

La anulación total de emisiones de bióxido de carbono, una

Antonio Sarmiento Galán
Instituto de Matemáticas, UNAM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Los esfuerzos encaminados a la mitigación del calentamiento global antropogénico deben iniciarse reconociendo que el controlar los flujos de bióxido de carbono (CO_2) no es suficiente, lo que realmente importa es el total de las emisiones acumuladas de CO_2 hasta ahora.

Una de las confirmaciones más importantes de la 5ª evaluación científica del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC [1]), es que el principal determinante del calentamiento global superficial medio es el total de emisiones acumuladas de CO_2 y que este total no sólo determinará la temperatura superficial terrestre a finales de siglo, sino durante algunos de los milenios posteriores [2] debido a que, a diferencia de otros gases de efecto invernadero, las emisiones de CO_2 tienden a acumularse en el sistema que regula el clima; hecho que por sí solo, tiene fuertes implicaciones sobre las políticas de mitigación. El objetivo de estabilizar la temperatura global requiere que las emisiones globales netas de CO_2 sean nulas; lo que en última instancia resulta relevante para el clima, es el total de las emisiones acumuladas durante toda la época industrial y no el flujo o la tasa de emisiones de CO_2 en algún lapso dado.

Este punto es muy importante debido a que mucha gente —inclusive algunos de los negociadores en los acuerdos internacionales— todavía piensa erróneamente que el objetivo en la mitigación del calentamiento global es la estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y que las tasas de emisión en el 2030 o el 2050 son determinantes cruciales para el éxito de la mitigación. En la realidad, el estabilizar las concentraciones atmosféricas de CO_2 no es suficiente para estabilizar el clima; aún y cuando se mantuviesen constantes las concentraciones atmosféricas de CO_2 , el mundo continuaría calentándose por siglos. El estabilizar la temperatura del planeta requiere que las emisiones globales netas de CO_2 se reduzcan a cero, después de lo cual e independientemente del valor de la tasa con la cual se hayan reducido las concentraciones atmosféricas de CO_2 , la temperatura superficial terrestre permanecerá constante. Si antes se creía que el CO_2 tenía una vida media en la atmósfera de unos 200 años, ahora se reconoce que cualquier cantidad de carbono fósil que se libere a la atmósfera continuará afectando al clima terrestre durante varios milenios [3].

La figura 1 ilustra tres posibles rutas idealizadas que se podrían seguir para la reducción de emisiones de CO_2 : la línea verde muestra emisiones que alcanzan un valor máximo en el año 2015 y de ahí empiezan a declinar con una tasa anual del 3%; en la línea naranja las emisiones alcanzan el valor máximo al final de la década de los años 2020 y de ahí declinan con una tasa anual del 10% (reducción

extremadamente cara y quizá ni técnica ni políticamente realizable).

La figura 1 muestra a la izquierda que aún y cuando los máximos de las emisiones son muy diferentes y ocurren en años distintos, las emisiones totales acumuladas son iguales en los tres casos (área bajo cada una de las curvas).

Las respuestas más probables de la temperatura a la derecha, son casi idénticas y sus pequeñas diferencias se ven minimizadas aún más por la incertidumbre en la respuesta (banda gris).

La coincidencia en el valor de las emisiones en el año 2050 para los tres casos en el lado izquierdo, ilustra la importancia del balance de carbono durante todo el período industrial y no sólo hasta mediados del presente siglo. Los perfiles verde y naranja muestran emisiones totales muy diferentes entre el presente y el 2050, pero dan un resultado climático similar; inversamente, un perfil que mantuviese las emisiones constantes de ahora al 2050, representaría emisiones acumuladas de CO_2 al 2050 muy similares a las del caso naranja, pero ocasionaría un compromiso climático mucho mayor en el largo plazo debido a que al no haberse ido reduciendo gradualmente las emisiones, su acumulación sería mucho mayor después del 2050.

