

# Consideraciones sobre el uso del riesgo de sucesos climáticos extremos

EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ. AEMET, MADRID

Desde hace unos años en estudios acerca de la relación de sucesos climáticos extremos con el cambio climático se vienen considerando medidas que se basan en el riesgo del suceso extremo bajo diferentes escenarios del clima. El riesgo del suceso climático extremo bajo un escenario dado se define, en este contexto, como la probabilidad de que ocurra un suceso al menos tan extremo como el mismo bajo el escenario considerado.

**E**n el ejemplo que voy a considerar en este artículo, ola de calor, si esta se mide por la temperatura media durante el verano en una región dada, su riesgo bajo un escenario dado sería la probabilidad de que ocurra una temperatura media en verano sobre la región igual o superior a la correspondiente a la ola de calor estudiada (o sea, que hubiera una ola de calor al menos tan extrema como la observada). Lo que entonces se hace es comparar el riesgo del suceso extremo bajo un escenario con forzamiento por gases de efecto invernadero antropogénicos y el riesgo bajo un escenario sin gases de efecto invernadero de origen antropogénico. En concreto se suele usar la razón de ambos riesgos, que notaré por  $R$ ; entonces  $1 - 1/R$ , representaría la fracción de riesgo con forzamiento antropogénico atribuible en exclusiva a dichos gases (es el incremento de riesgo con gases antropogénicos respecto a riesgo sin gases dividido por el riesgo con gases antropogénicos). Esta magnitud ( $1 - 1/R$ ) se designa por *far* (*fraction of attributable risk*, Stone y Allen 2005). Así, una *far* de 0.8 indicaría que del riesgo total bajo forzamiento hay un 80% que viene del forzamiento, y un 20% que viene de causas naturales.

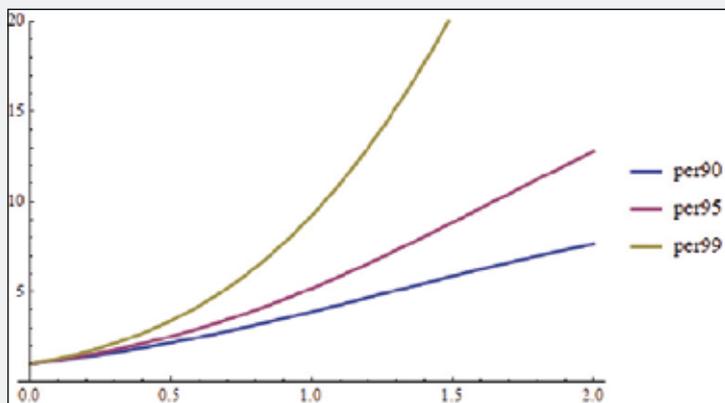
Medidas como las anteriores permiten comparar las frecuencias a largo plazo del suceso extremo bajo los dos escenarios considerados, y por ende también comparar los costes acumulados por el suceso extremo considerado (más exactamente por sucesos al menos tan extremos como el considerado) a lo largo de periodos de tiempo largo bajo los dos escenarios. Si por ejemplo  $R=5$  esto indica que cabe esperar, tras un número de años, que el costo medio de los daños provocados por el suceso extremo (y otros más extremos) sería 5 veces mayor bajo el escenario con forzamiento que sin él, en promedio. Esto se deduce de que el valor esperado de ocurrencias de un

suceso extremo de riesgo anual  $r$ , a lo largo de  $N$  años, es  $N \cdot r$  (suponiendo independencia de las posibles ocurrencias anuales). Suponiendo además que el costo medio de cada ocurrencia es igual bajo los dos escenarios, entonces la razón de costes promedio es igual a la razón de riesgos.

Hasta aquí no hay nada que objetar a este tipo de medidas. El problema surge cuando se intentan utilizar para dar una idea de lo probable que es que un suceso extremo concreto haya sido causado por el cambio climático. Porque hay que recordar que el cambio climático o su probabilidad solo se pueden valorar a partir de análisis globales del clima, los sucesos individuales no cuentan prácticamente nada para esto. Si la pregunta concreta es si el cambio climático ha causado un suceso extremo hay que decir que así planteada la pregunta en rigor no tiene respuesta, pues tanto con cambio como sin él el suceso podría darse, al no conocerse hasta ahora límites físicos estrictos que el clima natural no pueda sobrepasar y el modificado por el cambio climático sí, o viceversa.

Pero analicemos con más detalle las limitaciones de  $R$  para este tipo de cuestiones. En primer lugar hay que decir que el hecho de que un suceso extremo tenga una  $R$  alta, como 5, no permite deducir que con alta probabilidad haya sido debido al cambio climático antropogénico. Para aclarar esto planteemos la cuestión en términos probabilísticos. Una primera precisión es que el suceso extremo hay que definirlo, como se hizo antes con la ola de calor, a partir de un umbral en la forma “alcanzar el umbral” o similares, de tal forma que el suceso extremo observado incluye también todos los más extremos que él. De esta forma se evitan probabilidades nulas<sup>1</sup> (en adelante se sobreentenderá esto cuando hable de la probabilidad de un suceso extremo). Para el suceso extremo designemos por  $\text{prob}(\text{Ex} | \text{CC})$  su probabilidad bajo el escenario con cambio climático antropogénico (CC), y por

$\text{prob}(\text{Ex}|\text{Nat})$  su probabilidad bajo el escenario sin forzamiento antropogénico (Nat). Además, supongamos que las probabilidades *a priori* (es decir, antes de la observación del suceso extremo) de cada escenario son respectivamente  $\pi(\text{CC})$  y  $\pi(\text{Nat})$ . Entonces la probabilidad de que el cambio climático ocasione un extremo sería la probabilidad de que concurren ambos sucesos CC y Ex. Aplicando la ley para la probabilidad compuesta tenemos  $\text{prob}(\text{CC y Ex}) = \pi(\text{CC}) * \text{prob}(\text{Ex} | \text{CC})$ , y análogamente para el otro escenario  $\text{prob}(\text{Nat y Ex}) = \pi(\text{Nat}) * \text{prob}(\text{Ex} | \text{Nat})$ . El cociente entre ambas probabilidades es  $R * \pi(\text{CC}) / \pi(\text{Nat})$ . De esto se deduce que tenemos que conocer las probabilidades *a priori* de CC y Nat para poder hablar propiamente de atribución de causas de un extremo. Y la probabilidad  $\pi(\text{CC})$  frente a  $\pi(\text{Nat})$  hay que estimarla con estudios globales de atribución, no es posible hacerlo solo a partir del extremo. En suma, R por sí solo no es suficiente para la atribución de causas del extremo.



**Fig 1: Variación de R con el cambio de la media con distribuciones normales (explicación en texto)**

Olvidar lo anterior conduce a conclusiones absurdas. Si alguien propusiera un mecanismo extravagante que generara un clima parecido al clima forzado por gases antropogénicos, tal como se debe a la posición de la Tierra en la Galaxia (una vez alguien con algún conocimiento de ciencia me dijo que estaba convencido de esto), entonces encontraría una R para una ola de calor extrema similar a la R encontrada con las simulaciones climáticas con forzamiento. Pero, por supuesto, de esto no cabría deducir sin más que la ola de calor había sido causada con alta probabilidad por el mecanismo extravagante. En nuestro esquema anterior, la probabilidad *a priori* de tal me-

canismo sería muy baja, *ergo* la probabilidad de que se dieran a la vez el mecanismo y el extremo seguiría siendo muy baja.

Otra consideración importante es que, como sucede con todos los parámetros estadísticos relacionados con extremos, la incertidumbre de R es muy grande (las limitaciones de los extremos en problemas relacionados con el cambio climático las traté con más extensión en el n° 30 de este boletín, ver ref.) Pequeñas variaciones en uno de los dos escenarios considerados varían fuertemente R, tanto más cuanto más extremo es el suceso. Esto se ilustra en la figura 1. Esta figura representa cómo varía la R definida a partir de distribución normal con  $\sigma=1$ , considerando como escenario de base media=0, y como escenario modificado (en el papel de escenario forzado) media variable creciente (representada en abscisas). Se consideran tres extremos que se definen por el percentil de la normal estándar (escenario base) que se indica para cada línea. Vemos que para un suceso de probabilidad de excedencia 0.01 (percentil 99) la R para media=1 es  $\sim 9$  y para media=1.5 es  $\sim 20$ , lo que da idea de la fortísima variación de este parámetro con una modesta modificación del escenario<sup>2</sup>. Como los escenarios obtenidos con modelos climáticos con distintos forzamientos contienen importantes incertidumbres y estas incertidumbres se amplifican mucho al estimar R debido a la fuerte sensibilidad de R al escenario, queda claro que R está afectada de fuertes incertidumbres.

Vemos entonces que las R de eventos extremos, sobre todo de carácter más local, se comportarán como hinchas relativamente escasos (los extremos por definición aparecen con baja frecuencia), radicales (altos valores para pequeñas variaciones de parámetros de centralidad, ver fig.1) y ruidosos (incertidumbre) de las hipótesis que apoyen, como es el caso de la hipótesis del cambio climático antropogénico para la R de olas de calor. Por tanto no parecen muy de fiar para valorar la probabilidad de escenarios climáticos, de nuevo hay que recordar el conocido axioma de que el tamaño de la muestra en las inferencias probabilísticas sí que importa.

Además es muy fácil obtener conclusiones erróneas a base de medidas como R simplemente teniendo una mirada sesgada hacia el tipo de evento y sus consecuencias. Por ejemplo, es bastante llamativo que en el caso de olas de calor en seguida se estime la R acompañada de estimaciones de costes incurridos por el cambio climático antropogénico, pero muy escasos o nulos son los estudios en que tras la ocurrencia de olas de frío se estime su R, que lógicamente les da menos proba-

<sup>1</sup> Si hablamos de la probabilidad de que la temperatura sea digamos 38°C esta estrictamente es nula para cualquier distribución corriente como la normal que no tenga átomos de probabilidad, esto es, que no asigne probabilidad mayor de cero a valores concretos.

<sup>2</sup> También es importante caer en la cuenta de que R aumenta con la media en la fig. 1, lo que quiere decir que cuanto más calentamiento tengamos bajo el escenario forzado mayor será R. Esto es otra razón más para que R no puede interpretarse sin más como un grado de evidencia a favor del cambio climático a partir de un suceso, pues si alguien generase un escenario con un calentamiento descabellado obtendría una R aún más alta, y esto por supuesto no querría decir que el escenario descabellado es por ello más probable que el más realista.

# Consideraciones sobre el uso del riesgo de sucesos climáticos extremos

EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

bilidad con el escenario de clima con forzamiento antropogénico, y los costes que el cambio climático antropogénico haya podido evitar con la reducción de la probabilidad de este tipo de sucesos extremos. No parece esto muy acorde con la racionalidad económica, y desde luego, para la inferencia probabilística es esencial evitar los sesgos en la muestra elegida hasta donde sea posible.

Quisiera terminar con unas notas acerca del problema de la comunicación de resultados de estudios basados en R. En todo lo relacionado con extremos climáticos es fácil comprender que la tensión, siempre presente en el problema del cambio climático, entre el rigor y la repercusión mediática, se agudiza hasta el extremo (valga la redundancia) Los extremos son muy “noticiables” debido a los impactos que acarrearán, y a que por su carácter de desviación acusada de lo normal llaman mucho la atención. Pero por desgracia hemos visto que, en rigor, su utilidad para la atribución de causas está muy condicionada y sometida a grandes incertidumbres. Por ello la tentación de caer en su utilización simplista es máxima. A modo de ejemplo, copio de un conocido blog sobre meteorología el siguiente comentario sobre un estudio acerca de la ola de calor en Australia del verano austral pasado (Lewis y Karoly 2013), que creo sirve para ilustrar perfectamente esta problemática: “El estudio afirma que, con una confianza aproximada del 90 por ciento, esa ola de calor tenía cinco veces más probabilidad de ocurrir en un escenario de calentamiento global antropogénico que en otro que sólo tuviera en cuenta la variabilidad natural de la atmósfera; es decir, hay una probabilidad muy elevada de que esa ola de calor tenga bastante que ver con el aumento de gases de efecto invernadero.”

