

GEOINGENIERÍA, APUESTA INCIERTA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

GEOENGINEERING, THE UNCERTAINTIES INVOLVED IN A SET OF POTENTIAL TECHNOLOGICAL RESPONSES TO CLIMATE CHANGE

Gian Carlo Delgado Ramos*

Resumen

Ante el acelerado aumento de la concentración de gases de efecto invernadero se propone como solución la puesta en marcha de diversas tecnologías, entre ellas aquellas diseñadas para manipular y controlar el clima. La incertidumbre, complejidad e implicaciones que envuelven tales tecnologías de geoingeniería no son asunto menor, por lo que se hace necesario analizar y evaluar el caso con aproximaciones que, lejos de ser lineales, busquen contribuir en la construcción de una narrativa compleja y panorámica, multi-escala y multi-dimensional, que permita razonar de modo más fino e interdisciplinar las implicaciones sociales, éticas, legales y ambientales de dicha apuesta. El presente texto ofrece una revisión crítica acerca de tales aspectos dando cuenta de la lógica que permea en términos generales la propuesta de las geoingenierías y la gestión del conocimiento e innovación en juego, pero también reconociendo el debate entorno a la complejidad e implicaciones de las principales tecnologías planteadas.

Palabras clave: geoingeniería, cambio climático, incertidumbre, riesgo.

Abstract

The rapidly climbing greenhouse gases concentrations are giving rise to diverse technology-driven solutions aimed at climate control and manipulation. The complexity as well as implications of these technologies together with the lack of certainty in relation to future outcomes constitute a critical element of geoengineering which needs to be carefully analysed and evaluated by means of approximations. This research, far from being lineal, should seek to produce studies of complex, multi-scale, multi-dimensional narrative that would provide a multidisciplinary overview of social, ethical, legal and environmental implications inherent in geoengineering. This paper offers a critical review of these issues accounting, in general terms, for the logic behind programmes advocating implementing geoengineering as well as knowledge and innovation management involved in the deployment of geoengineering technologies. The paper also recognizes the fact that geoengineering opens up various political and economic issues which are still being debated.

Keywords: geoengineering, climate change, uncertainty, risk.

Artículo recibido: 18/02/2012 Aprobado: 26/05/2012

* PhD en Economía. Investigador de tiempo completo del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Email: giandelgado@unam.mx

Introducción

Las implicaciones del cada vez más extenso metabolismo social, es decir del uso de materiales y energía por parte del ser humano, son cada vez mayores y sinérgicas. El calentamiento global de tipo antropogénico es sólo una de éstas. Se suma la trasgresión de los límites del ciclo del nitrógeno y del fósforo, la acidificación de los océanos, la destrucción de la capa de ozono, la ruptura con más de 50 mil represas del ciclo hidrológico del agua a la par de un sobre-consumo del líquido, un intenso cambio de uso y cobertura del suelo, la pérdida creciente de biodiversidad, entre otras (léase: Rockström *et al*, 2009.).

Dado que las variables anteriores se refuerzan o retroalimentan unas a otras pero produciendo al mismo tiempo resultados no-lineales y por tanto sinérgicos pero hasta cierto punto impredecibles, a este conjunto de procesos e implicaciones se le ha denominado como *cambio global*. Se trata de toda una serie de alteraciones que se están produciendo de manera más o menos simultánea y que ya afectan de modo multivariado, y en muchos casos desigual, el sistema planetario (incluyéndonos evidentemente a nosotros como parte de ése).

Cambio climático y sus principales implicaciones.

El cambio climático es esencialmente producto del uso indiscriminado de combustibles fósiles.¹ Se corrobora por la cantidad de gases de efecto in-

vernadero (GEI) en la atmósfera, de los cuales, el de mayor cantidad y permanencia es el dióxido de carbono (CO₂) con una vida de entre 50 a 200 años. No obstante el metano es también de gran importancia pues a pesar de que su persistencia es menor (en promedio unos 12 años), debido a las cantidades emitidas y su capacidad de absorber la radiación infrarroja, su potencial de calentamiento global se estima entre 25 a 33 veces que el del CO₂, lo que significa que cada tonelada de metano emitida equivale hasta 33 toneladas de CO₂.²

Así, sólo para el caso del CO₂, se observa que la concentración, que se mantuvo constante en los últimos 10 mil años en unas 280 partes por millón (ppm), pasó en 1998 a 360 ppm, para 2006 a 383 ppm (Heinberg, 2003: 32) y para principios de 2011 hasta 391 ppm (www.co2now.org). El incremento acumulado es de 39%, alcanzándose ya una concentración riesgosa dado que se trata de un nivel muy por arriba de la frontera ecológica planetaria y que, de profundizarse, podría implicar cambios multivariados e irreversibles.³ Por lo pronto, lo que se constata es un *inequívoco* aumento de la temperatura de 0.74° C en el periodo de 1906 a 2005, incremento que en 44% se gestó tan sólo de 1990 a la fecha (UN-HABITAT, 2011: 5).⁴

Debe advertirse sin embargo que la situación actual es producto de una contribución desigual en las emisiones de GEI en tanto que sólo el 20% de la población mundial (la más acaudalada) ha generado el 90% de éstos en términos históricos (Godrej, 2001: 95). Lo dicho se corrobora al dar cuenta, por

1 Otras fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) son también relevantes. Por ejemplo, las generadas por la agricultura (metano y nitrógeno) aportan a la canasta mundial de GEI un 14% del total; las resultantes del cambio de uso de suelo -sobre todo porque deja de ser captado un buena cantidad de dióxido de carbono- suman poco más del 18% de ese total; mientras que las contribuciones producto de la generación de residuos (metano) llega a ser de 3.6% a escala global.

2 El cálculo se hace para un periodo de cien años. El Cuarto Informe del IPCC de 2007 (AR4) constata que la relación en términos de potencial de calentamiento global de una tonelada de CO₂ y una de metano es de 1 – 25 (Solomon *et al*, eds, 2007). Se trata de una cifra actualizada de una estimación previa que rondaba la relación 1 – 21. Datos más recientes, precisan que tal vez un cálculo más preciso se fijaría entorno a una relación de 1 – 33 (Shindell *et al*, 2009). Es de precisarse que cerca de dos terceras partes de la emisión de metano es de origen antropogénico, siendo los principales contribuyentes, los arrozales, la actividad ganadera, la quema de biomasa y los residuos orgánicos. Debe sumarse al CO₂ y al CH₄, el óxido nitroso (N₂O) cuyo tiempo de vida es de unos 114 años. Su concentración preindustrial era de 270,000 ppm pero actualmente está arriba de las 319,000 ppm.

3 Así lo califica, por ejemplo, James Hansen del Instituto Goddard para el estudio del Espacio de la NASA (EUA). Una concentración por arriba de las 450 ppm se estima comenzaría a generar consecuencias irreversibles e impredecibles.

