

Economía del Cambio Climático

Geoffrey Heal

Journal of Economic Literature 2017, 55(3), 1046-1063

<https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jel.20151335>

Traducción: Enrique A. Bour

Resumen

Examino las características económicas del problema climático, centrándome en la elección de tasas de descuento en presencia de una externalidad de stock, riesgo e incertidumbre /ambigüedad, y la función de los modelos de evaluación integrada (MEI) en el análisis de las opciones de política. Sugiero que los MEI pueden desempeñar un cometido en la comprensión cualitativa de la forma en que se comportan los sistemas complejos, pero no son lo bastante precisos como para proporcionar conocimientos cuantitativos. Los argumentos a favor de actuar en cuestiones climáticas tienen que basarse en una aversión al riesgo y en la ambigüedad y la necesidad de evitar un riesgo reducido aunque positivo de un resultado desastroso.

(JEL D61, H43, Q48, Q54, Q58)

1. Introducción

Los economistas han estado pensando en el cambio climático desde la década de 1960, casi medio siglo ya. Robert Ayres y Allen Kneese discutieron el consumo de oxígeno y su conversión en dióxido de carbono (CO₂) en su artículo de 1969 en la *American Economic Review*, y Kneese continuó comentando: "Si tuviéramos que controlar cosas como la producción de energía y CO₂ en el mundo, nos enfrentaríamos a un problema económico y político de asignación de recursos de una dificultad y complejidad sin precedentes" (Kneese 1971, citado en Carson 2014), un comentario muy clarificador.

Desde el principio quedó claro que éste, como señala Kneese, es un problema de inusitada complejidad, que lleva hasta sus límites las herramientas del análisis económico y que en el proceso nos obliga a perfeccionarlas (véase también Heal 1991). En un principio, la literatura sobre clima era limitada, pero durante la última década el número de contribuciones ha crecido exponencialmente. Dos libros recientes particularmente interesantes son *Sustainability for a Warming Planet* de Humberto Llavador, John E.

Roemer y Joaquim Silvestre (en adelante, LRS) y *Climate Shock: The Economic Consequences of a Hotter Planet* de Gernot Wagner y Martin L. Weitzman (en adelante, WW).

Hay una repercusión en la escala de tiempo del cambio climático que ha sido obvia a partir de la palabra "ir": es importante la tasa de descuento. El cambio climático se desarrolla a lo largo de siglos, y decisiones a lo largo de siglos son extraordinariamente sensibles a las tasas de descuento. Esto ha provocado intensos debates sobre cuál es la tasa de descuento "correcta" y, de manera más productiva, sobre si queremos hacer el descuento de forma adecuada. En cualquier debate de este tipo es fundamental distinguir entre la tasa pura de preferencia temporal, que es la tasa a la que se descuenta la utilidad, y la tasa de descuento del consumo, que es la tasa a la que cae el valor de un incremento del consumo a lo largo del tiempo. Bajo supuestos adecuados, estas dos están relacionadas por la famosa regla de Ramsey, como veremos más adelante.

Otros elementos adicionales del debate se refieren a si debemos utilizar tasas de descuento constantes o decrecientes, y a cómo conciliar discrepancias sobre las tasas de descuento dentro de una comunidad. ¿Podemos usar las instituciones políticas para resolver los desacuerdos sobre tasas de descuento? Estrechamente relacionada está la elección de la elasticidad de la utilidad marginal, que al igual que la tasa de descuento tiene un profundo impacto sobre los méritos relativos de las alternativas de política.

Pensemos por un momento en los otros elementos del problema. Claramente hay una enorme incertidumbre. Aunque la ciencia subyacente es robusta, algunos detalles no lo son, lo que lleva a muchas incertidumbres profundamente arraigadas: No sabemos realmente si un escenario de seguir como hasta ahora conducirá a un aumento de la temperatura media global de la superficie de 3°C o 6°C a fines de este siglo. Y esta discrepancia de 3°C no es un detalle: podría ser la diferencia entre un mundo en el que nuestros estilos de vida actuales puedan continuar y una en el que la civilización como la conocemos haya terminado, aunque no sabemos esto con certeza. Igualmente importante, no sabemos lo que el futuro traerá en términos de fuentes de energía que no produzcan gases de efecto invernadero (GEI), o tecnologías para eliminar los GEI de la atmósfera. Para entender estos temas, debemos mirar al menos medio siglo hacia el futuro, y sólo tenemos una idea rudimentaria del tipo de mundo en el que viviremos entonces.

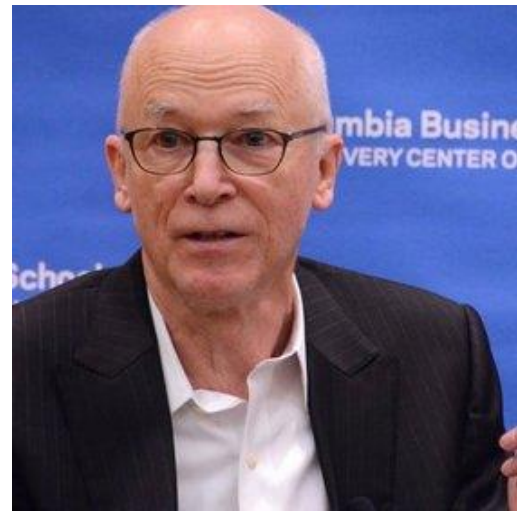
Por lo tanto, la forma de describir las incertidumbres que enfrentamos, la forma de modelarlas y lo que supone una elección racional a la luz de las mismas, son cuestiones fundamentales para el análisis de las políticas climáticas.

Las posibilidades de sustitución están en el centro de la comprensión de las perspectivas a largo plazo frente al cambio climático. ¿Qué tan fácil será sustituir energía sucia por energía limpia? Una pregunta más sutil se refiere a la sustitución de bienes y ser-

vicios derivados del mundo natural por los producidos, algo que inevitablemente ocurrirá si se pierde capital natural (bosques, biodiversidad) como resultado del cambio climático. Estas cuestiones son fundamentales para los debates sobre sustentabilidad.

Muchas de estas complejidades están subsumidas en las funciones de daño de los modelos de evaluación integrada (MEI), funciones que relacionan el cambio de temperatura con pérdidas económicas. Si bien estas funciones son obviamente fundamentales para las conclusiones que surgen de los MEI, están sujetas a todas las incertidumbres antes resumidas. Se supone que deben mapear un cambio de temperatura a un cambio de bienestar, pero la mayoría de los pasos que relacionan el primero con el segundo son inciertos, algunos de ellos muy importantes.

En el resto de este documento, reviso cada una de estas cuestiones por separado, y considero cómo están abordadas por las contribuciones de LRS y WW.