Aunque la primera parte de esta frase es cierta en sentido literal, creo que la mayor parte de los lectores sacarán conclusiones incorrectas del párrafo en conjunto. En primer lugar, el nivel de confianza del 90% que se menciona es para

la R exclusivamente, bajo los dos escenarios supuestos (suponiendo además que las simulaciones del clima bajo los dos escenarios son correctas). Al aparecer en el comienzo del párrafo el lector tenderá a extender ese nivel alto de confianza también a la conclusión de que “hay una probabilidad muy elevada de que esa ola de calor tenga bastante que ver con el aumento de gases de efecto invernadero.” Ya hemos visto que ese nivel de confianza no puede aplicarse a la conclusión, pues en todo caso una atribución causal requeriría una consideración de las probabilidades *a priori*. Además, es muy difícil precisar a qué suceso en concreto se aplica la probabilidad muy elevada de que se habla<sup>3</sup>. Por último, la expresión ilativa “es decir”, que conecta las premisas con la conclusión, parece indicar que la deducción de la conclusión a partir de las premisas es trivial, lo cual puede confundir aún más a algún lector crítico que se plantee dudas al respecto. En suma vemos que a base de verdades parciales, un lenguaje impreciso y una falsa seguridad, se consigue un efecto tendencioso, y esto creo que en nada ayuda a un debate sereno y a una información objetiva a la opinión pública sobre un asunto de tanto calado.

Un conocido climatólogo que ha participado activamente en el IPCC, y que por cierto no es nada sospechoso de escepticismo respecto al cambio climático antropogénico, terminaba un artículo recientemente con estas palabras (Trenberth, 2012):

*“Scientists are frequently asked about an event “Is it caused by climate change?” The answer is that no events are “caused by climate change” or global warming, but all events have a contribution. Moreover, a small shift in the mean can still lead to very large percentage changes in extremes. In reality the wrong question is being asked: the question is poorly posed and has no satisfactory answer. The answer is that all weather events are affected by climate change because the environment in which they occur is warmer and moister than it used to be.”<sup>4</sup>*

<sup>3</sup> La confusión aumenta al correlacionar “probabilidad muy elevada” con “tiene bastante que ver”, lo primero denota certidumbre y lo segundo lo contrario.

<sup>4</sup> “Los científicos se enfrentan a menudo con la siguiente pregunta respecto a un suceso (climático): “¿Ha sido causado por el cambio climático?”. La contestación es que ningún suceso “está causado por el cambio climático” o calentamiento global, pero que todos los sucesos contribuyen. Además, un cambio pequeño en la media puede conducir a cambios porcentuales grandes en los extremos. En realidad se plantea una pregunta equivocada, que está mal planteada y no tiene una respuesta satisfactoria. La contestación es que todos los episodios del tiempo atmosférico están afectados por el cambio climático porque el entorno en que suceden es más cálido y húmedo de lo que solía ser”.

## Referencias

- S. C. Lewis and D. J. Karoly, “Anthropogenic contributions to Australia’s record summer temperatures of 2013” *Geof. Res. Letters* vol. 40, 3705–3709, doi:10.1002/grl.50673, 2013
- D. A. Stone and M.R. Allen, “The End-To-End Attribution

Problem: From Emissions To Impacts” *Climatic Change* (2005) 71: 303–318 doi: 10.1007/s10584-005-6778-2

- J.A. López, “¿Son útiles para la detección del cambio climático los cambios en la frecuencia de los sucesos

climáticos extremos?”, pags. 35-37 del Boletín de la AME, nº 30, 2010

- Trenberth, “Framing the way to relate climate extremes to climate change”, *Climatic Change* (2012) 115:283–290 DOI 10.1007/s10584-012-0441-5