Debat sobre geoenginyeria

Josep Piñol, Carlos Hernández-Castellano, Jordi Martínez-Vilalta, Lidia Quevedo

Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia, Universitat Autònoma de Barcelona

Introducció

La **geoenginyeria** és la modificació deliberada i a gran escala del clima terrestre per limitar o revertir l'escalfament global.

Recordem que la temperatura de qualsevol objecte és del balanç entre l'energia que rep de l'entorn i la que emet el mateix objecte a l'exterior. En el cas de la Terra, l'entrada principal d'energia és la que rep del Sol. Una part d'aquesta energia no és absorbida per la Terra, sinó que es reflecteix de tornada a l'espai. La proporció de radiació solar reflectida és l'**albedo**. Una superfície de color clar, com la neu o un desert, té un albedo més gran que una superfície fosca, com un bosc o l'oceà obert.

D´altra banda, la Terra, com qualsevol altre objecte de l´univers, emet energia electromagnètica a l'espai seguint la llei de Stephan-Boltzmann. L'energia s'emet a una longitud d'ona determinada que depèn de la temperatura de l'objecte. A la temperatura de la Terra, l'energia emesa és infraroja i una part és absorbida per uns gasos que es troben a l'atmosfera que són coneguts com a **gasos amb efecte hivernacle** (o GHG per les seves inicials en anglès). El CO_2 és el GHG més important i la concentració està augmentant a bon ritme des de fa més d'un segle.

Els mètodes de geoenginyeria es divideixen en dos grans grups. El primer vol reduir la quantitat d'energia rebuda del Sol augmentant l'albedo de la Terra. El raonament és molt simple: si la Terra rep menys energia del Sol, es refredarà.

El segon grup de mètodes persegueix reduir la concentració de CO_2 a l'atmosfera usant processos naturals o artificials. El raonament torna a ser molt simple: si hi ha menys CO_2 a l'atmosfera, la Terra emetrà més energia a l'espai i, per tant, es refredarà.

És ben conegut que la lluita contra el canvi climàtic es guanyaria si es reduïssin de manera important les emissions de CO_2 antropogèniques. Però l'experiència mostra que això no ha passat fins ara malgrat els esforços de múltiples persones, països i institucions. La veritat és que la concentració de CO_2 continua augmentant de manera inexorable.

És en aquest punt on apareix la geoenginyeria. Com que no som capaços de frenar les emissions antropogèniques de CO_2, caldrà fer servir la geoenginyeria, diuen algunes veus. El problema és que no hi ha cap mètode de geoenginyeria que sigui perfecte. Alguns són molt cars; altres són tecnològicament impracticables, almenys avui dia; altres podrien tenir efectes secundaris perillosos.

L'escalfament global és un desafiament colossal per a la humanitat. Creiem que és important que els alumnes de disciplines com la Biologia o les Ciències Ambientals

coneguin la geoenginyeria i les seves principals propostes metodològiques. Tot i això, no volem limitar-nos a explicar aquests continguts en classes magistrals, sinó que preferim que els mateixos alumnes descobreixin els pros i contres de la seva possible utilització. Usar segons quins mètodes de geoenginyeria pot ser perillós, però no fer res encara pot ser pitjor. Altres mètodes de geoenginyeria poden ser segurs, però la seva eficàcia potser és mínima. La ciència encara no té les respostes a aquestes preguntes, per això tractem aquests temes en forma de **debat** a les nostres aules.

Desenvolupament del debat

Realitzem el debat de geoenginyeria a l'assignatura d'Ecologia del grau de Ciències Ambientals de la UAB des del 2014. A continuació exposem la manera com nosaltres plantegem el debat per si pot ser útil a professorat d'altres matèries o d'altres universitats. Evidentment, la implementació depèn molt de les circumstàncies de cada assignatura, de les característiques del grup d'estudiants i de les preferències del professorat. El que segueix no és res més que un suggeriment fruit de la nostra experiència.

La nostra assignatura és de tercer curs i hi sol haver entre 60 i 80 alumnes. Dediquem a aquest debat una presentació d´uns 30 minuts amb el grup complet; aquesta presentació a l'aula es va canviar a un vídeo casolà durant l'epidèmia de COVID i, ara, a un vídeo amb millor qualitat. Al cap d'unes setmanes fem el debat pròpiament dit en una sessió de dues hores amb la classe dividida en dues meitats.

No plantegem el debat sobre la geoenginyeria en conjunt, sinó només amb alguns dels mètodes. Com n'hi ha molts, en fem una selecció de quatre, dos de control de la radiació solar (e.g., injecció d'aerosols a l'estratosfera i generació artificial de núvols a l'oceà) i dos de reducció de CO2 atmosfèric (e.g., extracció artificial de CO2 atmosfèric i addició de nutrients a l'oceà o reforestació).

Dividim la classe en 16 subgrups de 3-4 alumnes i a cada un li assignem un mètode de geoenginyeria. Com que hi ha 16 subgrups i 4 mètodes, cada mètode és abordat per quatre subgrups. Com que la sessió es repeteix per a les dues meitats de la classe, a cada sessió hi ha dos subgrups per a cada mètode de geoenginyeria. A tots els grups els demanem que preparin un PowerPoint curt amb els fonaments del mètode i amb els seus pros i contres. A un dels subgrups de cada mètode els demanem que argumentin a favor del mètode i a l'altre subgrup que ho faci en contra. La sessió de dues hores es reparteix entre uns 20 minuts per a cadascun dels quatre mètodes elegits més un debat general de 20 minuts més.