4 Los escenarios indican que habría un aumento de 0.1° C por década aún si se mantienen los niveles de particulado del año 2000. El llamado a reducir las emisiones de GEI es más que un imperativo (UN-Habitat, 2011: 5).

ejemplo, que los países de la OCDE contribuyen al día de hoy con el 43.8% del consumo energético mundial mientras que, América Latina sólo anota el 5.2%, Asia (excepto China) el 11.6% y África el 5.7% (IEA, 2010)⁵. Nótese además que mientras los países de la OECD tienen una población de unos 950 millones de habitantes, las regiones señaladas cuentan con 4.2 mil millones de habitantes (sin considerar a China). Las dimensiones de las disparidades mencionadas son pues notorias y establecen una diferencia de consumo energético *per capita* de 1 a 10 si se ajustan los datos al excluir a México y Chile del rubro de países de la OECD y se integran a los de la región latinoamericana.⁶

Las disparidades no sólo son notorias a nivel regional o de países, sino también de asentamientos humanos, siendo los de tipo urbano los de mayor peso en cuanto emisiones de gases de efecto invernadero, pero también de consumo de recursos. En ese tenor no sorprende que las ciudades del mundo cubran el 2% de la superficie terrestre pero consuman 2/3 partes de la energía mundial y emita 4/5 partes de los GEI (Newman *et al*, 2009: 4; UN-HABITAT, 2011: 9).⁷ Crecen en promedio a un ritmo del 2% anual, teniendo como puntos extremos un 0.7% para algunos países metropolitanos y 3% para algunas zonas periféricas (Ibid). Se trata sin embargo de un crecimiento que no es proporcional al monto de emisiones atribuibles a cada caso dado que hoy día se observan concentraciones urbanas similares (en tanto su densidad –habitantes por km²) con muy distintas aportaciones de GEI; no

sólo históricas sino incluso nominales. Tal disparidad, si bien responde a diversos factores como el tiempo de existencia de las urbanizaciones y las condiciones biofísicas de cada caso (e.g. latitud, cercanía y disponibilidad de recursos, etcétera), no deja de tener como principal origen una profunda polarización en los patrones de consumo energético-materiales.

Dicha desigualdad no es un asunto secundario, más aún cuando se toma nota de que los espacios que enfrentarán los costos más elevados del cambio climático serán aquellos cuya contribución de emisiones (total, pero sobre todo *per capita* y en términos históricos) ha sido menor (Bicknell, Dodman y Satterthwaite, 2009).

En concreto, se está pues ante un panorama en que las afectaciones asociadas al cambio climático refieren a una mayor y desigual vulnerabilidad por inundación, aumento de incendios, estrés hídrico y de otros recursos, entre otros factores como la degradación de la calidad de vida. Tales afectaciones estarán, en buena medida, vinculadas a riesgos actualmente ya conocidos y calarán con mayor énfasis en zonas pobres y de asentamiento irregular. Además, es de esperarse que tales afectaciones produzcan “riesgos concatenados”.

Lo expuesto precisa tomar medidas para en general reducir la amplitud de vulnerabilidades provocadas por el cambio climático, pero al mismo tiempo también, por otras problemáticas ambientales.

5 Por ejemplo, entre los mayores importadores de petróleo, según datos de 2008 están EUA, Japón, China, India, Corea, Alemania, Italia, Francia, España y Holanda. Mientras que los mayores exportadores para ese mismo año son Arabia Saudita, Rusia, Irán, Emiratos Árabes Unidos, Nigeria, Angola, Noruega, Kuwait, Irak y Venezuela (IEA, 2010). De notarse es que en este panorama, sean los países de OCDE los que concentren el 53.2% de la capacidad de refinación de petróleo (Ibid).

6 Los datos deben ajustarse pues México y Chile son miembros de la OECD y son contabilizados también para el caso de América Latina. De no considerarse como parte de dicha organización, el consumo energético del resto de países de la OECD sería del 42% de la energía mundial con una población aproximada de 820 millones. La relación población – consumo energético resulta casi 10 veces mayor para el caso de los países de la OECD (excepto México y Chile) en comparación al conjunto de países de América Latina, Asia (excepto China) y África. De notarse es que si se suma China, el consumo energético de ambos grupos es prácticamente el mismo (entorno a 42% cada uno), no obstante, la relación poblacional sigue siendo dispar: 820 millones versus 5.5 mil millones de habitantes. El consumo *per capita* de energía en tal caso, sería 6.5 veces mayor para el bloque de países de la OECD (exceptuando México y Chile).

7 Existe un debate sobre los datos pues según Satterthwaite (2009), las ciudades emiten directamente solo el 35% de los gases de efecto invernadero. No obstante, el dato que estima un 80% no es descabellado si se asume una contabilidad de los costos ambientales resultantes de la entrada y salida de materiales y energía de las ciudades como un todo. Así, números ofrecidos por UN-HABITAT (2011) sostienen que en 2006 las ciudades consumieron el 67% de la energía y emitieron el 71% del CO₂ y entre el 40 – 70% de las emisiones totales de GEI a nivel mundial. Proyecciones de ese mismo organismo para el 2030 indican porcentajes del 73%, 76% y 43 – 70% respectivamente (Ibid: 51).

Ante tal situación, el discurso que plantea al desarrollo tecnocientífico (“verde”) como solución, viene posicionándose con cada vez más fuerza desde el discurso de la economía verde. Ésa se ancla en el impulso a la eficiencia y al avance de las tecnologías como solución a las afectaciones que el actual sistema de producción ha generado a lo largo de su historia, sobre todo desde el siglo XX cuando las capacidades productivas, y por tanto de consumo energético-material, aumentaron en tal magnitud que fue posible el incremento poblacional y la expansión de los sistemas urbanos como nunca antes en la historia de la humanidad.

La apuesta consiste entonces en estimular una nueva revolución tecnológica que no sólo re-dinamice la economía a la usanza de las revoluciones tecnológicas previas (léase: Pérez, 2004; Delgado, 2011) sino que además contribuya a solucionar los principales problemas y retos ambientales. La idea se sostiene esencialmente en la creencia de que el crecimiento económico y la sustentabilidad pueden ir indefinidamente de la mano, visión errónea en tanto que no se puede crecer económicamente al infinito en un planeta finito.

En cualquier caso, es en este panorama que se (re)posicionan las tecnologías de geoingeniería, mismas que al enfocarse en controlar el clima o capturar CO₂, resuelven la eventual limitación del sistema actual de producción para impulsar de modo creciente la economía a fin de evitar emisiones de GEI. El punto de aproximación no es casual desde la lógica económica imperante pues las geoingenierías estimularían con creces la acumulación de capital mientras que la emisiones evitadas la lastimarían.

Geoingeniería como arreglo tecnológico paradigmático.

La construcción social del posible futuro las tecnologías del clima no sólo está lleno de expectativas, sino también de incertidumbres y promesas. De ser tecnológicamente y económicamente viables, tal avance tecnocientífico, sin duda alguna,

acarreará fuertes implicaciones, tanto sociales y ambientales, como éticas y legales.

La geoingeniería se entiende como aquel conjunto de tecnologías que permiten manipular el clima y que cumplen con al menos dos características fundamentales: deben ser intencionales y tener un impacto global o de gran escala (Schelling, 1996; Keith, 2001; Bala, 2009). Algunos precisan que también deben ser no-naturales (Schelling, 1996). Así, mientras la siembra de árboles de rápido crecimiento es una vieja propuesta (Dyson, 1977) que ahora se renueva con la sugerencia de árboles genéticamente modificados que tendrían un mayor potencial de absorción de CO₂ o con la supuesta siembra de crecientes insumos para la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación que permitirían producir energía al tiempo que se captura CO₂ (Gordon, 2010), ambas, debido a su carácter local no deberían entonces ser consideradas del todo como geoingeniería (en Ray, 2010). En cualquier caso, las implicaciones socioambientales, siendo o no geoingeniería, ciertamente estarían presentes en un grado u otro (en tanto a la huella hídrica, los efectos sobre la biodiversidad, la erosión de la seguridad alimentaria, etcétera).