Geoffrey M. Heal
Soy Profesor de Economía en la Columbia Business School. Mis principales intereses académicos son teoría económica y economía ambiental. También estoy activamente involucrado con organizaciones ambientales
<https://geoffreyheal.com/>

2. Descuento

El marco filosófico estándar para pensar en las políticas climáticas ha sido el utilitarismo descontado, siguiendo el precedente de Ramsey (1928) y las tradiciones intelectuales de John Stuart Mill y Jeremy Bentham. Este es el criterio por defecto en casi todas las áreas de economía, aunque John Rawls haya tenido su momento. Solow (1974) examinó la justicia intertemporal en un marco rawlsiano, al igual que Dasgupta y Heal (1979), y Heal (1998) comparó las formalizaciones rawlsianas y utilitarias de sustentabilidad. El marco utilitario ha dado lugar a una intensa atención a la tasa de descuento, con un enfoque secundario sobre la elasticidad de sustitución intertemporal. Tanto la tasa pura de preferencia temporal como la elasticidad entran en la regla de Ramsey para la tasa social de descuento

$$r = \delta + \eta g,$$

donde r es la tasa social de descuento o tasa de descuento del consumo, δ la tasa pura de preferencia temporal, η la elasticidad de la utilidad marginal, y g la tasa de crecimiento del consumo. Casi todo el debate ha girado en torno a la elección de δ . La mayoría de los autores ven ésta como un parámetro ético, que refleja los juicios sobre el valor relativo de las actuales y futuras personas, en cuyo caso está determinada por introspección y debate. En la medida en que sea un parámetro ético, nosotros no podemos esperar un acuerdo general sobre su valor, más de lo que podamos esperar en

general acuerdo sobre la distribución apropiada del ingreso. Nordhaus (2007), sin embargo, ha considerado que se puede determinar δ observando r como rendimiento del capital, observando g , y adivinando la η , tal vez en base a la progresividad del sistema tributario. Pero como la tasa pura de preferencia temporal es un parámetro ético y las tasas de rendimiento son hechos empíricos, la ilegitimidad de deducir un "debería" de un "es" me parece definitiva en esta cuestión (como señalan David Hume e Immanuel Kant).

Una ironía que parece haber escapado a la mayoría de los comentaristas es que mientras que Nordhaus (2007), Stern (2006) y Weitzman (2007) invocan la ecuación de Ramsey en su elección de parámetros, esta ecuación no se aplica de hecho al problema de gestión óptima del clima. La razón es, por supuesto, el efecto externo asociado con la emisión de GEI - como dice Stern, probablemente el mayor efecto externo de toda la historia. El clásico problema de Ramsey puede ser enunciado como

$$\text{Max} \int_0^\infty u(c_t) e^{-\delta t} dt, \quad dk/dt = f(k_t) - c_t$$

donde c_t es el consumo en la fecha t , y k_t el capital social en esa fecha, dando lugar a la habitual ecuación de Ramsey como condición de primer orden:

$$r = df/dk = \delta + \eta (dc/c)/dt.$$

Si modificamos el problema de Ramsey para tener en cuenta el cambio climático, como hace Nordhaus en su modelo de Clima y Economía Integrados Dinámicos (DICE), el problema se convierte en

$$\text{Max} \int_0^\infty u(c_t) (1 - DT_t) e^{-\delta t} dt,$$

$$dk/dt = f(k_t) - c_t, \quad DT_t/dt = \alpha c_t$$

donde T_t es la temperatura en el tiempo t y $D(T_t)$ es una función de daño que denota la cantidad de producción que se pierde debido al daño climático. Aquí se supone que la tasa de cambio de temperatura dependa del nivel de consumo, un proxy de la actividad industrial. El equivalente a la ecuación de Ramsey en este modelo es

$$\begin{aligned} & \{ \eta (\dot{c}/c) + \delta \} \{ (\lambda - \alpha \eta) / \lambda \} + \\ & + (\alpha / \lambda) \{ \delta \mu + u dD/dT \} - u' dD/dT c \} = \\ & = df/dk = r \end{aligned}$$

donde λ es el multiplicador de Lagrange o precio sombra asociado al stock de capital y μ el asociado a la temperatura, por lo que, como cabría esperar sin necesidad de hacer cálculos, la relación entre la tasa de descuento social y la tasa pura de preferencia temporal depende de la naturaleza y el alcance de la externalidad infligida por el cambio climático. Esta ecuación se reduce a la habitual ecuación de Ramsey si no hay daños

por el cambio de temperatura ($\alpha=0$). Afirmar que es válida la ecuación normal de Ramsey es afirmar que el cambio climático no es relevante.

Weitzman (2001), Gollier y Weitzman (2010), Gollier (2012), y otros han llamado recientemente la atención sobre la posibilidad de que la tasa de descuento en el consumo r disminuya con el tiempo, y de hecho tanto los gobiernos del Reino Unido y Francia han institucionalizado ahora tasas de descuento decrecientes en el análisis costo-beneficio (para una revisión véase Arrow et al. 2014). La ecuación de Ramsey muestra que esto es claramente posible: de hecho, si la aplicamos a los propios resultados de Ramsey entonces, a lo largo de un camino óptimo en su modelo, el consumo asume la asíntota a un valor constante y g baja a cero, así que r se reduce a la tasa pura de preferencia temporal, lo que significa que la disminución de las tasas de descuento del consumo siempre ha estado implícita en el modelo neoclásico de crecimiento óptimo. Recientemente también ha surgido una sugerencia más perturbadora: que la tasa pura de preferencia temporal δ también debería ser variable en el tiempo y disminuir a lo largo del mismo. Esta idea surge como respuesta a la observación de que diferentes personas tienen diferentes tasas puras de preferencia temporal, y que por lo tanto es necesario que alguna institución concilie estas diferencias y halle una tasa que sea de alguna manera aceptable para todos. Gollier y Zeckhauser (2005) sugieren que esto debería hacerse encontrando una tasa de descuento eficiente, una que maximice una suma ponderada de las integrales de utilidad de todos los individuos: esto proporcionaría una trayectoria temporal Pareto-eficiente. Muestran que en una economía muy simple con un flujo exógeno constante de ingresos agregados, esto implica una tasa pura no constante de preferencia temporal que disminuye con el paso del tiempo. Heal y Millner (2013) amplían esto a un modelo más general, y continúan (en Millner y Heal 2014) comparando mecanismos económicos y políticos para reconciliar opiniones divergentes sobre el valor correcto de la tasa pura de preferencia temporal.

LRS hacen comentarios muy interesantes y novedosos sobre el descuento y más en general sobre el marco filosófico en el que tiene lugar la mayoría de los análisis económicos del cambio climático. *Sustainability For A Warming Planet* combina un modelo de evaluación integrado e innovador con un debate que invita a la reflexión y a la crítica de muchas de las cuestiones metodológicas que sustentan el uso de esos modelos.

