



**VIABILIDAD JURÍDICA DE LA SIEMBRA DE NUBES EN COLOMBIA ANTE LA ACTUAL
CRISIS CLIMÁTICA**

Autor:

Julián Andrés Garzón López

Director Tutor:

Dr. Jorge Andrés Garzón Pedroza

Trabajo presentado como requisito para optar por el título de Magíster en Derecho

Corporativo

Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

Bogotá, D. C., Colombia

30 de junio de 2026

TABLA DE CONTENIDO

I.	<i>Resumen</i>	3
II.	<i>Abstract</i>	3
III.	<i>Geoingeniería, la siembra de nubes y la viabilidad para implementarla en Colombia</i>	4
IV.	<i>Método</i>	5
V.	<i>De la siembra de nubes y la postura actual de Colombia</i>	7
VI.	<i>Autorregulación corporativa y la aplicación de la siembra de nubes en Colombia</i>	20
VII.	<i>Conclusiones</i>	31
VIII.	<i>Referencias y bibliografía complementaria</i>	33

GLOSARIO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS MÁS USADOS		
Nombre completo	Sigla o acrónimo	Descripción técnica
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales	ANLA	Institución colombiana encargada de evaluar y otorgar permisos ambientales para proyectos con potencial de impacto significativo en los recursos naturales.
Código Nacional de Recursos Naturales	CNRN	Marco normativo primario (Decreto-Ley 2811 de 1974) que regula la preservación y el manejo de las aguas y otros recursos renovables en Colombia.
Corporaciones Autónomas Regionales	CAR	Autoridades ambientales regionales en Colombia con competencia para administrar recursos naturales y otorgar permisos de uso de agua.
Criterios ambientales, sociales y de gobernanza	ASG	Estándares que miden el impacto no financiero de una organización. Están centrados en el ambiente (sostenibilidad ambiental), lo social (el bienestar social) y la gobernanza (ética corporativa)
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP	EAAB-ESP	Entidad prestadora de servicios públicos responsable de la gestión, abastecimiento y saneamiento del recurso hídrico en la capital colombiana.
Estudio de impacto ambiental	EIA	Instrumento técnico que identifica y predice los efectos potenciales de un proyecto sobre el ecosistema antes de su ejecución.
National Center of Meteorology	NCM	Entidad de los Emiratos Árabes Unidos (EAU) encargada de la supervisión técnica, meteorológica y administrativa de los programas de modificación atmosférica.
Sistema Nacional de Cambio Climático	SISCLIMA	Marco institucional en Colombia encargado de coordinar las políticas y normas para la adaptación y mitigación del cambio climático.
UAE Research Program for Rain Enhancement Science	UAEREP	Iniciativa científica de los Emiratos Árabes Unidos (EAU) que fomenta propuestas innovadoras para el mejoramiento de la lluvia en regiones áridas.

I. RESUMEN

El estudio y la aplicación de técnicas destinadas a la modificación del entorno, conocidas como *geoingeniería*, abarcan una amplia variedad de prácticas; entre ellas, se encuentra la denominada *modificación artificial de la precipitación o siembra de nubes*, que emergió hace más de un siglo como una actividad estatal capaz de alterar el ciclo hidrológico a gran escala, la cual, actualmente es realizada por más de 50 países a lo largo del mundo, por intermedio de empresas privadas. Bajo ese contexto, esta investigación tiene como propósito, *analizar la viabilidad jurídica para implementar este método de geoingeniería en Colombia, en el marco de la responsabilidad corporativa, la normativa nacional y el bloque de constitucionalidad*, con el fin de asegurar el *abastecimiento hídrico* al interior del país ante la actual e inminente crisis climática.

Palabras clave: Geoingeniería, modificación artificial de la precipitación o “siembra de nubes”, responsabilidad social empresarial, ASG, siembra de nubes en Colombia, normas ambientales en Colombia, principios de prevención y precaución.

II. ABSTRACT

The study and application of environmental modification techniques, collectively known as *geoengineering*, encompass a wide array of practices. Prominent among these is artificial precipitation modification, or cloud seeding, which emerged over a century ago as a state-led activity capable of altering the hydrological cycle on a large scale and is currently conducted by more than 50 countries worldwide through private enterprises. Within this context, the purpose of this research is to analyze the legal feasibility of implementing this geoengineering method in Colombia, within the framework of corporate responsibility, national regulations, and the constitutional bloc (*bloque de constitucionalidad*), with the goal of securing the domestic water supply in the face of the ongoing and imminent climate crisis.

Keywords: Geoengineering, artificial precipitation modification or "cloud seeding", corporate social responsibility (CSR), ESG, environmental regulations in Colombia, prevention and precautionary principles.

III. GEOINGENIERÍA, LA SIEMBRA DE NUBES Y LA VIABILIDAD PARA IMPLEMENTARLA EN COLOMBIA

La *geoingeniería* comprende el conjunto de técnicas orientadas a modificar artificialmente procesos geofísicos a escala global; es decir, prácticas con la capacidad de intervenir o alterar fenómenos naturales en beneficio de la población, como la generación de lluvia, el aprovechamiento de la energía derivada de movimientos sísmicos, el control de erupciones volcánicas o la mitigación de tormentas, entre otras. Para que estas prácticas sean consideradas parte de la geoingeniería, deben cumplir al menos tres características: tener alcance internacional, ser producto de la intervención humana y generar impactos globales o a gran escala (Delgado, 2012, p. 3).

Ahora bien, dentro de este campo de estudio, una de las técnicas más conocidas es la denominada modificación artificial de la precipitación, comúnmente llamada *siembra de nubes*, cuyo origen y propósito ha sido ofrecer una solución a la escasez de agua que enfrentan algunos países¹. Sin embargo, pese al éxito que ha tenido su implementación en algunos países como EAU² o EE. UU.³, en la actualidad, Colombia no ha contratado a ninguna empresa para realizarla al interior del país, razón por la cual, surge la duda ¿Con la normativa actual, es viable implementar la siembra de nubes en Colombia?

Para responder esta inquietud, fue necesario analizar su inclusión desde el punto de vista de suficiencia normativa respecto de las normas ambientales dispuestas en la Constitución Política de Colombia, la jurisprudencia y el bloque de constitucionalidad, atendiendo a la falta de regulación específica,

¹¹ Más de cincuenta países en el mundo realizan la modificación artificial de la precipitación, entre ellos se encuentran: China, Estados Unidos, India, Rusia, Emiratos Árabes Unidos, Israel e Irán (Agencia Estatal de Meteorología del Gobierno de España, s. f.).

² Según Al Mandous (Director General del UAE's National Center of Meteorology (NCM) y el presidente de la World Meteorological Organization (WMO)), las pruebas han dado que la práctica es “tres veces más efectivo que las bengalas higroscópicas” que se utilizan actualmente en el resto del mundo para producir agua <https://www.infobae.com/america/mundo/2024/03/19/los-emiratos-arabes-unidos-recurren-a-la-siembra-de-nubes-para-enfrentar-el-desafio-del-cambio-climatico/>

³ “Los esfuerzos de Rainmaker para cloud seed hasta ahora este año en la cuenca del río Bear, la principal fuente de aportes al lago, resultaron en al menos 61,7 millones de metros cúbicos de humedad adicional” <https://www.infobae.com/estados-unidos/2026/04/27/empresa-estadounidense-anuncia-innovacion-que-podria-aliviar-la-sequia-en-el-oeste/>

y evidenciando una prelación en el desarrollo jurisprudencial, en conjunto con los convenios internacionales sobre la Diversidad Biológica (CBD) y el Protocolo de Kioto (1998).

En adición, el análisis jurídico de viabilidad no estaría completo sin considerar los criterios ASG (ambientales, sociales y de gobernanza), el funcionamiento del Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI) y los instrumentos del *soft law* que, aunque en según su naturaleza no son vinculantes, si prevén principios básicos de conducta en este campo específico. Entre estos se destacan la autorregulación corporativa, la integración de normas conexas sobre la protección del agua y el desarrollo del derecho comparado a partir de las Declaraciones de Estocolmo (1972) y de Río de Janeiro (1992), que sentaron las bases de la responsabilidad ambiental estatal y que, posteriormente, se consolidaron en la formulación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Bajo este entendido, la presente investigación pretende determinar si los mecanismos normativos actuales, aunque vinculantes y aplicables, resultan suficientes y efectivos para moderar la realización de esta práctica de geoingeniería en el territorio colombiano, de manera que se pueda proteger la seguridad hídrica y alimentaria de las generaciones futuras y garantizar un medio ambiente sano, biodiverso y sostenible.

IV. MÉTODO

El desarrollo de esta investigación se realizó bajo un enfoque cualitativo de carácter socio-jurídico, ya que no se limitó únicamente a la mención de aspectos normativos, sino que también examinó la interacción entre los avances tecnológicos de la geoingeniería (en particular, la siembra de nubes) junto con la viabilidad de su implementación en Colombia a través del sector empresarial.

