

El conocimiento y la tecnología (métodos y herramientas)

Preguntas de conocimiento: ¿En qué momento una simple idea se convierte en un proyecto viable tecnológicamente? ¿Qué papel tiene la imaginación en la tecnología en general?



La mayor planta del mundo para la captura directa de aire (Reikiaivk, Islandia).

Tema: en los últimos 20 años han surgido decenas de estrategias de geoingeniería para enfriar el planeta. Suenan a ciencia ficción (y algunas lo son) pero muchas ya son líneas de investigación con financiación pública.

Actividad.

Extrae objetos relacionados con la geoingeniería a partir de la lectura de esta noticia de Ricardo F. Colmenero.

Controlar el clima era un trabajo de supervillanos. De Sean Connery en *Los vengadores* o de Weather Wizard en *Flash*. Durante décadas, los cómics y Hollywood convirtieron el tiempo atmosférico en el arma definitiva, y en una idea, como la de la película *Geostorm*, donde una red de satélites sirve para congelar ciudades, provocar huracanes o desencadenar inundaciones.

En un despacho de la Universidad de Chicago descansa el dibujo de un avión que todavía no existe. Tiene unas alas descomunales, un fuselaje estrecho y un aspecto extraño, más parecido a un planeador que a un avión comercial. Si algún día despegue, no transportará pasajeros ni mercancías. Su misión consistirá en ascender hasta unos 20 kilómetros de altura y liberar millones de partículas microscópicas capaces de reflejar la luz del Sol y bajar la temperatura del planeta.

La idea, en realidad, no tiene nada de futurista porque lleva millones de años ocurriendo de forma natural. Cuando un gran volcán entra en erupción, libera enormes cantidades de dióxido de azufre hasta la estratosfera. Allí esas partículas forman un velo casi invisible que refleja parte de la radiación solar mandándola de vuelta al espacio. Durante un tiempo, la Tierra recibe menos energía y se enfría. Eso fue exactamente lo que ocurrió en 1991, cuando la erupción del Pinatubo, en Filipinas, redujo la temperatura media del planeta alrededor de medio grado durante más de un año.

Ahora la geoingeniería solar sólo pretende reproducir artificialmente ese fenómeno sin necesidad de esperar a la siguiente gran erupción. El objetivo no sería apagar el Sol, sino reflejar un 1% de la radiación que llega a la Tierra. Una cantidad suficiente para compensar parte del calentamiento provocado por las emisiones humanas. Sobre el papel parece sencillo, pero en la práctica es un rompecabezas tecnológico. Hoy en día no existe ningún avión preparado para transportar de forma continua toneladas de material hasta la estratosfera. Tampoco se sabe cuál sería la sustancia más eficaz ni cuánto tiempo permanecerían suspendidas las partículas antes de dispersarse.

Varios investigadores acaban de reconocer en *MIT Technology Review* que, sin embargo, la geoingeniería solar ha dejado de ser un experimento teórico para convertirse en un problema de ingeniería. Durante años, la gran pregunta era si esta tecnología funcionaría. Ahora la conversación es: ¿qué tipo de avión sería capaz de realizar miles de vuelos a la estratosfera? ¿Qué partículas liberaría? ¿Cómo impedir que se agrupen y caigan antes de tiempo? ¿Qué red de satélites y sensores haría falta para controlar un experimento de tal magnitud que podría afectar a toda la atmósfera para siempre? «Nos interesa ver cómo se haría realmente si alguien quisiera hacerlo», resume Jim Franke, ingeniero de la Universidad de Chicago.

Otro estudio publicado hace unas semanas en *Science Advances*, liderado por la Institución

Scripps de Oceanografía de la Universidad de California en San Diego, plantea utilizar una variante de esta tecnología para amortiguar los efectos de un súper *El Niño*: el fenómeno climático que aparece cuando las aguas superficiales del Pacífico ecuatorial se calientan de forma anómala, alterando la circulación atmosférica y desencadenando sequías, inundaciones, olas de calor y otros fenómenos extremos en distintos puntos del planeta. Su *hermana* fría, *La Niña*, se produce justo al contrario: el Pacífico se enfría más de lo habitual y los patrones meteorológicos cambian en sentido opuesto. La propuesta no consiste en enfriar el planeta durante décadas, sino en aumentar temporalmente el brillo de algunas nubes del Pacífico, blanqueándolas para que reflejen una mayor cantidad de luz solar justo cuando El Niño alcance su máxima intensidad.