La génesis de la geoingeniería no data de los últimos años, por el contrario, ha rondado en la arena científica y política ya desde hace décadas. La primera ocasión que se registró la posibilidad de intervenir el clima de manera deliberada más allá de la posibilidad de “cosechar nubes” que ya había sido planteado para provocar la lluvia por Bernard Vonnegut en 1946⁸, fue en un informe del Comité Asesor Científico de presidente de EUA en 1965 en el que se sugería revertir el balance de la radiación en dirección opuesta al generado por el aumento al CO₂, ello a partir de aumentar el efecto albedo o de reflectividad del planeta (véase: CACP, 1965). Pocos años después el científico ruso Budyko sugeriría la opción de inyectar sulfuro a la estratósfera mediante misiles, aviones o cohetes (Budyko, 1977: 244, en Bala, 2009). Para 1992, la Academia de Ciencias de EUA (NAS, por sus siglas en inglés), referiría lanzar polvo en lugar de sulfuro,

8 Se propuso la inyección de yoduro de plata a las nubes para producir lluvia. También se habla de rosear agua de mar en los océanos subtropicales a una altura de algunos cientos de metros para estimular la formación de nubes estratocúmulos.

una opción mucho más barata y menos agresiva al medio ambiente al momento de precipitarse a la tierra (NAS, 1992 en Bala, 2009: 43). Para tal opción se calculó la necesidad de lanzar 1kg de polvo por cada 100 toneladas de emisiones de CO₂ que se quisiera “contrarrestar” (Ibid). Desde entonces y ante un cambio climático que se agudiza, la geoingeniería ha tomado fuerza tanto en lo político como en el ámbito científico.

Por lo expuesto, es claro que hay más de un planteamiento sobre potenciales tecnologías de geoingeniería, cada una con un grado de sofisticación distinto. En general tales tecnologías se clasifican en dos grandes rubros, aquellas enfocadas a la captura/manipulación del CO₂ y las que inciden sobre el efecto de insolación del planeta (véase Figura 1).

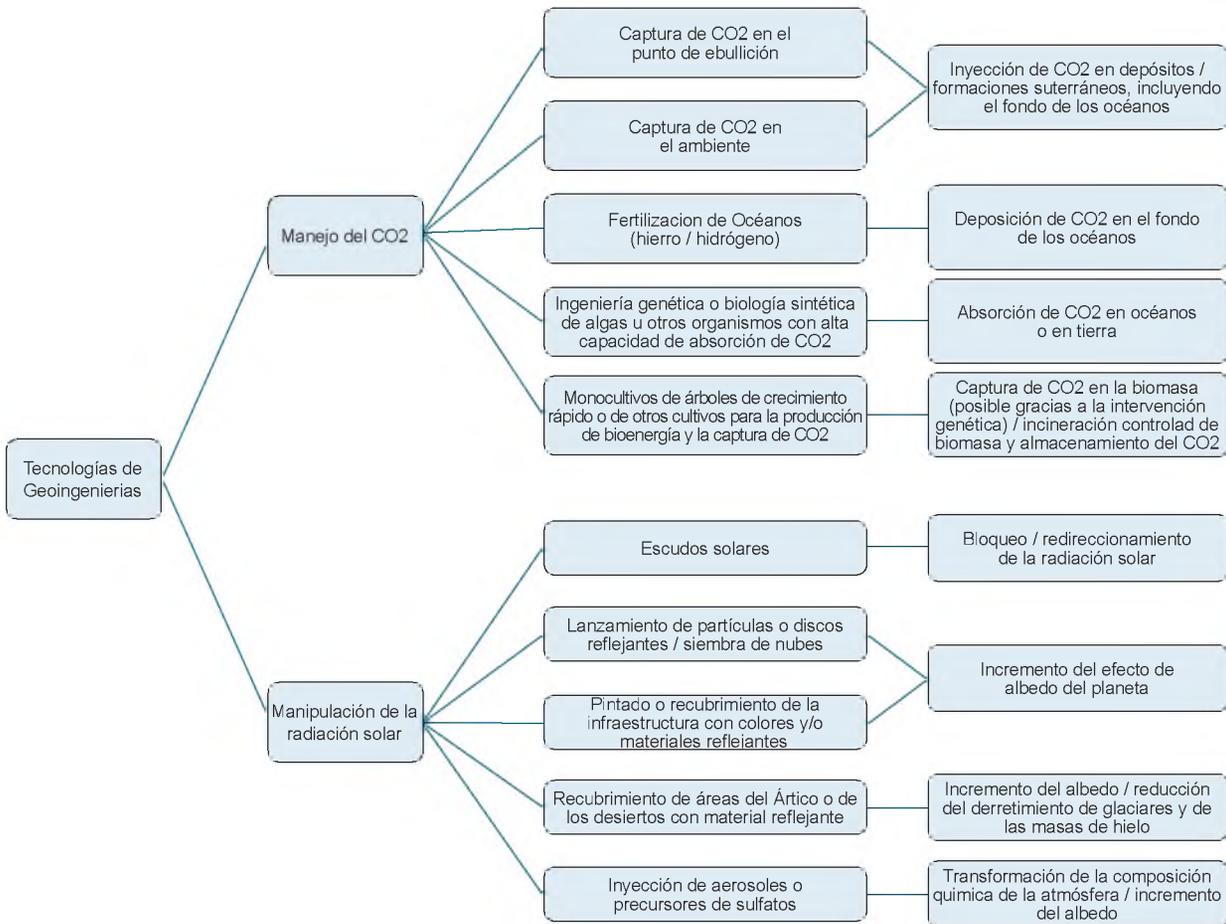


Figura 1. Principales tecnologías de ingeniería del clima

Entre las más sonadas del primer bloque, o procedimientos CDR (CarbonDioxideRemoval), están las relativas a la captura de CO₂, sea directamente en el punto de combustión/emisión o absorbido del ambiente por medio de *depuradores*. En ambos casos el CO₂ es inyectado subterráneamente en formaciones geológicas o viejos pozos petroleros–gасeros, así como en el fondo del lecho marino (Haugan y Drane, 1992; Rubinet *al*, 2005; Bala, 2009).

Por su parte, la “fertilización de océanos” se planea mediante el uso de (nano)partículas de hierro u otras sustancias como el nitrógeno para estimular el crecimiento del fitoplancton y que a su vez fungiría como sumidero de carbono pues al morir el carbono se depositaría en el fondo oceánico (Martin *et al*, 1990; NAS, 1992; Bala, 2009; Ray, 2010). Este caso es una tecnología ya en pruebas y en comercialización (Ray, 2010) aún cuando se sabe que podría inducir cam-

bios en la composición química de los océanos (acidificación), llevar a niveles bajos de oxígeno en aguas semiprofundas y profundas por sobrecrecimiento del fitoplancton, entre otras cuestiones.

Se suma también la idea de manipular genéticamente algas u otros organismos para que incrementen su capacidad de captura / metabolismo de CO₂ (Gordon, 2010: 17) y la opción denominada Biochar que alude a la siembra de grandes extensiones de monocultivos útiles para la producción de energía, al tiempo que sean buenos captadores de CO₂ de modo tal que la biomasa residual sea quemada de modo controlado y el CO₂ almacenado de manera “definitiva” (véase las acciones de la International Biochar Initiative: www.biochar-international.org). Al respecto, el debate sobre las implicaciones socio-ambientales de los biocombustibles son todo un antecedente que no se puede obviar para el caso de esta opción (léase, por ejemplo, Giampietro y Mayumi, 2009) que, además, sólo podría contribuir en el mejor de los casos con una porción limitada de captura de CO₂.

