Riesgo y tasa de descuento para sucesos climáticos extremos en un contexto de cambio climático

José Antonio López Díaz. AEMET - Madrid

Concepto de riesgo

En las discusiones sobre la evaluación del impacto de eventos climáticos extremos y su posible variación por el calentamiento global es habitual tratar de evaluar su riesgo. Este se define de forma convencional como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un suceso y del impacto o pérdida asociada al mismo, es decir, la fórmula básica del riesgo es:

$$\mathbf{R = P\ L} \qquad (1)$$

Siendo **R** el riesgo, **P** la probabilidad de ocurrencia del suceso y **L** la pérdida sufrida en caso de que se produzca. Este concepto de riesgo está ciertamente sujeto a muchos debates y consideraciones, en esencia debidos a que resumir en un solo número el efecto de dos aspectos diferentes, cuales son la probabilidad y la pérdida, siempre es difícil. La lógica detrás de la anterior definición es caracterizar el riesgo como el valor esperado (con más rigor la esperanza matemática) de las pérdidas siendo estas representadas por una variable aleatoria con probabilidad **P** de tomar el valor **L** y probabilidad **1 - P** de tomar el valor **0**. Por tanto suponemos un contexto en que consideramos varios escenarios en que en cada uno de ellos, independientemente, el suceso tiene una probabilidad **P** de ocurrir, y estimamos la pérdida media que experimentaríamos caso de tender el número de escenarios a infinito. Además suponemos implícitamente que nos comportamos de forma neutral frente al riesgo, o sea, que valoramos de igual manera recibir de forma segura 1000 euros que recibir un boleto para un sorteo en que con probabilidad 10% nos puedan tocar 10.000 euros. Estas suposiciones son problemáticas y han dado lugar a muchos debates sobre el concepto de riesgo, pero la definición mostrada antes es la más extendida, y tiene al menos la virtud de combinar de forma sencilla las dos variables que sin duda tienen más relevancia en este concepto.

Uno de los argumentos utilizados en las críticas de este tipo de magnitudes es que la percepción subjetiva de sucesos de baja probabilidad y alta pérdida asociada está distorsionada en uno u otro sentido. A veces se es en exceso alarmista, imaginando que el riesgo real asociado a este tipo de sucesos es mayor que lo que una evaluación "racional" arrojaría. Por ejemplo la probabilidad de morir en accidente de carretera se suele infravalorar frente a otros sucesos más impactantes pero menos probables como morir de un rayo. En otras ocasiones se constata que el riesgo asociado a eventos muy poco probables pero con mucha pérdida se "sale de la pantalla" de los riesgos, y no se tienen en cuenta de forma efectiva (con una actitud de resignación fatalista, del tipo "de algo hay que morir").

Tengo la impresión de que hay un factor que podría explicar parte de las anteriores "desviaciones" frente a la "racionalidad", y que no se suele tener en cuenta. Me refiero al tiempo de ocurrencia del suceso extremo, y más concretamente a su dependencia (o no) con la probabilidad de ocurrencia. La idea es que si esperamos que el suceso ocurra más lejos en el futuro entonces es lógico "descontar" una proporción de la pérdida, pues sabemos que una pérdida (o ganancia) en el futuro distante nos afecta menos que en el futuro próximo o presente. Esto se ha formalizado en economía, incluido en la economía aplicada al cambio climático, con la noción de factor y tasa de descuento.

El factor de descuento

El factor de descuento **l(t)** refleja la atenuación que el paso del tiempo produce en una pérdida (o ganancia) que acontece en el tiempo **t** años en el futuro, cuando la expresamos como pérdida en el presente:

$$\mathbf{L(0) = l(t)\ L(t)} \qquad (2)$$

donde **L(t)** es la pérdida en el tiempo **t** y **L(0)** la pérdida transformada al presente. Este factor en los análisis de cambio climático es inferior a la unidad, reflejando que el futuro importa menos que el presente. En los análisis de este factor de descuento, como en el informe Stern , se tienen en cuenta dos componentes principales: el denominado descuento temporal puro y un factor que tiene que ver con la evolución del consumo y su utilidad. El factor de descuento temporal puro ha dado lugar a muchos debates éticos pues refleja la pura preferencia por las generaciones presentes frente a las futuras, y por esto muchos sostienen, con argumentos éticos o filosóficos, que tiene que valer en esencia uno, lo que supone estricta equidad respecto a las generaciones futuras. Estos, como Stern, sólo admiten una pequeña contribución al descuento temporal puro, proveniente de la posibilidad de una extinción de la especie humana, o una disminución drástica de la misma por algún tipo de catástrofe. En el informe Stern la tasa de descuento temporal pura (ver fórmula 4)se estableció en **0.1%** anual.