La figura también muestra que mientras más tardemos en iniciar la reducción de las emisiones de CO_2 , mayor tendrá que ser la tasa con la que éstas decrezcan para alcanzar algún valor deseado de la temperatura; esta consecuencia no es aplicable en el caso de cualquiera de los gases de efecto invernadero de vida corta, como el metano. Además, debe considerarse que para cualquier tasa de reducción posterior al máximo de emisiones, el calentamiento máximo comprometido ha crecido durante las décadas recientes con una tasa cercana a la de las emisiones acumuladas y que ésta es casi el doble de rápida que la del aumento en las temperaturas observadas; es decir que las medidas que de haberse iniciado en 1992 hubiesen limitado el calentamiento inducido por el CO_2 a 2°C , si se iniciasen hoy día permitirían un calentamiento mayor a los 3°C .

La cantidad de carbono que no se debe quemar

El balance global de carbono proporciona una forma sencilla y poderosa para enmarcar el reto de evitar un calentamiento global antropogénico peligroso.

La figura 2 muestra las temperaturas globales promedio como función de las emisiones globales acumuladas de CO_2 , ambas medidas a partir de las condiciones presentes a finales del siglo XIX.

La línea y la banda de incertidumbre en gris muestran el calentamiento debido exclusivamente a las emisiones de CO_2 . Las líneas coloreadas y la banda rosada, muestran el calentamiento antropogénico total esperado bajo un grupo de escenarios que va del sostenido *nada ocurre* (línea roja) al de mitigación agresiva e inmediata (línea azul marino). El escenario rojo se desplaza rápidamente hacia la esquina superior derecha de la figura,

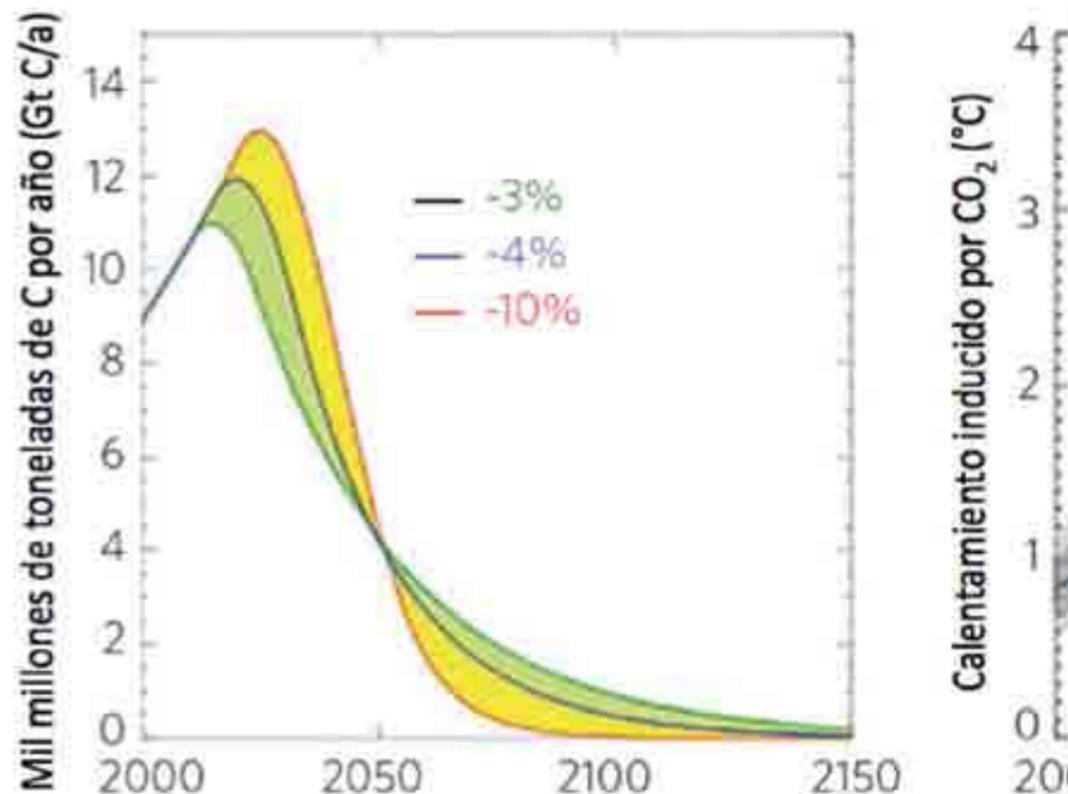


Figura 1. Gráficas ilustrativas del efecto persistente del CO_2 sobre la temperatura: Perfiles de emisión global neta anual de CO_2 (panel izquierdo) y su impacto sobre la temperatura superficial global (panel derecho).

indicando que las emisiones de CO_2 se siguen acumulando y la temperatura sigue aumentando por arriba de los 4°C . En el escenario azul marino, las emisiones netas de CO_2 se eliminan cerca del 2050, de manera que el CO_2 deja de acumularse en el sistema climático y la temperatura deja de seguir aumentando antes de llegar a los 2°C . Nótese que todos los escenarios siguen un mismo patrón: dado un nivel de emisiones acumuladas de CO_2 , el planeta experimenta casi el mismo calentamiento, independientemente de si las emisiones de CO_2 se realizaron rápida o lentamente; el calentamiento debido a los demás gases de efecto invernadero añade a partir del 2050 entre un 25 y un 30% al calentamiento debido al CO_2 .

Las implicaciones para el balance del carbono acumulado se muestran en la barra horizontal inferior de la figura 2. Las emisiones previas causadas por la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo desde 1870, son superiores a 0.5×10^{12} toneladas de carbono fósil (eje horizontal inferior y parte negra de la barra). Las emisiones futuras de CO_2 deben limitarse a un valor entre la mitad y la misma cantidad (parte gris oscura) si se quiere respetar el límite de 2°C acordado en el 2010 por las partes en el Marco Convención sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas.

El balance preciso de carbono depende de la probabilidad de sobrepasar el límite de 2°C que estemos dispuestos a aceptar y de lo que ocurra con el calentamiento causado por los demás gases de efecto invernadero, pero aunque sólo sea para mantener una modesta posibilidad de no sobrepasar el objetivo de 2°C , las emisiones antropogénicas totales de CO_2 a lo largo del todo el Antropoceno (1750 en adelante [5]), deben permanecer por debajo de 10^{12} toneladas de carbono (3.7×10^{12} toneladas de CO_2), cifra por arriba de

la mitad de lo que ya se ha emitido.

El IPCC estima que las reservas disponibles de combustibles fósiles (las económicamente explotables mediante la tecnología y al precio actuales) exceden el balance para no sobrepasar los 2°C por un factor de entre dos y tres veces, y que las reservas potenciales (explotables si el precio aumenta) exceden dicho límite por muchas veces más. De manera que, de realizarse la quema de carbono fósil por arriba de 10^{12} toneladas (barra gris claro a blanco), sus productos deberán ser secuestrados en el sitio de la quema y almacenados de manera segura para que la temperatura no sobrepase los 2°C . Debido a la respuesta a largo plazo del océano, la recaptura del CO_2 previamente emitido a la atmósfera no conduce a una situación equivalente a la que se hubiese mantenido de no haberse emitido dicho CO_2 [6].

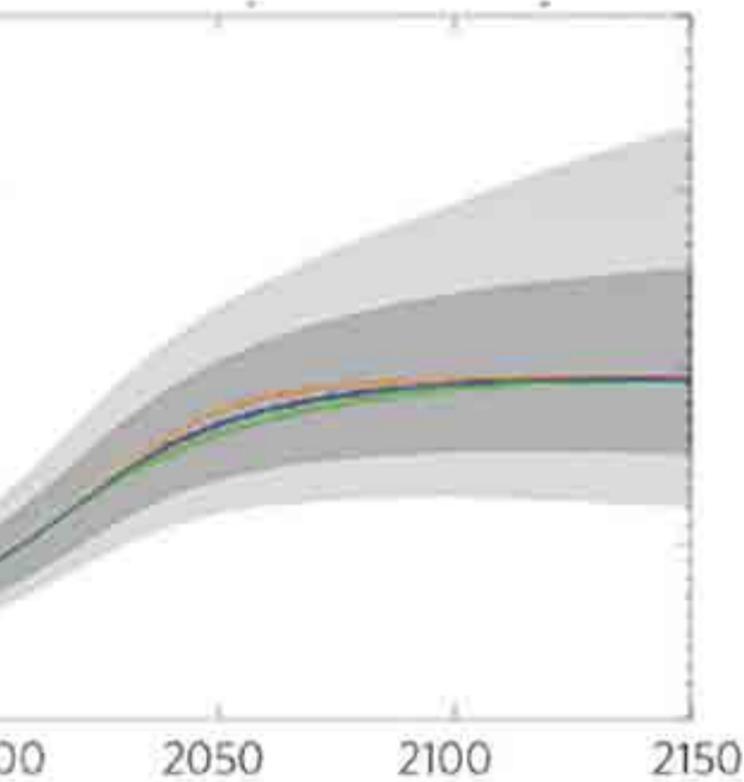
Implicaciones para las políticas de mitigación