En el caso de las tecnologías que inciden sobre la insolación (o SRM – Solar Radiation Management), se habla de procedimientos que surgen de observar el problema del cambio climático como una cuestión de balance de la radiación, lo que permite pensar el tema, a decir de Schelling (1996: 305) “...no como producto de demasiado CO₂ en la atmósfera, sino como efecto de una baja concentración de aerosoles de sulfato, muy poca cobertura de nubes y muy poco efecto de albedo”.

Desde tal visión, se proponen escudos solares, esto es, de satélites que abrirían platos móviles para reflejar/bloquear la luz recibida por el sol (lo que además permitiría, en principio, ajustar el tiempo y la dirección del bloqueo de radiación de luz a regiones específicas –las implicaciones sobre su uso militar son evidentes). Su viabilidad es prácti-

camente nula pues colocar un solo escudo, o varios simultáneamente (unos 55 mil de 100 km² de superficie), no sólo es complejo, además requiere de medidas para que los espejos no colisionen y su costo es muy elevado.⁹

De modo parecido pero técnicamente más factible, se propone el lanzamiento de partículas a la atmósfera en la órbita del planeta. Esta propuesta se basa en el efecto que provocó el volcán Pinatubo en 1991 cuando emitió una gran cantidad de particulado que generó un efecto de enfriamiento en los años subsecuentes (véase: Wigley, 2006). Estudios posteriores, sin embargo precisan efectos secundarios en el ciclo hidrológico de ciertas regiones del planeta (Trenberth y Dai, 2007; Bala *et al*, 2008).

Hoy por hoy la apuesta incluye la inyección de aerosoles o precursores de sulfato pese a las implicaciones ya indicadas por Budyko (1977) a cerca de inyectar esa última sustancia a la atmósfera, de ahí que sugiriera y se sugiera hacerlo en la estratósfera. El mismo Crutzen, quien propusiera el concepto del “antropoceno” (Crutzen, 2002), apoyaría dicha opción para incrementar el efecto albedo como herramienta para confrontar el cambio climático (Crutzen, 2006). En cualquier caso, debido a la diferencia de escala temporal de los efectos del CO₂ y los efectos de los aerosoles, ese tipo de geoingeniería, más allá de sus eventuales efectos no deseados, obligaría intervenciones –liberación de aerosoles o precursores– por varios siglos (Bengtsson, 2006; Bala, 2009).

A la par, y considerando que la inyección de sulfatos aún en la estratósfera puede tener efectos negativos, por ejemplo sobre la capa de ozono (aumentando los daños por la entrada de mayor luz ultravioleta al planeta), en tanto al potencial de reducir las precipitaciones y convertir la lluvia más ácida y, como resultado, aumentando la acidificación de los océanos (Bala, 2009; Ray, 2010: 39), se ha insinuado tanto la combinación de acciones de mitiga-

9 Según informa Bala (2009: 43), para reducir la temperatura del planeta en 2.5K se necesitaría reflejar la radiación solar en un 3.5%, lo que requeriría un reflector suspendido –en el punto L1 de Lagrange– de un área aproximada de 4.5 millones de km² (dos veces la superficie de México). Su peso podría ser de 45 toneladas métricas si se lograra una densidad de 10g/m². Su costo se calculó en 1980 en alrededor del 6% de PIB mundial. La posición del espejo requeriría que sea estabilizado directamente, lo que eleva su costo de operación, además de que tecnológicamente torna aún más complejo el sistema. Cálculos recientes sobre la base de nuevos diseños ópticos, métodos de transportación y técnicas de estabilización sugieren que el costo podría ser de entre 5.5 y 55 millones de millones de dólares (Ibid).

ción y geoingeniería (Wigley, 2006), como el uso de arreglos tecnológicos aún más complejos como lo es el uso de nanopartículas de materiales altamente reflejantes y distintos a los sulfatos e inclusive de discos nanoestructurados de 5 micras de diámetro y 50 nanómetros de espesor de dos capas, una de aluminio metálico y otra de titanio de bario (con posibilidad de incorporar magnetita para permitir una interacción con el campo magnético de la Tierra, causando que las partículas se dirijan a los polos) (Keith, 2010), pero su viabilidad ha sido cuestionada por posibles impactos en el medio ambiente dada su potencial reactividad con sustancias presentes en el ambiente y por sus posibles efectos al eventualmente depositarse en ecosistemas como residuo (Bala, 2009). Ya no se diga la inviabilidad de tal emprendimiento si se considera el costo socioambiental de la extracción de las reservas disponibles de tales minerales¹⁰, como los de su arreglo nanométrico (la manufactura de los discos) y lanzamiento a la estratósfera. El balance energético-material para producir las 100 mil toneladas al año que se estiman necesarias, seguramente no sería tan positivo.

No sobra sumar al paquete de opciones de la geoingeniería la sugerencia, más rudimentaria, de pintar los techos de blanco para incrementar el reflejo de la luz de los asentamientos humanos.

La gestión del conocimiento sobre riesgos, incertidumbre y potenciales impactos

Ralston (2011) tiene razón en dar cuenta que la geoingeniería es una cuestión de instrumentalismo ambiental, una visión antropocéntrica que esencial-

mente se sostiene en la idea de establecer una relación de control, en este caso, del clima.

El objeto central de tal instrumentalismo claramente es hacer controlable el calentamiento global, idealmente sin tener que hacer cambio alguno en el comportamiento de emisiones de GEI, sobre todo de parte de los mayores emisores. Esto es, de los principales países industrializados que, además, detentarían el control de tales tecnologías si es que en efecto se lograsen desarrollar de manera efectiva y funcional.

La viabilidad del grueso de propuestas es sin embargo cuestionable, no sólo en cuanto a su factibilidad tecnológica y en la definición de las dimensiones o escala adecuada de su operación, sino sobre todo, porque sus potenciales implicaciones no se pueden calcular con precisión en tanto que son altamente complejas e involucran incertidumbres y potenciales riesgos puesto que son factibles las sinergias no previstas y plausiblemente no deseadas e irreversibles.

En este punto, hay que recordar que el *riesgo* siempre implica incertidumbre hasta cierto punto pues como escribe Wickson (2011), si estuviéramos ciertos de que un impacto particular podría (o no podría) ocurrir, hablaríamos de eso como una certeza, no como un 'riesgo'. Así, el riesgo es definido como específicamente relevante para aquellas situaciones en las cuales pueden caracterizarse tanto los resultados potenciales como las probabilidades asociadas a esos resultados. La *incertidumbre* en cambio es aplicada a situa-

10 El titanio de bario es un óxido de bario y titanio con propiedades piezoeléctricas y fotorretractivas. Las reservas de titanio se definen con base en la disponibilidad, sobre todo, de rutilio e ilemita. Se estiman bastante amplias: Las reservas probadas más grandes de ilemita están en China, Australia, India y Sudáfrica y que en conjunto suman más de dos tercios de las reservas probadas mundiales. Las de Rutilio están en Australia, Sudáfrica e India que suman más de dos tercios de las reservas probadas del planeta. EUA es dependiente de importaciones de concentrado de titanio en un 81% de su consumo total estimado de concentrado del mineral, mismo que importa sobre todo de Sudáfrica, Australia, Canadá y Mozambique (USGS, 2011). El precio del titanio ronda los 400 – 450 dólares la tonelada. Por su parte, las mayores reservas probadas de barita del planeta, estimadas en 150 millones de toneladas, están en China, seguida por India y Argelia. China tiene dos terceras partes de las reservas probadas y, junto con India, producen el 70% del mineral a escala mundial. No extraña entonces que EUA también sea dependiente del mineral en un 76%, aunque lo ha sido históricamente desde principios del siglo XX. Devora entre la cuarta y la quinta parte de la producción mundial. El mineral se importa hoy día particularmente de China e India. El precio ronda los 52 dólares por tonelada métrica (Ibid). La propuesta geoingenieril no sólo es pues costosa, sino que tiene implicaciones geopolíticas importantes desde el momento de la extracción de los insumos necesarios. En el hipotético caso de proceder con tal campaña, es claro que los costos socioambientales de la extracción del mineral y probablemente de su refinado, estarían a cargo de los países periféricos, en especial los arriba mencionados.

ciones donde existe algún acuerdo sobre los resultados potenciales o impactos que pueden ocurrir, pero las bases para asignar probabilidades no son fuertes. Esto se debe a la falta de información relevante y/o de su nula o ineficiente gestión, pero para el caso de la incertidumbre cuantitativa, esa falta puede ser reducida por medio de una mayor investigación.

Se suman además otras modalidades de incertidumbre de tipo cualitativo como la *indeterminación* (asociada a la complejidad de los resultados predecibles porque la ciencia simplemente es incapaz

de tomar en cuenta cada uno de los factores de un sistema dinámico); la *ambigüedad*, resultante de la información contradictoria y/o de la existencia de marcos de supuestos y valores divergentes. Pero aún más, se debe reconocer que cuando hablamos de tecnociencia de vanguardia, nos estamos moviendo en la frontera de la *ignorancia* y, consecuentemente, estamos en una situación en la que está presente la incapacidad de conceptualizar, articular o considerar resultados y relaciones causales que subyacen a nuestros marcos de entendimiento cotidianos (las cosas ‘que sabemos que no sabemos’) (Ibid). Véase Tabla 1.

Tabla 1: Tipología de incertidumbre en la ciencia para la elaboración de políticas

Tipo de Incertidumbre	Explicación
FORMAS CUANTITATIVAS	
Riesgo (Probabilidad calculada)	Podemos imaginarnos el impacto posible y calculado de probabilidad de ese impacto cuando ocurra, aún cuando no se sepa si va a ocurrir o no
Incetidumbre (Lo que no ha sido calculado)	Podemos imaginarnos un impacto posible pero no sabemos la probabilidad de que pueda ocurrir. Es posible calcular esa probabilidad, pero no tenemos aún el conocimiento suficiente como para hacerlo.
FORMAS CUALITATIVAS	
Indeterminación (Incapacidad de calcular de modo completo)	Para sistemas complejos, abiertos, e interactivos es imposible incluir todos los factores relevantes y las interacciones en los cálculos, por eso, el conocimiento es condicional y falible
Ambigüedad (Diversas formas de enmarcar el cálculo)	Podemos enmarcar de modo diverso los impactos en los que estamos interesados y el modo en que nos aproximamos, interpretamos y entendemos el conocimiento y los cálculos generados por tales impactos.
Ignorancia (No se sabe qué calcular)	No podemos imaginarnos el impacto posible. No sólo no hemos calculado todavía la probabilidad del evento, sino que desconocemos aquello que debemos calcular.

Fuente: Wickson, 2011.

Lo anterior es importante para el caso de la geoingeniería pues estamos no sólo frente a riesgos sino incertidumbres cuantitativas y cualitativas.

Como escribe Kiehl (2006) del Centro Nacional de Investigación Atmosférica de EUA: "...una suposición básica...es que...entendemos el sistema Tierra lo suficientemente como para modificarlo y 'saber' cómo el sistema responderá [...] Las propuestas de alterar conscientemente el sistema climático...implica que entendemos todas las complejidades del sistema planetario". Y agrega: "...mi preocupación es que todos los modelos tienen sus limitaciones...Cuándo sabremos entonces que un modelo es lo 'suficientemente bueno' como para salir a realizar el experimento real?"

En este contexto de incertidumbre epistemológica, vale la pena recordar que técnicamente, los riesgos se definen como la probabilidad de que habrá un peligro, multiplicado por la magnitud de su impacto. Entonces, cuando se evalúa el riesgo para la toma de decisiones, se suele asumir que el riesgo existe "allá afuera" y que en tanto tal puede ser *cuantificado* de modo preciso y objetivo por un grupo de científicos expertos quienes son capaces de hacer los cálculos del riesgo "real" (Funtowicz y Ravetz, 1993 y 2000). Desde tal visión convencional del riesgo, otras perspectivas acerca de los riesgos implicados son consideradas falsas y/o irracionales y derivadas de una falta de conocimiento (Wickson, 2011). Tal enfoque convencional de la evaluación y gestión del riesgo ha sido fuertemente criticado, sobre todo porque no da cuenta de algunos elementos importantes como lo son las

características del riesgo en cuestión (si se asume de modo voluntario y consensuado o si es impuesto, la familiaridad del mismo y el grado de control, si sus implicaciones son limitadas o planetarizables y si impactarían a generaciones futuras, etcétera); la diversidad de enfoques y tipos de conocimiento e intereses en juego en donde tienen un peso importante las creencias subyacentes relativas al modo en qué es lo que considera más apropiado para la organización social y sobre la naturaleza de la naturaleza (individualista, jerárquica, igualitaria o fatalista; robusta, frágil, tolerante o impredecible.); y sobre todo, en cuanto a los diversos tipos de incertidumbre posibles.¹¹

Por lo dicho, y parafraseando a Funtowicz y Ravetz (1993), sólo si se considera la cuantificación de los riesgos (una visión lineal y que abre la ilusión de total control), entonces no se logra tomar en cuenta la ambigüedad, indeterminación, ignorancia e incertidumbre de por ejemplo las propuestas de geoingeniería. En tal sentido parece precisar Kiehl (2006) que: "...siento que estaríamos tomando el estado ulterior del *hubris* como para creer que podemos controlar la Tierra", pues en lugar de reducir el consumo devorador de energía, "...en esencia, estamos tratando el síntoma, y no la causa".

Kiehl correctamente cuestiona el *hubris* de las propuestas de geoingeniería puesto que la visión que las caracteriza es por demás limitada. Por un lado, porque el único modo de calcular cómo podría funcionar una tecnología de manipulación del clima, es mediante modelos climáticos (no se puede experimentar con el planeta, no al menos

11 Dependiendo de la forma de organización social preferida, escribe Wickson (2011), se seleccionarán y se apoyarán diferentes estrategias para el manejo del riesgo. Los 'individualistas' preferirán el uso de mecanismos de mercado; los 'jerárquicos' confiarán en la autoridad de expertos y de aquellos en el poder como los mejores situados para tomar tales decisiones; los 'igualitaristas' pelearán por ampliar las bases de participación en las decisiones sobre medidas de regulación relevantes y sistemas de control; mientras que los 'fatalistas' considerarán que no vale la pena tomar parte del debate, debido a su creencia en la imposibilidad de lograr alguna diferencia en el modo en que la tecnología será desarrollada y utilizada. Por su parte, se considera que las distintas visiones sobre la naturaleza impactan en el modo de pensar sobre riesgos particulares. Así, aquellos que piensan que la naturaleza es esencialmente robusta probablemente no se preocupen por los riesgos planteados, dígase, por las geoingenierías; los que ven a la naturaleza frágil y en un delicado equilibrio, quizás se preocupen mucho por el potencial daño que pueden plantear y convoquen a una moratoria hasta que se conozca más sobre el tema. Aquellos que perciben a la naturaleza como tolerante dentro de ciertos límites, probablemente enfocarán su atención en el desarrollo de sistemas de regulaciones y monitoreo que permitan identificar aplicaciones particulares que pueden ser de preocupación, mientras que quienes ven a la naturaleza como inherentemente impredecible, no tendrán fe en la capacidad humana para predecir o controlar cualquier impacto potencial, ya sea bueno o malo (parafraseando a Wickson, 2011).

más de una vez), los cuales son inexactos. Ello por ejemplo en tanto que hacen muchas simplificaciones y las retroalimentaciones de las diversas escalas espaciales y temporales del sistema climático natural no son completamente representadas, apreciándose entonces sólo una fracción de la complejidad del sistema climático del planeta. Por el otro lado, porque no se reconoce explícitamente la incertidumbre y el riesgo y, menos aún, cualquier consideración ética o sociopolítica.

Respecto a las limitaciones de los modelos, Bala (2009: 44) advierte que los modelos climáticos de circulación general (GCM, por sus siglas en Inglés), en un principio sólo podían modelar los cambios atmosféricos. Más adelante, suscribe, se acopló la circulación atmosférica con la oceánica considerando una representación simple de las dinámicas de los océanos y los componentes de hielo a partir de datos prescritos del transporte de calor (corrientes marinas calientes) en cuanto a su espacialidad y temporalidad (Ibid). Asimismo, se prescriben los datos de capas múltiples de profundidad, con una profundidad de hasta 50 metros, aspecto que hace que las dinámicas provocadas por un cambio en el clima, vuelvan a un equilibrio en unos 30 años (Ibid). Los modelos más avanzados de fines de la primera década del siglo XX han logrado tomar nota de las dinámicas de los ciclos del carbono y el nitrógeno pero, pese a tal avance, las limitaciones siguen presentes, de ahí que ya se explore la incorporación de la interacción de los aerosoles atmosféricos y su química (Ibid). Este recuento de la evolución de los modelos muestra nítidamente que pese a los avances logrados, la complejidad del sistema climático planetario no se puede apreciar completamente y por tanto modelar del todo, ello mucho menos en el largo plazo. Consecuentemente, las estimaciones, tanto positivas como negativas de la implementación de las geoingenierías son inciertas, aunque por supuesto, la incertidumbre aumenta según el tipo de tecnología que se trate.

Aún así, los modelos actuales no siempre precisan resultados ventajosos. Por ejemplo, la geoingeniería basada en la gestión de la radiación solar -sostienen expertos ingleses- tiene el potencial de producir condiciones novedosas, como temperaturas más frías que las preindustriales en regiones cercanas al Ecuador y temperaturas calientes en los polos (debido a la diferencia del efecto de fuerza radiativa dada la reducción de la insolación y al aumento de los niveles de CO₂), al tiempo que podría afectar desproporcionadamente el patrón de precipitaciones en algunas regiones; además de que no se cancelaría el patrón de calentamiento que genera la elevada concentración de CO₂ (Irvine, Ridgwell y Lunt, 2010). Lo anterior significa, en palabras de los autores, que: "...el potencial de exacerbar las sequías (o las inundaciones) más allá de los efectos de una elevada presencia de CO₂, hace que la consideración de las tecnologías de geoingeniería SRM sea controversial (Ibid)."

También se ha calculado mediante modelos que integran la circulación atmosférica con la oceánica que debido a la presencia de tales o cuales concentraciones de GEI, los procesos de intercambio entre la estratósfera y la tropósfera cambian, lo que en principio obligaría a que cualquier intervención de geoingeniería con aerosoles o precursores de sulfato emplee una mayor cantidad de los mismos y que el particulado de éstos sea más pequeño o con características que incrementen su capacidad de dispersar la energía entrante y atrapar la energía saliente (en Bala, 2009: 45).

Más aún, se considera que cualquier falla o término abrupto de las acciones de geoingeniería SRM, llevaría a un cambio acelerado del clima con rangos de hasta 20 veces más elevados que los de hoy día.¹² Los efectos ambientales sobre ecosistemas y biomas podrían ser en ese escenario devastadores en tanto que "...podrían comprometer la capacidad de los ecosistemas a 'adaptarse naturalmente al cambio del clima'" (Ross y Matthews,

12 La temperatura media global en el caso fallido/interrumpido de geoingeniería alcanza el caso de calentamiento sin geoingeniería en un corto período de tiempo de una o dos décadas. Mientras que el caso de calentamiento sin geoingeniería se calienta lentamente conforme aumenta gradualmente el CO₂, el caso fallido/interrumpido de geoingeniería experimenta instantáneamente un cambio drástico pero con tasas de calentamiento mayores (Bala, 2009).

2009: 3). Y es que resulta "...muy probable que dos décadas de niveles altos de calentamiento sean suficientes para causar un estrés severo en la capacidad adaptativa de muchas especies y ecosistemas, especialmente si son precedidas por algún periodo de estabilidad climática producto de geoingeniería" (Ross y Matthews, 2009).

De notarse es que en adición, la reducción de la radiación solar no resolvería el problema de acidificación de los océanos, producto de la absorción creciente de CO₂. Las implicaciones de dicho fenómeno sobre la biodiversidad marina, mucha altamente sensible a cambios del pH, podrían ser costosas e incluso, llegado un cierto punto, irreversibles.

Los modelos agregados de cambio climático resultantes de eventuales escenarios de intervención de tecnologías de geoingeniería (dígase por ejemplo en cuanto a promedios zonales y anuales), ocultan patrones complejos y heterogéneos de los impactos (Irvine, Ridgwell y Lunt, 2010). Para Bala (2009: 46), entonces, es importante estudiar los efectos sobre componentes individuales, dígase la hidrología, las química de la estratósfera, la química oceánica, el ciclo terrestre del carbono, etcétera.

Añádase que los impactos ciertamente variarán, entre otras cuestiones, de acuerdo a los contextos socio-económicos, por ejemplo, en cuanto a la relación de los cambios del clima y la distribución de la población y las tierras cultivables (Irvine, Ridgwell y Lunt, 2010). En cualquier caso, ya se advierte la pertinencia de que cualquier uso de tecnologías de ingeniería del clima debe tener efectos dentro del marco de las variabilidades naturales del sistema climático -pero también del ambiental-, ello al tiempo que en todo momento sea fácilmente reversible (Bala, 2009: 46). La mayoría de las tecnologías de geoingeniería, sobre todo aquellas que debería operar y tener efectos a la macro escala, no cumplen con tales criterios, de ahí que se expresen ya diversas voces de alerta, tanto científicas, como políticas y de la sociedad civil, incluyendo la declaración de Unión Americana de Geofísica de EUA (www.agu.org/sci_pol/positions/geoengineering.shtml), la declaratoria de prohibición de "fertilización de los océanos" en el marco de la Convención

de Diversidad Biológica (www.cbd.int/decision/cop/?id=11659), o el llamado a la moratoria de todo tipo de geoingeniería por parte de 125 organizaciones internacionales y nacionales de unos 40 países en una carta abierta al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático del 14 de junio de 2011 (www.etcgroup.org/es/node/5268).

Es cierto que en toda posición sociopolítica respecto a la geoingeniería está la medida en que creemos que los ciudadanos y las instituciones sociales tienen control sobre las trayectorias de la ciencia y la tecnología. Como bien precisa Wickson (2011), si creemos que la tecnología determina su propio patrón de desarrollo y, consecuentemente, también nuestras estructuras sociales y creencias culturales (determinismo tecnológico), hay, por supuesto, poco que podamos hacer, excepto tratar de minimizar el impacto de cualquier consecuencia negativa que pueda surgir. Si creemos que los factores sociales, políticos y económicos juegan un rol en el proceso de determinar qué tipo de ciencia y tecnología se persigue, podría decirse que tendríamos el poder para jugar un rol colectivo más activo para guiar la ciencia y la tecnología hacia direcciones que generen mayores beneficios y que sean más deseables de acuerdo con nuestras metas sociales y con nuestros marcos éticos.

En tal panorama, lo que no debe olvidarse es que cuando lo que está en juego es alto, cuando los valores están en disputa, y las decisiones son urgentes, como lo es, de hecho, en el caso de la geoingeniería, se necesita un nuevo tipo de ciencia para la política y por tanto para la toma de decisiones (Funtowiz y Ravetz, 1993 y 2000). Esto es, una ciencia y una gestión del conocimiento que tome en cuenta las incertidumbres involucradas y que abra el proceso de "revisión extendida de pares" mediante el establecimiento de un proceso de deliberación más amplio permite que sea probada la fortaleza y la calidad de cualquier evidencia para la toma de decisiones explorando los diferentes modos en los que puede ser enmarcada o interpretada por gente en diferentes contextos, con diferentes conocimientos y perspectivas, así como el nivel de apoyo con el que cuentan diferentes elecciones y supuestos en diversas comunidades (Ibid; Wickson, 2011).

Las observaciones hechas para el caso de la geoingeniería y sus implicaciones apuntan hacia la necesidad de implementar un marco internacional par la cooperación en la investigación y desarrollo de tecnologías de ingeniería del clima, así como uno de tipo regulatorio que en principio permitiría “manejar” el riesgo (lo que es factible si se hace desde una visión de análisis del riesgo convencional). La apuesta no es sobre la consideración de aspectos y discusiones sobre diferentes futuros socio-técnicos de cara a sus posibles alternativas. El punto no es menor y devela fuertes intereses político-económicos respaldando la apuesta por la geoingeniería del planeta pues se pone sobre la mesa su necesidad a partir de precisar que son una salida real frente a la inviabilidad de llegar a un acuerdo de reducción de emisiones en el marco de las negociaciones climáticas. Al mismo tiempo, algunos actores más cautos abogan por un acuerdo internacional sobre su uso (Bala, 2009; Ray, 2010: 43), ello en el entendido que ése no sólo implicaría acuerdos en tanto a la escala y tipos de uso de las geoingenierías como acción frente al cambio del clima, sino también de aquellos referentes a su posible uso militar, esto es, las guerras del clima como herramientas de presión, subyugación y dominio de tales o cuales territorios.¹³ La contradicción muestra claramente que el problema ambiental y en especial el del cambio climático es un problema estructural del sistema de carácter político y económico, más allá de ser de carácter tecnológico y de gestión del conocimiento. Y es que la geoingeniería acarrea consigo, entre otras cuestiones, problemas nodales de justicia distributiva y justicia de proceso, en tanto que existe un problema ético de quién decide y quién controla y a favor o en perjuicio de quién. Robock (2008: 18) tiene por tanto razón al precisar que “...si el calentamiento global es un problema político más que técnico, consecuentemente no necesitamos de la geoingeniería para resolverlo”.

Ahora bien y retomando las palabras ya arriba indicadas de Kiehl (2006) cuando habla de que la geoingeniería trata el síntoma y no la causa, es importante tener entonces siempre presente que

cuando se plantean las diversas opciones posibles, el proceso de acumulación de capital no es afectado en términos generales cuando se opta por los arreglos tecnológicos, por el contrario, ése se estimula. En cambio, con la disminución del metabolismo social, del consumo de materiales y de energía y por tanto de los desechos generados, sí se afecta la estructura misma del sistema actual de producción.

La alternativa más responsable tal vez sería entonces la reducción del metabolismo social como un todo pero en especial por parte de las sociedades e individuos que más despilfarran (sin que ello implique un retroceso a la era de piedra, por así decirlo), al tiempo que se estimule la eficiencia tecnológica y los arreglos tecnológicos de menor impacto socio-ambiental, reversibles y con menos incertidumbre en su puesta en operación y desmantelamiento. Las energías alternativas basadas en la energía solar serían tal vez el mejor y más seguro arreglo tecnológico de cara al cambio climático y global. En el proceso, el avance y gestión del conocimiento y de su aplicación no es un asunto secundario, sino todo lo contrario.

Reflexión final

Por lo previamente argumentado es oportuno precisar que la ciencia y la tecnología deberían ser asumidas no sólo como parte de la solución a los problemas socioambientales de principios del siglo XXI, sino potencialmente como herramientas que también pueden agudizar la problemática socioambiental. Se trata de reconocer los resultados no deseados del avance tecnocientífico, pero sobre todo de dar cuenta que desde algunas perspectivas se apuesta por los mecanismos que precisamente produjeron el estado crítico en el que estamos. El cambio de paradigma debe ser por tanto a fondo, incluso desde el replanteamiento del tipo de ciencia y tecnología que consideramos útil, incluso para nuevos fines. En ese último sentido se suma la necesidad de valorar y definir el rumbo de la ciencia y la tecnología en tanto a su finalidad, o su para qué, pero igualmente, en tanto a su lógica e implicaciones donde cabe cuestionar

13 El uso de la geoingeniería violaría, a decir de Robock (2008: 17), el acuerdo de las Naciones Unidas sobre la Prohibición del Uso Militar o cualquier Uso Hostil de Tecnologías de Modificación Ambiental (ENMOD, por sus siglas en Inglés).

en beneficio o perjuicio de quién y de qué se desarrolla y usa la ciencia y la tecnología. Un paso obligado en tal coyuntura es el tema de la gestión del conocimiento, pues dependiendo de las definiciones que adquieran las interrogantes previas, la gestión del conocimiento puede tomar una u otra ruta. Lo que ciertamente ya es claro es que ante la complejidad e incertidumbre de la innovación tecnológica de frontera, la integración de redes epistémicas es un imperativo. Tal integración si bien se gesta en términos de producción de conocimiento para la innovación tecnológica per se, bien puede tomar otras modalidades, dígame una gestión de la producción del conocimiento previo a la conformación y planteamiento de los proyectos, de tal modo que éstos respondan a las necesidades sociales más apremiantes y consensen las implicaciones, positivas y negativas, en juego.

