

El Cambio Climático y la importancia de las Matemáticas

María del Carmen GALLASTEGUI

Ha costado mucho esfuerzo y demasiado tiempo convencer a una gran mayoría de personas y de políticos de que se está produciendo un efecto importante sobre el clima, un efecto al que se ha venido en denominar Cambio Climático (CC) o, inicialmente, "Efecto Invernadero". Y todavía más convencer de que existe una influencia antropogénica importante. Existe evidencia que prueba que el cambio en el clima no es un fenómeno exclusivamente natural sino que somos los humanos, con nuestro comportamiento, los causantes de una gran parte de la pérdida de lo que podríamos denominar "un clima estable". En otras palabras, en el CC existe un claro componente antropogénico.

El logro de estos dos objetivos, la demostración de que efectivamente el clima de la Tierra está cambiando y lo está haciendo en gran medida a causa de nuestro comportamiento, ha sido posible gracias a la ingente tarea investigadora y multidisciplinar de científicos experimentales que abarcan áreas muy amplias. Por citar algunas: la física, la geología, la química, la ingeniería, la meteorología. Los economistas nos hemos incorporado a esta tarea investigadora por qué éramos y somos necesarios. Los impactos socioeconómicos de este fenómeno son numerosos y cuantiosos, y, además, creemos tener ideas acerca de qué políticas podrían ser puestas en vigor para intentar que el CC no se convierta en un problema todavía más serio con el paso de los años.

Detrás, o debajo, de todas estas investigaciones se encuentran las matemáticas. Sin ellas, sin su utilización, no hubiera sido posible mucho del trabajo realizado, y desde luego no hubiera sido posible la obtención de la mayoría de los resultados que hoy conocemos, gracias a los cuales nos hemos persuadido de que nuestro modelo de vida ha de alterarse y de que nuestro sistema económico precisa de cambios, y en particular de un cambio en el paradigma energético.

Los científicos experimentales nos han hecho ver con claridad que las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y, en particular, las emisiones de CO₂ a la atmósfera tienen un efecto flujo, y además un efecto stock; que la atmósfera no es capaz de absorber todas las emisiones, y que la acumulación de gases está propiciando un incremento en la temperatura media del Planeta que tendrá, y está teniendo ya, efectos graves en forma de fenómenos naturales con implicaciones sociales, económicas y geopolíticas muy importantes y de gran duración.

Para valorar los efectos que la acumulación de las emisiones está causando, las matemáticas también han jugado un papel fundamental.

Los científicos nos han enseñado, entre otras cosas, que el clima es diferente al tiempo atmosférico. Que hay una relación importante entre las concentraciones de GEI y las temperaturas, y que las concentraciones de GEIs han pasado de 240ppm (partes por millón) a 368 ppm entre 1870 y el año 2000. Según el PICC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático), las concentraciones aumentarán hasta las 600-700 ppm para el año 2100 si no se toman serias medidas. Y también nos han enseñado que los principales causantes del efecto invernadero son el Dióxido de Carbono (CO₂), el Metano (CH₄), el Monóxido de Nitrógeno (N₂O) y los gases fluorados (SF₆, HFC, PCF). El CO₂, por ser el más abundante en las emisiones, es el que ocupará mi atención en los párrafos que siguen.

El tipo de contaminación que originamos cuando emitimos CO₂ a la atmósfera tiene una característica muy precisa. Es de carácter global y de mezcla perfecta. Esto quiere decir que no importa quién sea el agente emisor o el lugar donde se emita; no importa la fuente de las emisiones, sino que lo que es relevante es el total de las mismas. Lo que emiten los chinos afecta al clima lo mismo que lo que emiten los europeos, los americanos o los asiáticos.

El hecho de que el CC sea un fenómeno global explica que los economistas lo caractericemos como un “mal público”, porque el cambio en el clima de la Tierra satisface las dos propiedades que P. Samuelson (Premio Nobel en Economía recientemente fallecido) impuso a los bienes públicos en contraposición a los privados: la no-rivalidad en el consumo y la no exclusión. También podría interpretarse como un problema de bien público puro global, donde el bien a proveer es un “clima estable”. El clima de la Tierra es no rival (lo que uno disfruta del mismo no agota la cantidad disponible para otros), y tampoco hay posibilidad de exclusión (no puedo disfrutar de un clima diferente a los que disfrutan o sufren los vecinos con los que convivo).

Estas dos características hacen que los países tengan incentivos a comportarse como “viajeros sin billete”: no desean aportar nada ni hacer ningún sacrificio que redunde en la probabilidad de disfrutar de un clima estable pero, sin embargo, pueden capturar los beneficios que se derivan de la acción (mitigación de emisiones, por ejemplo) que otros generan sobre el clima.