La idea no surgió en un laboratorio tecnológico, sino de una catástrofe. Los gigantescos incendios que arrasaron Australia entre 2019 y 2020 lanzaron tal cantidad de humo a la atmósfera que, sin pretenderlo, realizaron el mayor experimento natural jamás observado. Los aerosoles presentes en ese humo hicieron más brillantes las nubes del Pacífico, alteraron la circulación atmosférica y reforzaron un episodio de *La Niña*, la fase fría del mismo ciclo climático.

A partir de ese fenómeno real, los investigadores simularon qué habría ocurrido si ese mismo efecto se hubiera producido antes de los grandes episodios de *El Niño* de 1997 y 2015. Sus modelos sugieren que un aumento deliberado del brillo de las nubes podría reducir parte de su intensidad y limitar algunos de sus efectos más devastadores.

La idea del blanqueamiento de nubes marinas fue propuesta en 1990 por el físico británico John Latham. El sistema consistiría en pulverizar microscópicas gotas de agua salada sobre las nubes bajas que se forman sobre los océanos. Al aumentar el número de partículas de sal, las nubes contienen más gotas, pero más pequeñas, y se vuelven más blancas y reflectantes, como si la Tierra se pusiera unas gafas de sol.

"Una de las mayores preocupaciones sociales en torno a la geoingeniería es que, si la utilizamos para reducir los riesgos climáticos a largo plazo, debemos implementarla de forma continua e indefinida», explica Jessica Wan, primera autora del estudio.

Para Carlos García-Soto, investigador del CSIC (IEO) responsable de la Unidad de Evaluación del Sistema Océano-Clima, «los modelos climáticos son herramientas extraordinarias para explorar escenarios y comprender mecanismos, pero representan nuestro conocimiento actual del sistema climático, no el sistema climático en toda su complejidad».

La posibilidad de modificar deliberadamente el clima sigue siendo uno de los asuntos más polémicos de toda la investigación climática. Para sus críticos, invertir en estas tecnologías aumenta la probabilidad de que algún gobierno termine utilizándolas, y sirva como excusa para retrasar la reducción de emisiones. «Cuanto más se invierta y más avance esta tecnología, más probable será que termine desplegándose», advierte la investigadora Jennie Stephens. Otros sostienen justo lo contrario. David Keith, probablemente la figura más influyente del mundo en geoingeniería solar, defiende: «El riesgo que más me preocupa es necesitar esta tecnología antes de entenderla».

Llevamos décadas discutiendo cómo dejar de calentar la Tierra. Ahora algunos de los mejores laboratorios del mundo discuten sobre cómo enfriarla. Pero replicar un volcán o una catástrofe incendiaria no es lo único que se nos ha ocurrido.

Sólo en los últimos 20 años han surgido decenas de estrategias para enfriar el planeta o, al menos, de ganar tiempo frente al calentamiento global. La mayoría intentan reflejar más luz solar o extraer dióxido de carbono de la atmósfera. Todas comparten haber pasado, de la noche a la mañana, de ideas extravagantes a líneas de investigación estratégica dotadas de financiación pública. También comparten que ni una sola está preparada para desplegarse.

La llamada captura directa del aire utiliza enormes máquinas con filtros químicos capaces de atrapar dióxido de carbono directamente de la atmósfera. La idea empezó a desarrollarse en la década de 2000 y hoy existen plantas piloto operativas. Empresas como Climeworks, en Suiza, o Carbon Engineering, fundada por el propio David Keith, han demostrado que funciona. El problema es la escala. Para retirar cantidades significativas de CO₂ harían falta miles de instalaciones y un consumo energético enorme. Es decir, es una tecnología eficaz, pero lenta y muy cara. Además no enfría el planeta de inmediato, aunque muchos expertos creen que este sistema acabará siendo imprescindible para estabilizar el clima a largo plazo.

