo Verde para el Clima en el Acuerdo de París, se podría establecer un mecanismo de financiamiento internacional para ayudar a los países en desarrollo a participar en programas de geoingeniería. Esto podría incluir fondos para la investigación y el desarrollo de tecnologías de geoingeniería asequibles y sostenibles, así como para la capacitación y la transferencia de conocimientos.
- Acceso equitativo a beneficios: los beneficios potenciales de la geoingeniería, como la mitigación del cambio climático, deberían ser compartidos equitativamente entre todos los países, independientemente de su capacidad tecnológica o financiera. Se podrían establecer mecanismos para garantizar que los países que no pueden llevar a cabo programas de geoingeniería directamente aún puedan beneficiarse de los resultados.
- Participación en la toma de decisiones: los países que no tienen la capacidad de llevar a cabo programas de geoingeniería deberían tener la oportunidad de participar activamente en la toma de decisiones y la formulación de políticas relacionadas con la geoingeniería. Esto podría lograrse por medio de consultas internacionales, foros de diálogo y mecanismos de representación en las decisiones globales.
- Capacitación y transferencia de tecnología: los países más vulnerables podrían beneficiarse de la transferencia de tecnología y conocimientos en el campo de la geoingeniería. Los países con experiencia en geoingeniería podrían ofrecer capacitación y apoyo técnico a aquellos que buscan desarrollar capacidades en este ámbito.
- Protección de intereses y derechos: los derechos y las necesidades de los países más vulnerables deberían estar protegidos en cualquier modelo de gobernanza de la geoingeniería. Esto podría incluir salvaguardias para evitar posibles impactos negativos no deseados en estos países y garantizar que sus perspectivas sean tenidas en cuenta en las decisiones.

No cabe duda de que la estructura y la capacidad técnica que ha demostrado el Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) han sido destacadas y fundan las bases para una gobernanza global para la geoingeniería. En todos los casos, deberán garantizar transparencia, transferencia, independencia y confianza en sus conclusiones sobre los efectos de algunas tecnologías de manipulación intencionada del clima. Dichas bases son la independencia de los miembros del IPCC; el rigor científico y el uso estricto de fuentes científicas validadas por pares; transparencia en las bases de los trabajos publicados; la revisión por pares, con varias rondas por expertos y gobiernos; el acuerdo entre expertos, gobiernos y responsables de políticas públicas.⁴⁹ Su rol sería fundamental, al momento de aplicar el principio de precaución a técnicas como las mencionadas anteriormente. Para Méndez,⁵⁰ del método, la aplicación y la implementación de las técnicas de geoingeniería surgen interrogantes que deben consensuarse, buscar un diálogo entre las potencias y países periféricos, y entender que es una cuestión de ámbito mundial, en el que han de participar todas las

naciones. Es una realidad que se está dando a gran escala, y, de manera sistemática, que requiere consensos, transparencia en la información y acuerdos multilaterales.

Ahora bien, la gobernanza global para la incorporación coordinada y solidaria de la geoingeniería requiere de la definición de una responsabilidad internacional derivada de los efectos no deseados, quizá insuperables, especialmente enfocada en la población vulnerable de regiones más expuestas a su aplicación. En derecho internacional cuenta con algunos antecedentes sobre las consecuencias de la destrucción de ecosistemas o las consecuencias del depósito de sustancias tóxicas en el ambiente, derivados de algunas actividades humanas que trascendieron fronteras.

Existen algunos antecedentes sobre la responsabilidad internacional que se deriva de actividades contaminantes y del depósito de sustancias tóxicas en el ambiente, que han trascendido fronteras y provocado daños a otros países. El primer asunto al que nos podemos referir es el caso *Trail Smelter* —Estados Unidos vs. Canadá—. ⁵¹ Este conflicto tuvo origen en las emisiones de bióxido de azufre y otros contaminantes de una fundidora de zinc y plomo ubicada en el poblado de Trail, British Columbia, las cuales causaron daño a un número de granjas ubicadas en el estado de Washington. En 1941, el Tribunal Permanente de Arbitraje de las Naciones Unidas resolvió a favor de Estados Unidos y estableció los principios “los Estados tienen el deber de prevenir el daño transfronterizo” y “el que contamina paga”, determinantes sobre la responsabilidad de los Estados por los daños transfronterizos causados al medioambiente. ⁵²

El segundo caso que puede llamar nuestra atención es el Caso de Nueva Zelanda y Australia vs. Francia por cuenta de las pruebas nucleares en el Pacífico. Entre 1966 y 1972, Francia realizó pruebas nucleares en la atmósfera en sus territorios situados en el Pacífico Sur, puntualmente en el atolón de Mururoa, perteneciente a la polinesia francesa. Francia estableció “zonas prohibidas” a las aeronaves y “zonas peligrosas” para la navegación aérea y marítima, con el fin de que los aviones y buques no se aproximaran al lugar donde se realizaban los experimentos. Nueva Zelanda y Australia protestaron contra las pruebas nucleares realizadas por Francia en el Pacífico Sur, argumentando que las pruebas causaron daños ambientales significativos, depositaron material radioactivo en los territorios y medios marinos de ambos países y violaron la Convención para la Regulación de Pruebas Nucleares. Con todo, dado que la pretensión de estos países no fue económica y al momento del fallo Francia había concluido las citadas pruebas, la Corte Internacional de Justicia se abstuvo de emitir una decisión de fondo. ⁵³ Como puede constatarse, en la gobernanza global del clima pueden concurrir distintas competencias, como el Tribunal Internacional del Derecho del Mar (Itlos) y la Corte Internacional de Justicia y el Tribunal Internacional del Derecho del Mar (Itlos). ⁵⁴