Además, la investigación se realizó en un marco jurídico-propositivo, dado que se profundizó en la suficiencia del marco legal constitucional, corporativo e institucional de la siembra de nubes. Lo anterior, con el propósito de proponer lineamientos concretos de autorregulación empresarial basados en los criterios ASG, así como en orientaciones para el diseño institucional a nivel nacional.

Teniendo en cuenta que la investigación se fundamentó principalmente en la viabilidad de la siembra de nubes en Colombia, la responsabilidad empresarial y la geoingeniería, se utilizaron tanto fuentes primarias como secundarias. Se mencionan algunas de ellas:

Fuentes primarias: tratados internacionales vinculantes para Colombia (Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), legislación nacional en materia ambiental y jurisprudencia de las Altas Cortes en Colombia, donde se priorizó el análisis de sentencias “hito” de la Corte Constitucional colombiana, tales como la T-622 de 2016 (río Atrato), SU-698 de 2017 (arroyo Bruno) y C-280 de 2024 (variables de cambio climático en el licenciamiento ambiental) para establecer la línea jurisprudencial vigente en materia ambiental.

Fuentes secundarias: doctrina especializada referente a las normas ambientales en Colombia.

Con el propósito de recopilar toda esta información, se realizó una búsqueda selectiva en bases de datos jurídicas, académicas y científicas, priorizando las fuentes más pertinentes y actuales sobre el tema. Para tal fin, se utilizaron las siguientes ecuaciones booleanas⁴:

- **Marco legal en Colombia:** ("cloud seeding" OR "weather modification" OR "siembra de nubes") AND ("Siembra de nubes en Colombia" OR “normativa ambiental Colombiana” OR "Protección del agua en Colombia").
- **Responsabilidad corporativa y criterios ASG:** ("geoengineering" OR "weather modification") AND ("corporate social responsibility" OR "RSE" OR “ESG” OR “ASG”) AND ("due diligence" OR "debida diligencia").
- **Principios de precaución y prevención:** ("precautionary principle" OR "principio de precaución") AND ("cloud seeding" OR "siembra de nubes") AND ("environmental impact" OR "impacto ambiental").

⁴ Las ecuaciones booleanas conectan variables mediante operadores lógicos (AND, OR, NOT) para delimitar búsquedas bibliográficas y modelar de forma exacta la presencia o ausencia de condiciones en una investigación.

En resumen, el desarrollo de la investigación se estructuró en tres fases con el fin de facilitar su comprensión:

En primer lugar, se definió el alcance de los aspectos técnicos el de la geoingeniería. En segundo lugar, se evaluó la eficiencia de los instrumentos jurídicos vigentes frente a casos de estudio concretos, identificando vacíos en la reglamentación específica en Colombia. En tercer y último lugar, se procedió con la formulación de propuestas normativas y administrativas a nivel nacional, así como de mecanismos de autorregulación corporativa. Todo ello con el fin de integrar los hallazgos en un producto que sea de utilidad académica, política y para la gobernanza internacional.

V. DE LA SIEMBRA DE NUBES Y LA POSTURA ACTUAL DE COLOMBIA

1. Geoingeniería y la modificación artificial de la precipitación (“siembra de nubes”)

a). Concepto, evolución y técnicas

La geoingeniería se define como el conjunto de técnicas orientadas a modificar de manera artificial los procesos geofísicos a escala global; en otras palabras, implica la intervención deliberada de las condiciones climáticas naturales del planeta. Entre estas técnicas se incluyen: la gestión de la radiación solar, la remoción de los gases de efecto invernadero, la transformación del dióxido de carbono, la modificación del ciclo hidrológico, la mineralización, entre otras. En ese sentido, para que una determinada práctica sea considerada geoingeniería, debe cumplir tres condiciones: ser intencional, tener efectos a gran escala y basarse en una intervención artificial, es decir, en la manipulación por parte de un agente externo, particularmente, el ser humano (Delgado, 2012).

Entre estas prácticas, la más famosa es la denominada *manipulación artificial de la precipitación* o *siembra de nubes*. Este no es un concepto nuevo, pues comenzó a considerarse desde 1946, cuando el Dr. Bernard Vonnegut planteó por primera vez la posibilidad de “cosechar nubes”. Posteriormente, en 1965, el Comité Asesor Científico del presidente de Estados Unidos presentó un informe en el que se proponía la posibilidad de reflejar la radiación solar con el fin de contrarrestar el aumento de CO₂. A partir de ese

momento, se han desarrollado un amplio conjunto de propuestas que continúan siendo objeto de investigación con el propósito de mitigar los efectos del cambio climático. Dichas iniciativas abarcan desde la simulación de erupciones volcánicas para dispersar partículas en la atmósfera y reducir la temperatura de la superficie terrestre, hasta la construcción de espejos en órbita capaces de reflejar la radiación solar (Delgado, 2012).

Teniendo en cuenta la definición previamente descrita, es claro que son innumerables las técnicas planteadas en esta materia, sin embargo, con el fin de generar un mayor entendimiento del tema objeto de análisis, esta investigación se enfocará únicamente en la práctica denominada *siembra de nubes* o *cloud seeding*. Esta técnica busca producir artificialmente la condensación del agua presente en las nubes para generar lluvia en sitios previamente seleccionados, el proceso se lleva a cabo mediante la dispersión de diversas sustancias en la atmósfera, a la altitud en la que se forman las nubes (Malik *et al.*, 2018).

Dichas sustancias actúan como focos de condensación del agua al interior de las nubes, alterando los procesos bioquímicos y físicos que ocurren en su interior, con el propósito de acelerar el proceso de precipitación, empleando una variedad de agentes químicos, entre los que se destacan el yoduro de plata (AgI), el yoduro de potasio (KI) y el hielo seco (dióxido de carbono sólido). No obstante, en los últimos años, también ha aumentado el interés por el uso de sustancias higroscópicas, es decir, capaces de absorber la humedad del aire, como el cloruro de sodio (NaCl), comúnmente conocido como sal de mesa, especialmente en los procesos de siembra de nubes cálidas (Malik *et al.*, 2018).

Tal como se mencionó al inicio de este acápite, la historia de la siembra de nubes, en sentido estricto, se remonta a las décadas de 1940 y 1950 en Estados Unidos, aunque existen antecedentes jurisprudenciales de comienzos del siglo XX.⁵ Esto evidencia que se trata de una práctica con más de ochenta años de desarrollo; sin embargo, no se puede dejar de lado que, pese a su larga trayectoria, aún persisten importantes

⁵ Estos casos son referidos y desarrollados con mayor detalle por Woodruff (2023) en *When It Rains, It Pours: Weather Modification Law in the United States and a Proposal for Federal Control*.

incertidumbres respecto de su eficacia científica. Diversos análisis académicos y gubernamentales han concluido que los resultados de la implementación de esta tecnología no han sido demostrados de manera estadísticamente concluyente, dado que las estimaciones sobre el incremento de la precipitación presentan variaciones significativas, lo que dificulta la evaluación de su verdadero impacto (Malik *et al.*, 2018).

b). Aplicaciones actuales de la siembra de nubes en EAU

Cuando se habla de la implementación de la siembra de nubes en Colombia, no se puede dejar de lado la experiencia que ha tenido los Emiratos Árabes Unidos (EAU), toda vez que, son quienes actualmente albergan uno de los programas de siembra de nubes más activos y tecnológicamente avanzados del mundo, que ha dado lugar a uno de los procesos de terraformación⁶ más significativos de las últimas décadas.

Este proceso se inició con misiones exploratorias en la década de 1990 y, posteriormente, el programa se expandió a gran escala a partir de 2010. Sus resultados derivaron en la adopción de una política gubernamental oficial para hacer frente a la creciente demanda de agua en un país históricamente caracterizado por su extrema aridez, con una precipitación media anual inferior a cien litros de agua por cada metro cuadrado de terreno. Lo anterior, sumado a las altas tasas de evaporación derivadas del incremento de las temperaturas, generó que los EAU dependieran en gran medida de la desalinización y de acuíferos no renovables, razón por la cual la modificación artificial de la precipitación se ha convertido en un pilar de su estrategia de seguridad hídrica en los últimos años.

Por ejemplo, solo en 2018, el Centro Nacional de Meteorología (NCM) de Emiratos Árabes Unidos (EAU) llevó a cabo ciento ochenta y cuatro misiones de siembra de nubes, las cuales registraron un aumento de cincuenta y cinco litros de agua por cada metro cuadrado de terreno en la precipitación del año siguiente, un aumento de más del 50 % de la precipitación natural con la cual han hecho sostenibles sus principales ciudades. (Almheiri *et al.*, 2021, p. 2).