En dicho tenor, lo clave es que la política sobre ciencia y tecnología parta de un involucramiento de todos los actores. El proceso debe garantizar cuotas sociales de participación con el objeto de lograr tomar decisiones consensuadas pero que al mismo tiempo sean lo posiblemente mejor informadas. Esto es que los actores dispongan con la mejor calidad de la información disponible en un momento dado. Y si bien, muchos aspectos técnicos requerirán de un input importante de los expertos, ello no implica que el resto de actores no tengan nada que decir. Y es que, parafraseando a Funtowicz y Ravetz (2000) y a Wickson (2011), otra forma de enfocar las discusiones más allá de la visión convencional de los expertos, sería la de estructurar el diálogo social entorno a valores fundamentales más allá de una tecnología puntual, ello por ejemplo preguntando a las personas qué es importante para ellas, qué consideran que es 'la buena vida', cómo comprenden el 'progreso', qué tipo de futuro les gustaría vivir, entre otras cuestiones, y qué desde tal planteamiento, visiones y valores, consideren la deseabilidad y el rol potencial de la geoingeniería y de otras tecnologías. Tal enfoque coloca prioritariamente las metas sociales y los valores éticos, antes que el positivismo tecnológico per se. Se trata de una perspectiva que normativamente hablando está en armonía con el supuesto móvil del desarrollo tecnocientífico: el contribuir con el beneficio social.

Referencias bibliográficas

Bala, G., Duffy, P y Taylor, E. "Impact of Geoengineering Schemes on the Global Hydrological Cycle" *PNAS* 105, no. 22 (Jun. 3 de 2008). Disponible en <http://www.pnas.org/content/105/22/7664.full.pdf+html>.

Bala, G., "Problems with Geoengineering Schemes to Combat Climate Change." *Current-Science* 96, no. 1 (Enero, 2009): 41-48.

Bengtsson, L. "Geo-engineering to Confine Climate Change: Is It at all Feasible?" *Climatic Change* 77 (2006 Springer): Disponible <http://www.nerc-essc.ac.uk/~olb/PAPERS/len23.pdf>

Bicknell, J., Dodman, D y Satterthwaite, D. *Adapting Cities to Climate Change*. Londres: Earthscan, 2009.

Budyko, M. *Climate Changes. American Geophysical Union*. Traducción al Inglés de la versión rusa de 1974. Washington: EUA, 1977.

President's Science Advisory Committee (CACAP), *Restoring the Quality of our Environment. Apéndice Y4 Atmospheric Carbon Dioxide*. Washington: The White House, 1965.

Crutzen, P, "Geology of Mankind". *Nature* 415, no. 23 (3 January 2002).

Crutzen, P., "Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma?" *Climatic Change* 77 (2006 pringer): Disponible en http://www.cogci.dk/news/Crutzen_albedo%20enhancement_sulfur%20injections.pdf

Delgado, G.C. *Imperialismo tecnológico y desarrollo en América Latina*. Cuba: Ruth casa editorial, 2011.

Dyson, F., "Can We Control the Carbon Dioxide in the Atmosphere?" *Energy* 2 (1977). Disponible en http://adamant.typepad.com/seitz/files/Dyson_Energy_1977.pdf

Funtowicz, S y Ravetz, J., "Science for the Post-Normal Age," *Futures* 25, no. 7 (1993):739–755.

Funtowicz, S y Ravetz, J., *La ciencia posnormal. Ciencia con la gente*. Barcelona: Icaria Antrazyt, 2000.

Godrej, D., *No-Nonsense Guide to Climate-Change*. UK:Verso, 2001.

Gordon, B. "Engineering the Climate: Research Needs and Strategies for International Coordination." Committee on Science and Technology (October 2010). Disponible en <http://www.washingtonpost.com/wp-srv/nation/pdfs/Geengineeringreport.pdf>

Haugan, P y Drange, H., "Sequestration of CO2 in Deep Ocean by Shallow Injection." *Nature*, no. 357 (28 de Mayo).

Heinberg, R. *The Party's Over. Oil, War and the Fate of Industrial Societies*. Canadá: New Society-Publishers, 2003.

IEA – International Energy Agency-. *Key World Energy Statistics*. Paris: 2010.

Irvine, P., Ridgwell, A., y Lunt, D., "Assessing the regional disparities in geoengineering impacts." *Geophysical Research Letters* 37 (23 June 2010).

Keith, D. "Photophoretic Levitation of Engineered Aerosols for Geoengineering." *PNAS* 107, no. 38 (21 de Septiembre de 2010). Disponible en www.pnas.org/content/107/38/16428.full

Keith, D., "Geoengineering." *Nature* 409, no. 44 (18 de Enero de 2001). 20-25.

Kiehl, J. "Geoengineering Climate Change: Treating the Symptom over the Cause?" *Climatic Change* 77 (August 2006 pringer). Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-006-9132-4?LI=true>

Martin, J., Gordon, M., y Fitzwater, S. "Iron in Antarctic Waters." *Nature* No. 345 (Mayo de 1990).

NAS - National Academy of Science-. *Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation and the Science Base*. Washington: NationalAcademyPress, 1992.

Newman, P., Beatley, T., y Heather, B., *Resilient Cities. Responding to Peak Oil and Climate-Change*. Washington: Island Press, 2009.

Pérez, C., *Revoluciones tecnológicas y capital financiero*. México: Siglo XXI, 2004.

Ralston, S. 2011. "Geoengineering as a matter of Environmental instrumentalism" *Geoengineering and Climate-Change (2011 Cambridge UniversityPress)*. Disponible en http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1630480

Ray, A., "Alternative responses to climate change. An inquiry into geoengineering." *Sanford-Journal of PublicPolicy*. DukeUniversity 1, no. 1 (Primavera de 2010): disponible en <http://sites.duke.edu/sjpp/2010/alternative-responses-to-climate-change-an-inquiry-into-geoengineering/>

Robock, A., "20 Reasons Why Geoengineering May Be a Bad Idea". *Bulletin of the Atomic Scientists* 64, no. 2(Mayo/Junio de 2008).

Rockström, J. *et al.* 2009. "Planetary Boundaries: exploring the safe operating space for humanity." *Ecology and Society* 14, No. 2 (2009). Disponible en <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Ross, A y Matthews, D. "Climate Engineering and the Risk of Rapid Climate Change." *Environmental Research Letters* 4 (30 October 2009). Disponible en: <http://iopscience.iop.org/1748-9326/4/4/045103>

Rubin, E., Meyer, L. y Coninck, H. *Carbon Dioxide Capture and Storage*. Suiza: IPCC SpecialReport, 2005.

Satterthwaite, D., "The Implications of Population Growth and Urbanization for Climate Change." *Environment and Urbanization* 21, no. 2 (October 2009). Disponible en: <http://eau.sagepub.com/>

content/21/2/545.full.pdf+html

Schelling, T. "The Economic Diplomacy of Geoengineering." *Climatic Change* 33, no. 3 (July 1996). Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00142578?LI=true>

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. *The Physical Science Basics*. Reino Unido: Cambridge University Press, 2007.

Trenberth K y Dai, A. "Effects of Mount Pinatubo Volcanic Eruption on the Hydrological Cycle as an Analog of Geoengineering." *Geophysical Research Letters* 34 (August 2007 []): Disponible en <http://www.cgd.ucar.edu/cas/Trenberth/trenberth.pdf/Trenberth&Dai-2007GL030524.pdf>

UN-Habitat. *Cities and Climate Change: Policy*

Directions. Uk: Earhscan, 2011.

USGS. *Mineral Commodity Summaries 2011*. Virginia: U.S. Geological Survey, 2011.

Wickson, F. "Gobernanza nanotecnológica: por qué no podemos confiar en evaluaciones de riesgo científicas." *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología* 4, no. 1 (enero-junio de 2011). Disponible en <http://www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano6.pdf>

Wigley, TM., "A Combined Mitigation/ Geoengineering Approach to Climate Stabilization." *Science* 314, no. 5798 (oct 26 de 2006). 452 - 454.