L'avaluació es realitza atenent la qualitat del PowerPoint preparat i la presentació i el debat d'aquest a l'aula (50%) i amb una pregunta a l'examen de l'assignatura (50%).

Bibliografía

El primer esforç per enumerar, descriure, caracteritzar i comparar la majoria dels mètodes de geoenginyeria ho va fer *The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge* (The Royal Society, 2009). Aquest informe caracteritza qualitativament cada mètode de geoenginyeria en quatre eixos: **efectivitat** (redueix la temperatura de la Terra de forma apreciable?), **assequibilitat** (és molt car?), **disponibilitat** (quan es podrà

utilitzar?) i **seguretat** (pot haver efectes secundaris perillosos?). Gairebé al mateix temps, Lenton i Vaughan (2009) van una mica més enllà i intenten quantificar l'efectivitat en termes energètics de molts mètodes de geoenginyeria. Un altre treball de síntesi interessant és el que resumeix un Workshop de la NASA del 2007 sobre mètodes de reducció de la radiació solar (Lane *et al*., 2007). Cal destacar també un petit llibre de divulgació sobre la geoenginyeria solar escrit per un dels grans especialistes al camp (Keith, 2013).

La major part d'estudis duts a terme els darrers 20 anys giren al voltant d'un sol mètode de geoenginyeria, l'augment de l'albedo de la Terra mitjançant la injecció d'aerosols a l'estratosfera. Aquest mètode es basa en l'observació empírica que grans erupcions volcàniques, com les del Pinatubo el 1991, van reduir de manera significativa la temperatura de la Terra durant un cert temps (Robock i Mao, 1995). Les grans erupcions volcàniques de tipus explosiu injecten a l'estratosfera grans quantitats d'aerosols de S i aquestes partícules reflecteixen la llum solar, de manera que augmenta l'albedo de la Terra i, per tant, en disminueix la temperatura. El problema és que aquestes erupcions no només van reduir la temperatura de la Terra, sinó que van tenir altres efectes indesitjats (Trenberth i Dai, 2007).

A la bibliografia que segueix es proporcionen alguns estudis sobre diferents mètodes de geoenginyeria. La majoria són simulacions dels efectes de la injecció d'aerosols a l'estratosfera, encara que també n'hi ha alguns sobre altres metodologies (IPCC, 2005; Ridgwell *et al*., 2009; Köhler *et al*., 2010).

Bala G, Duffy PB, Taylor KE (2008) Impact of geoengineering schemes on the global hydrological cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 105: 7669. https://doi.org/10.1073/pnas.0711648105

IPCC (2005) *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.

Irvine P *et al*. (2019) Halving warming with idealized solar geoengineering moderates key climate hazards. *Nature Climate Change* 9: 295–299. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0398-8

Jones A *et al*. (2013) The impact of abrupt suspension of solar radiation management (termination effect) in experiment G2 of the Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118: 9743–9752. https://doi.org/10.1002/jgrd.50762

Keith D (2013) *A case for climate engineering*. The MIT Press, Cambridge, Mass.

Köhler P *et al*. (2010) Geoengineering potential of artificially enhanced silicate weathering of olivine. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 107: 20228–20233. https://doi.org/10.1073/pnas.1000545107

Kravitz B *et al*. (2019) Comparing surface and stratospheric impacts of geoengineering with different SO2 injection strategies. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124: 7900–7918. https://doi.org/10.1029/2019JD030329

Lane L *et al*. (2007) Workshop Report on Managing Solar Radiation. NASA/CP–2007-214558. http://event.arc.nasa.gov/main/home/reports/SolarRadiationCP.pdf

Lenton TM & Vaughan NE (2009) The radiative forcing potential of different climate geoengineering options. *Atmospheric Chemistry and Physics* 9: 5539-5561. https://doi.org/10.5194/acp-9-5539-2009

MacMartin DG *et al*. (2018) Solar geoengineering as part of an overall strategy for meeting the 1.5ºC Paris target. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 376 : 20160454. https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0454

Moore JC *et al*. (2019) Greenland ice sheet response to stratospheric aerosol injection geoengineering. *Earth's Future* 7: 1451 – 1463. https://doi.org/10.1029/2019EF001393

Reynolds JL (2019) Solar geoengineering to reduce climate change: a review of governance proposals. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 475: 20190255. http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2019.0255

Ridgwell A *et al*. (2009) Tackling regional climate change by leaf albedo bio-geoengineering. *Current Biology* 19: 146–150. https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.12.025

Robock A & Mao JP (1995) The volcanic signal in surface-temperature observations. *Journal of Climate* 8: 1086-1103.

Robock A *et al*. (2008) Regional climate responses to geoengineering with tropical and Arctic SO_2 injections. *Journal of Geophysical Research* 113: D16101. https://doi.org/10.1029/2008JD010050

Simpson IR *et al*. (2019) The regional hydroclimate response to stratospheric sulfate geoengineering and the role of stratospheric heating. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124: 12587–12616. https://doi.org/10.1029/2019JD031093

The Royal Society (2009) *Geoengineering the climate: science, governance, and uncertainty.* The Royal Society, London. https://royalsociety.org/~/media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/8693.pdf

Trenberth KE & Dai A (2007) Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analog of geoengineering. *Geophysical Research Letters* 34: L15702. https://doi.org/10.1029/2007GL030524