Muchas de las políticas nacionales e internacionales aún tratan el calentamiento global como un problema de flujos, enfocándose sólo en reducir la tasa neta de emisiones de gases de efecto invernadero en el 2020, el 2030 o el 2050. Pero, si bien se gana tiempo al reducir la tasa de acumulación de las emisiones de CO_2 , dicha acción no resuelve el problema a menos de que finalmente se logren eliminar dichas emisiones por completo. Este punto es muy importante debido a que muchas de las medidas para reducir las emisiones en el corto plazo (efectivas en cuanto a costos) como mejorar la eficiencia energética, no son las medidas que finalmente conducirán a anular las emisiones de CO_2 por completo.

Nuevas tecnologías —generación de energía a partir de biomasa o algunos otros métodos [7]— pueden implemen-



urgencia apremiante



tarse evitando más emisiones al secuestrar el CO₂. El IPCC concluye que, de no empezar a reducir drásticamente las emisiones de CO₂ o cuando menos implementar ya la captura y almacenaje de carbono, el gasto necesario para no sobrepasar el límite de 2° C no sólo será mayor al doble, sino que además, muchos modelos indican que sería imposible lograr dicho objetivo. Sin embargo, como se trata de un medio caro para reducir las emisiones en el corto plazo, la captura y almacenaje de carbono permanecen con una prioridad relativamente baja en muchos de los programas de política climática. Reconocer al balance de carbono acumulado como el factor determinante para evitar temperaturas peligrosas, debe ser esencial para que los gobiernos comprendan la importancia de apoyar específicamente la eliminación total de las emisiones de CO₂, o cuando menos, el desarrollo e implementación de tecnologías seguras para el secuestro y almacenaje de carbono.

Carbono acumulado versus gases de efecto invernadero de vida corta

El limitado progreso en la reducción de las emisiones de CO₂ ha estimulado medidas para combatir el calentamiento global mediante la reducción de emisiones de los llamados contaminantes climáticos de vida corta como el metano y el hollín. Muchas de estas medidas para reducir tales emisiones son relativamente de bajo costo y ofrecen beneficios adicionales substanciales; su impacto en términos climáticos también es relativamente inmediato: si reducimos a la mitad las emisiones de metano, entonces las concentraciones atmosféricas de metano se reducirán por una cantidad similar en un par de décadas. Contraria y comparativamente, si reducimos a la mitad las emisiones de CO₂, sus concentraciones atmosféricas seguirán aumentando [8] y sólo se logrará que lo hagan a la mitad de la velocidad con la que lo venían haciendo.

Debido a que las medidas para reducir las emisiones de CO₂ tardan mucho en causar un impacto discernible, las medidas inmediatas para reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta son innegablemente la propuesta menos costosa para reducir la tasa del calentamiento global durante las próximas décadas. Pero debe subrayarse que estas medidas sólo tendrán un impacto en el calentamiento máximo si las emisiones de CO₂ se reducen drásticamente y simultáneamente de manera que la temperatura comience a estabilizarse justo después del 2050 y para ello se requiere que las emisiones de CO₂ vayan desapareciendo desde ahora hasta anu-

larse en dicho año. Las emisiones de los contaminantes climáticos de vida corta sólo se vuelven importantes en el contexto del objetivo global de la Convención Marco de la ONU a partir del momento en que las emisiones de CO₂ ya se encuentren en severo e irreversible declive.

El mito de la equivalencia con el CO₂

La confirmación de la importancia del balance de carbono acumulado ha destrozado la idea de la equivalencia de emisiones de otros gases de efecto invernadero con las del CO₂; equivalencia que desgraciadamente aún se usa ampliamente en política climática y el comercio de emisiones. No todas las medidas para reducir las emisiones que se considerarían equivalentes a cierta cantidad de emisiones de CO₂ en el 2030, son realmente equivalentes. Algunas, como el secuestro y almacenaje seguro de los productos de la quema del carbono, proporcionan una ruta para llegar a emisiones nulas de CO₂; otras, como la mejora en la eficiencia energética o la reducción de emisiones de metano u hollín, no lo hacen y por lo tanto resultan poco relevantes.

Las medidas a corto plazo pueden ayudar a limitar el calentamiento hasta que las emisiones de CO₂ se hayan anulado por completo, pero en ausencia de un plan para alcanzar emisiones nulas de CO₂ fallarán final e irremediablemente. Es primordial que la Convención Marco de la ONU reconozca la importancia de eliminar por completo las emisiones de CO₂ para que posteriormente se implementen las políticas adicionales a largo plazo que, complementándose con las de corto plazo, permitan alcanzar la meta de reducir las emisiones de todos los contaminantes climáticos durante las próximas décadas.

Notas

- [1] IPCC AR5 WGI 2013 <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- [2] Figura 2.8 IPCC AR5 WGI Synthesis Report <http://ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- [3] Figura 8.SM.4 IPCC AR5 WGI <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/supplementary/>

WG1AR5_Ch08SM_FINAL.pdf

F. Joos et al. 2013 Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 2793–2825. www.atmos-chem-phys.net/13/2793/2013/ doi:10.5194/acp-13-2793-2013

[4] Recuadro 2.2, glosario. Ref. 2. <http://ipcc.ch/report/ar5/syr/>

[5] Crutzen, P. J., y E. F. Stoermer (2000). "The 'Anthropocene'". *Global Change Newsletter* 41: 17–18.

<http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf>

[6] Sabine Mathesius et al. 2015 Long-term response of oceans to CO₂ removal from the atmosphere *Nature Climate Change*

<http://www.nature.com/nclimate/journal/vaop/ncurrent/full/nclimate2729.html> DOI: 10.1038/NCLIMATE2729

[7] Novel pathways for fuels and lubricants from biomass optimized using life-cycle greenhouse gas assessment. M. Balakrishnan et al.

Proceedings of the National Academy of Sciences. Junio, 2015 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1508274112

[8] No sólo por su vida media mayor al par de siglos, sino porque el metano, por ejemplo, al reaccionar con el oxígeno atmosférico produce CO₂ y agua.

[6f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1508274112)

[6] Sabine Mathesius et al. 2015 Long-term response of oceans to CO₂ removal from the atmosphere *Nature Climate Change*

<http://www.nature.com/nclimate/journal/vaop/ncurrent/full/nclimate2729.html> OI: 10.1038/NCLIMATE2729

[7] Novel pathways for fuels and lubricants from biomass optimized using life-cycle greenhouse gas assessment. M. Balakrishnan et al.

Proceedings of the National Academy of Sciences. Junio, 2015 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1508274112

No sólo por su vida media mayor al par de siglos, sino porque el metano, por ejemplo, al reaccionar con el oxígeno atmosférico produce CO₂ y agua.