⁶ El concepto de *terraformación* hace referencia a la intervención artificial de ecosistemas con herramientas tecnológicas que buscan transformar las condiciones normales del lugar para facilitar o viabilizar la vida humana (Toni Navarro, 2020).

En este contexto, y dada la relevancia de la geoingeniería en los EAU, dicho país ha orientado su modelo jurídico bajo la idea del fomento al desarrollo científico con un esquema centralizado de subvenciones, es decir, mediante incentivos económicos otorgados por el Estado. Para ello, el Centro Nacional de Meteorología actúa como la entidad encargada de regular las políticas nacionales en materia hídrica, a través de la implementación de convocatorias abiertas a corporaciones de todo el mundo, denominadas *Research Program for Rain Enhancement Science*. Esto implica que, en los EAU, el Estado se configura como el principal promotor de la innovación tecnológica vinculada al abastecimiento de recursos hídricos mediante diversas técnicas de siembra de nubes (National Center of Meteorology – UAE Rain Enhancement Program, 2025).

El diseño de esta estructura evidencia que la función estatal es eminentemente promotora, más que regulatoria, debido a la participación central del NCM, que conserva la dirección técnica de los proyectos y la potestad de evaluar sus resultados. De este modo, se configura un modelo híbrido en el que la gobernanza científica tiende a sustituir la regulación formal, reflejando una aproximación jurídica basada en la cooperación técnica más que en un modelo regulatorio o sancionatorio, lo que puede propiciar el abuso de las prerrogativas públicas, toda vez que, la ausencia de mecanismos formales de control y sanción otorgan una excesiva discrecionalidad a la administración, debilitando el principio de legalidad, debido proceso y separación de poderes.

Teniendo en cuenta que la siembra de nubes opera, en la práctica, como un monopolio estatal de los EAU, no existe sistema tradicional de licencias o permisos para que las empresas desarrollen esta actividad de manera autónoma. En su lugar, las empresas compiten anualmente por participar como “colaboradoras” del Estado dentro de un marco de investigación científica financiada.

En tal sentido, llama la atención la naturaleza contractual de la convocatoria, toda vez que, si bien se presenta como un mecanismo de fomento tecnológico en el ámbito de la modificación artificial de la precipitación mediante la entrega de “premios”, en la práctica exige a las entidades ganadoras la formulación de proyectos, la designación de un ejecutor (PI), el cumplimiento de obligaciones periódicas sujetas a informes de seguimiento, así como la disponibilidad de infraestructura y recursos técnicos. En ese

sentido, la figura desdibuja el concepto tradicional de convocatoria y revela, en realidad, una naturaleza jurídica de licitación, caracterizada por una alta intervención por parte del NCM, lo cual refuerza la idea de que la práctica es ejecutada formalmente bajo control estatal de manera habitual y sin control externo alguno.

2. Diagnóstico de la práctica en Colombia y el vacío institucional distrital

De conformidad con lo anterior, es claro que la siembra de nubes actualmente es un tema sumamente relevante a nivel global en el contexto de la seguridad hídrica, por lo que no resulta extraño que en Colombia también se haya pensado recurrir a esta práctica en momentos de crisis. Según las fuentes del periódico nacional *El Espectador*, durante la década de 1980, Bogotá enfrentó una crisis hídrica similar a la de 2023. En ese escenario, el distrito se vio en la necesidad de cerrar el túnel Palacio-Río blanco (encargado de transportar agua desde el sistema Chingaza hasta Bogotá) e implementar medidas de racionamiento, como consecuencia de una drástica reducción del 71 % en los niveles de los embalses (Beltrán Guzmán, 2024).

En 1984, ante la escasez hídrica, el distrito llevó a cabo por primera vez en Colombia una operación de siembra de nubes mediante el uso de yoduro de plata. Esta intervención generó precipitaciones estimadas en 13 millones de metros cúbicos de agua sobre los embalses que abastecían a la ciudad, lo que permitió levantar el racionamiento el 16 de junio de ese mismo año.

Posteriormente, en el año 2009, se volvió a plantear la posibilidad de implementar esta técnica en diferentes regiones del país con el fin de mitigar las sequías a nivel nacional. Sin embargo, la iniciativa fue descartada tras la intervención del entonces ministro de ambiente y su equipo técnico, quienes señalaron la falta de estudios sobre su efectividad, así como los posibles riesgos ambientales asociados. De igual forma, el artículo destacó una comparación entre Colombia y otros países, indicando que esta práctica ha sido implementada con éxito en lugares como Venezuela, España, Estados Unidos, México, Canadá, China y Australia. En dichos contextos, no solo se ha utilizado para garantizar la seguridad hídrica, sino también

para reducir los efectos de tormentas, disminuir la niebla en aeropuertos e incluso inducir nevadas en centros de esquí.

Este artículo⁷ fue solo uno de muchos publicados por distintos medios en el 2024, con ocasión de una de las peores sequías que ha enfrentado Colombia en los últimos años y que sigue empeorando año a año. Esta situación dio lugar a múltiples racionamientos hídricos a lo largo del país, así como una serie de publicaciones orientadas a retomar soluciones implementadas en el pasado con el fin de prever futuras crisis. En este contexto, y considerando que diversas fuentes señalaban que esta práctica se habría llevado a cabo en Bogotá, en el 2025, se radicó una petición de información⁸ ante la Alcaldía de Bogotá, con el propósito de recopilar información verídica sobre las prácticas de modificación artificial de la precipitación.

a). Postura de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB frente a la siembra de nubes en Colombia

En términos generales, la respuesta a la petición formulada, por intermedio de la directora de Gestión Ambiental del Sistema Hídrico de la EAAB resulta relevante para comprender aspectos generales de esta práctica en Colombia, particularmente en Bogotá, donde se tiene registro de su implementación.

Al respecto, se indicó que, si bien no se contaba con información específica sobre la siembra de nubes en Bogotá, tras consultar las bases de datos de la Dirección de Abastecimiento se encontraron los siguientes hallazgos sobre los puntos centrales que fueron objeto de consulta:

- 1. Acercamientos con el sector privado internacional:** La EAAB confirmó que durante la crisis hídrica de 2024 estableció contacto con la firma privada chilena METTECH S.P.A. para evaluar la viabilidad de aplicar siembra de nubes con yoduro de plata.

⁷ Si se quiere ampliar en la búsqueda del desarrollo de la siembra de nubes en Colombia, puede visitar los siguientes enlaces: [“Sembrar” nubes para hacer llover, una mentira de varios millones de dólares \(2024\); ¿Qué es el bombardeo de nubes y cómo funciona para hacer llover? \(2024\); ¿La técnica de ‘bombardeo de nubes’ servirá para que llueva en Bogotá y sus embalses y se supere la crisis por agua? \(2024\), y El bombardeo de nubes que devolvió el agua a los embalses de Bogotá hace 40 años \(2024\).](#)

⁸ Al respecto, se radicó documento con número radicado No. E-2025-155140; SDQS 6132662025

-
2. **Inviabilidad técnica y financiera a corto plazo:** La propuesta de la empresa chilena fue desestimada temporalmente. La EAAB concluyó que se trata de una tecnología excesivamente costosa y con alta incertidumbre científica, ya que, al modificar artificialmente el ciclo hidrológico, no existe certeza de que las precipitaciones generadas caigan efectivamente en las zonas de recarga de los embalses del sistema. Por consiguiente, advirtieron la necesidad de realizar modelaciones mucho más detalladas antes de comprometer recursos públicos.
 3. **Ausencia de análisis de riesgos sobre derechos y territorios:** Dado que la entidad no ha estudiado o utilizado activamente esta tecnología en tiempos recientes, no existe actualmente ningún análisis de riesgos, estudios de afectación al territorio, ni evaluaciones de impacto sobre derechos fundamentales (como el derecho al agua, la seguridad alimentaria o el derecho a la consulta previa) asociados a estas prácticas. Tampoco existen conceptos técnicos o jurídicos internos al respecto.
 4. **Vacío documental sobre operaciones previas:** La EAAB admitió que no cuenta con informes, datos o conclusiones técnicas sobre las pruebas de siembra de nubes realizadas en la capital en el año 1984, ni registros sobre posibles quejas de contaminación por yoduro de plata en ese entonces.
 5. **Inexistencia de planes a corto y mediano plazo:** La entidad certificó que no se ejecutaron proyectos en 2024 ni 2025, y tampoco se tiene contemplado en el presupuesto para el año 2026 realizar estudios exploratorios o contratos sobre modificación artificial de la precipitación.
 6. **Delegación de responsabilidades de licenciamiento:** Frente a las exigencias ambientales, la EAAB se abstuvo de pronunciarse, aclarando que la definición de los requisitos y el licenciamiento ambiental recaen exclusivamente sobre las autoridades ambientales competentes, como la Secretaría Distrital de Ambiente.

En conclusión, la respuesta de la EAAB evidencia que, a nivel institucional si bien el Distrito ha explorado alianzas con empresas privadas transnacionales recientemente, el país aún carece de un andamiaje técnico, jurídico y ambiental interno para ejecutar la siembra de nubes de manera controlada.

Esta postura institucional reafirma la urgente necesidad de establecer un marco regulatorio y un modelo de autorregulación corporativa específico que permita su ejecución en respeto de los derechos fundamentales.

b). De la protección del agua en Colombia

A pesar de la respuesta por parte de la EAAB y revisando con detenimiento las normas y algunos fallos judiciales, se descubrió que, en Colombia sí existe un amplio desarrollo normativo en materia de protección de los recursos hídricos con el cual sería viable implementar la siembra de nubes con debida diligencia en respeto de los derechos fundamentales actuales y de las futuras generaciones, como lo evidencian los principios consagrados en el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente (CNRN) (artículo 9), la Ley 99 de 1993 (artículo 1), que establece la prevalencia del uso sostenible del recurso y la protección de ecosistemas estratégicos como los páramos, así como las disposiciones contenidas en normas reglamentarias para la protección del agua, como lo son: Decreto 1541 de 1978, Decreto 3930 de 2010, Decreto 1640 de 2012⁹ y la Ley 1523 de 2012.

No obstante, algunas de estas temáticas han sido desarrolladas con mayor profundidad y claridad a través de la jurisprudencia de las altas cortes, como ocurre en el caso de la protección efectiva de los recursos hídricos. En este sentido, con el fin de exponer los principios rectores a considerar para la realización de la práctica de la siembra de nubes en Colombia resulta indispensable tomar como referencia una de decisiones más relevantes de la jurisprudencia constitucional: la denominada *Sentencia del río Atrato*, esto es, la Sentencia T-622 de 2016 de la Corte Constitucional, con ponencia del Magistrado Dr. Jorge Iván Palacio Palacio.

En esta decisión se reconoció al río Atrato como sujeto de derechos, debido a su importancia para la vida *per se* y la subsistencia de diversas comunidades a través de este, atribuyendo al Estado la responsabilidad de su protección, conservación, mantenimiento y restauración frente a las diversas formas de intervención (Corte Constitucional de Colombia, 2016). Todo ello se fundamentó en que Colombia es

⁹ Los decretos mencionados, fueron compilados por el Decreto Único Reglamentario (DUR)1076 del 26 de mayo de 2015, del sector ambiente y desarrollo sostenible.

un Estado Social de Derecho con una Constitución Ecológica, que eleva la protección del medio ambiente a un interés superior, del cual se deriva la garantía de los derechos fundamentales inherentes a las personas. Bajo ese entendido, el Estado asume la obligación de proteger las riquezas naturales como bienes jurídicamente tutelados.

De igual forma, en Colombia se protege la diversidad biológica, tanto en su dimensión ambiental como en aquella derivada de la diversidad cultural de las comunidades étnicas. Esto implica la existencia de una interdependencia entre la naturaleza y la cultura, en la cual el territorio no se concibe únicamente como un lugar físico, sino como una construcción sistémica que integra el entorno natural y las comunidades que lo habitan. En consecuencia, la alteración del medio ambiente conlleva necesariamente la afectación de la integridad cultural y de garantías constitucionales, lo que obliga al Estado a constituirse como la primera línea de protección (Corte Constitucional de Colombia, 2016).

Por otra parte, la sentencia recuerda que en Colombia se aplican de manera permanente los principios de precaución y prevención. Estos principios deben ser garantizados de manera efectiva por diversas entidades estatales, entre ellas la Presidencia de la República, la Procuraduría General de la Nación, la Defensoría del Pueblo, la Contraloría General de la Nación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Defensa, la Policía Nacional y el Ejército, el Ministerio de Salud y Protección Social y el Instituto Nacional de Salud, el Ministerio de Agricultura, el Ministerio del Interior, el Departamento Nacional de Planeación y el Departamento para la Prosperidad Social, el Ministerio de Hacienda, el Ministerio de Relaciones Exteriores y la Fiscalía General de la Nación (Corte Constitucional de Colombia, 2016)

En vista de lo anterior, y atendiendo al análisis de la Corte Constitucional, se puede determinar que la protección del recurso hídrico, resulta fundamental y que en ese sentido, la creación artificial de nubes, merece especial atención, no solamente teniendo en cuenta el componente ambiental, sino también todo lo que está relacionado con el Sistema Nacional de innovación y Competitividad, si se tiene en cuenta que la inclusión de esta práctica dentro del ordenamiento jurídico, está relacionada con la “formulación, implementación y seguimiento de las políticas que desarrollen los planes de desarrollo nacional y territorial

que impulsen, entre otros, la productividad, competitividad e innovación del país para el desarrollo incluyente en materia económico y social, y mejorar el bienestar de la población”¹⁰

c). El Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI) como andamiaje para la gobernanza de las tecnologías de siembra de nubes.

Teniendo en cuenta que la introducción de la siembra de nubes en el territorio nacional requiere de una estructura institucional robusta que coordine la innovación tecnológica con los objetivos de desarrollo económico sostenible del Estado colombiano. Bajo este entendido, el Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI), reorganizado mediante el Decreto 2212 de 2023, surgió como la forma técnico-administrativa idónea para orientar de manera transversal las actividades públicas, privadas, académicas y populares en esta materia. Al constituirse el SNCI como el eje principal de las políticas de productividad y sofisticación del país, la experimentación y ejecución de la geoingeniería encuentra un marco de legalidad administrativa que suple el actual vacío de regulación específico, permitiendo formular lineamientos consistentes y basados en la confianza institucional.

Al interior de este, la Comisión Nacional de Competitividad e Innovación (CNCI) y su Comité Ejecutivo asumen la función de asesorar al Gobierno nacional y convalidar los programas de alto impacto. Por ello y en concordancia con el enfoque transformador del Plan Nacional de Desarrollo, la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación debe orientarse por misiones encaminadas a resolver grandes desafíos sociales, económicos y ambientales, incluyendo de forma expresa la gestión del riesgo de desastres y la adaptación ante la crisis climática.

En este sentido, la articulación técnica de la siembra de nubes correspondería de forma directa al Comité Temático de Transición Energética y Sostenibilidad del SNCI, el cual cuenta con la copresidencia del Ministerio de Minas y Energía en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

¹⁰ Departamento Nacional de Planeación DNP: <https://www.dnp.gov.co/LaEntidad/subdireccion-general-prospectiva-desarrollo-nacional/direccion-innovacion-desarrollo-empresarial/Paginas/sistema-nacional-de-competitividad-e-innovacion-SNCI.aspx>

Estos, son los llamados a coordinar los equipos técnicos gubernamentales para evaluar la pertinencia de la geoingeniería, asegurando que las metas e indicadores de mitigación queden en la hoja de ruta de la Agenda Nacional de Competitividad e Innovación (ANCI) (Decreto 2212, 2023).

No obstante, dada la profunda asimetría climática y la interdependencia de los ecosistemas críticos colombianos, la gobernanza del agua atmosférica no puede ser dirigida exclusivamente desde una sola institución, por ello, el Decreto 2212 de 2023 descentraliza esta competencia a través de las Comisiones Regionales de Competitividad e Innovación (CRCI), las cuales, actualmente fungen como la instancia única de articulación al interior de cada departamento.

Las CRCI proveen el espacio de cooperación directa entre la Nación y el Territorio, permitiendo que las corporaciones autónomas regionales (CAR), los gremios económicos, las universidades y los representantes de la economía popular evalúen la viabilidad local de la modificación artificial de la precipitación. De este modo, la priorización y ejecución de operaciones de siembra de nubes en regiones estratégicamente vulnerables (como las cuencas desérticas del Caribe o las zonas de recarga del sistema Chingaza) deben responder de manera obligatoria a los objetivos de mediano y largo plazo fijados en las Agendas Departamentales de Competitividad e Innovación (ADCI) y en los Planes Regionales de Competitividad. Todo esto, con el fin de prevenir el acaparamiento hídrico y garantizar que la innovación científica avance en estricto respeto de la seguridad alimentaria y los derechos colectivos de las comunidades locales.

d). Bloque jurídico internacional con enfoque hídrico, comercial y de gobernanza corporativa en el marco transnacional.

Por otro lado y con el fin de generar un acercamiento efectivo a la realización de la práctica de la siembra de nubes en Colombia, se hace necesario enunciar los principales tratados internacionales ratificados por Colombia en materia hídrica que toda empresa dedicada a la geoingeniería debería tener en cuenta si quisiera operar al interior del país, puesto que, en ausencia de una legislación nacional específica sobre este tema, el estándar de debida diligencia empresarial exige un riguroso examen de la normativa

interna junto con el bloque de constitucionalidad con la intención de prevenir la degradación de los ciclos hidrológicos y a salvaguardar los derechos colectivos como se relaciona a continuación.

Figura 2

Bloque jurídico internacional: enfoque hídrico



Fuente: elaboración propia.

Este marco de compromisos abre el debate fundamental sobre la viabilidad jurídica de la aplicación práctica de estas tecnologías en el territorio nacional. Por consiguiente, sobre la base de los compromisos internacionales adquiridos por Colombia y en concordancia con los principios de prevención y precaución, corresponde evaluar detalladamente en qué condiciones y restricciones jurídicas específicas resulta factible la implementación de la siembra de nubes en el contexto de la actual crisis climática en Colombia.

Bajo este entendido, el examen de viabilidad jurídica no solo debe restringirse a las normas ambientales e hídricas tradicionales, sino que exige una revisión armónica de otras normas internacionales

relacionadas con la gestión corporativa y el intercambio tecnológico, en particular aquellas que emanan del Derecho de la Organización Mundial del Comercio (OMC).

Dentro de este cuerpo normativo, el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) adquiere un rol fundamental cuando se habla de geoingeniería. Este instrumento multilateral busca asegurar que los reglamentos técnicos, las normas y los procedimientos de evaluación aplicados por los Estados no creen obstáculos innecesarios ni restricciones encubiertas al comercio internacional, ni se apliquen de manera que constituyan una discriminación injustificada. En consecuencia, cualquier estándar o requisito que el Estado colombiano pretenda exigir a las empresas para la operación de tecnologías de modificación artificial de la precipitación debe estructurarse bajo estos parámetros de transparencia y proporcionalidad comercial (Daniela Alfaro y otros, 2016).

Finalmente, la adopción voluntaria de estas directrices de gobernanza y de instrumentos de soft law se consolida como una estrategia financiera y ética indispensable para viabilizar la legitimidad social de la geoingeniería en Colombia. Al internalizar de manera anticipada los costos y riesgos no financieros dentro del modelo de negocio, las empresas no solo blindan su valor reputacional ante los mercados de capitales, sino que minimizan de raíz el riesgo de incurrir en litigios transnacionales o locales por acaparamiento hídrico atmosférico o alteración de los ciclos ecosistémicos.

De este modo, la unión entre el régimen hídrico convencional, las disciplinas comerciales de la OMC y la autorregulación financiera permite edificar un estándar de debida diligencia corporativa, transformando la práctica de la siembra de nubes en un mecanismo ético, predecible y sostenible para afrontar la crisis climática actual (Daniela Alfaro y otros, 2016).

Este interesante marco de compromisos convencionales abre el debate fundamental sobre la viabilidad jurídica de la aplicación práctica de estas tecnologías en el territorio nacional. Por consiguiente, sobre la base de los compromisos internacionales adquiridos por Colombia y en concordancia con los principios de prevención y precaución, corresponde evaluar detalladamente en qué condiciones y restricciones jurídicas específicas resulta factible la implementación de la siembra de nubes en el contexto de la actual crisis climática en Colombia.

VI. AUTORREGULACIÓN CORPORATIVA Y LA APLICACIÓN DE LA SIEMBRA DE NUBES EN COLOMBIA

Sobre la certeza de que la siembra de nubes es realizada normalmente por empresas contratadas a favor de los Estados, como efectivamente sucede en el caso de los EAU, Colombia, no debería ser la excepción, por ello, se hace necesario no solo hacer un análisis de los aspectos ambientales sino también un estudio de las buenas prácticas que deberán implementar las empresas que prevean la siembra de nubes como su objeto social.

Entre las buenas prácticas a nivel empresarial encontramos los criterios ASG, de los cuales se desprende su definición de la siguiente manera:

Frente al criterio ambiental (A), el mismo se enmarca en la necesidad de transformar la economía a un modelo de menor impacto. Lo anterior implica minimizar los efectos ambientales derivados de la actividad empresarial e incentivar la asignación de los recursos hacia proyectos con impactos positivos. En este sentido, según la Superintendencia Financiera de Colombia, en su Circular Externa 028 de 2020, los emisores de valores (empresas) deben adoptar altos estándares de transparencia de información sobre el uso de recursos, asegurando que las inversiones se destinen a proyectos verdes cumplan con la *taxonomía*¹¹ *verde* y los lineamientos de buenas prácticas para la emisión de bonos verdes, garantizando además que toda la información sea reportada al mercado (Superintendencia Financiera de Colombia, 2020).

Pero, ¿qué es exactamente la taxonomía verde?, según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en Colombia se define como un sistema de clasificación de actividades económicas y activos que generan contribuciones sustanciales al cumplimiento de los objetivos ambientales del país, tales como la mitigación y adaptación al cambio climático, la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, la

¹¹ La Taxonomía Verde en Colombia es el sistema de clasificación oficial que define con criterios técnicos qué actividades económicas e inversiones son ambientalmente sostenibles en el país. Su objetivo es unificar el lenguaje financiero para movilizar capitales públicos y privados hacia proyectos de bajo carbono y uso sostenible del suelo, garantizando transparencia y combatiendo el greenwashing. (Ministerio de Hacienda, 2026)

gestión del agua y del suelo, la economía circular, así como la prevención y el control de la contaminación. En consecuencia, cuando las empresas cumplen con los criterios de la taxonomía verde, pueden acceder a mayores niveles de inversión debido a su sostenibilidad a largo plazo, así como al respaldo del Estado en el cumplimiento de sus objetivos ambientales (Dirección Nacional de Planeación (DNP) – Comité de Gestión Financiera del SISCLIMA, 2022).

En adición a lo anterior, desde el punto de vista jurisprudencial, la Corte Constitucional, en la Sentencia C-280 de 2024, buscó fortalecer la protección de los recursos naturales mediante la incorporación de variables asociadas al cambio climático. En este sentido, la Corte reitera la obligación ineludible por parte de las empresas de obtener una licencia ambiental previa a la ejecución de cualquier proyecto que pueda deteriorar los recursos ambientales, como es el caso del agua. Dicha obligación exige la presentación de estudios de impacto ambiental (EIA) que evalúen los elementos abióticos (elementos no vivos del ecosistema), bióticos (elementos vivos) y socioeconómicos. Esto responde al déficit actual de protección constitucional derivado de la falta de evaluaciones explícitas sobre los impactos del cambio climático, considerando que las variaciones en las precipitaciones y las temperaturas afectan directamente la disponibilidad hídrica, los caudales ecológicos y la integridad de los ecosistemas.

Por su parte, el criterio social (S) no puede entenderse de manera aislada de los demás componentes, dado que todos funcionan de forma simbiótica. La falta de información sobre los riesgos climáticos puede vulnerar el derecho a la participación de las comunidades al impedirles conocer las consecuencias reales de un proyecto. De igual manera, las empresas deben considerar que la intervención hídrica y los efectos del cambio climático impactan de manera desproporcionada a poblaciones vulnerables, como comunidades indígenas y campesinas, poniendo en riesgo el acceso al agua potable, la seguridad alimentaria, la salud y la vivienda, incluso generando escenarios de desplazamiento forzado por causas ambientales (Corte Constitucional de Colombia, 2024).

De igual forma, el criterio de gobernanza (G) impone a las empresas la obligación de alinear sus estrategias corporativas con los deberes constitucionales del Estado y los compromisos derivados del bloque de constitucionalidad, mediante procedimientos rigurosos de licenciamiento. En este marco las decisiones

empresariales en Colombia deben incorporar los principios internacionales de precaución y prevención previamente mencionados. Así mismo, se exige que la gobernanza empresarial integre planes de manejo y aprovechamiento de los recursos naturales que garanticen un desarrollo sostenible y, en caso de causar daños, que estos sean asumidos y prevenidos mediante la internalización de los costos ambientales en los modelos de negocio (Corte Constitucional de Colombia, 2024).

En ese sentido, el seguimiento de la gestión de riesgos ASG en Colombia es particularmente riguroso, lo que permitiría dar lugar al espacio propicio para realizar la siembra de nubes con buenas prácticas empresariales. Por ello, si una empresa desea operar al interior del país deberá analizar la interdependencia de los ecosistemas, considerando el nivel de afectación de sus actividades sobre ecosistemas críticos, la regulación hídrica y la seguridad alimentaria. Esto implica que cualquier actividad relacionada con la gestión del agua debe contemplar los impactos en la recarga de acuíferos, así como la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, evitando que, bajo el pretexto de actividades investigativas, se comprometa la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo (Corte Constitucional de Colombia, 2024).

Todo lo anterior responde directamente a estándares vinculantes internacionales y de derecho blando (*soft law*) ratificados por Colombia, los cuales imponen a las organizaciones el deber de adoptar medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático, bajo el entendido de que el desarrollo económico no puede prevalecer sobre los derechos ambientales ni sobre la protección de los derechos fundamentales.

En adición, la estructuración de este último criterio bajo los estándares internacionales actuales exige una evolución profunda en la forma en que las organizaciones gestionan sus estructuras internas, funciones y procesos de toma de decisiones. Con este fin, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), mediante sus Directrices sobre el Gobierno Corporativo de las Empresas Públicas realizada en 2024 introdujo de forma explícita el Capítulo VII sobre sostenibilidad. Este nuevo marco normativo reconoce que los Estados en su rol de administradores de sus jurisdicciones y las empresas en su dimensión corporativa tienen la responsabilidad de "liderar con el ejemplo". Lo anterior implica dirigir,

administrar y monitorear los riesgos y oportunidades no financieros de tal manera que se asegure de forma simultánea la sostenibilidad de las operaciones, la resiliencia sistémica ante choques externos y la creación de valor a largo plazo. Por ello, con el fin de materializar este mandato en el ámbito de la geoingeniería, las políticas y prácticas organizacionales de las corporaciones deben guardar una coherencia estricta con los compromisos climáticos nacionales e internacionales adquiridos por el Estado.

Desde esta perspectiva, cuando la OCDE habla de gobernanza corporativa orientada a la sostenibilidad, la piedra angular se encuentra en la configuración interna de la Junta Directiva, a la cual, se le obliga a incorporar de manera formal criterios y cualificaciones específicas de sostenibilidad dentro de los procesos de selección, postulación y nominación de los miembros de junta, de igual manera, estos no pueden concebirse como órganos netamente reactivos o financieros tradicionales; por el contrario, requieren un balance adecuado y un perfil técnico mixto que combine directores independientes dotados de competencias probadas en la gestión de riesgos ambientales, sociales y de gobernanza (ASG).

Esta idoneidad debe ser respaldada mediante la implementación de herramientas corporativas, tales como las matrices de habilidades estratégicas, evaluaciones periódicas de desempeño del directorio, programas permanentes de educación corporativa y actualización profesional en materia regulatoria y de tendencias ambientales globales.

Así mismo, para lograr una supervisión eficaz, la OCDE insta a las corporaciones a adoptar uno de los siguientes modelos institucionales encaminados a incrustar los factores ASG en las decisiones estratégicas del día a día de acuerdo con su nivel de madurez organizativa y perfil de riesgo:

Modelo de Comités Especializados: Implica la constitución de un Comité de Sostenibilidad permanente, con su propio estatuto orgánico y agenda definida, encargado de asesorar a la junta en la priorización de asuntos ambientales y sociales, supervisar estudios de impacto y coordinar con los comités de Auditoría, Nominaciones y Remuneraciones la alineación de las políticas internas. (OCDE, 2025)

Modelo Integrado o de Comités Mixtos: Consiste en asignar la responsabilidad formal de la sostenibilidad a comités ya existentes (principalmente al Comité de Riesgos), o distribuir las

responsabilidades de manera transversal entre todas las áreas del gobierno corporativo de la empresa. (OCDE, 2025)

Modelo de Liderazgo: Contempla el nombramiento de directores en sostenibilidad o la designación estatutaria de un Oficial Ejecutivo de Sostenibilidad (CSO) que lidere comités de gerencia y reporte directamente al CEO y a la Junta Directiva, garantizando canales fluidos de comunicación y una asignación clara de recursos y responsabilidades operativas. (OCDE, 2025)

En concordancia, se crea el deber de los vicepresidentes de gestionar la doble materialidad, es decir que deberán evaluar cómo la sostenibilidad afecta financieramente a la empresa y cómo la empresa impacta al medio ambiente y la sociedad, no sin antes ser examinado a fondo por la junta directiva para plasmarlo en una estrategia de negocio unificada y viable.

Es así como, la efectividad de la gobernanza corporativa depende directamente de la robustez de sus líneas de defensa y sistemas de control interno, ya que, el estándar global dictado por la OCDE estipula que la administración del riesgo de sostenibilidad debe asimilarse plenamente dentro de los marcos tradicionales de Gestión de Riesgos Empresariales. Esta integración técnica requiere que los riesgos no financieros se cataloguen sistemáticamente en matrices operacionales, financieras, estratégicas y de cumplimiento legal, determinando con exactitud el apetito de riesgo de la organización.

Con este fin, la gobernanza corporativa se apoya en los procesos de debida diligencia basada en riesgos estructurados a partir de directrices y guías sectoriales de la OCDE como se describe a continuación: (OCDE, 2025)

- Integrar formalmente la conducta empresarial responsable dentro de las políticas corporativas y los sistemas de gestión interna de la organización.
- Identificar y evaluar exhaustivamente los impactos adversos reales o potenciales derivados de las operaciones propias, de las empresas filiales o subsidiarias, y de los terceros vinculados directamente a través de las cadenas de suministro y relaciones de negocio.
- Cesar, prevenir o mitigar de forma inmediata los impactos adversos detectados.

-
- Hacer un seguimiento continuo y riguroso a la implementación y efectividad de los resultados de mitigación.
 - Comunicar públicamente de manera transparente la forma en que se abordan dichos impactos.
 - Proveer mecanismos internos de remediación oportuna, o cooperar activamente en ellos, cuando se compruebe que la empresa ha causado o contribuido a la materialización del daño.

Del mismo modo, la OCDE recomienda que la función de auditoría interna se debe transformar para actuar como un tercero independiente de aseguramiento estratégico, con capacidad técnica para revisar la veracidad, integridad y completitud de las métricas no financieras recolectadas.

En concordancia con lo expuesto, es claro que el criterio de gobernanza se manifiesta como el soporte ético, técnico e institucional que dota de viabilidad operativa a los demás criterios, pues a través de este, es que se materializan las otras. En consecuencia, actualmente las obligaciones corporativas no se limitan al cumplimiento formal de requisitos o de búsqueda de utilidades, sino que deben orientarse a asegurar que el crecimiento económico mediante la implementación de modelos de negocio sostenibles que reconozcan el valor intrínseco de la naturaleza y adopten una postura ética y jurídica donde primen los derechos colectivos y la preservación de los ecosistemas.

a). Viabilidad de la siembra de nubes en Colombia como solución a la crisis climática actual

En síntesis, en este punto de la investigación surgen dos preguntas importantes: ¿es actualmente viable que empresas privadas sean contratadas por el Estado colombiano para realizar la siembra de nubes como solución frente al cambio climático y la escasez hídrica en determinadas regiones del país o ante fenómenos climáticos extremos? Y, en segundo lugar, ¿podría una empresa privada independiente iniciar esta práctica en Colombia?

La respuesta, en ambos casos, es afirmativa de manera condicionada, toda vez que, de conformidad con la jurisprudencia previamente citada, existe la obligación constitucional del Estado colombiano de garantizar los servicios públicos y la seguridad hídrica de sus habitantes. En ese sentido, la siembra de

nubes podría considerarse una medida viable para asegurar la materialización de estos derechos. No obstante, la corporación encargada de ejecutarla deberá demostrar, mediante informes técnicos rigurosos presentados ante los entes de control, la certeza de no generar daños de ninguna índole, en cumplimiento de los principios de precaución y prevención.

En este escenario, los instrumentos de soft law y los estándares internacionales de sostenibilidad corporativa adquieren una relevancia fundamental, ya que, si bien estas directrices carecen de fuerza vinculante, operan como marcos referenciales para la estructuración de un estándar de debida diligencia empresarial. Por consiguiente, las organizaciones que pretendan realizar la modificación artificial de la precipitación dentro de su objeto social deberán asimilar estos principios no vinculantes para robustecer, de forma simétrica y proactiva, sus estructuras internas de gobernanza.

Con este fin, la gobernanza corporativa debe traducirse en políticas expresas de asignación presupuestal y de recursos financieros líquidos dentro de la compañía. En primer lugar, resulta indispensable destinar partidas presupuestales permanentes al fondeo de sistemas internos de gestión del riesgo y monitoreo hidrológico en tiempo real, asegurando la viabilidad técnica de un cese operativo inmediato ante cualquier anomalía climática. En segundo lugar, los estatutos de la corporación deben ordenar la inversión de un porcentaje de sus utilidades en investigación y desarrollo científico (I+D), orientado de manera exclusiva a mitigar de forma anticipada el impacto colateral de los agentes químicos empleados en la siembra de nubes.

De igual forma, debido al impacto a gran escala de esta práctica, no sobra decir que las empresas que se quieran dedicar a ello deberán tener como único objeto social la práctica de técnicas de geoingeniería, toda vez que, la debida diligencia en la estructura organizacional exigirá a la corporación la máxima concentración en un único objetivo, en el mismo sentido, se recomienda a las corporaciones la presentación de informes, estudios de impacto ambiental (EIA) y la realización de análisis exhaustivos de las posibles alteraciones en los componentes bióticos, abióticos y socioeconómicos; con el fin de evitar riesgos operacionales, reputacionales y legales derivados de malas prácticas.

Por ello y con el fin de aterrizar la implementación de la siembra de nubes en Colombia, se presenta a continuación un compendio de propuestas de autorregulación dirigidas a las corporaciones que desarrollan actividades de siembra de nubes en Colombia, con el fin de que sean integradas en sus esquemas de gobierno corporativo, incorporadas en los modelos internos de responsabilidad social empresarial o incluso adoptadas como parte de estándares internacionales aplicables a la gestión del agua atmosférica.

En primera medida, en lo que respecta a los aspectos ambientales y operativos, y en consonancia con los principios de prevención y precaución, se deberían implementar las siguientes medidas:

- ✓ **Crear un protocolo de cese automático** de las actividades de siembra de nubes a través del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), articulado con modelos hidrológicos en tiempo real, que tenga en cuenta los niveles actuales y futuros de precipitación, la saturación y estructura de los suelos, el seguimiento de fenómenos hidrológicos, el monitoreo constante de las precipitaciones a nivel nacional y la incidencia de las actividades cotidianas de la población, con el fin de mitigar el riesgo de inundaciones o alteraciones en los ecosistemas.
- ✓ **Implementar un régimen de muestreo ambiental obligatorio**, con informes trimestrales en las zonas de impacto de la siembra de nubes, los cuales deberán ser recolectados y analizados por terceros independientes debidamente acreditados ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) o el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, teniendo el deber de remitir los resultados directamente a las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) competentes en el territorio para prevenir de forma anticipada la acumulación de partículas o trazas tóxicas derivadas de agentes químicos como el yoduro de plata.
- ✓ **Realizar evaluaciones semestrales del impacto ambiental transfronterizo** mediante el análisis de modelos de dispersión atmosférica, con el propósito de cuantificar los posibles efectos en la hidrología de las zonas circundantes y prevenir futuros conflictos geopolíticos o litigios por acaparamiento hídrico, los cuales, deberán ser presentados ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y el Ministerio de Relaciones Exteriores.

-
- ✓ **Establecer un compromiso corporativo entre las empresas** dedicadas a la siembra de nubes para destinar un rubro específico de sus utilidades a la investigación y desarrollo de tecnologías que reduzcan el impacto ambiental de estas actividades. Estos recursos privados serán articulados a través de las convocatorias y misiones del Comité Temático de Tecnología y el de Transición Energética y Sostenibilidad del SNCI, orientándose de manera exclusiva a la sofisticación de tecnologías alternativas que reduzcan o eliminen el impacto abiótico colateral en la atmósfera.
 - ✓ **Consolidar un mapeo inicial de las zonas de exclusión** para la siembra de nubes, donde las autoridades ambientales nacionales (Min Ambiente y ANLA), en coordinación científica con las CAR y el IDEAM, tendrán la responsabilidad exclusiva de pronunciarse y delimitar cartográficamente las zonas vetadas para esta práctica. Las empresas privadas tendrán la estricta obligación de respetar este mapeo inicial de exclusión debido a la alta sensibilidad y fragilidad ecológica de los territorios frente a las alteraciones del ciclo hidrológico, quedando absolutamente prohibida cualquier intervención o siembra de nubes cuando, a favor del viento, se localicen ecosistemas estratégicos de páramo o áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)
 - ✓ **Establecer un mecanismo de responsabilidad social y fondo de compensación hídrica para comunidades afectadas**, mediante el seguimiento en tiempo real de impactos generados por la modificación artificial del ciclo de lluvias (ya sea por exceso o déficit), con el fin de garantizar la asignación equitativa de recursos destinados a ayudas humanitarias, subsidios de mitigación y reparaciones integrales por daños a la infraestructura, cultivos o medios de subsistencia.

En segunda medida, y de conformidad con los requisitos del deber de información, se recomienda la implementación de las siguientes medidas:

- ✓ **Integrar, a través de herramientas tecnológicas** como plataformas digitales públicas integradas con el sistema de ventanilla única del SNCI, páginas web o redes sociales, junto con un sistema de actualización automática de información sobre los aviones o drones que ejecutan la siembra de nubes, con el fin de correlacionar las actividades de siembra con los eventos meteorológicos observados y facilitar la atribución de responsabilidades en caso de perjuicios.

-
- ✓ **Adherirse a un órgano de auditoría externa** que permita a las organizaciones comerciales someter sus operaciones ante expertos en riesgos ASG. Estos dictámenes evaluarán de manera semestral tanto la efectividad técnica de las prácticas como la mitigación de los riesgos sociales y ambientales, debiendo ser reportados formalmente bajo los lineamientos de información no financiera ante la Superintendencia de Sociedades, sirviendo de insumo para el control societario y la confianza del mercado de capitales.
 - ✓ **Divulgar los resultados** de todas las intervenciones realizadas, incluso cuando estas evidencien impactos nulos o negativos, imponiendo así, el principio de máxima publicidad y transparencia corporativa, donde las empresas operadoras tienen la obligación de divulgar de manera irrestricta las conclusiones de todas las intervenciones realizadas para combatir de raíz el fenómeno del greenwashing.

En tercera medida, con el fin de prevenir el acaparamiento hídrico y promover una distribución equitativa de los beneficios de la siembra de nubes, se recomienda lo siguiente:

- ✓ **Incluir cláusulas de acuerdos de beneficio comunitario entre las naciones** por intermedio del Comité de Territorialización del SNCI, en relación con los beneficios hídricos y agrícolas derivados de esta práctica, tales como la creación de fondos para mejorar infraestructuras hídricas, el otorgamiento de subsidios tecnológicos para el aprovechamiento del agua o bonos de compensación para las zonas afectadas.
- ✓ **Adquirir pólizas o garantías** que permitan establecer mecanismos de compensación e indemnización ágiles y eficaces para las personas afectadas, evitando la necesidad de acudir a largos litigios.
- ✓ **Consolidar un protocolo de notificación transfronteriza** que informe a los países circundantes sobre la realización de actividades de siembra de nubes, su justificación y el alcance potencial de sus efectos.

Ahora bien, en materia de gobierno corporativo, también será necesario introducir cambios en la estructura organizacional con el fin de integrar funciones específicas para la ejecución de estas prácticas, tales como:

- ✓ **Designar un ejecutivo de alto nivel como oficial de cumplimiento ASG y de derechos humanos**, con un rango equivalente al de la alta dirección, pero con independencia funcional, encargado de

garantizar la observancia de las normas ambientales nacionales, las directrices de la SuperSociedades y los tratados internacionales de derechos humanos, contando con la facultad autónoma de suspender de forma inmediata cualquier operación aérea o técnica que represente un riesgo inminente para los ecosistemas o las poblaciones.

Designar un comité asesor independiente, integrado por hidrólogos, ingenieros, representantes comunitarios, químicos y expertos legales, encargado de revisar los planes operativos en el corto, mediano y largo plazo.,

En el mismo sentido, para que una empresa pueda desarrollar esta práctica en territorio colombiano, será indispensable establecer mecanismos de articulación con las comunidades potencialmente beneficiarias y aquellas que podrían verse afectadas. Esto permitirá prevenir consecuencias adversas derivadas de una implementación inadecuada y mitigar posibles afectaciones sobre comunidades ubicadas a favor del viento o expuestas a alteraciones en el ciclo hidrológico, tanto en el ámbito nacional como internacional.

Por otro lado, no puede perderse de vista lo señalado por la Sentencia C-280 de 2024, la cual exige a todas las entidades estatales (presidencia, ministerios, autoridades ambientales, órganos de control, entre otras) examinar con especial rigor cualquier posible afectación a la seguridad hídrica y alimentaria. En ese sentido, dichas entidades deben ejercer funciones de inspección, vigilancia y control sobre todas las acciones que pretenda ejecutar la empresa contratada para tal fin.

En consecuencia, tanto la empresa como el Estado colombiano deberán además demostrar que cuentan con la capacidad técnica y financiera necesaria para prevenir la generación de daños. Así mismo, en caso de que estos lleguen a producirse, incluso actuando con la debida diligencia, deberán disponer de un plan de emergencia que permita cesar de manera inmediata el daño y garantizar la reparación integral de sus consecuencias.

Por todo lo anterior, queda claro que, si bien en Colombia actualmente no se han propuesto regulaciones específicas al respecto de la práctica de la siembra de nubes, en realidad existe un vasto desarrollo jurídico ambiental (doctrinal, administrativo, jurisprudencial y legislativo) más suficiente para

prever que la implementación de estas prácticas en el territorio colombiano se realice con respeto a las normas internacionales previstas para esta materia.

VII. CONCLUSIONES

Recogiendo los temas planteados a lo largo de la investigación, es claro que la modificación artificial de la precipitación, comúnmente denominada siembra de nubes, es actualmente la técnica de geoingeniería con mayor trayectoria, estudio y la más utilizada públicamente a nivel mundial, debido a su gran utilidad para asegurar que los recursos hídricos lleguen a zonas de difícil acceso en momentos de sequía o para mitigar las consecuencias de emergencias climáticas, lo que la convierte en uno de los aliados más relevantes de Colombia para enfrentar los actuales cambios climáticos abruptos derivados de nuestra interacción con la naturaleza.

Por ello, no se debe excusar la falta de regulación específica o suficiencia de estudios para negar la entrada a una tecnología con el potencial de llevar a Colombia hacia un nuevo estadio de desarrollo, especialmente ante la intensificación de la crisis climática y la agudización de fenómenos como “El Niño” o “La Niña” que afectan gravemente la agricultura, la seguridad alimentaria y el suministro de agua potable al interior del país.

Por consiguiente, resulta urgente que el Estado colombiano avance en la implementación de estas prácticas bajo marcos normativos claros, expresos y exigibles. Por otro lado, quedó claro que el ordenamiento jurídico nacional cuenta con la suficiencia normativa e institucional necesaria (a través de la Ley 99 de 1993, el bloque de constitucionalidad y la jurisprudencia de las altas cortes) para regular la actividad en respeto de los derechos constitucionalmente protegidos de las generaciones actuales y futuras.

Desde la perspectiva del derecho corporativo, la ejecución de la siembra de nubes en Colombia trasciende la esfera ambiental para ubicarse como un eje principal de la innovación tecnológica y la competitividad sectorial, encontrando su fundamento en el Decreto 2212 de 2023. De este modo, la introducción de la geoingeniería se integra formalmente al Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI), permitiendo articular los esfuerzos de las Comisiones Regionales de Competitividad e

Innovación (CRCI) y el Comité Temático de Transición Energética y Sostenibilidad, con el fin de, no solo ser usada como una medida de mitigación de la crisis climática, sino también como una ventaja competitiva de mejoramiento productivo que asegure la estabilidad socioeconómica de la Nación.

En este escenario, el papel de las corporaciones sobrepasa la sola condición de agentes pasivos regulados para configurarse como socios técnicos y financieros estratégicos del Estado, actuando como el motor de inversión en inteligencia y desarrollo (I+D) indispensable para viabilizar tecnologías de punta que la administración pública, por sí sola, no puede financiar ni operar con la misma agilidad.

Bajo este enfoque de corresponsabilidad, el éxito de esta práctica exige redefinir la relación entre la autorregulación corporativa y el estándar de debida diligencia propuesto al interior de la presente investigación, toda vez que, la autorregulación no debe entenderse como un catálogo de declaraciones bienintencionadas o una vía de evasión legal, sino como un sistema de desarrollo interno vinculante por medio del cual los directivos establecen metas ambientales y de gobernanza claras, medibles y superiores al estándar legal mínimo para el objeto social sea sostenible en el tiempo.

Para que esto sea viable, el criterio de Gobernanza se identifica como la piedra angular que dota de viabilidad operativa a los criterios Ambientales y Sociales, pues es a través de las estructuras de gobierno corporativo que estos últimos se materializan de forma efectiva. Esta gobernanza exige, en primer lugar, que las empresas adopten modelos basados en la doble materialidad, evaluando de forma proporcionada cómo el cambio climático las afecta financieramente y cómo sus operaciones de modificación artificial de la precipitación impactan el entorno y las comunidades locales. En segundo lugar, requiere una transformación de la estructura interna de la organización, integrando la debida diligencia ambiental directamente en los estatutos corporativos mediante la designación de un Oficial de Cumplimiento ASG de alto nivel con independencia funcional, y la creación de un comité asesor independiente integrado por expertos científicos, legales y representantes comunitarios.

Finalmente, para combatir de raíz el fenómeno del *greenwashing* (lavado de imagen verde) y evitar que las corporaciones seleccionen de manera oportunista únicamente los datos exitosos para sus reportes de sostenibilidad, la gobernanza corporativa debe impregnarse de la máxima publicidad y transparencia

frente a la divulgación de los resultados de todas las intervenciones realizadas junto con la adhesión a auditorías externas ajenas a la empresa, sirviendo como un insumo estratégico para el control societario, la vigilancia de la conducta empresarial responsable y el fortalecimiento de la confianza en el mercado de capitales.

En conclusión, la siembra de nubes en Colombia es efectivamente una solución necesaria y viable ante la actual crisis climática y los desafíos extremos que imponen fenómenos como El Niño o La Niña. Lejos de representar una carga de cumplimiento normativo asfixiante, la adopción del estándar de debida diligencia y las propuestas de autorregulación corporativa detalladas en esta investigación generan significativos beneficios estratégicos para las propias corporaciones que decidan dedicarse a la geoingeniería. Al internalizar proactivamente sus riesgos no financieros, las empresas no solo mitigan la posibilidad de incurrir en costosos litigios locales o transnacionales por acaparamiento hídrico atmosférico, sino que obtienen una sólida legitimidad social en los territorios de intervención y blindan su valor reputacional en un mercado global cada vez más exigente, transformando a Colombia en un referente regional de buenas prácticas ambientales y sofisticación jurídica corporativa.

VIII. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Almheiri, K. B., Rustum, R., Wright, G., & Adeloye, A. J. (2021). Study of impact of cloud-seeding on intensity-duration-frequency (IDF) curves of Sharjah city, the United Arab Emirates. *Water*, 13(23), 3363.
- Beltrán Guzmán, J. C. (8 de abril de 2024). El bombardeo de nubes que devolvió el agua a los embalses de Bogotá hace 40 años. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/bogota/el-bombardeo-de-nubes-que-devolvio-el-agua-a-los-embalses-de-bogota-hace-40-anos/>
- Corte Constitucional de Colombia. Sentencia C-280/24, República de Colombia, 2024. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2024/c-280-24>
- Corte Constitucional de Colombia. Sentencia SU-698/17, M.P. Luis Guillermo Guerrero Pérez, 2017. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2017/su698-17.htm>

Corte Constitucional de Colombia. Sentencia T-622 de 2016, M.P. Jorge Iván Palacio Palacio, 2016.

<https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/t-622-16>

Corte de Pensilvania. (1968). *Pennsylvania Natural Weather Ass'n v. Blue Ridge Weather Modification*

Ass'n. <https://www.courtlistener.com/opinion/9319823/pennsylvania-natural-weather-assn-v-blue-ridge-weather-modification-assn/>

Daniela Alfaro y otros (2016). *Derecho de la Organización Mundial del Comercio (OMC)*. Universidad

Externado de Colombia. <https://publicaciones.uexternado.edu.co/media/pageflip/derecho-de-la-organizacion-mundial-del-comercio.pdf>

Delgado Ramos, G. C. (2012). Geoingeniería, apuesta incierta frente al cambio climático. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 20(40), 213-236.

Dirección Nacional de Planeación (DNP) – Comité de Gestión Financiera del SISCLIMA. (2022).

Taxonomía Verde de Colombia

<https://finanzasdelclima.dnp.gov.co/movilizacionrecursos/generacion-conocimiento/Paginas/taxonomia-verde-de-colombia.aspx>

Malik, S., Bano, H., Rather, R. A., & Ahmad, S. (2018). Cloud seeding; its prospects and concerns in the modern world-A review. *Int. J. Pure App. Biosci*, 6(5), 791-796.

Ministerio de Hacienda (2026) *Taxonomía Verde - clasificación de inversiones sostenibles en IRC*.

<https://www.taxonomiaverde.gov.co>

National Center of Meteorology – UAE Rain Enhancement Program. (2025). *Program Solicitation, 6th*

Cycle. National Center of Meteorology. <https://assets.ncm.gov.ae/resources/uaerep-web/uaerep-program-solicitation-c6-en.pdf>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2025). State-owned enterprises and sustainability: Leading by example. OECD Publishing.

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/09/state-owned-enterprises-and-sustainability_4934ebed/c99c7ef0-en.pdf

-
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1972). *Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano*. ONU Documentos.
<https://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. ONU Documentos.
<https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). *Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. ONU Documentos. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. ONU Documentos.
<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. ONU Documentos.
<https://www.cedhnl.org.mx/bs/vih/secciones/planes-y-programas/Agenda-2030-y-los-ODS.pdf>
- Presidencia de la república. (2023) *Decreto 2212 de 2023 - Por el cual se adiciona el Capítulo 6 del Título 1 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1074 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo, respecto de la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Competitividad e Innovación (SNCI)*
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=227030>
- Superintendencia Financiera de Colombia. (2020). *Circular Externa 028 de 2020*. República de Colombia.
<https://www.superfinanciera.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=1047741>
- Woodruff, B. (2023). When It Rains, It Pours: Weather Modification Law in the United States and a Proposal for Federal Control. *Pace Env't L. Rev.*, 41, 406.