Todavía si cabe más sujeta a incertidumbre es la otra componente del factor de descuento, denominada también la tasa social de descuento, que refleja básicamente la aversión a la desigualdad en la distribución del consumo. En el informe Stern se usa la expresión para el factor de descuento

$$\mathbf{l(t)} = \mathbf{c}^{-\eta}\ \mathbf{e}^{-\theta t} \quad (3)$$

en la que **c** es el consumo en el tiempo **t** y η es la denominada elasticidad de la utilidad marginal del consumo, mientras θ es la tasa de descuento temporal puro. El primer factor de la expresión en la derecha de (3) contribuye a la incertidumbre acerca de la tasa de descuento social tanto por los niveles futuros de consumo, como por la decisión acerca de η, decisión esta que refleja esencialmente valores éticos. En el informe Stern se tomó $\eta = 1$, lo que ha sido criticado por distinguidos economistas como Partha Dasgupta, en el sentido de reflejar relativa indiferencia hacia las desigualdades y pobreza presentes frente al bienestar de las generaciones futuras. Este economista defiende valores de η en el rango **2**-**4**, que de acuerdo con (3) dan una forma de **l (t)** mucho más cóncava, por lo que este factor de descuento aumentaría relativamente más que con $\eta = 1$ en el caso de una redistribución más igualitaria del consumo **c**. Estas cuestiones y otras relacionadas se tratan en el libro de Mike Hulme *Why we disagree about climate change* recientemente reseñado en este boletín. Este libro, excelentemente escrito y muy interesante en general, peca en mi opinión de simplificar en exceso la discusión sobre el factor de descuento (Cap. 4), al no distinguir debidamente las dos componentes que lo integran. Como se deduce de (3), incluso admitiendo como Stern o Dasgupta una tasa temporal pura θ muy baja, si creemos que las generaciones venideras van a ser mucho más ricas que las actuales (crecimiento alto de **c** en el futuro) o si postulamos una η relativamente alta, el factor de descuento puede alejarse mucho de la unidad (mucha atenuación con el paso del tiempo).

Pero dejando aparte estos interesantes debates sobre la cuantía del factor de descuento, lo que sí es cierto es que la consideración de posibles pérdidas/ganancias en un futuro, especialmente si es lejano, requiere en un enfoque racional la introducción de un factor de descuento. Una simplificación habitual, que usaré aquí, es considerar una tasa de descuento, definida como la derivada logarítmica del factor de descuento, constante, lo que conduce a una expresión sencilla para el factor de descuento:

$$\mathbf{l(t)} = \mathbf{e}^{-\delta t} \quad (4)$$

siendo δ es la tasa de descuento. En esta expresión consideramos el tiempo como variable continua; si se expresa, como es usual, la tasa de descuento en términos de porcentaje anual **r** (por ejemplo en el informe Stern se asume una tasa anual de 1.4%) la relación con el δ anterior es:

$$\delta = -\ln\,[1-r/100] \approx r/100 \quad (5)$$

Riesgo en presencia de descuento

Volvamos ahora al concepto de riesgo y veamos cómo podemos introducir la dimensión temporal, ausente de la definición habitual (1). Para ello supongamos que el suceso extremo, con probabilidad de ocurrencia **P** y pérdida asociada **L**, responde al siguiente proceso estocástico: la variable aleatoria **Oc** (de ocurrencia) toma valor **1** con probabilidad **P** y valor **0** con probabilidad **1 – P**, y condicionado a **Oc** = **1** el tiempo de ocurrencia del suceso **t** (el presente corresponde a **t** = **0**) se distribuye como una variable aleatoria exponencial de parámetro λ. Esto quiere decir que, condicionado a **Oc** = **1**, la probabilidad de que el tiempo de ocurrencia sea posterior a **t** = **z** vale $\mathbf{e}^{-\lambda z}$. Por tanto la función de densidad del tiempo de ocurrencia, condicionado a **Oc** = **1**, toma la forma:

$$\mathbf{f\ (t \mid Oc = 1)} = \lambda\, \mathbf{e}^{-\lambda t} \quad (6)$$

Este modelo para el tiempo de ocurrencia equivale a suponer que, condicionado a **Oc** = **1** , y a que el suceso no ha ocurrido antes de **t** = **z**, entonces la probabilidad de ocurrencia en el intervalo infinitesimal [**z**, **z + dz**] es igual a λ **dz**. De este modo la tasa de ocurrencia es lo más sencilla posible en su dependencia temporal (no depende del tiempo, condicionado a que el suceso ocurra). El tiempo medio de espera para el suceso, condicionado a **Oc** = **1**, denominado también periodo de retorno, vale **1 /** λ, pero el tiempo medio de espera sin condicionar vale infinito si, como parece natural, asociamos a **Oc** = **0** un tiempo de espera infinito y **P** < **1**. Si **P** = **1** el suceso ocurre con seguridad y su tiempo de espera medio es **1 /** λ**.**

Normalmente esperamos que si la probabilidad de ocurrencia **P** es baja, el tiempo de espera medio (condicionado a ocurrencia) será mayor, o sea, λ será baja, y viceversa. A favor de este modelo, además de la simplicidad, está el hecho de que produce una evolución con el tiempo de la probabilidad de ocurrencia (condicionada al pasado), de tal suerte que cuanto más tiempo pasa sin haber ocurrido el suceso la probabilidad de ocurrencia condicionada a este hecho se hace cada vez menor, ya que :

$$\mathbf{pr\ [Oc = 1 \mid} \text{ el suceso no ha ocurrido antes de } \mathbf{t = z] = (1 + P^{-1}\,(1 - P)\,e^{\lambda z})^{-1}} \quad (7)$$

Esta fórmula muestra que para **t** = **0** la probabilidad de ocurrencia es **P,** como es lógico, pero, a medida que **z** aumenta, la probabilidad de que el suceso finalmente ocurra va decayendo exponencialmente. Esto es más coherente con un planteamiento racional en muchos casos que suponer **P** constante e invariable, como supone implícitamente la fórmula simple (1), puesto que si el suceso tiene una incertidumbre en cuanto a su ocurrencia, lo que es cierto si **P** < **1**, parece lógico que cuanto más tiempo pasa sin ocurrir mayor sea la verosimilitud de que finalmente no ocurra (esto es claro si, por ejemplo, las causas del suceso tienen una ventana temporal finita para actuar).

Con este modelo estocástico podemos calcular la pérdida esperada, suponiendo tasa de descuento $\boldsymbol{\delta}$:

$$\mathbf{R = P\,L\,(1 + (\delta\,/\,\lambda))^{-1}} \qquad (8)$$

El nuevo factor $\mathbf{(1+ (\delta\,/\,\lambda))^{-1}}$ que multiplica a la fórmula (1) anterior muestra el efecto de la dependencia temporal introducida en presencia de la tasa de descuento. Es notable que este factor sólo depende del cociente $\boldsymbol{\delta\,/\,\lambda}$, lo que simplifica el análisis. Vemos que, como era de esperar, para $\boldsymbol{\lambda} = \infty$ (no hay dinámica temporal en el suceso, pues el suceso, caso de ocurrir, lo hace con probabilidad **1** en $\mathbf{t} = \mathbf{0}$) (8) se reduce a (1). Esto mismo sucede si $\boldsymbol{\delta} = \mathbf{0}$, o sea, si no hay descuento el tiempo de ocurrencia es indiferente (esto es lo que implícitamente supone (1)). En la Fig. 1 se muestra la variación del factor $\mathbf{(1+ (\delta\,/\,\lambda))^{-1}}$ con $\boldsymbol{\lambda}$ para cuatro valores de la tasa de descuento. Como era de esperar, el aumento de la tasa de descuento, para $\boldsymbol{\lambda}$ fija, conduce a una disminución del nuevo riesgo, pues la pérdida futura se ve más atenuada. En el otro sentido de dependencia, para $\boldsymbol{\delta}$ fija, cuanto menor es $\boldsymbol{\lambda}$ mayor es la atenuación del riesgo dado por (8), pues el tiempo de espera medio (condicionado a ocurrencia), y por tanto la atenuación, es mayor para el suceso.

