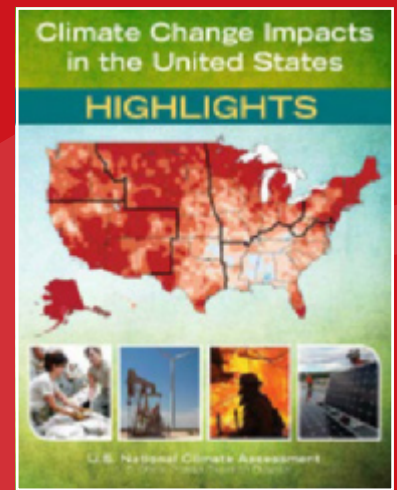


Determinación del cambio climático



por Audrey Resutek y Erwan Monier, Programa Conjunto del MIT sobre la Ciencia y la Política del Cambio Global

¿Con qué grado de severidad se verán afectadas por el cambio climático las diferentes regiones de Estados Unidos de América? Depende de la política climática, según dice la reciente investigación llevada a cabo por el Programa Conjunto del MIT sobre la Ciencia y la Política del Cambio Global.

La Evaluación Nacional del Clima de Estados Unidos de América, dada a conocer esta primavera por la Casa Blanca, expone una serie preocupante de adversidades climáticas que van desde sequías y olas de calor intensas hasta precipitaciones y crecidas más extremas, todo causado por el cambio climático. El informe también describe cómo se espera que este impacte en las regiones estadounidenses en el futuro, sin embargo señala que las predicciones regionales exactas son difíciles de determinar. A gran escala está claro que el clima está cambiando, pero las predicciones locales puede que no coincidan en la cuantía de aumento de las temperaturas y en la identificación de las regiones más duramente afectadas por los cambios en las precipitaciones.

Los investigadores del Programa Conjunto del MIT sobre la Ciencia y la Política del Cambio Global examinaron cuatro factores principales que contribuyen a las estimaciones de amplio alcance del futuro cambio climático regional en Estados Unidos, con vistas a entender cuáles de ellos introducen la mayor incertidumbre en las simulaciones del clima futuro. Concluyeron que la principal fuente de incertidumbre en los modelos climáticos es también la única que la humanidad puede controlar: disponer de un marco normativo que limite las emisiones de gases de efecto invernadero.

En este contexto el término “incertidumbre” no significa que haya falta de consenso científico respecto del cambio climático, sino que se refiere al hecho de que el uso de diferentes supuestos para las variables que intervienen en un modelo climático —por ejemplo, la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos durante el próximo siglo, o cómo de sensible es el clima respecto a cambios en los niveles de dióxido de carbono— producirá una variedad de estimaciones. En general, estas estimaciones indican que la Tierra será un lugar más cálido y húmedo el próximo siglo, pero no

hay un acuerdo general sobre la intensidad del cambio climático que tendrá lugar.

De hecho, las estimaciones que señalan un único número para los cambios en las temperaturas y en las precipitaciones pueden ser engañosas, precisamente porque no captan esta incertidumbre. Es más útil pensar en estimaciones de futuros cambios en el clima como un rango de posibles efectos. El del calentamiento potencial, por ejemplo, es una curva en forma de campana de Gauss, con el incremento de temperatura más probable en el punto más alto. A medida que se baja desde el pico a los extremos de la curva, menos probable es el valor del cambio de temperatura encontrado. Aunque los valores en el incremento de temperatura en los extremos de la curva son improbables, siguen siendo posibles y han de considerarse ya que corresponden a los peores escenarios.