Detrás del trabajo de P. Samuelson están las matemáticas. Gracias a ellas pudo modelar, resolver los modelos y obtener proposiciones y teoremas que nos han servido para entender y explicar lo que está pasando y, por tanto, para saber qué medidas de acción o qué políticas públicas debieran ser puestas en práctica. Además de caracterizar a los bienes públicos, P. Samuelson también nos enseñó más cosas. Demostró que cuando los bienes públicos puros se proveen a través del mercado, lo que se produce de los mismos es una cantidad insuficiente; lo que denominamos una infra provisión. En el caso que estamos considerando, lo que ocurre es que se producirá una emisión excesiva de gases de efecto invernadero y, consecuentemente, una provisión excesivamente pequeña del bien público “clima estable”.

Los economistas nos dimos cuenta, también, igual que otros profesionales, que al constituir el CC un problema global, la búsqueda de soluciones tendría que venir de forma también global. Dicho en otras palabras, que era preciso involucrar a todos los ciudadanos del planeta, y por tanto a los países, en la búsqueda de una solución necesariamente transnacional. Si queremos resolver el problema del cambio climático la cooperación es imprescindible, y las alternativas no cooperativas no nos conducirán a soluciones satisfactorias, es decir, a soluciones en las que los costes en que se incurre para mitigar las emisiones son mínimos, o las soluciones propuestas son “coste efectivas”. También aquí, en el trabajo de los economistas, las herramientas matemáticas han sido básicas e imprescindibles.

A lo largo de estos párrafos he afirmado varias veces que las matemáticas son vitales para estudiar, entender, y buscar soluciones al fenómeno del CC que tanto nos preocupa. Quisiera añadir más contenido que sirva para fundamentar estas afirmaciones tan contundentes.

Comenzaré con una generalidad.

“Las matemáticas, es sabido, constituyen el lenguaje común de la ciencia, la base sin la cual es imposible el desarrollo científico.

Las matemáticas constituyen un lenguaje universal que se ha expandido de forma impresionante a lo largo del tiempo, y cuyas aplicaciones en la resolución de problemas y en el análisis y explicación de fenómenos de todo tipo son innumerables.”

Aún estando de acuerdo con esta afirmación general, alguien puede preguntarse acerca de si también lo son en el análisis y propuestas de solución del problema del cambio climático. Para despejar esas dudas, nada mejor que describir brevemente el trabajo de los distintos científicos involucrados en este fenómeno.

La parte más fácil, como economista, es la que se refiere a los aspectos económicos del CC. He afirmado anteriormente que el CC es un fenómeno que puede caracterizarse como un “mal

público” en el sentido de Samuelson, o que también podríamos decir que el Clima de la Tierra (CT) es “un bien público de naturaleza global”. Además, como las emisiones que provocan el cambio climático tienen un efecto stock, la aproximación al problema no puede ser estática, sino que requiere de una aproximación inter temporal. El stock de gases acumulado en la atmósfera pervive durante años, lo que obliga a que los modelos utilizados tengan que tener una estructura dinámica.

Cuando P.Samuelson desarrolló su teoría acerca de los bienes públicos lo hizo utilizando las matemáticas, y más concretamente las técnicas de optimización. Quería demostrar que las condiciones que se tenían que cumplir para saber cuál es la cantidad “eficiente” de un bien público no coinciden con las condiciones de eficiencia que se satisfacen en el caso de bienes privados. Tuvo que plantear una función de bienestar social, maximizar esa función y obtener una condición que es, en la actualidad, algo que se explica en los cursos de economía y que puede visualizarse y demostrarse de forma muy sencilla con un simple manejo de las condiciones necesarias del problema de maximización.

Pero la economía necesita también de las matemáticas para resolver otros problemas inherentes al CC. Los efectos de las emisiones de CO₂ se mantienen en la atmósfera durante mucho tiempo. Si esto es así, cualquier acción o política que pongamos en marcha para mitigar emisiones (pensemos en la utilización de fuentes de energía renovables en lugar de utilizar combustibles fósiles), tiene que tener en cuenta los efectos que la política ocasiona no sólo en el presente, sino también en todos los períodos futuros relevantes. Esto plantea un problema, porque los individuos no valoramos el presente y el futuro de la misma forma. De hecho, normalmente somos personas impacientes. Preferimos disfrutar de las cosas hoy mejor que mañana, lo que equivale a decir que si tenemos que tener en cuenta todos los beneficios y los costes generados por un cambio de política dirigido, por ejemplo, a mitigar emisiones de CO₂, hemos de usar factores de descuento para poder transformar los valores del futuro en valores presentes. De nuevo, son las matemáticas las que vienen en nuestra ayuda: el cálculo de los valores presentes, si el problema se plantea en términos continuos, lo resolvemos a través de la utilización de funciones exponenciales, y la suma de las funciones de bienestar social para todos los períodos considerados la resolvemos utilizando integrales.