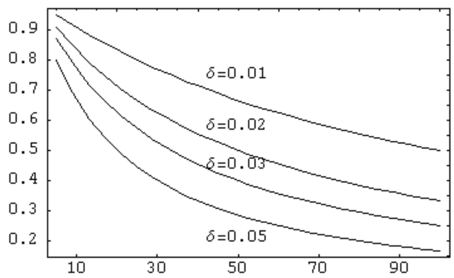

Figura 1 - Cociente entre el riesgo (8) y el riesgo atemporal (1) (en abscisas $\boldsymbol{\lambda^{-1}}$)

Por otra parte es de destacar que la modificación que introduce el nuevo factor en el riesgo no es desdeñable en absoluto para los valores realistas de $\boldsymbol{\lambda}$ y $\boldsymbol{\delta}$ que se han considerado. Recordemos que el informe Stern consideró un $\boldsymbol{\delta}$ de **0.014**. Con este valor, un suceso con tiempo de espera medio (condicionado a ocurrencia) de 30 años ve reducido su riesgo en un 30 %. Para los sucesos con tiempos de espera del orden de 100 años el factor de reducción es del orden de **0.5,** incluso para el menor de los descuentos considerado.

Tendencia en λ

Pasemos ahora a considerar que el cambio climático antropogénico puede alterar la tasa de ocurrencia temporal $\boldsymbol{\lambda}$ de nuestro suceso, y supongamos una tendencia lineal en la misma. En concreto, supongamos que, condicionado a $\mathbf{Oc = 1}$ y a que el suceso no ha ocurrido en $\mathbf{[0, z]}$, la probabilidad de que ocurra en $\mathbf{[z,z + dz]}$ es, en lugar de $\boldsymbol{\lambda}\,\mathbf{dz}$ como antes, $\mathbf{(\lambda + \beta\, z)\, dz}$. Supondremos que la tasa de ocurrencia crece con el tiempo, esto es, $\boldsymbol{\beta} > \mathbf{0}$. Por tanto ahora esta probabilidad infinitesimal crece linealmente con $\mathbf{t}$, con pendiente $\boldsymbol{\beta}$. En estas condiciones la fórmula anterior (6) para la densidad condicionada pasa a ser:

$$\mathbf{f\ (t \mid Oc = 1)\ = (\,\lambda + \beta\,t)\ Exp[\,-\lambda\,t - \tfrac{1}{2}\,\beta\,t^2\,]} \qquad (9)$$

Podemos con esta expresión recalcular la pérdida esperada y ver el efecto de la tendencia. Este efecto es siempre positivo, es decir, la pérdida esperada aumenta al introducir una tendencia positiva en la tasa de ocurrencia temporal, pues el efecto de esta última es reducir el tiempo de espera medio (y por tanto reducir la atenuación por descuento).

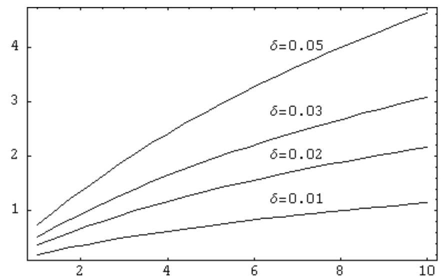

Figura 2 - Porcentaje de aumento en la pérdida esperada debido a la tendencia para $\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{1/5}$. En abscisas la pendiente de la tasa de ocurrencia, expresada como $\mathbf{100\ \beta\,/\,\lambda}$

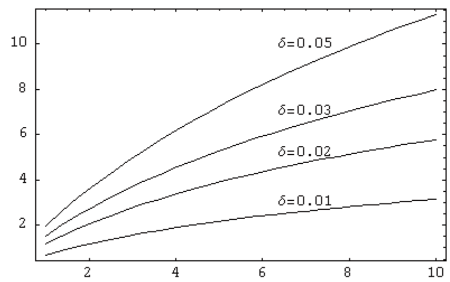

Figura 3 - Como en la figura 2 para $\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{1/10}$

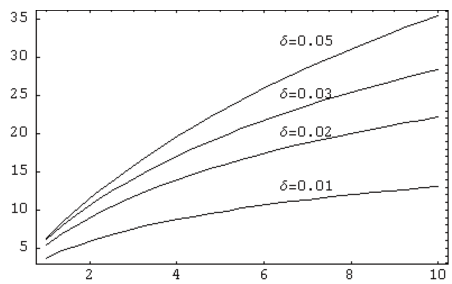

Figura 4 - Como en la figura 2 para $\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{1/30}$

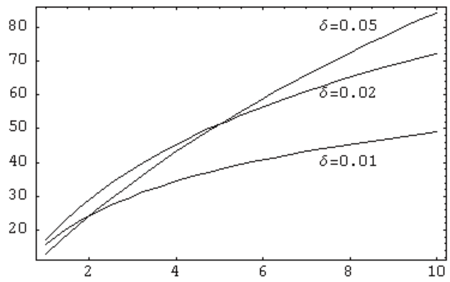

Figura 5 - Como en la figura 2 para **λ = 1/100**

En las Figs. 2, 3, 4 y 5 se recoge la variación porcentual de la pérdida esperada debida a la presencia de la tendencia β (expresada en porcentaje de la tasa base λ) para cuatro valores de λ. Observamos en primer lugar que la variación porcentual de la pérdida esperada crece a medida que decrece λ, esto es, para los suceso con mayor tiempo de espera. Estos suelen ser los de tipo más catastrófico, con menor probabilidad de ocurrencia. La Fig. 4 muestra que para sucesos con tiempo de espera medio sin tendencia, condicionado a ocurrencia, de 30 años, el aumento porcentual de la pérdida esperada con una tendencia β que duplica la tasa de ocurrencia λ en 20 años (que corresponde a una abscisa en la figura de 5) varía, para las tasas de descuento consideradas, entre un 10% (para el menor descuento) y un 25% (para el mayor descuento). Para sucesos con una tasa de ocurrencia base aun menor, como en la Fig. 5 (**λ = 1/100**), vemos que la variación porcentual en la pérdida esperada inducida por la tendencia, incluso expresando esta en porcentaje de la tasa base como en las figuras, es muy sustancial.

También es interesante comentar que la variación porcentual en la pérdida esperada crece prácticamente en todos los casos con la tasa de descuento **δ**, por lo que si se adopta una tasa de descuento alta, que atenúa mucho el futuro, y disminuye por tanto la urgencia de actuar contra el cambio climático, hay que aceptar que el previsible incremento en la tasa de ocurrencia de sucesos extremos aumentará la pérdida esperada porcentualmente más que si la tasa de descuento adoptada es baja. Así pues, aunque una mayor tasa de descuento reduce más en términos absolutos la pérdida esperada, como muestra la Fig. 1, el aumento marginal de la pérdida esperada con la tendencia en la tasa de ocurrencia inducida por el cambio climático, es mayor también.

Definiciones de descuento en el cuarto informe del IPCC

Discount rate: *The degree to which consumption now is preferred to consumption one year hence, with prices held constant, but average incomes rising in line with GDP per capita.* (AR4, II)

Discounting: *A mathematical operation making monetary (or other) amounts received or expended at different points in time (years) comparable across time. The operator uses a fixed or possibly time-varying discount rate (>0) from year to year that makes future value worth less today. In a descriptive discounting approach one accepts the discount rates people (savers and investors) actually apply in their day-to-day decisions (private discount rate). In a prescriptive (ethical or normative) discounting approach the discount rate is fixed from a social perspective, e.g. based on an ethical judgement about the interests of future generations (social discount rate).* **(AR4, III)**

Bibliografía

Stern, N., 2006: *Stern review on the economics of climate change. HM Treasury, London.*(Disponible en internet)

Dasgupta, P., 2006: *Comments on the Stern Review's economis of climate change.* (Disponible en internet)

Hulme, M., 2009: *Why we disagree about climate change.* Cambridge University Press.