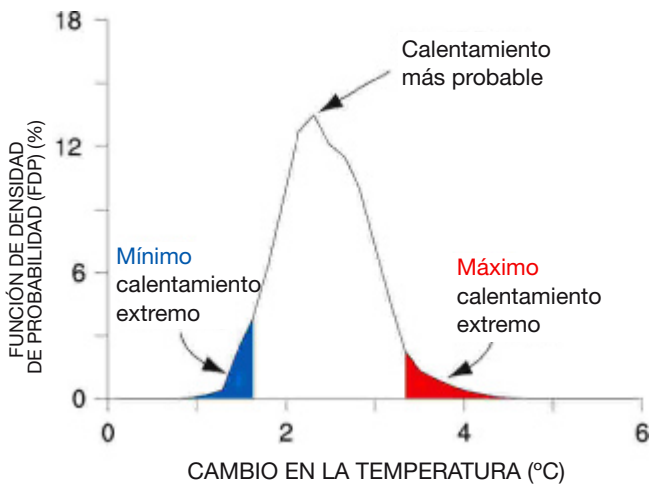
La mayor fuente de incertidumbre

El estudio del MIT¹, publicado esta primavera en una edición especial de la revista *Climatic Change*, analizaba cómo las diferentes fuentes de incertidumbre afectan a los cálculos del futuro cambio climático regional en Estados Unidos de América, en otras palabras, ¿cómo afectan los diferentes factores a la amplitud del rango de las estimaciones? El estudio concluye que la falta de información sobre futuras políticas climáticas es la mayor fuente de incertidumbre en las simulaciones para el próximo siglo de los cambios tanto en temperatura como en precipitación. La política climática introduce incertidumbre, en la medida que los investigadores deben tratar de predecir qué regulaciones afectarán a las emisiones en el futuro, lo que lleva a diversos niveles de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

El desconocimiento de los detalles de una futura normativa sobre emisiones —incluyendo el ritmo o la magnitud de las reducciones— dificulta la valoración del cambio climático, especialmente en ciertas regiones. Por

¹ Monier, E., X. Gao, J. R. Scott, A. P. Sokolov y C. A. Schlosser, 2014. *A framework for modeling uncertainty in regional climate change. Climatic Change*, versión en línea, doi: 10.1007/s10584-014-1112-5.

ejemplo, el grupo del MIT encontró que el incremento en la temperatura en el noroeste del Pacífico y en Nueva Inglaterra oscilaría entre 1 °C y 6 °C, dependiendo de la normativa aplicada. Cuando se pudo disponer del marco normativo para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero, ninguna región experimentó un calentamiento mayor de 3,5 °C.



Ejemplo de rango de cambio potencial en la temperatura.

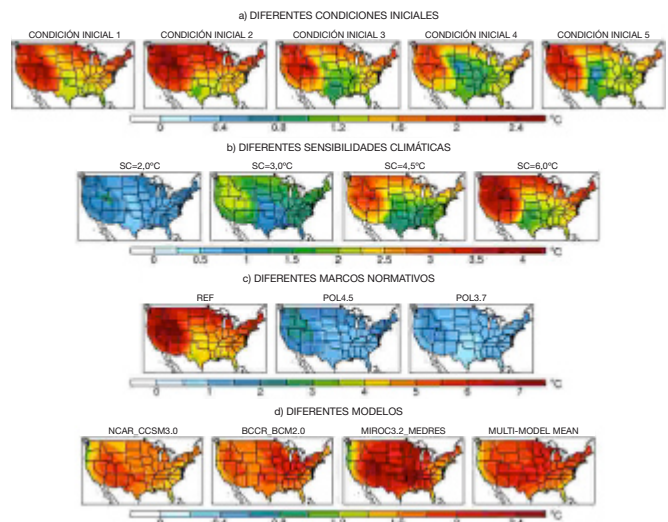
El grupo del MIT utilizó un modelo integrado de evaluación, el MIT IGSM², para estudiar los efectos de diferentes políticas climáticas. El modelo de computación enlaza una simulación de la economía global con otra del clima de la Tierra. Esto posibilita el estudio de cómo las políticas climáticas afectan a las actividades que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como la generación de energía eléctrica, el transporte, la industria y los cambios en el uso del terreno. Así, el modelo calcula el efecto sobre el clima de los cambios resultantes en las emisiones.

Estos modelos son particularmente útiles para el estudio de los efectos de las políticas climáticas ya que utilizan una estructura de modelización que tiene en cuenta sistemáticamente las interacciones entre el clima y los factores económicos tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y los cambios en el uso de la energía y de la tierra. También se pueden utilizar para estudiar la relación inversa: cómo los cambios en el clima afectan a la actividad económica, incluyendo cuáles serán las regiones y las áreas económicas con mayor probabilidad de verse afectadas.

Las políticas específicas usadas en este estudio se seleccionaron sobre la base de la participación de los investigadores en el Proyecto de impactos y análisis de riesgos del cambio climático (CIRA), un esfuerzo dirigido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) para entender los beneficios de la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. La EPA quería saber cómo la reducción de dichas emisiones afectaría a los impactos del cambio climático en las diferentes partes del país. ¿Produciría la estabilización de las emisiones unos beneficios mayores que los costes de la aplicación de la normativa? Una reducción más drástica en las emisiones de carbono, ¿conduciría a

beneficios aún mayores, o solo a un incremento de los costes asociados a dicha reducción?

Para estudiar los escenarios identificados por la EPA, los investigadores construyeron tres escenarios de emisiones, obtenidos mediante diferentes políticas climáticas, en el IGSM. En el primero no se hace nada para mitigar las emisiones globales de gases de efecto invernadero. En el segundo, las emisiones se estabilizan al aplicar un impuesto sobre el carbono. En el tercero están vigentes controles aún más estrictos sobre las emisiones. Los diferentes marcos normativos utilizados se describen con detalle en un segundo artículo³ publicado en *Climatic Change*. Las normativas se combinaron con las demás fuentes de incertidumbre para obtener más de 100 simulaciones de cambio climático hasta 2115.



Simulaciones del cambio en la temperatura durante el próximo siglo bajo diferentes fuentes de incertidumbre: (a) diferentes condiciones iniciales representando la variabilidad natural, (b) sensibilidades climáticas diferentes, (c) elección del marco normativo, y (d) diferentes modelos climáticos. (Monier y otros, 2014).

Otras fuentes de incertidumbre

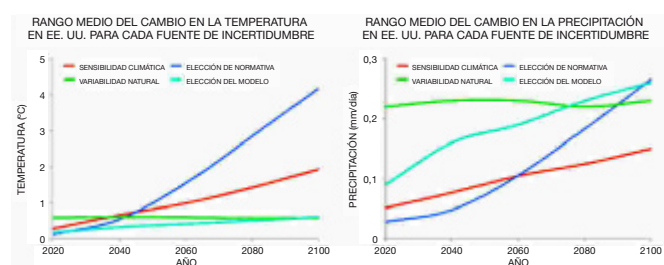
Aunque la elección del marco normativo climático representa la mayor fuente de incertidumbre en las simulaciones del cambio climático esperado para el fin de siglo, tiene mucha menos influencia en las estimaciones a corto plazo. Esto es así porque, una vez lanzados a la atmósfera, los gases de efecto invernadero permanecen allí durante décadas o incluso siglos. Así, las emisiones pasadas continúan influyendo en el clima décadas después de que se establezcan políticas climáticas. Debido a este retraso en el tiempo, otras fuentes de incertidumbre, como la respuesta del clima a los cambios en los niveles de los gases de efecto invernadero (también llamada sensibilidad climática), o la variabilidad natural del clima de la Tierra, introducen mayor incertidumbre en las simulaciones a corto plazo.

² <http://globalchange.mit.edu/research/IGSM>

³ Paltsev, S., E. Monier, J. Scott, A. Sokolov y J. M. Reilly, 2013. *Integrated economic and climate projections for impact assessment. Climatic Change*, versión en línea, doi: 10.1007/s10584-013-0892-3.

La variabilidad natural juega un papel importante en las diferentes simulaciones regionales del cambio climático futuro, al menos hasta 2050. Básicamente el clima de la Tierra es un sistema complejo, constituido por muchos procesos relacionados, algunos de los cuales, como la circulación de las corrientes en el océano profundo, necesitan miles de años para desarrollarse de principio a fin. Por si esto fuera poco, el comportamiento climático varía de forma natural de año a año, así que es normal que algunos años sean excepcionalmente cálidos o fríos.

Los procesos climáticos y la variabilidad natural anual son caóticos de por sí y difíciles de predecir, complicando el proceso de modelización del clima. Pequeños errores en las condiciones iniciales usadas en una simulación, como la temperatura, la humedad o el viento, pueden dar lugar a diferentes evoluciones de todo el sistema climático. Esto evoca al famoso efecto mariposa, según el cual, una mariposa agitando sus alas en una parte del globo producirá un huracán al cabo de varias semanas a miles de kilómetros. Para evitar este problema los científicos ejecutan el mismo modelo con diferentes condiciones iniciales, lo que ayuda a identificar la variabilidad natural del sistema climático y a cuantificar su incertidumbre.



Rangos medios de los cambios de temperatura y de precipitación a lo largo del tiempo. Las líneas representan la amplitud del rango de las estimaciones del cambio para cada fuente de incertidumbre y muestran los promedios de dos modelos distintos utilizados para las predicciones regionales.

La utilización de diferentes condiciones iniciales conduce a simulaciones regionales sorprendentemente diferentes, especialmente cuando se trata de los patrones regionales de precipitación, de acuerdo al estudio del MIT. Incluso puede causar proyecciones contradictorias acerca de si una región se convertirá en húmeda o seca. Por ejemplo, en el noroeste del Pacífico dos de las cinco condiciones iniciales que estudiaron los investigadores condujeron a simulaciones de un clima mucho más seco en 2100, otras dos a un clima algo más seco para la zona, y la otra, de hecho, condujo a un aumento de las precipitaciones.

La incertidumbre sobre los cambios en las precipitaciones regionales también se debe a las tendencias que tienen los distintos modelos climáticos hacia las proyecciones secas o las húmedas. Por ejemplo, las simulaciones de precipitación para el sureste de Estados Unidos son notablemente diferentes según el modelo climático que los investigadores probaran. Hacia fin de siglo, las cuatro fuentes de incertidumbre contribuyen de igual manera a la incertidumbre total en los futuros cambios en la precipitación.

Aumento en las condiciones meteorológicas extremas

Como parte del proyecto CIRA de la EPA, el grupo del MIT utilizó el mismo método para estudiar cómo las diferentes fuentes de incertidumbre afectan a las proyecciones de los cambios en las condiciones meteorológicas extremas⁴. El cambio climático a menudo se mide como el cambio en los niveles medios de temperaturas y precipitaciones. Aunque este es un modo válido de pensar en las tendencias climáticas, el uso de promedios puede ocultar cambios en las condiciones meteorológicas extremas, como olas de calor o de frío, tempestades de nieve y lluvias torrenciales. Estos cambios en los extremos, quizás más aún que los cambios en los valores medios del clima, pueden tener consecuencias importantes para la salud, la demanda de energía y la agricultura.

Las estimaciones del cambio climático regional en Estados Unidos de América varían de acuerdo a las peculiaridades de cada caso, pero se manifiesta un patrón muy claro: la población debe esperar que sean más intensos y frecuentes los días de calor, así como las precipitaciones torrenciales. Cómo de cálidos o húmedos depende más de la política climática establecida que de cualquier otra fuente de incertidumbre. Acompañando a las conclusiones sobre calor extremo, los investigadores dedujeron que los días de frío extremo disminuirán. Como consecuencia, es probable que más áreas del país se mantengan libres de heladas durante todo el año.

Si bien estos patrones difirieron de unas regiones a otras, basándose en la representación de la variabilidad natural y de la sensibilidad climática, de nuevo surgió el marco normativo como el responsable de las mayores diferencias en las estimaciones del cambio climático regional. Estos hallazgos muestran que ninguna de las fuentes de incertidumbre relacionadas con aspectos específicos de la modelización del clima tiene un efecto mayor en las simulaciones que la cantidad real de emisiones que generará el ser humano durante el próximo siglo. Esto enfatiza la importancia, si queremos evitar los peores efectos del cambio climático, de poner en marcha políticas globales dedicadas a estabilizar las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero.

⁴ Monier, E. y X. Gao, 2014. Climate change impacts on extreme events in the United States: an uncertainty analysis. *Climatic Change*, versión en línea, doi: 10.1007/s10584-013-1048.1.