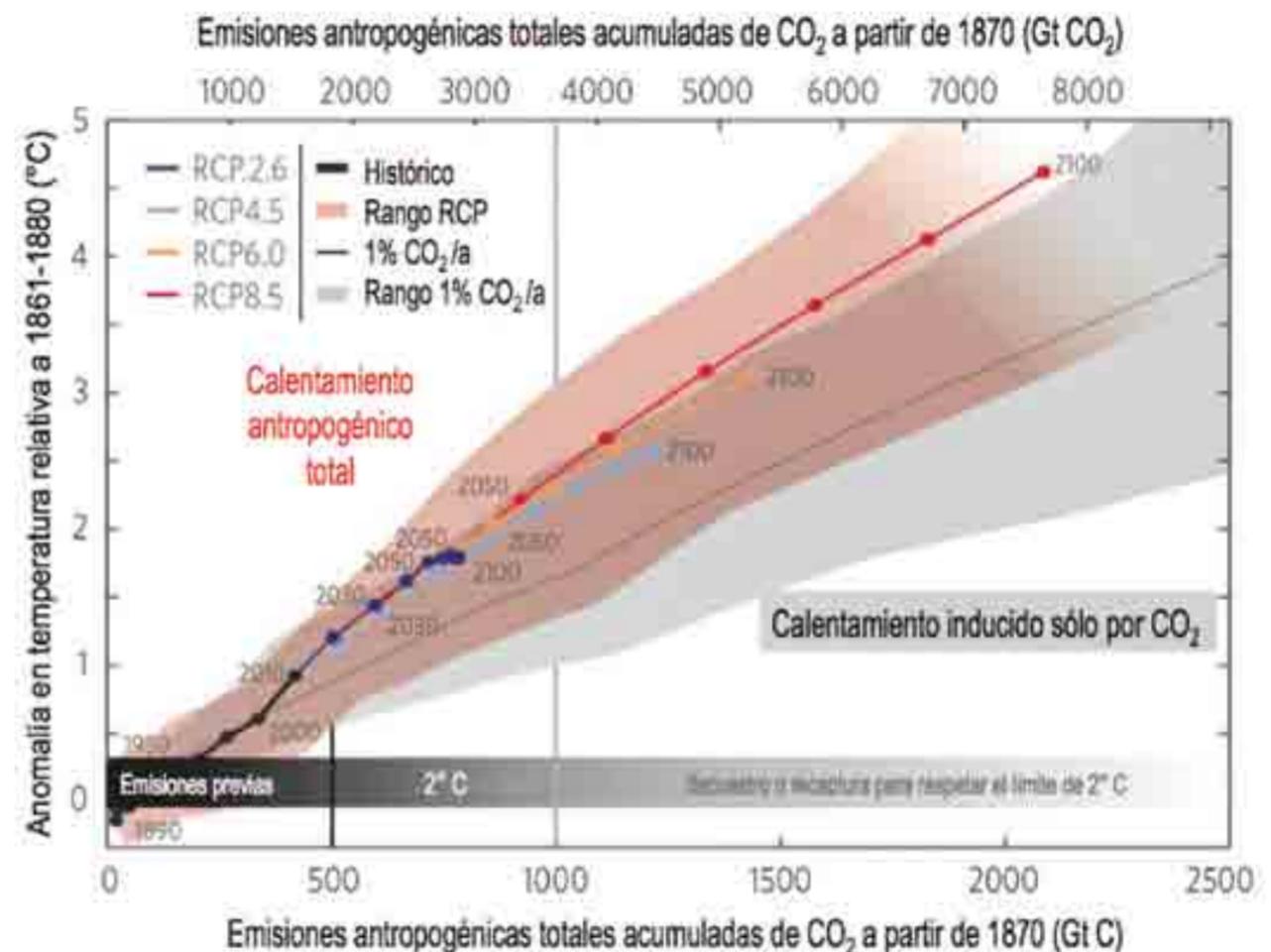


Figura 2. Correlación entre las emisiones acumuladas de CO₂ y el calentamiento global. El calentamiento (calculado con el conjunto de modelos CMIP-5) como función de las emisiones antropogénicas totales de CO₂ acumuladas desde 1870 (figura SPM.10 [1]), considerando los escenarios de las vías representativas de concentraciones, RCP por sus siglas en inglés [4] (líneas coloreadas y banda de incertidumbre en rosa) y las emisiones de CO₂ exclusivamente (línea y banda grises). El tiempo se indica en décadas mediante círculos sobre cada una de las líneas que muestran los diversos escenarios.