LRS sitúan MEI no dentro del marco utilitario normal, sino dentro de lo que llaman un marco de *sustentabilidad*, que trata de niveles o tasas de crecimiento del bienestar que puedan mantenerse indefinidamente. Toman la idea de Solow-Rawls de que las generaciones futuras tienen derecho al mismo nivel de vida que la presente y la complementan con su inversa, es decir, que la presente tiene derecho al mismo nivel de vida que la futura. Además, invocan la distinción entre suerte bruta y suerte opcional, siendo la suerte bruta el resultado de loterías contra las que nadie puede asegurarse y la suerte opcional se refiere a riesgos que uno puede elegir o no. Así que nacer con talento o con una disposición genética al cáncer son ejemplos de (buena y mala) suerte bruta. Hacer una inversión exitosa es una buena suerte opcional. Discutiendo con los igualitarios de la suerte que beneficiarse con la suerte bruta es ilegítimo, se apoya el

supuesto básico de LRS de que nadie tiene derecho a un nivel de vida más alto debido a la fecha de su nacimiento (suerte bruta), y por lo tanto se debe buscar el máximo nivel de vida sostenible. Su criterio es, en realidad, maximizar el bienestar de la primera generación, con la condición de asegurar que el bienestar crezca a un ritmo no menor que la α especificada para siempre. Si esa tasa es cero, tienen el caso rawlsiano. Sin embargo, sostienen que los seres humanos tienen un deseo natural de ver progresar a la especie, lo que implica que las primeras generaciones están dispuestas a aceptar una α positiva y sus concomitantes niveles iniciales de consumo más bajos a cambio de un progreso a largo plazo. Luego refinan este argumento y precisan el valor de α asumiendo que cada generación tiene una utilidad recursiva $V_t = (u_t) b (V_{t+1}) (1-b)$. En este caso, muestran, la maximización de la utilidad V_1 de la primera generación implica la maximización de la utilidad instantánea u_1 de esa generación sujeta a una tasa de crecimiento de la utilidad instantánea futura que es función del parámetro b . No existe un marco axiomático formal para este criterio, pero, como se ha señalado anteriormente, está intuitivamente justificado por referencia a Rawls (1971), Dworkin (1981) y al igualitarismo-de-suerte (Roemer 2009), que constituyen un caso plausible.

Tres características más del modelo LRS lo diferencian claramente de los MEI estándar. Una es la ausencia de una función de daño convencional: han elegido un marco dentro del cual no hay necesidad de modelar explícitamente los daños resultantes del cambio climático. Como la función de daño es la parte más débil de cualquier MEI, éste es un gambito interesante. ¿Cómo lo hacen? Tomando en consideración lo que el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) consideró *Vía de Concentración Representativa* (RCP) 2.6 como restricción. RCP 2.6 es la vía de bajas emisiones que garantiza que el cambio de la temperatura media mundial de la superficie (TMSG) no supere los 2°C, cifra ampliamente aceptada como objetivo internacional e interpretada a menudo como el aumento máximo "seguro". Así pues, su modelo maximiza la función criterio del párrafo anterior, siempre que las emisiones de GEI no superen las de RCP 2.6. La función de daño es reemplazada por una restricción de que no se produzca ningún daño importante. La pregunta inmediata es entonces, ¿hay soluciones factibles y, de ser así, cuán atractivas son?

La idea de no utilizar una función de daño será chocante para la mayoría de los economistas familiarizados con la literatura existente, pero tiene mucho a su favor. La función de daño es quizás la parte más débil de cualquier MEI (ver Pindyck 2013), por lo que el enfoque LRS está dejando caer el eslabón más débil de la cadena analítica. ¿Pero por qué es reemplazado? Usar RCP 2.6 como una restricción es, en efecto, adoptar la visión de la comunidad científica de la función de daño, que es que el cambio climático se vuelve "peligroso" por encima de 2°C. Equivale a introducir una función de daño con un trade-off entre actividad económica y clima que cambia muy bruscamente a 2°C, y por lo tanto representa una función de daño implícita mucho más severa que cualquiera de las existentes en la literatura hasta la fecha. El modelo DICE de Nordhaus sugiere que 2°C lleva a una pérdida de PIB del orden del 1 por ciento, lo que es insignificante. Haneman (2010) y Weitzman (2010) sugieren que la función de daño de Nordhaus es demasiado optimista, pero los cambios que hacen afectan en gran medida

a las pérdidas por aumentos de temperatura del orden de $4^{\circ}\text{C}+$: todos están de acuerdo en que los daños por un aumento de temperatura de 2°C están en las cifras más bajas en términos de porcentaje del PIB, menos que la pérdida de PIB por la recesión de 2007-09. Por lo tanto, incluso las funciones de daños más severos en la literatura MEI actual son mucho menos pesimistas de lo que son las de LRS implícitas en su interpretación de la relación temperatura-daños, lo que no quiere decir que LRS estén equivocados: volvemos sobre esto a continuación.

Otro reemplazo de la función de daño en LRS es la presencia de la concentración de GEI como un argumento de las funciones de utilidad y de producción: en la función de utilidad, el bienestar disminuye si las concentraciones de GEI superan un nivel "catastrófico", que corresponde *grosso modo* a un aumento de la temperatura de 6 a 8°C . Eligieron el exponente de ésta para que coincidiera con la estimación del Informe Stern de que un aumento de 5°C con respecto a los niveles preindustriales provocaría daños ajenos al mercado equivalentes a una pérdida del 6 por ciento del PIB mundial. Las concentraciones de gases de efecto invernadero en la función de utilidad son una aproximación al estado del medio ambiente mundial en general, como la pérdida de especies, la perturbación de los patrones climáticos tradicionales y otras pérdidas de servicios ambientales. Es un mérito del Informe Stern, y de LRS, que se incluyan estos factores, pero sospecho que la ponderación que se les da es baja en relación con su importancia real. Alguna medida del capital ambiental ha figurado como fuente de bienestar en los modelos teóricos de conservación desde Krautkraemer (1985), y ha sido ampliamente utilizada por Chichilnisky, Heal y Beltratti (1995), Heal (1998) y Sterner y Persson (2008), entre otros.

Pensar en los daños del cambio climático pone de relieve un desacuerdo que me preocupa desde hace tiempo. Los científicos que trabajan en cambio climático piensan que es casi axiomático que un aumento en la temperatura media global de $2-3^{\circ}\text{C}$ sería devastador e impondría costos masivos a nuestras sociedades. Esta creencia parece estar basada en parte en estudios del registro paleoclimático, y en parte en la intuición acerca de las interacciones de los complejos sistemas que constituyen el medio ambiente en el que vivimos. Tomemos el registro paleoclimático: este indica que cuando los niveles de CO_2 estuvieron en el rango de 400-450 ppm -donde estamos hoy- el nivel del mar era catorce metros más alto que hoy (Hansen et al. 2016), lo que implica que este es posiblemente el nivel de equilibrio del mar asociado con tales concentraciones de CO_2 . Se afirma ampliamente que llevará siglos alcanzar este equilibrio, así que incluso si estas afirmaciones son ciertas, nuestra generación no se verá afectada. Pero si realmente estamos comprometidos irrevocablemente con tal aumento destructivo del nivel del mar a largo plazo, ¿deberíamos ignorarlo? Recientemente, Hansen y otros (2016) han argumentado que el tiempo para que el nivel del mar suba significativamente es mucho más corto de lo que se pensaba, lo que implica un aumento de varios metros en este siglo.

Sin embargo, nada en los estudios econométricos emergentes sobre el impacto del clima sobre la actividad económica confirma estas preocupaciones dramáticas (Houser

y otros, 2015). Un aumento de un grado en la temperatura podría provocar una caída de la producción de entre el 2 y el 4% en general, y tal vez más en el ámbito agrícola: de hecho, un aumento de 5°C podría provocar una caída del 50% en la producción agrícola, según algunos estudios (Schlenker y Roberts 2009). Sin embargo, todos estos resultados en conjunto no sugieren que haya un aumento masivo de daños a 2°C, o un enorme riesgo de sobrepasar este número en una modesta cantidad. Parece que en este debate, un lado está equivocado, quizás ambos. Ciertamente estoy dispuesto a apostar por que los economistas están subestimando los costos del cambio climático, porque sólo en las últimas dos décadas hemos empezado a buscarlos, y sólo en los últimos años esto se ha convertido en una actividad principal. En los últimos años, nuestras estimaciones de los daños han ido sólo de una manera - hacia arriba. Ciertamente todavía hay muchos aspectos de los daños del cambio climático que aún no hemos cuantificado, por ejemplo, los relacionados con la pérdida de biodiversidad y servicios asociados de los ecosistemas, o aquellos vinculados a la acidificación de los océanos, por lo que estamos subestimando claramente los daños. Pero también es posible que los científicos subestimen la fortaleza de los sistemas socioeconómicos. Lamentablemente, no es probable que este desacuerdo se resuelva en un futuro próximo, simplemente porque no tenemos la evidencia necesaria para una resolución clara. Durante el registro histórico, el clima ha variado demasiado poco para que podamos estimar sus consecuencias económicas, y mucho menos predecir las consecuencias de un cambio que está fuera de todo lo que ha visto el hombre. El resultado final, entonces, es que LRS apuestan que la intuición científica de que 2°C es el límite seguro para el cambio climático es correcta: No estoy seguro de que tengan razón, pero tampoco estoy seguro de que estén equivocados. Parece que vale la pena investigar las implicancias.

Antes de comprender las consecuencias de la sustitución de una función de daño por una restricción dada por RCP 2.6, es preciso comprender otro rasgo distintivo del modelo LRS: la presencia de un sector educativo que impulsa el aumento de productividad. El crecimiento de la productividad está endógenamente relacionado con la teoría del crecimiento endógeno, una estrategia intelectualmente atractiva pero empíricamente desafiante.

El modelo aborda tanto la equidad intratemporal como la intertemporal y lo hace modelando dos sectores, el de los países desarrollados y el de los países en desarrollo, el primero parametrizado por números de Estados Unidos y el segundo por números de China. Los autores consideran que cualquier política que se aplique para evitar un cambio climático peligroso debe ser políticamente aceptable para el mundo en desarrollo, lo que significa que la fecha en que China alcance a los Estados Unidos en términos per cápita no debe ser retrasada por políticas climáticas. Suponen que esta fecha es el año 2085.

Así pues, ahora tenemos el modelo completo: maximizar la utilidad de la primera generación dadas preferencias recursivas, con la condición de no exceder las emisiones en RCP 2.6 y no retrasar la convergencia de los países en desarrollo y desarrollados, en un modelo con crecimiento endógeno de la productividad. Es muy diferente de lo que

la mayoría de los lectores de esta revista están acostumbrados a ver, pero lo encuentro atractivo y claramente vale la pena explorarlo.

Volviendo a una pregunta que se dejó a un lado antes, hay soluciones factibles: esto puede tener algo que ver con la endogeneidad del crecimiento de la productividad. Es posible que los ricos países crezcan a un 1 por ciento anual y los países pobres al 2% anual hasta converger en 2075, y luego que ambos crezcan a un 1 por ciento anual, y aun así respeten la limitación de RCP 2.6. Así que podemos tener crecimiento, convergencia, y ningún daño de cambio climático, pero el crecimiento tiene que ser más lento de lo que estamos acostumbrados, en conjunto un resultado optimista.

Nunca estoy completamente seguro de cómo tomar los números que vienen de un MEI. Ciertamente no son pronósticos serios, ninguno de los modelos es lo suficientemente bueno para eso. En este sentido, los modelos de los economistas son muy diferentes de los modelos de circulación global de la ciencia climática. Pienso en los MEI como herramientas para explorar relaciones cualitativas en modelos que son demasiado complejos para soluciones analíticas, y para, tal vez, obtener algún sentido de los órdenes de magnitud de algunos efectos importantes. Visto así, el modelo LRS parece tan digno de consideración como cualquiera de sus competidores, y la ausencia de una función de daño, junto con su dimensión norte-sur y el crecimiento endógeno de la productividad, hacen que aporte perspectivas novedosas y valiosas a la partida.

3. Sustentabilidad y Sustitución

Cambio climático y sustentabilidad no son el mismo tema, pero están relacionados, y LRS invocan ambos en su título *Sustainability for a Warming Planet*. La sustentabilidad se entiende mejor cuando se refiere a formas de actividad y organización económica y social que pueden continuar durante largos períodos sin daños significativos. El uso de combustibles fósiles claramente no se ajusta a esta definición, y los impulsores del cambio climático son los principales ejemplos de comportamiento no sustentable. Pero claramente no son los únicos: la degradación del suelo, la deforestación y la pérdida de biodiversidad son otros aspectos de nuestro comportamiento actual que no son sustentables.

Una forma de definir sostenibilidad es en términos de stocks de capital: una economía es sostenible si el valor total de todos sus stocks de capital, evaluados a precios sombra, es constante o creciente. Intuitivamente esto está relacionado con la definición de John Richard Hicks de ingresos como el máximo que puede gastarse este mes, consistente con gastar lo mismo en todos los meses siguientes. Esta definición implica que el ingreso es el retorno sobre el capital, y el ingreso en este sentido es sostenible si el capital no disminuye. El capital aquí tiene que ser interpretado muy ampliamente, incluyendo el capital natural, humano e intelectual, así como los bienes de capital convencionales. Heal y Krström (2008) tienen un enunciado formal de estos resultados y una encuesta sobre el trabajo relacionado, y Heal (2012) cuenta con una exposición. Estas ideas están relacionadas con el trabajo del Banco Mundial sobre el ahorro neto ajustado (ANS)

como medida de sostenibilidad (*World Bank* 2011). El ANS es precisamente el cambio en el valor de los stocks de capital ampliamente definido al que nos referimos anteriormente como el criterio para determinar si una economía es sostenible: es la suma de los cambios en todos los tipos de stock de capital evaluados mediante sus precios sombra.

En realidad hay dos conceptos de sustentabilidad que se encuentran en la literatura, débil y fuerte. Sustentabilidad débil es lo que acabamos de discutir: una trayectoria no decreciente del valor del capital total. Sustentabilidad fuerte es una trayectoria no decreciente del capital natural, sólo una parte del total (ver Neumayer 2013). Este es un criterio mucho más exigente: el capital natural está disminuyendo sin ambigüedades y está claro que el mundo no es fuertemente sostenible. Sin embargo, es posible que las disminuciones de capital natural sean compensadas por aumentos de capital físico, intelectual y humano, de modo que el mundo sea débilmente sostenible. De hecho, en varias publicaciones recientes se sugiere que éste es el caso de Estados Unidos y China, aunque no del África subsahariana ni del Oriente Medio (Arrow et al. 2004, 2010). Un mundo débilmente pero no fuertemente sustentable sólo es posible si las elasticidades de sustitución entre capital natural y otras formas de capital en producción y consumo son suficientemente altas, y este es un tema sobre el que sabemos poco.

Esto lleva a un debate sobre las posibilidades de sustitución entre el capital "natural" y el "hecho por el hombre". Es natural pensar que estos dos son argumentos tanto de la función de producción como de la función de utilidad, por lo que la sostenibilidad del crecimiento dependerá de la posibilidad de sustitución entre ellos. El capital natural es limitado en cantidad, y su destrucción, que ocurre todo el tiempo, es en gran medida irreversible. Por lo tanto, en la medida en que sea importante tanto en el bienestar como en la producción, esto pondrá límites a la sustentabilidad del bienestar humano. Las posibilidades de sustitución entre capital natural y otras formas de capital no han sido discutidas ampliamente: Dasgupta y Heal (1979) debaten si los recursos naturales son esenciales o no, en el sentido de que sin ellos es posible garantizar un nivel de vida razonable continuado, vinculando esto a la elasticidad de sustitución entre capital natural y otras formas de capital. Heal (2009) inicia este debate en el contexto de preferencias, sugiriendo que podría ser necesario un cierto nivel mínimo de capital natural para mantener el bienestar humano, lo que implicaría que las posibilidades de sustitución entre capital natural y otras formas de capital son, en última instancia, limitadas. Sterner y Persson (2008) investigan esta cuestión en el modelo DICE de Nordhaus, haciendo de la utilidad una función del consumo convencional y un flujo de servicios del capital natural. Sobre la base de una calibración aproximada del modelo, sugieren que esto aumenta en gran medida la reducción óptima de los gases de efecto invernadero.

4. Incertidumbre

La incertidumbre es fundamental para el problema del clima: como señalan Heal y Millner (2014b), nos enfrentamos a una incertidumbre tanto científica como socioeconómica, es decir, incertidumbre sobre la ciencia subyacente del cambio climático y también incertidumbre sobre los impactos económicos y sociales de un clima alterado.

Es estándar descomponer la incertidumbre científica en incertidumbre del modelo, variación interna e incertidumbre del escenario de emisiones. La incertidumbre del modelo se refiere a la necesidad de elegir entre representaciones matemáticas alternativas de los procesos físicos y químicos que rigen el clima sin tener un conocimiento claro de cuál es la mejor. Los modelos climáticos son complejos y altamente no lineales, y tan propensos a un comportamiento caótico, que muestran una dependencia sensible de las condiciones iniciales. Así que pequeñas discrepancias en la estimación de las condiciones iniciales pueden llevar a grandes diferencias en los pronósticos, y como las condiciones iniciales nunca se conocen con certeza (por ejemplo, nuestra red de sensores climáticos es bastante limitada) esta es otra fuente de incertidumbre en las estimaciones del cambio climático, llamada variación interna. Todos los pronósticos climáticos están impulsados por escenarios de emisiones, que requieren el pronóstico de la futura actividad económica y su intensidad de emisiones, ambos difíciles de proyectar con gran confianza. En horizontes temporales de más de cincuenta años, la incertidumbre sobre las emisiones es generalmente la mayor fuente de incertidumbre (véase Hawkins y Sutton 2009).

La incertidumbre socioeconómica puede dividirse en incertidumbre positiva (o del modelo) e incertidumbre normativa, la primera derivada de nuestro desconocimiento de cómo modelar con precisión el efecto del clima sobre la actividad económica y social y la segunda derivada de nuestra incertidumbre sobre la elección de las tasas de descuento y las elasticidades.

Además, la incertidumbre que enfrentamos en todas las categorías es particularmente desafiante porque no tenemos nada como distribuciones de probabilidad objetivas para describirla. De hecho, no es nada seguro que tengamos algo parecido a distribuciones de probabilidad subjetiva: estamos tratando principalmente con incerteza cualitativa, ambigüedad, más que con riesgo en la dicotomía tradicional de riesgo/incertidumbre de Knight. El IPCC, en sus evaluaciones de la ciencia del cambio climático, reconoce en cierta medida este hecho, clasificando los grados de incertidumbre asociados a las conclusiones.

Esto argumenta poderosamente a favor de la inclusión de incertidumbre como un aspecto central del análisis de políticas climáticas, y no sólo un tratamiento rutinario de la incertidumbre asumiendo un conjunto completo de probabilidades, sino un tratamiento más sofisticado que permita la ambigüedad. Está empezando a surgir una literatura sobre este tema -véase Millner, Dietz y Heal (2013) y Lemoine y Traeger (2012), que muestran que tanto la aversión al riesgo como la ambigüedad juegan un papel importante en el análisis de políticas, y que la aversión a la ambigüedad no es sólo una

adición a la aversión al riesgo, sino que puede impulsar opciones políticas en diferentes direcciones.

Climate Shock: The Economic Consequences of a Hotter Planet de Gernot Wagner y Martin Weitzman, se hace presente aquí, enfatizando la centralidad de la incertidumbre y el papel de la política climática como gestión del riesgo planetario. Los autores son muy buenos argumentando que la incertidumbre no es una excusa para no hacer nada o para una política de espera. Pero dadas las contribuciones de Weitzman en este campo, esto no es sorprendente. *Climate Shock* es un libro muy diferente de *Sustainability for a Warming Planet*, pensado no como una investigación académica sino como una contribución a la educación pública y al debate sobre la necesidad de tomar medidas sobre el cambio climático. Por lo tanto, la pregunta relevante no es si es original sino más bien si representa el entendimiento económico de manera apropiada y lo comunica con éxito.

Plantear la política climática como un ejercicio de gestión de riesgos es atractivo. Como argumenta un pasaje representativo en *Climate Shock*,

No conocemos todas las implicancias de un eventual cambio de temperatura de 6°C. No podemos saberlo. Es una apuesta planetaria ciega. Incendios caseros devastadores, accidentes de coche y otras catástrofes personales son casi siempre mucho menos probables que un 10%. Y aun así, la gente contrata un seguro para cubrir estas posibilidades remotas, o incluso se les exige que lo hagan por leyes que esperan evitar imponer estos costos a la sociedad. Riesgos como este a escala planetaria no deberían, no deben, ser impuestos a la sociedad.

La analogía del seguro es una metáfora atractiva, pero cuando se piensa en los detalles no es del todo correcta. Cuando aseguramos, vendemos un riesgo que soportamos a alguien que no lo asumía y que ahora lo asume. Luego lo aniquila efectivamente a través de la combinación de riesgos y la ley de los grandes números. Cuando el planeta está en riesgo no podemos hacer esto: no hay nadie más que no esté expuesto a quien podamos vender nuestro riesgo. El seguro no es la metáfora correcta: la gestión del riesgo en algún sentido generalizado, sí, pero no el seguro tradicional. De hecho, a las aseguradoras les perturba mucho la perspectiva del cambio climático, ya que les amenaza con riesgos correlacionados (no los habituales riesgos IID de la ley de los grandes números) y riesgos cuyas probabilidades se desconocen, a diferencia de los riesgos convencionales de propiedad y siniestros cuyas características están bien documentadas y pertenecen al dominio de los seguros tradicionales.

WW sostienen que centrarse en los resultados más probables del cambio climático nos adormece en una falsa sensación de seguridad, porque (poniéndolo más técnicamente que ellos) hay mucha masa de probabilidad que permanece en las colas apropiadas de las distribuciones pertinentes. El rango "más probable" para la sensibilidad climática de equilibrio (SCE, que nos dice el aumento de equilibrio a largo plazo en la Temperatura Media Global Superficial resultante de la duplicación de la concentración de CO₂)

está en la región de 1,5 a 4°C, pero algunos modelos climáticos muy reputados dan una probabilidad de al menos 15 por ciento de que no sea inferior a 6°C. Como es probable que dupliquemos las concentraciones de CO₂ en relación con los niveles preindustriales dentro de cuarenta años, y 6°C es un aumento catastrófico de la temperatura, se trata de una situación muy preocupante, y hablar sólo del rango de 1,5-4°C pasa por alto la característica preocupante. Este es un punto muy válido, y uno que yo y otros (Kunreuther et al. 2013) hemos hecho en crítica al IPCC, que se ocupa casi exclusivamente de los resultados más probables en sus resúmenes para los formuladores de políticas y descuida las colas.

Esta discusión sobre las colas de la distribución de riesgos suscita una pregunta más profunda. Cuando WW hablan de "la distribución", ¿de qué distribución están hablando? La Figura 1 muestra la cuestión: veinte estimaciones diferentes de la función de densidad de la SCE, que proceden de Simulaciones de Monte Carlo de veinte grandes modelos climáticos. No se trata de estimaciones independientes de una distribución real subyacente: en primer lugar, porque no existe una distribución subyacente, ya que el ECS es un número, y, en segundo lugar, porque todas ellas están calibradas sobre los mismos conjuntos de datos y representan las mismas leyes de la física. Así que no podemos combinarlas en una sola.

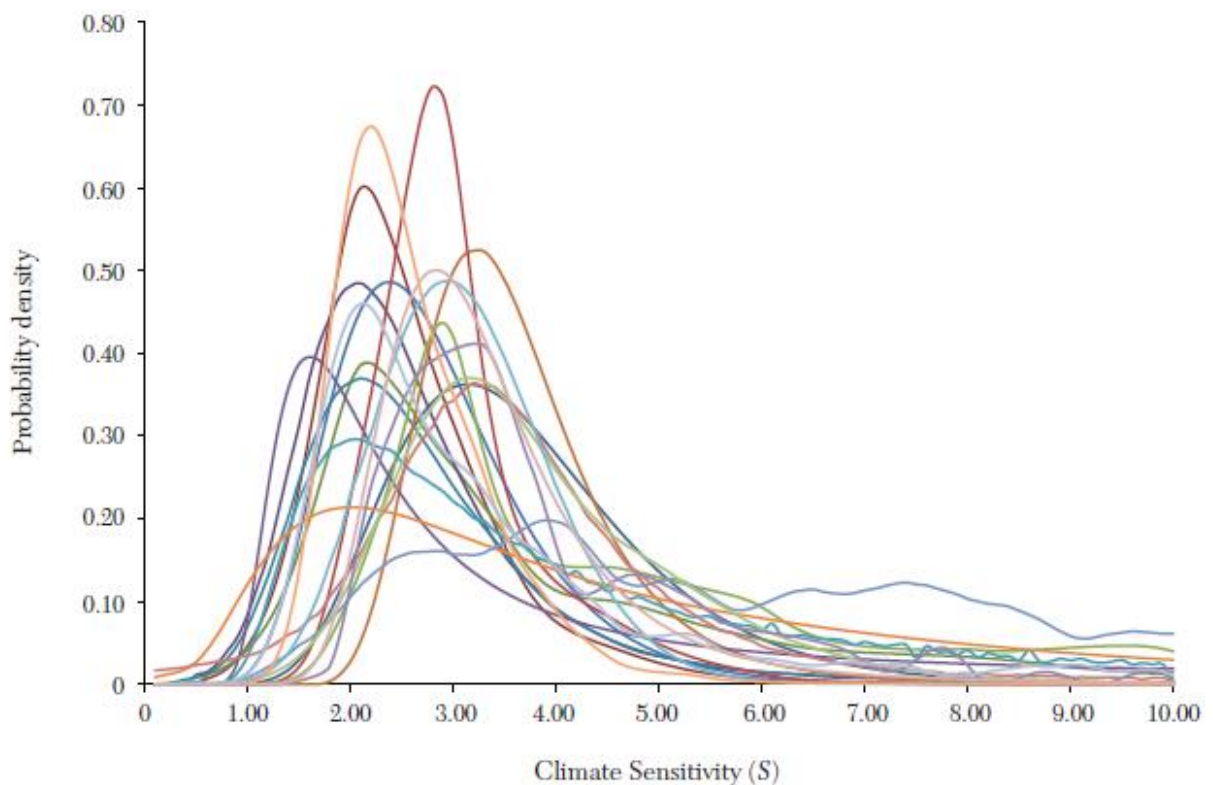


Figura 1. Estimaciones de la Distribución de Probabilidad de la Sensibilidad Climática
Fuente: Millner, Dietz, y Heal (2013)

Todas estas Funciones de Distribución de Probabilidad dependen en gran medida de juicios de expertos, ya que las simulaciones de Monte Carlo se basan en distribuciones

de probabilidad sobre valores de parámetros que los modeladores consideran apropiados. Se podría dibujar un cuadro similar para la mayoría de los aspectos de la incertidumbre climática: rara vez hay una única distribución que describa los posibles resultados. Mientras que *Climate Shock* es en gran parte acerca de lo que no sabemos (todavía) o tal vez no podemos saber, WW no hablan de la cuestión de la distribución directamente. De hecho, discuten su elección de una distribución en una de las muchas notas finales sustantivas. Presentar una imagen similar a la de la Figura 1 también habría ayudado a su causa, porque refuerza su punto principal de que nos enfrentamos a la posibilidad de resultados muy malos y no podemos afirmar que sean "muy improbables". La conducta racional en estas circunstancias requiere claramente una gestión activa de esos riesgos. Un criterio de decisión como el criterio de maximin de la utilidad esperada de Gilboa-Schmeidler, que nos dice que juzguemos las políticas por la distribución de probabilidad que las hace parecer menos favorables, nos lleva a conclusiones muy consistentes con los puntos que plantean WW.

LRS también se ocupan de la incertidumbre, dedicando el capítulo final de *Sustainability for a Warming Planet* a una versión estocástica de su modelo. La incertidumbre no se refiere a la magnitud del cambio climático, sino al momento. Hay dos casos. En el primero, asumen que el cambio climático puede llevar a la destrucción de la población humana en una fecha incierta: hay una tasa de peligrosidad que aumenta con la concentración de CO₂ en la atmósfera. En este caso, los autores maximizan la expectativa de lo que es esencialmente un objetivo rawlsiano modificado. Para cada realización del proceso estocástico, la utilidad es T veces el mínimo de las utilidades generacionales u_t , donde T es el número de años hasta la destrucción de la población humana. Así que si este es T' , la utilidad es $T' \min_t \{u_t\}$, y el maximando es la expectativa de esto. Nótese que si los valores individuales de u_t son aleatorios, entonces el mínimo de éstos se describe por una distribución de valores extremos. LRS no consiguen realizar una optimización completa para este caso y, en su lugar, ejecutan simulaciones del modelo para encontrar un "buen" resultado. Aunque no disponen de una solución totalmente óptima, sus simulaciones les llevan a sugerir que la posibilidad de extinción con una tasa de peligrosidad bastante baja, tomada con la función objetivo descrita anteriormente, conduce a un comportamiento muy cauteloso con concentraciones de CO₂ entre 350 y 400 ppm, por debajo de donde estamos hoy. Su función de peligrosidad está parametrizada de manera que la probabilidad de extinción a 700 ppm sea el doble de la que existía en la época preindustrial, lo que parece un riesgo muy bajo. Es sorprendente que una tasa de peligrosidad tan baja conduzca a un comportamiento tan cauteloso: es de suponer que esto está relacionado con la elección del objetivo, y con el hecho de que las concentraciones de CO₂ de RCP 2.6 están programadas en el modelo como una restricción.

LRS también consideran un segundo caso en que la catástrofe causada por el cambio climático no elimina la especie humana, sino que hace que nuestros equipos de capital sean mucho menos productivos de ahí en más. (Heal 1984 consideraba exactamente

este caso, en el contexto de un modelo de Ramsey-Solow). No es posible obtener resultados numéricos para este caso, pero sí un marco analítico para reflexionar sobre las cuestiones planteadas.

En general, el tratamiento del riesgo en el modelo LRS es limitado, como ellos mismos admiten. El tratamiento de la incertidumbre en los modelos climáticos es un campo en crecimiento y su incorporación, como sugieren LRS, puede alterar las conclusiones de manera importante, añadiendo fuerza a las razones para la acción, que es uno de los puntos principales del libro de WW. Cai y otros (2013), Lemoine y Traeger (2012), y Millner, Dietz y Heal (2013) muestran que la incertidumbre puede aumentar el nivel óptimo de reducción de los GEI. Cai et al. y Lemoine y Traeger (2012) trabajan en modelos con puntos de inflexión en los que un cambio continuo en la concentración de GEI puede dar lugar a una respuesta discontinua en los daños, con el objetivo de modelar el cruce de umbrales que podrían, por ejemplo, dar lugar a un cambio en los patrones de circulación termohalina o a la liberación de cantidades masivas de metano de las regiones del permafrost. Lenton y otros (2008) proporcionan un estudio de los posibles puntos de inflexión del clima. Millner, Dietz y Heal (2013) trabajan con funciones de daño más convencionales que Cai et al. y Lemoine y Traeger (2012), y estudian políticas de mitigación óptimas en presencia de ambigüedad y no de riesgo. Lemoine y Traeger (2012) combinan ambos.

5. Geoingeniería

WW dedican bastante energía a discutir sobre geoingeniería, argumentando que no es un sustituto real de la acción efectiva sobre el cambio climático. La forma de geoingeniería en la que se enfocan es la idea ampliamente discutida de liberar sulfatos en lo alto de la atmósfera: estos formarían pequeñas partículas que reflejan la luz solar y reducirían el forzamiento radiativo de la tierra. Se trata de una forma relativamente barata y tecnológicamente sencilla de reducir la carga de calor de la Tierra (véase Barrett 2008). No elimina el CO₂ de la atmósfera, aunque neutraliza algunos de sus efectos, en particular su efecto sobre el forzamiento radiativo. No reduce la concentración de CO₂ en los océanos y el grado de acidificación de los mismos, ni los efectos directos del CO₂ en la atmósfera, como la fertilización de las plantas con CO₂.