La naturaleza lleva millones de años retirando CO₂ de la atmósfera gracias a la erosión de las rocas. Algunos científicos creen que podrían acelerar ese proceso triturando minerales ricos en silicatos, y esparciéndolos sobre campos agrícolas o costas para que reaccionen químicamente con el dióxido de carbono y lo transformen en minerales estables.

Esta técnica se denomina meteorización acelerada, y empezó a estudiarse a principios de la década de 2010. Hoy cuenta con proyectos de investigación en universidades como Yale, Cornell o el Leverhulme Centre for Climate Change Mitigation, en el Reino Unido. Sobre el papel podría retirar miles de millones de toneladas de CO₂ cada año, pero requiere mover cantidades gigantescas de roca, por lo que su despliegue masivo es una incógnita logística y económica.

Plantar árboles sigue siendo una de las herramientas más sencillas y populares. Bosques, manglares y humedales actúan como auténticas esponjas de carbono, capturando CO₂ mediante la fotosíntesis. Sin embargo, los científicos recuerdan que los árboles tienen muchas limitaciones. Tardan años en crecer, pueden arder en incendios o desaparecer por sequías, y nunca podrán absorber por sí solos todas las emisiones humanas. Por eso cada vez gana más peso otra variante: el biochar, un carbón vegetal obtenido al calentar restos agrícolas sin oxígeno. Enterrado, puede almacenar carbono durante siglos y, además, mejorar la fertilidad de los cultivos. Aunque ya existen proyectos comerciales, su impacto global sigue siendo reducido.

La propuesta más espectacular y también la más cercana a la ciencia ficción es colocar espejos gigantes en el espacio. En los años 80, varios investigadores –entre ellos el astrónomo estadounidense Roger Angel, de la University of Arizona– plantearon colocar millones de pequeños reflectores o una inmensa pantalla en el punto de equilibrio gravitatorio entre la Tierra

y el Sol para bloquear una pequeña fracción de la radiación. El problema es que habría que lanzar al espacio millones de toneladas de material y construir una infraestructura orbital que hoy está muy lejos de las capacidades tecnológicas y económicas actuales. Sigue siendo una idea fascinante sobre el papel, pero prácticamente imposible en las próximas décadas.

Otros creen que el mejor lugar para capturar carbono no está en el cielo, sino bajo las olas. ¿Por qué no capturar el CO₂ con las algas en el océano? Esa es la idea detrás de uno de los proyectos más prometedores de eliminación de carbono. Las macroalgas, como los kelps, crecen a una velocidad extraordinaria –hasta 30 centímetros al día– y absorben grandes cantidades de CO₂ mientras realizan la fotosíntesis.

La propuesta consiste en cultivar enormes granjas marinas y, una vez que las algas han acumulado carbono, utilizarlas para fabricar biocombustibles, materiales industriales o, incluso, hundirlas a grandes profundidades para que ese carbono permanezca almacenado durante siglos. Universidades como la University of California, Santa Bárbara, la University of Southern California y empresas como Running Tide llevan años investigando esta posibilidad.

El potencial de las algas es enorme, el problema es que todavía se desconoce qué impacto tendría cubrir grandes extensiones del océano con cultivos marinos, y si el carbono permanecería realmente aislado durante siglos. Por eso, aunque muchos expertos creen que las macroalgas acabarán formando parte del abanico de soluciones climáticas, todavía están lejos de convertirse en un bosque submarino capaz de enfriar el planeta.

Por ahora, el consenso científico es que ninguna de estas tecnologías puede sustituir la reducción de emisiones. Lo único cierto es que la ciencia ya no busca un único botón para enfriar el planeta. Lo que intenta construir es una caja de herramientas. La gran incógnita sigue siendo si algún día la humanidad tendrá que utilizarla antes de conocer sus efectos secundarios.