El tercer asunto que podemos mencionar se refiere al caso *Friends of the Earth vs. Shell* (Spijkers, 2021), ⁵⁵ en el que el Tribunal de Distrito de La Haya ordenó a la multinacional Shell reducir sus emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en un 45% con respecto a los niveles de 2019, como una forma de garantizar que el calentamiento global se limite a 1,5 °C. El caso es inédito, pues en “litigios climáticos” previos, como *Urgenda Foundation vs. The State of the Netherlands*, ⁵⁶ el caso de seis jóvenes portugueses que demandaron a 32 países europeos — 27 miembros de la Unión Europea, junto a Noruega, Suiza, Reino Unido, Turquía y Rusia— ante el Tribunal Europeo de Derechos Humanos (TEDH) ⁵⁷ y el caso *Verein KlimaSeniorinnen Schweiz y otros vs. Suiza* del 2024, ⁵⁸ se han dirigido contra naciones y no a empresas privadas. En su conjunto, estos asuntos permiten evidenciar litigios que están orientados a imputar responsabilidades por emisiones de GEI y reclamar a los Estados más acciones orientadas a reducir emisiones, descarbonizar la economía y mitigar el cambio climático.

No obstante, depositar las decisiones en torno a la geoingeniería en sistemas heterocompositivos internacionales, con tiempos dilatados como suelen serlo los tribunales de justicia del derecho internacional, podrían aplazar decisiones y reemplazar consensos que pueden desarrollarse en el marco de un modelo de gobernanza global. Por esto, más allá del fondo internacional para promover la investigación, desarrollo y despliegue de tecnologías de geoingeniería sostenibles, parece inevitable incluir en este fondo recursos de

indemnización automática, en los que la causalidad sea determinada por consenso técnico y bases científicas, que permitan compensar a las comunidades que se vean afectadas directamente por los efectos contingentes y colaterales de la geoingeniería.

Lo dicho deja abiertas, en todo caso e indistintamente del modelo de gobernanza que sea diseñado, las consecuencias que pueden tener las decisiones judiciales que pueden ocurrir en el nivel interno. En efecto, existen varios asuntos donde se ha accionado a los Estados para adelantar o acelerar las acciones climáticas efectivas —*v. gr.* Juliana *et al.* vs. Estados Unidos, 2020; Amazonía colombiana, 2018, y otros 18 asuntos sobre protección de ecosistemas estratégicos;⁵⁹ la ONG Urgenda vs. Holanda, 2019—. ⁶⁰ Aunque se trata de litigios estructurales, que no tienen efecto en la gobernanza internacional, pueden reforzar la inevitabilidad del desarrollo y la implementación de la geoingeniería, de cara a los litigios internos que se extienden, como consecuencia de la urgencia derivada del cambio climático en sistemas productivos y en la habitabilidad del territorio de las naciones. Lo antes señalado debido a que una de las alternativas que podría estar sobre la mesa sería una orden judicial en virtud de la cual se imponga a un Estado o una compañía privada no solo reducir las emisiones, sino activar tecnologías para que, de manera artificial, se implementen procesos geofísicos y geoquímicos, con los que se altere el clima. De esta manera, el desarrollo, y la implementación, de la geoingeniería vendrá asociado a una orden judicial interna —unilateral—, que podría prescindir de acuerdos internacionales, un modelo de gobernanza global y autorizar u ordenar a un Estado o una compañía privada el desarrollo de esta tecnología.

Así, las decisiones judiciales locales supondrían un riesgo. En efecto, una decisión judicial ocurrida en un país del bloque europeo o el mismo Tribunal de Derechos Humanos de dicho acuerdo, o aquella decisión de la Corte Suprema de Estados Unidos, el Reino Unido o cualquier potencia, con capacidad tecnológica y financiera, podría conducir a que la geoingeniería se despliegue unilateralmente, extendiendo sus efectos ambientales más allá de sus fronteras, prescindiendo de la voz de los países que pudiesen verse afectados negativa y gravemente por la tecnología desplegada. Aunque la ocurrencia de un daño ambiental a pequeña escala activaría la responsabilidad internacional ambiental que se encuentra disponible y que cuenta con antecedentes como los precitados, la experimentación en el clima con precursores químicos podría derivar en la desestabilización en cadena de ecosistemas estratégicos o provocar daños inciertos, graves y directos en el ambiente, la salud humana o el clima. Por ello, el riesgo más significativo del despliegue unilateral de la geoingeniería deviene de aquellos que puedan tener impactos globales negativos, irreversibles y graves. Por lo anterior, probablemente, es que una acción coordinada, solidaria y basada en el conocimiento científico multilateral se haría imprescindible, a pesar de los compromisos de emisiones GEI, como consecuencia de la urgencia de la situación ambiental y climática que vive el planeta.

Conclusiones

El cambio climático es un fenómeno que ha incrementado sus efectos de manera paulatina y definitiva en todas las naciones. Entre los efectos del cambio climático, se encuentra amenazada la seguridad alimentaria, la salud pública, la seguridad y la misma supervivencia humana. Por esta razón, junto al sistema internacional de protección del medioambiente, se han adquirido compromisos internacionales orientados a preservar ecosistemas que operen como sumideros de carbón, así como a reducir las emisiones de GEI, descarbonizar la economía y lograr una transición justa.

No obstante, los acuerdos internacionales sobre emisiones y preservación de ecosistemas estratégicos han tenido una implementación con pocos resultados. Incluso, como se demostró en este documento, las cifras indican una tendencia ascendente en las emisiones de carbón, muy a pesar de las necesidades y consecuencias catastróficas que pueden observarse en la actualidad. Por esto, la alteración artificial e intencionada del clima se

activa como una alternativa para estabilizar el clima y garantizar, quizá, la pervivencia del modelo de desarrollo económico basado en el carbón.