La programación dinámica y la teoría de los juegos son otros ejemplos básicos de cómo las matemáticas son imprescindibles para que los economistas podamos modelar, definir y obtener conclusiones acerca de cómo deberían ser las sendas a seguir por las variables económicas y por las otras variables relevantes (emisiones de CO₂), si pretendemos que el clima de la Tierra no experimente una variación que dé lugar a fenómenos climatológicos extremos.

Si esto es cierto para los economistas, imaginemos el papel que juegan las matemáticas en las predicciones que llevan a cabo los meteorólogos. Ellos nos están diciendo cuánto y cuándo se van a producir cambios en las temperaturas medias del planeta. Ellos son los que nos explican que si seguimos con concentraciones de emisiones superiores a las 450ppm (partes por millón), la temperatura media superará los 2º centígrados en plazos relativamente breves de tiempo. Pero para llegar a estas conclusiones los meteorólogos precisan utilizar modelos matemáticos muy sofisticados, modelos complejos donde tienen que incluir relaciones entre múltiples variables, y donde las ecuaciones han de reflejar innumerables interdependencias. Y todo ello en un contexto donde la incertidumbre juega un papel crucial, y donde las relaciones pueden no ser lineales.

Y ¿qué decir del trabajo de los físicos, de los biólogos, de los geólogos, de los químicos? ¿Podemos concebir el trabajo de estos científicos sin que planteen hipótesis, las contrasten, las prueben en los laboratorios y las formulen de forma matemática para ver sus implicaciones?

Por algo decía antes que las matemáticas constituyen el lenguaje común de la ciencia. Sin ellas no podríamos entendernos, no sabríamos de qué estamos hablando cada cual. Desde luego, en trabajos multidisciplinarios, como lo es el problema del CC, las matemáticas resultan ser imprescindibles.

Se precisa de las matemáticas para modelar los efectos de las emisiones en la atmósfera, para

modelar los efectos de las emisiones sobre las temperaturas, para distinguir los efectos entre zonas costeras e interiores, entre continentes, entre fenómenos meteorológicos y también, como he tratado de explicar, para poder evaluar las consecuencias, por ejemplo, sobre el Producto Interior Bruto (PIB), de los efectos de los cambios en el clima; para calcular cuánto nos costará mitigar y adaptarnos a los daños que el CC acarreará en el inmediato futuro; para predecir cuánto nos costará reducir las emisiones para el 2010, el 2020 o el 2050 o, incluso, para determinar si técnicas como la de Captura o Secuestro del Carbono serán o no rentables, dependiendo de cuál sea el coste que los gobiernos impongan por utilizar combustibles fósiles a la hora de generar energía.

A los que nos interesan los problemas ambientales en general, y en particular los generados por el CC, somos muy conscientes de que sin las matemáticas, y sin los matemáticos que las desarrollan y permiten que las herramientas sean cada vez más potentes, muchas de las evidencias de las que hoy disponemos no existirían, muchas de las certezas que hoy tenemos serían meras especulaciones, y serían imposibles los estudios sobre adaptación al CC así como los análisis sobre cuáles deberían de ser las cuotas de emisiones permitidas a los distintos sectores para evitar que las futuras generaciones hereden un grave problema generado por nuestra incapacidad para adoptar, a tiempo, medidas que abarquen a la mayoría de los países del Planeta Tierra.

Tampoco sabríamos ni siquiera cómo comenzar a computar de forma aproximada los costes que la mitigación de las emisiones nos va a ocasionar, así como la comparación de estos costes con los que se producirían en un contexto de no acción. Para estos cálculos se han desarrollado modelos de equilibrio general dinámicos y modelos de dinámica de sistemas que precisan de desarrollos matemáticos y que permiten modelar los distintos sectores que componen la economía, en particular el sector energético, con toda la complejidad que éste comporta.

En resumen, el Cambio Climático, al constituir un fenómeno multidisciplinar, global y en el que el riesgo y la incertidumbre están presentes, no podría ser abordado sin la concurrencia de los matemáticos. Los párrafos anteriores han citado algunos ejemplos que sirven para ilustrar esta realidad. Que conste que no son los únicos.

M^a. Carmen GALLASTEGUI
mariacarmen.gallastegui@ehu.es
Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea