

¿Cómo podemos estimar el clima futuro sin conocer el tiempo de cada día?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 019 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Una proyección climática no necesita identificar el tiempo atmosférico de cada fecha para estimar cómo cambia su distribución. Plantea una pregunta condicional: bajo cambios especificados en los gases de efecto invernadero y otras influencias, ¿qué ocurre con los promedios, la variabilidad y la frecuencia de determinadas condiciones? La pregunta sin respuesta sobre cada fecha y la pregunta estadística que sí puede responderse se refieren al mismo sistema físico, pero exigen información diferente.

Esa distinción crea una posibilidad, no una garantía. Las estadísticas climáticas siguen necesitando respaldo en conocimientos físicos, observaciones y modelos evaluados. Llamar «climático» a un cálculo no lo vuelve exacto, y promediar no elimina todas las fuentes de error.

1. Cambiar la pregunta antes de comparar las respuestas

Supongamos que preguntamos si un lugar superará un umbral de temperatura una tarde concreta dentro de muchas décadas. Eso requiere un estado meteorológico futuro detallado. Preguntar con qué frecuencia se supera ese umbral durante un intervalo futuro de varias décadas requiere, en cambio, una distribución de estados.

La pregunta estadística no contiene un calendario oculto. Dos secuencias simuladas pueden tener días calurosos diferentes y producir frecuencias parecidas durante un intervalo largo. A la inversa, dos secuencias que coinciden por casualidad en un día concreto pueden tener comportamientos a largo plazo muy distintos. La concordancia en un nivel no sustituye la evaluación en el otro.

La evaluación del IPCC sobre el clima global futuro trata explícitamente las proyecciones como basadas en escenarios y combina modelos con restricciones observacionales. También considera predicciones inicializadas para preguntas a más corto plazo, en las que el estado actual puede conservar una influencia útil. [1] Por tanto, la frontera entre aplicaciones meteorológicas y climáticas no es una regla absoluta según la cual las condiciones iniciales nunca importen para el clima.

2. Qué puede hacer un cambio de las condiciones de contorno

Un modelo deliberadamente pequeño concreta la distinción. Sea T una anomalía de temperatura global, C una capacidad calorífica efectiva por unidad de superficie, F un desequilibrio energético impuesto y λ un coeficiente restaurador positivo. Escribamos $C \frac{dT}{dt} = F - \lambda T$. Es una ilustración de balance energético de una sola caja, no un modelo climático completo.

Las unidades deben concordar. Si C se mide en julios por metro cuadrado y kelvin, dT/dt en kelvin por segundo, F en vatios por metro cuadrado y λ en vatios por metro cuadrado y kelvin, ambos miembros describen una transferencia de energía por superficie y tiempo.

Con F constante y bajo este supuesto de respuesta lineal, la anomalía de equilibrio es $T_{eq} = F/\lambda$. Partiendo de una anomalía T_0 , la solución es $T(t) = F/\lambda + (T_0 - F/\lambda) \exp(-t/\tau)$, donde $\tau = C/\lambda$. La condición inicial afecta al acercamiento, mientras que el desequilibrio impuesto y el coeficiente restaurador determinan el equilibrio en este modelo.

Podemos, por tanto, calcular un cambio condicional del estado a largo plazo del modelo sin asignar un patrón de nubes a un martes futuro. El cálculo no demuestra los valores de F , C o λ , y deja fuera la estructura espacial, las múltiples escalas temporales oceánicas y las respuestas no lineales. Su propósito es mostrar la lógica de la pregunta, incluidos los supuestos que hacen posible esta respuesta concreta.

3. Un promedio cambiado puede cambiar la frecuencia de un umbral

Consideremos una segunda ilustración, sin pretensión de describir una ciudad concreta. Supongamos que las temperaturas diarias de una estación elegida siguen una distribución normal con media de 15 °C y desviación típica de 3 °C. Un umbral de 21 °C está dos desviaciones típicas por encima de la media. Bajo esa distribución, aproximadamente el 2,3 % de los días lo supera.

Desplacemos ahora la media a 17 °C, manteniendo fijas la desviación típica y la forma de la distribución. El mismo umbral queda a 4/3 desviaciones típicas por encima de la nueva media, y la fracción que lo supera es aproximadamente del 9,1 %. No ha hecho falta la temperatura de ningún día futuro individual para calcular ninguna de las dos fracciones.

Los supuestos hacen una parte importante del trabajo. Las distribuciones reales de temperatura no tienen por qué ser exactamente normales, y su varianza o su forma pueden cambiar. El ejemplo demuestra cómo puede responder una frecuencia a una distribución modificada; no estima una tendencia regional real de olas de calor. También se refiere a superaciones individuales de un umbral, no a la duración de secuencias de días calurosos, que depende además de relaciones temporales.

4. Dónde entra la evidencia

Ninguna de las dos ilustraciones establece cómo cambiará el clima terrestre. Las observaciones de temperatura, intercambio de energía y otros componentes restringen la respuesta física, mientras que los modelos conectan esas restricciones con escenarios especificados. La evaluación de 2021 del IPCC compara cambios observados y simulados y evalúa cambios futuros bajo distintas trayectorias de emisiones. [2]

El comportamiento histórico de un modelo es pertinente, pero una buena concordancia con una variable no basta. A veces puede obtenerse la misma curva de temperatura compensando errores en otros lugares. La evaluación debe preguntar si están representados adecuadamente los procesos necesarios para la pregunta futura y si la comparación utilizó información independiente, en vez de solo magnitudes ya empleadas en el ajuste.

Este razonamiento es especialmente importante al pasar de un promedio amplio a una magnitud local. Que un modelo reproduzca una media global no valida por ello todos los cambios locales de precipitación. La resolución, la circulación, la topografía y la variable concreta importan para la siguiente inferencia.

5. Por qué muchas simulaciones son útiles, pero no son una votación

Las simulaciones repetidas con estados iniciales diferentes pueden explorar la variabilidad interna dentro de un modelo. Las comparaciones entre modelos exploran algunas diferencias de representación y respuesta; los escenarios diferentes exploran futuros impuestos distintos. El IPCC analiza estas contribuciones diferenciadas en su evaluación de las proyecciones. [1]

Un conjunto de simulaciones no es automáticamente una muestra aleatoria de todos los futuros físicamente posibles. Si doce de veinte modelos muestran un resultado especificado, una «probabilidad del 60 %» no se deduce simplemente de contarlos. Los

modelos pueden compartir componentes, supuestos y limitaciones, y su selección no equivale a extraer resultados independientes de una distribución de probabilidad conocida.

La pregunta útil es qué varía realmente el conjunto y qué mantiene fijo. Un conjunto amplio puede seguir omitiendo un mecanismo compartido; uno estrecho puede reflejar supuestos deliberadamente restringidos. Producir más simulaciones no reduce por sí solo ninguno de los dos problemas. Es un límite sobre cómo interpretar el experimento, no una razón para descartarlo.

6. ¿Qué es sólido y qué sigue siendo condicional?

El IPCC considera la variabilidad interna especialmente importante para los cambios regionales y los resultados a corto plazo; puede reforzar o debilitar una tendencia forzada externamente en esas escalas. Su evaluación también distingue incertidumbres de precipitación asociadas a los modelos y al forzamiento de aerosoles. [2] Llamar «caos» a toda la incertidumbre borraría limitaciones físicamente diferentes.

Por tanto, una proyección útil identifica su escenario, intervalo temporal, escala espacial y variable objetivo. Esas etiquetas forman parte del resultado. Retirarlas puede convertir una afirmación condicional respaldada en una promesa incondicional engañosa.

Podemos estimar un clima futuro sin conocer el tiempo de cada día porque los cambios en las condiciones que gobiernan un sistema pueden restringir sus estadísticas sin fijar su secuencia exacta. La evidencia debe establecer hasta qué punto funciona eso para la magnitud preguntada. El error conceptual es suponer que desconocer todos los estados futuros implica desconocer todas las distribuciones futuras, o que conocer una distribución implica conocer sus acontecimientos individuales.

Lectura relacionada

El artículo 021, «¿Puede un bosque seguir absorbiendo carbono indefinidamente?», examina un componente cambiante del balance de carbono. La conexión es opcional y no convierte la absorción futura de un bosque en un dato fijo conocido de antemano.

Referencias

[1] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Capítulo 4: Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-4/>

[2] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, especialmente la figura SPM.5 y el apartado C.1. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>