Además, la geoingeniería, que alberga distintas alternativas tecnológicas, cuenta con antecedentes en el derecho internacional, que la vinculan con la guerra ambiental o geofísica. En efecto, los primeros instrumentos la vincularon como armas de guerra, más que como una alternativa para estabilizar el clima y garantizar los derechos de las generaciones presentes y futuras. No obstante, los incumplimientos reiterativos de los compromisos internacionales para reducir las emisiones, así como el emergente mercado de la captura y neutralidad de carbón, como los créditos de CO₂ a Shopify y Stripe, y otros instrumentos que permiten obtener beneficios de las compensaciones por emisiones de CO₂, estarían impulsando el desarrollo de tecnologías que permitan mostrar actividades económicas y naciones neutrales en emisiones de carbón.

Es por esto que se requiere de un modelo de gobernanza que desarrolle la acción colectiva global, coordinada y solidaria, basada en la ciencia, que permita restablecer el holoceno y estabilizar el clima, que, por demás, no abandone las metas de reducción de emisiones según el Acuerdo de París. Dicho modelo de gobernanza, incluso, podría activar el principio de precaución, en especial, respecto a aquellas tecnologías más peligrosas, que involucren el depósito de sustancias tóxicas o aerosoles en la atmósfera, cuyos efectos sean inciertos, graves y directos en la salud, el ambiente y el clima.

No obstante, la tendencia actual y los proyectos de geoingeniería que se están desplegando en el presente están ejecutándose unilateralmente. Esto puede reforzarse tanto por el sistema de incentivos que existen en el sistema multilateral respecto a la neutralidad de carbón, como por la idea según la cual es posible conservar el modelo económico y las emisiones presentes, así como los instrumentos de compensaciones por emisiones. Adicionalmente, los “litigios climáticos” podrían llevarnos a órdenes judiciales, también unilaterales, que afirmen el desarrollo e implementación de la geoingeniería.

Es por lo anterior que, tomando como referencia el modelo considerado exitoso del Protocolo de Montreal, así como el existente en el Acuerdo Marco, se propone un modelo de gobernanza para desarrollar e implementar la geoingeniería, con responsabilidad internacional y con la competencia para prohibir las tecnologías más riesgosas, muy a pesar del balance económico. De esta forma, se podría dejar abierta la implementación de esta tecnología, como mecanismo complementario, que no reemplace los demás esfuerzos y compromisos por descarbonizar la economía, pero que permita revertir los efectos que ha tenido el Antropoceno en el clima y que, además, no conduzca a la implementación de tecnologías que tengan una ecuación económica-ambiental negativa, es decir, que el costo energético para la captura de carbón puede aportar más contaminantes a la atmósfera de manera indirecta.

Referencias

ACNUR, *Focus Area Strategic, Plan for Climate Action 2024-2030* (2024).

Angela Hefti, *Intersectional Victims as Agents of Change in International Human Rights-Based Climate Litigation*, Transnational Environmental Law 1-26 (2024).

Antxón Olabe & Mikel González, *Cambio climático, una amenaza para la seguridad global*. Política exterior 175-185 (2008).

Banco Mundial, Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO₂), <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.GHGT.KT.CE>

Banco Mundial, Indicadores, <https://datos.bancomundial.org/indicador/>

Bárbara Díaz, *La ambientalización del derecho internacional humanitario*, Tesis para optar al título de doctor en Derecho, director de la tesis: Ángel José Rodrigo Hernández (Universidad Pompeu Fabra, 2015).

BBC News, Geoingeniería solar: por qué importantes científicos se oponen a la idea respaldada por Bill Gates para frenar el calentamiento global (12 de abril de 2022), <https://www.bbc.com/mundo/noticias-61075036>

- Comisión de Asuntos Exteriores, Seguridad y Política de Defensa, *Informe sobre medio ambiente, seguridad y política exterior Ponente de opinión: Sr. Olsson, Comisión de Medio Ambiente, Salud Pública y Protección del Consumidor (Procedimiento “Hughes”)*, 14 de enero de 1999, M. P.: Maj Britt Theorin, Informe – A4-0005/1999 [Parlamento Europeo], https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-4-1999-0005_ES.html
- Dámaso Ruiz-Jarabo, *El desarrollo comunitario del principio de precaución*, en Consejo General del Poder Judicial, ed., *El principio de precaución y su proyección en el derecho administrativo español* 41-74 (Centro de Documentación Judicial de Madrid, 2005).
- David Morrow, Raphael Apeaning & Garrett Guard, *Mejora de la representación de las tecnologías y políticas de eliminación de dióxido de carbono en un modelo de evaluación integrado*, Geosci. Desarrollo modelo 16, 1105-1118 (2023), <https://doi.org/10.5194/gmd-16-1105-2023>
- Euronews, *El inédito proceso de seis jóvenes portugueses contra 3 países por inacción climática* (26 de septiembre de 2023), <https://es.euronews.com/green/2023/09/26/el-inedito-proceso-de-seis-jovenes-portugueses-contr-32-paises-por-inaccion-climatica>
- European Court of Human Rights, *Violations de la Convention européenne, faute de mise en œuvre de mesures suffisantes pour lutter contre le changement climatique*, CEDH 087 (9 de abril de 2024), <https://www.idhc.org/img/butlletins/files/Arrêt%20Verein%20KlimaSeniorinnen%20Schweiz%20et%20autres%20c.%20Suisse%20-%20Violations%20de%20la%20Convention%2C%20faute%20de%20mise%20en%20œuvre%20de%20mesures%20suffisantes%20pour%20lutter%20contre%20le%20changement%20climaticue%281%29.pdf>
- Frédéric Louault, *La política ambiental del gobierno Bolsonaro*, Les études du CERI (245-246) 16-24 (2020).
- Gabriel Ferrer, *Los primeros arbitrajes internacionales en materia ambiental*, 21 Anuario Mexicano de Derecho Internacional 591-623 (2021), <https://doi.org/10.22201/ijj.24487872e.2021.21.15604>
- Geoengineering Monitor, <https://www.geoengineeringmonitor.org/>
- Geoengineering Monitor, *Stop Marine Geoengineering Experiments in Cornwall* (14 de noviembre de 2013), <https://www.geoengineeringmonitor.org/2023/11/stop-marine-geoengineering-experiments-in-cornwall/>
- Germán Sánchez, *Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia*, 1 Economía y Desarrollo (marzo, 2002).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, *Informe completo* 97 (2014). <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- H. E. Willoughby, D. P. Jorgensen, R. A. Black & S. L. Rosenthal, *Project STORMFURY: A scientific chronicle 1962-1983*, 66 (5) Bulletin of the American Meteorological Society 505-514 (1985).
- Harriet Bulkeley, Michele Betsill, Daniel Compagnon, Thomas Hale, Matthew Hoffmann, Peter Newell & Matthew Paterson, *Transnational Governance, Charting New Directions Post-Paris* (Cambridge University Press, 2014), <https://doi.org/10.1017/9781108284646.005>
- Isaac de Paz González, *Global Trends on Environmental Justice and Litigation against Climate Change*, 27(2) Ius et Praxis 72-93 (2021), <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-00122021000200072>
- J. Marvin Herndon, *Evidence of Coal-Fly-Ash Toxic Chemical Geoengineering in the Troposphere: Consequences for Public Health*, Int. J. Environ. Res. Public Health 12, 9375-9390 (2015). <https://doi.org/10.3390/ijerph120809375>
- J. Moreno, *La gobernanza ambiental de un planeta en cambio requiere ciencia, pero ¿cómo establecer qué es lo que se sabe?*, 3 Boletín de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales, otoño-invierno 2013-2014 (2014).
- Jane C. S. Long, Frank Loy & M. Granger Morgan, *Policy: Start research on climate engineering*, Nature 518, 29-31 (2015).
- Jonah Fisher, *El “polvo mágico” que puede ayudar a combatir el calentamiento global*, BBC News Mundo (1 de julio de 2023), <https://www.bbc.com/mundo/articles/c4n4y80e6kmo>
- Juan José Hermida, Edita López, Ricardo Fernández, Mario Fernández & María Ángeles Saavedra, *Evidencias de cambio climático na contorna do Val de Miñor*, (22) Revista de Estudos Miñoráns 8-23 (2023).

- Juan Pablo Sarmiento, *Cuando el comercio internacional se encontró con el medio ambiente, entre el soft law y la prohibición a las barreras al comercio* (Anuario Colombiano de Derecho Internacional [ACDI], 2018a).
- Juan Pablo Sarmiento, Luis Miguel Llorente & Laura Martínez, *Conexidad prospectiva: del estado de cosas inconstitucional a los ecosistemas como sujetos de derecho - aportes desde la experiencia colombiana*, 9 (2) Revista de Investigações Constitucionais 301-328 (maio/ago, 2022), <http://doi.org/10.5380/rinc.v9i2.84608>
- Juan Pablo Sarmiento, *Migración por cambio climático en Colombia: entre los refugiados medioambientales y los migrantes económicos*, 15 (2) Revista Jurídicas (2018b).
- Juan Pablo Sarmiento, *Protocolo de Montreal y el Convenio de Viena ¿un caso exitoso en Derecho Internacional de protección global del medio ambiente?*, Revista de Derecho, 52. (2019).
- Julio Enrique González Villa, *Derecho ambiental colombiano: parte general tomo I*. (Universidad Externado de Colombia, 2006).
- Laura Paddison, *Siembra de nubes, la polémica tecnológica que usa México para hacer llover, en medio de una sequía que no da tregua*, CNN Español (2 de agosto de 2023), <https://cnnespanol.cnn.com/2023/08/02/siembra-nubes-tecnologia-mexico-lluvia-sequia-trax/>
- Luis Enrique Martín Otero, *Nuevas amenazas silenciosas*, (217) Cuadernos de Estrategia 253-277 (2022).
- Maiko Meguro, *State of the Netherlands v. Urgenda Foundation*, 114 (4) American Journal of International Law 729-735 (2020).
- Manuel Rodríguez, *Crisis ambiental y relaciones internacionales: Hacia una estrategia colombiana* (Fescol, Fundación Alejandro Ángel Escobar y CEREC, 1994).
- María Méndez, *Derecho, manipulación climática mediante técnicas de geoingeniería y objetivo 13 del desarrollo sostenible, la acción por el clima. La voz que clama en el desierto*, 17 (26) Revista Opinião Jurídica 166-193 (2019), <https://doi.org/10.12662/2447-6641oj.v17i26.p166-193.2019>
- Martyn Chipperfield, Sandip Dhomse, Wang Feng, Richard McKenzie, Guus J. M. Velders & John Pyle, *Quantifying the ozone and ultraviolet benefits already achieved by the Montreal Protocol*, Nature communications 6, 7233 (2015).
- Mauricio del Toro Huerta, *El fenómeno del soft law y las nuevas perspectivas del derecho internacional*, 6 Anuario Mexicano de Derecho Internacional 513-549 (2006).
- Milieudefensie v. Royal Dutch Shell plc.* (The Hage District Court 2019), <https://climatecasechart.com/non-us-case/milieudefensie-et-al-v-royal-dutch-shell-plc/>
- Ministerio de Ambiente y de Desarrollo Sostenible, *Convención de Viena y Protocolo de Montreal* (s. f.), <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/convencion-de-viena-y-protocolo-de-montreal/>
- Ministerio de Ambiente y de Desarrollo Sostenible, *Unidad Técnica Ozono* (s. f.), <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/unidad-tecnica-de-ozono/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (Etapa I – HPMP) (s. f.), <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/planeacion-y-seguimiento/planeacion-y-seguimiento-de-la-gestion/corporaciones-regionales/54-planeacion-y-seguimiento-articulos/259-plantilla-areas-planeacion-y-seguimiento-10>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Colombia presenta resultados de proyectos pioneros en eliminación de sustancias agotadoras de la capa de ozono* (13 de febrero de 2018), <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3580-colombia-presenta-resultados-de-proyectos-pioneros-en-eliminacion-de-sustancias-agotadoras-de-la-capade-ozono>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Convención de Viena y Protocolo de Montreal* (s. f.), <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/convencion-de-viena-y-protocolo-de-montreal/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Planes Nacionales de Eliminación SAO* (s. f.), <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/planes-nacionales-de-eliminacion-sao/#:~:text=Los%20Planes%20Nacionales%20de%20Eliminaci%C3%B3n,virtud%20del%20Protocolo%20de%20Montreal.>

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Tratados y Convenios Internacionales - Gestión Ambiental Sectorial (2011), <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-internacionales/tratados-internacionales/>
- Ministerio de Justicia. Resolución 2329 de 2012, [http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/4026308?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://www.suin-juriscol.gov.co/clp/contenidos.dll/Resolucion/4026308?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0).
- Naciones Unidas, Antecedentes del Protocolo de Montreal (s. f.), <http://www.un.org/es/events/ozoneday/background.shtml>
- Naciones Unidas, Emyr Jones Parry, La mayor amenaza para la seguridad global: el cambio climático no es tan sólo un problema medioambiental, <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-mayor-amenaza-para-la-seguridad-global-el-cambio-climatico-no-es-tan-solo-un-problema>
- Naciones Unidas, Los mecanismos de Kyoto (2016a), <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms>
- Naciones Unidas, Status of ratification of the Kyoto Protocol, note (2) (2016b), <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>
- Naciones Unidas, *Informe sobre la disparidad en las emisiones* (2012), [https://cambioclimatico-regatta.org/index.php/es/documentos-herramientas?task=callelement&format=raw&item_id=880&element=88344ff4-9867-4fcb-908a-daafl8db35d9&method=download&cargs\[0\]=0](https://cambioclimatico-regatta.org/index.php/es/documentos-herramientas?task=callelement&format=raw&item_id=880&element=88344ff4-9867-4fcb-908a-daafl8db35d9&method=download&cargs[0]=0)
- Naciones Unidas, *Un poco de historia - de la ratificación al cumplimiento* (2016c). <https://www.un.org/es/about-us/history-of-the-un>
- Olivier Boucher, David Randall, Paulo Artaxo, Christopher Bretherton, Graham Feingold, Piers Forster, Veli-Matti Kerminen, Yutaka Kondo, Hong Liao, Urike Lohmann, Philip Rasch, S. K. Satheesh, Steven Sherwood, Bjorn Stevens & Xiao-Ye Zhang, *Clouds and Aerosols*, en T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley, eds., *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Cambridge University Press, 2013).
- Otto Spijkers, *Friends of the Earth Netherlands (Milieudefensie) v Royal Dutch Shell*, 5 (2) Chinese Journal of Environmental Law 237-256 (2021).
- Peter F. Nardulli, Buddy Peyton & Joseph Bajjalieh, *Climate Change and Civil Unrest: The Impact of Rapid-onset Disasters*, 59(2) Journal of Conflict Resolution (2015), <http://doi.org/10.1177/0022002713503809>
- Randall Abate, *Ocean Iron Fertilization and Indigenous Peoples Right to Food: Leveraging International and Domestic Law Protections to Enhance Access to Salmon in the Pacific Northwest*, 20 UCLA J. Int'l L. & For. Aff. 45 (2016).
- Recueil des Sentences Arbitrales (RSA), 3 Nations United, 1906-1982, https://legal.un.org/riaa/volumes/riaa_III.pdf
- Sebastián López, *El asunto de las plantas de celulosa sobre el río Uruguay*, 39 (3) Revista Chilena de Derecho, 849-860 (2012), <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34372012000300012>
- Silvia Jaquenod de Zsögön, *El derecho ambiental y sus principios rectores* (Dykinson, 1991).
- Steven Levitsky & Daniel Ziblatt, *Cómo mueren las democracias* (Ariel, 2018).
- Todd Gillespie, *UK Makes £20 Billion Bet on Carbon Capture in Race Against US*, Bloomberg (15 de marzo de 2023), <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-15/uk-makes-20-billion-bet-on-carbon-capture-in-race-against-us>
- United Nations Climate Change, Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático - Emiratos Árabes Unidos (30 de noviembre - 12 de diciembre de 2023), <https://unfccc.int/es/cop28>
- Vanessa Díaz Rodríguez, *Tecnologías utilizadas en servicios de inteligencia y contrainteligencia*, (15) Dikê: Revista de Investigación en Derecho, Criminología y Consultoría Jurídica 5-24 (2014).
- Xiomara Ibeth Stavro, *Implementación del Protocolo de Montreal en Colombia*, 2 (1), Producción + Limpia 91-105 (2007).
- Zlata Drnas de Clément, *Cuaderno de derecho ambiental* (Academia Nacional de Derecho y Ciencias Sociales de Córdoba, 2008).

Origen de la investigación

Este documento es resultado de investigación del proyecto Ambiente y Cambio Climático.

Notas

- * Artículo de investigación.
- 1 El Comité Permanente entre Organismos de las Naciones Unidas ha resaltado que el cambio climático será la principal fuente de migración, principalmente por desastres hidrometeorológicos; degradación del medio ambiente o desastres de proceso lento; importantes pérdidas permanentes en el territorio del Estado como resultado de la elevación del nivel del mar, y conflictos impulsados por los recursos. ACNUR, Focus Área Strategic, Plan for Climate Action 2024-2030 (2024).
- 2 Juan Pablo Sarmiento, *Migración por cambio climático en Colombia: entre los refugiados medioambientales y los migrantes económicos*, Revista Jurídicas 15 (2) (2018b). Véase también el análisis realizado por la Corte Constitucional Colombiana [C.C.], 2024, M. P.: Natalia Ángel Cobo, Sentencia T-123 de 2024, [Colom.].
- 3 Peter F. Nardulli, Buddy Peyton & Joseph Bajjalieh, *Climate Change and Civil Unrest: The Impact of Rapid-onset Disasters*, Vol. 59(2) Journal of Conflict Resolution 315 (2015).
- 4 Antxón Olabe & Mikel González, *Cambio Climático, una amenaza para la seguridad global*. Política exterior, 175-185. (2008).
- 5 Véase Naciones Unidas, Emyr Jones Parry, La mayor amenaza para la seguridad global: el cambio climático no es tan sólo un problema medioambiental.
- 6 Manuel Rodríguez, *Crisis ambiental y relaciones internacionales: hacia una estrategia colombiana* 3 (Fescol, Fundación Alejandro Ángel Escobar y CEREC, 1994).
- 7 Juan Pablo Sarmiento, *Cuando el comercio internacional se encontró con el medio ambiente, entre el soft law y la prohibición a las barreras al comercio* (Anuario Colombiano de Derecho Internacional [ACDI], 2018a).
- 8 Aunque se reconoce que el término *soft law* fue introducido al lenguaje del derecho internacional por Lord McNair, lo cierto es que este acuñó el término para distinguir entre proposiciones de *lege lata* y de *lege ferenda* y no para distinguir un fenómeno complejo que supone la existencia de variaciones normativas que van desde lo no vinculante hasta lo vinculante, del “no derecho” al derecho, de lo *soft* a lo *hard*. Inicialmente con la expresión *soft law* se trataba de describir enunciados formulados como principios abstractos, con el transcurrir del tiempo el profesor Prosper Weil expuso los riesgos del derecho internacional ocasionado por la una excesiva variación normativa. Hoy por hoy, las expresiones *soft law* y *hard law* han adquirido mucha relevancia a nivel académico, no obstante, no deja de ser un término todavía ambiguo y fuertemente criticado. Del Toro, pág. 518 (2006).
- 9 David Morrow, Raphael Apeaning & Garrett Guard, *Mejora de la representación de las tecnologías y políticas de eliminación de dióxido de carbono en un modelo de evaluación integrado*, Geosci. Desarrollo modelo 16, 1105-1118(2023).
- 10 Jane C. S. Long, Frank Loy & M. Granger Morgan, *Policy: Start research on climate engineering*, Nature 518, 29-31 (2015).
- 11 J. Marvin Herndon, *Evidence of Coal-Fly-Ash Toxic Chemical Geoengineering in the Troposphere: Consequences for Public Health*, Int. J. Environ. Res. Public Health 12, 9375-9390 (2015).
- 12 Se trató del clima como multiplicador de la fuerza bélica, que permitió inundar y hacer impracticable la senda Ho Chi Minh, la vasta estructura de vías transitables tanto por el Vietcong como por los propios vietnamitas, que vieron de ese modo mermada su capacidad de adquirir y/o transportar suministros. María Méndez, *Derecho, manipulación climática mediante técnicas de geoingeniería y objetivo 13 del desarrollo sostenible, la acción por el clima. La voz que clama en el desierto*, 17 (26) Revista Opinião Jurídica 166-193 (2019).
- 13 Según Otero, se trató de una estrategia bélica de Estados Unidos, que consistió en sembrar nubes con yoduro de plata encima de la ruta Ho Chi Minh con el fin de crear inundaciones e interrumpir las vías de aprovisionamiento de los norvietnamitas. Luis Enrique Martín Otero, *Nuevas amenazas silenciosas*, (217) Cuadernos de Estrategia 253-277 (2022).
- 14 El programa Aurora Activa funciona por medio de antenas que envían una descarga electromagnética con dirección a la ionósfera y hacen que se caliente y sirva como espejo para dirigir el rebote hacia su blanco. Véase Vanessa Díaz Rodríguez, *Tecnologías utilizadas en servicios de inteligencia y contrainteligencia*, (15) Dikê: Revista de Investigación en Derecho, Criminología y Consultoría Jurídica 5-24 (2014).
- 15 El proyecto Stormfury consistió en una técnica de modificación que implicó la estimulación artificial de la convección fuera de la pared del ojo mediante la siembra con yoduro de plata. Se argumentó que la convección estimulada artificialmente competiría con la convección en la pared del ojo original, conduciría a la reforma de la pared del ojo en un radio mayor y, por lo tanto, produciría una disminución en el viento máximo. Véase H. E. Willoughby *et al.*, *Project STORMFURY: A scientific chronicle 1962-1983*, 66 (5) Bulletin of the American Meteorological Society 505-514

- (1985). No obstante, Willoughby argumenta que los resultados del proyecto no son concluyentes, pues 1) la siembra de nubes tiene pocas posibilidades de éxito porque los huracanes contienen demasiado hielo natural y muy poca agua sobreenfriada y 2) los resultados positivos inferidos de los experimentos de siembra en la década de 1960 probablemente surgieron de la incapacidad de discriminar entre el efecto esperado de la intervención humana y el comportamiento natural de los huracanes.
- 16 La fertilización oceánica con hierro (OIF, por su sigla en inglés) es una nueva y controvertida estrategia de mitigación del cambio climático que busca aumentar la capacidad de absorción de carbono de las aguas oceánicas, depositando cantidades significativas de polvo de hierro en el medio ambiente marino para estimular el crecimiento de las floraciones de fitoplancton. Randall Abate, *Ocean Iron Fertilization and Indigenous Peoples Right to Food: Leveraging International and Domestic Law Protections to Enhance Access to Salmon in the Pacific Northwest*, 20 UCLA J. Int'l L. & For. Aff. 45 (2016)
 - 17 Disponible en la página de internet de Geoengineernig Monitor.
 - 18 Véase, por ejemplo, la inversión por 20000 millones de libras esterlinas para la captura directa de carbón en la atmósfera por parte del Reino Unido, disponible en el artículo escrito por Todd Gillespie, *UK Makes £20 Billion Bet on Carbon Capture in Race Against US*, Bloomberg (15 de marzo de 2023). De igual manera, la meteorización de rocas basálticas realizada por la empresa UNDO, obtuvo financiación por 15 millones de dólares, como se indica en el artículo de Jonah Fisher, *El "polvo mágico" que puede ayudar a combatir el calentamiento global*, BBC News Mundo (1 de julio de 2023). Véanse también las inversiones realizadas por México y la Startup Renaissance para "sembrar nubes" en 62 municipios afectados por sequías prolongadas en la región, como se indica en el artículo de Laura Paddison, *Siembra de nubes, la polémica tecnológica que usa México para hacer llover, en medio de una sequía que no da tregua*, CNN Español (2 de agosto de 2023). Otro ejemplo, probablemente más problemático, es el proyecto de Planetary Technology, empresa canadiense, que planea arrojar 450 toneladas de hidróxido de magnesio al mar en la bahía de St. Ives, Cornualles, Reino Unido, como parte de un plan de mejora de la alcalinidad del océano, como se indica en el artículo *Stop Marine Geoengineering Experiments in Cornwall*, publicado en el Geoengineering Monitor el 14 de noviembre de 2013.
 - 19 Véase la página de internet del Geoengineering Monitor.
 - 20 Bárbara Díaz, *La ambientalización del derecho internacional humanitario*, Tesis para optar al título de doctor en Derecho, director de la tesis: Ángel José Rodrigo Hernández 145 (Universidad Pompeu Fabra, 2015).
 - 21 *Id.*, págs. 146-169.
 - 22 Véase, por ejemplo, la Resolución A4-0005/1999 del Parlamento Europeo, que señala: "pese a los convenios existentes, la investigación en el sector militar sigue basándose en la manipulación medioambiental como arma, tal y como pone de manifiesto el sistema haarp (High frequency Active Auroral Research Programme) con base en Alaska". Comisión de Asuntos Exteriores, Seguridad y Política de Defensa, *Informe sobre medio ambiente, seguridad y política exterior Ponente de opinión: Sr. Olsson, Comisión de Medio Ambiente, Salud Pública y Protección del Consumidor (Procedimiento "Hughes")*, 14 de enero de 1999, M. P.: Maj Britt Theorin, Informe – A4-0005/1999 [Parlamento Europeo].
 - 23 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Tratados y convenios internacionales - Gestión Ambiental Sectorial (2011).
 - 24 Acorde con la ONU Estados Unidos y China, que juntos representan al menos el 40% de las emisiones globales de gases contaminantes de la atmósfera. Considerando las proporciones en términos de contaminación que se encuentran excluidas con el rechazo de Estados Unidos, se ha comunicado por parte del secretario de Estado estadounidense, John Kerry, que se espera en el transcurso del presente año (2016) la ratificación del al pacto por parte de Estados Unidos. Naciones Unidas (2016b).
 - 25 Por medio de comunicados oficiales, el Gobierno de la República Popular de China informó al Secretario General sobre la implementación transicional del Protocolo Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Así, para 2003, el protocolo no era aplicado provisionalmente a la Región Administrativa Especial de Hong Kong y la Región Administrativa Especial de Macao. Fue hasta el 14 de enero de 2008 que se hizo notificación oficial de la Ley Básica de la Región Administrativa Especial de Macao de la República Popular de China, por medio de la cual se decidía aplicar el protocolo Kyoto en la Región Macao. Antes, el 8 de abril de 2003, se había hecho comunicación de la aplicación del acuerdo en Hong Kong. United Nations (2016a).
 - 26 Naciones Unidas, *Un poco de historia - de la ratificación al cumplimiento* (2016c).
 - 27 Cfr. El documento citado contiene los resultados y valoraciones críticas hechas sobre los acuerdos de la 18.ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP 18); y la 8.ª Reunión de las Partes del Protocolo de Kyoto (MOP 8) realizadas en Doha, Qatar, del 26 de noviembre al 8 de diciembre de 2012. En dicha Conferencia participaron cerca de 9000 personas, incluyendo 4356 oficiales de gobierno, 3956 representantes de Órganos de Naciones Unidas, Agencias, Organizaciones de sociedad civil, y 683 representantes de medios de comunicación.
 - 28 Naciones Unidas, *Informe sobre la disparidad en las emisiones* (2012).

- 29 Sebastián López, *El asunto de las plantas de celulosa sobre el río Uruguay*, 39 (3) Revista Chilena de Derecho 32, 849-860 (2012).
- 30 Sarmiento, *supra* nota 7.
- 31 Juan José Hermida *et al.*, *Evidencias de cambio climático na contorna do Val de Miñor*, (22) Revista de Estudos Miñoráns 8-23 (2023).
- 32 Martyn Chipperfield *et al.*, *Quantifying the ozone and ultraviolet benefits already achieved by the Montreal Protocol*, Nature communications 6, 7233 (2015).
- 33 El 16 de septiembre de 1987, un total de 46 países firmaron el “Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono”. Este tratado ha sido considerado como un ejemplo excepcional de cooperación internacional, y en 2009 se alcanzó la suscripción universal, siendo el primer acuerdo ambiental multilateral que logró la participación de todos los países del mundo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). En Colombia, la Ley 30 de 1990 aprobó el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (Viena, 22 de marzo de 1985), y, por su parte, la Ley 29 de 1992 aprobó el Protocolo de Montreal, con sus enmiendas adoptadas en Londres el 29 de junio de 1990 y en Nairobi el 21 de junio de 1991. Las leyes 618 de 2000 y 960 de 2005 aprobaron la enmienda del Protocolo de Montreal, aprobada por la Novena Reunión de las Partes, suscrita en Montreal el 17 de septiembre de 1997, y la enmienda del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, adoptada en Beijing, el 3 de diciembre de 1999, respectivamente. Por su parte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió un conjunto de normas que implementaron gradualmente el citado protocolo: Resolución 0619 de 1997, Resolución 0909 de 2008, Resolución 760 de 2010, Resolución 2153 de 2010, Resolución 1632 de 2012 y Resolución 2749 de 2017.
- 34 Xiomara Ibeth Stavro, *Implementación del Protocolo de Montreal en Colombia*. 2 (1) Producción + Limpia 91-105 (2007).
- 35 Steven Levitsky & Daniel Ziblatt, *Cómo mueren las democracias* (Ariel, 2018).
- 36 Frédéric Louault, *La política ambiental del gobierno Bolsonaro*, Les études du CERI (245-246) 16-24 (2020).
- 37 Banco Mundial, Indicadores.
- 38 Banco Mundial, Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO₂).
- 39 Véase United Nations Climate Change, Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático – Emiratos Árabes Unidos (30 de noviembre - 12 de diciembre de 2023).
- 40 Herndon, *supra* nota 11.
- 41 Véase Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Informe completo 97 (2014).
- 42 Méndez, *supra* nota 12.
- 43 Morrow, Apeaning & Guard, *supra* nota 9.
- 44 Dámaso Ruiz-Jarabo, *El desarrollo comunitario del principio de precaución*, en C. G. Judicial, ed., El principio de precaución y su proyección en el derecho administrativo español 41-74 (Centro de Documentación Judicial de Madrid, 2005).
- 45 Silvia Jaquenod de Zsögön, *El derecho ambiental y sus principios rectores* (Dykinson, 1991).
- 46 Jorge Riechmann & Joel Tickner, *El principio de precaución* 47 (Icaria, 2002), citado por J. González Villa, *Derecho ambiental colombiano: parte general tomo I* (Universidad Externado de Colombia, 2006).
- 47 Zlata Drnas de Clément, *Cuaderno de derecho ambiental* (Academia Nacional de Derecho y Ciencias Sociales de Córdoba, 2008).
- 48 Véase BBC News, Geoingeniería solar: por qué importantes científicos se oponen a la idea respaldada por Bill Gates para frenar el calentamiento global (12 de abril de 2022).
- 49 J. Moreno, *La gobernanza ambiental de un planeta en cambio requiere ciencia, pero ¿cómo establecer qué es lo que se sabe?*, 3 Boletín de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales, otoño-invierno 2013-2014 (2014).
- 50 Méndez, *supra* nota 12.
- 51 Recueil des Sentences Arbitrales (RSA), 3 Nations United 1906-1982.
- 52 G. Ferrer, *Los primeros arbitrajes internacionales en materia ambiental*, 21 Anuario Mexicano de Derecho Internacional 591-623 (2021).
- 53 Isaac de Paz, *Global Trends on Environmental Justice and Litigation against Climate Change*, 27 (2) Ius et Praxis 72-93 (2021).
- 54 Otros conflictos internacionales ambientales son: Nicaragua vs. Costa Rica, Corte Internacional de Justicia, 2015; Caso de Pulp Mills on the River Uruguay (Argentina vs. Uruguay), Corte Internacional de Justicia, en 2010. López, *supra* nota 29.
- 55 Véase *Milieudefensie v. Royal Dutch Shell plc.* (The Hage District Court 2019).
- 56 M. Meguro, *State of the Netherlands v. Urgenda Foundation*, 114 (4) American Journal of International Law 729-735 (2020).
- 57 Véase Euronews, El inédito proceso de seis jóvenes portugueses contra 3 países por inacción climática (26 de septiembre de 2023).

- 58 Véase European Court of Human Rights, Violations de la Convention européenne, faute de mise en œuvre de mesures suffisantes pour lutter contre le changement climatique, CEDH 087 (9 de abril de 2024). Véase también Angela Hefti, *Intersectional Victims as Agents of Change in International Human Rights-Based Climate Litigation*, Transnational Environmental Law 1-26 (2024).
- 59 Juan Pablo Sarmiento, Luis Miguel Llorente & Laura Martínez, *Conexidad prospectiva: del estado de cosas inconstitucional a los ecosistemas como sujetos de derecho - aportes desde la experiencia colombiana*, 9 (2) Revista de Investigações Constitucionais 301-328 (maio/ago, 2022).
- 60 De Paz, *supra* nota 53.

Licencia Creative Commons CC BY 4.0

Cómo citar: Juan Pablo Sarmiento Erazo, *El derecho de la geoingeniería. Aproximaciones a los riesgos, responsabilidades y gobernanza global como medida para mitigar el cambio climático*, 73 Universitas (2024), <https://doi.org/10.11144/Javeriana.vj73.dgar>