La característica más llamativa de esta forma de geoingeniería es que casi cualquier país podría hacerlo, al menos crudamente, de hecho, un multimillonario con una flota de aviones a su disposición también podría cambiar el clima de la tierra de esta manera. Ese no es un escenario particularmente probable, pero es una posibilidad. Nótese que no es algo que se haga sólo una vez: las partículas de sulfato caen a la tierra dentro del año más o menos, lo que significa que tienen que ser continuamente reabastecidas. El impacto de una gran erupción volcánica es un buen modelo: éstas liberan millones de toneladas de sulfatos en el aire, y las grandes explosiones (Tambora, Krakatoa y Pinatubo) siempre han refrigerado el clima global durante uno o dos años, con efectos que desaparecen a medida que las partículas regresan a la tierra. Así pues, en caso de que el cambio climático tenga un impacto perjudicial en un país o región del mundo (por

ejemplo, si detiene los monzones de la India, causando daños masivos a la agricultura de ese país), ese país o región podría aplicar geoingeniería de forma unilateral. Un problema en este caso es que, si bien la liberación de partículas reflectantes en la estratósfera podría restaurar la temperatura media mundial de la superficie a sus niveles anteriores, podría no devolver las pautas meteorológicas reales asociadas a esas temperaturas anteriores y, de hecho, podría dar lugar a cambios en las pautas meteorológicas que perjudicaran a algunas regiones, incluida posiblemente la región de origen. De modo que la facilidad con la que la geoingeniería podría ser implementada por un estado "pícaro" les preocupa a WW. Sin embargo, todavía podría ser una parte válida de una respuesta de último recurso al cambio climático extremo, aunque idealmente sólo como parte de un acuerdo global.

Hay otras formas de geoingeniería que son quizás más atractivas, por ejemplo, la extracción directa de CO₂ de la atmósfera y el almacenamiento subterráneo en pozos vacíos de gas o petróleo o la mineralización en rocas porosas. Varias empresas incipientes están trabajando en esto,¹ y sí invierte completamente la emisión de CO₂ de la quema de combustibles fósiles, removiendo el CO₂ del aire y los océanos y deshaciendo todos sus impactos, desde el forzamiento radiativo hasta la acidificación del océano. Sin embargo, actualmente es mucho más caro que inyectar partículas en la estratósfera, aparentemente en el rango de 150-200 dólares por tonelada de CO₂ removida.

Esta estimación del costo de la eliminación del CO₂ está muy por encima de las estimaciones comunes del costo social de las emisiones de CO₂, siendo la mejor estimación actual de la administración de los EE.UU. de alrededor de 40 dólares por tonelada (y posiblemente hasta 100 dólares), dependiendo de la tasa de descuento y algunos otros supuestos.² Mientras el costo de la eliminación de CO₂ exceda el costo social del carbono, no hay justificación para su implementación como política pública. Sin embargo, se espera que el costo de la eliminación disminuya durante la próxima década, y las estimaciones actuales del CSC son probablemente graves subestimaciones. Utilizan tasas de descuento que muchos comentaristas consideran altas (2,5-3 por ciento, frente a <1 por ciento en el Informe Stern), utilizan una tasa de descuento constante en lugar de decreciente (lo que aumentaría significativamente el costo, véase Heal and Millner 2014a), omiten toda consideración de incertidumbre, lo que, como hemos visto, impulsará el CSC, y no cuantifican muchos de los daños debidos al cambio climático (pérdida de biodiversidad, por ejemplo). LRS proporcionan una estimación del CSC basada en su modelo, que, como hemos señalado, tiene en efecto una función de daño mucho más severa que el funcionamiento normal de los MEI: su estimación es de 633 dólares por tonelada de CO₂. Por lo tanto, es posible que ya sea, o podría ser pronto, socialmente rentable utilizar tecnologías existentes para eliminar CO₂ de la atmósfera. Podríamos pagar por ello mediante un impuesto sobre las emisiones de GEI.

¹ Carbon Engineering y Global Thermostat.

² Véase: US Interagency Working Group on Social Cost of Carbon (2010), y la actualización de julio de 2015: US Interagency Working Group on Social Cost of Carbon (2015).

6. ¿Qué falta?

Hay dos temas que han aparecido en gran parte de la literatura económica sobre clima, pero que se omiten en los dos libros que se están revisando. El proceso de negociación internacional que ha ocupado a tantas personas altamente calificadas durante tanto tiempo cada año desde la formación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) ha sido, con razón, objeto de un amplio análisis y de una literatura sustantiva, y nuestra falta de una buena comprensión de la función de daño que relaciona el cambio de temperatura con las consecuencias económicas ha dado lugar a una floreciente literatura econométrica sobre el efecto de la temperatura y otros aspectos del clima sobre el rendimiento económico. *Sustainability for a Warming Planet* no necesita abordar estas literaturas, ya que evita específicamente el uso de una función de daño de tipo convencional y no se aventura directamente en prescripciones de política. *Climate Shock*, por otra parte, es un trabajo orientado a la política, y algunos comentarios sobre cómo pasamos de la preocupación, cuya necesidad documenta claramente, a la acción, podrían ser una valiosa adición. Hay un reflexivo capítulo sobre Lo que Puedes Hacer, que se centra en cómo un individuo puede contribuir, evitando y yendo más allá de las habituales listas de "top-ten" de ciclismo, reciclaje, y otras cosas ambientales, pero no se pregunta cómo podemos transformar la tertulia de la CMNUCC en un programa de acción. Y aunque *Climate Shock* enfatiza la seriedad de las consecuencias del cambio climático, no explica en detalle cuáles son.

¿Qué podría haber incluido? Ciertamente, un debate sobre el actual marco normativo internacional y sus puntos fuertes y, sobre todo, sus puntos débiles. Barrett (2005) es un buen punto de partida, aunque el campo ha crecido desde entonces, con ideas sobre clubes climáticos (Nordhaus 2015), negociaciones sobre el clima basculantes (Heal y Kunreuther 2012) y políticas climáticas de abajo hacia arriba (Stewart, Oppenheimer y Rudyk de próxima aparición).³ Todas estas nuevas contribuciones sugieren que tal vez la totalidad de los miembros de las Naciones Unidas no sea el mejor grupo para llegar a un acuerdo sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y que deberíamos tratar de trabajar, al menos inicialmente, con grupos más pequeños cuyos miembros tengan influencia sobre los no miembros. Las recientes negociaciones bilaterales entre los Estados Unidos y China parecen ejemplificar lo que estos documentos recientes tienen en mente. Además, sugieren que en lugar de enfocarse exclusivamente en metas y calendarios de emisiones, las negociaciones también se centren en el despliegue de energías renovables y la introducción de marcos de políticas que lo fomenten.

Con respecto a las funciones de daño, hay una literatura emergente pero estamos lejos de tener una comprensión completa de cómo tiempo y clima afectan los resultados económicos. Lo que mejor se comprende es el impacto sobre la agricultura, donde una importante bibliografía (Mendelsohn, Nordhaus y Shaw 1994; Schlenker, Hanemann y Fisher 2005; Schlenker y Roberts 2009; Dêschenes y Greenstone 2007) sugiere que

³ Hay una reseña muy completa en Aldy y Stavins (2010).

unos pocos días de exposición a temperaturas superiores a unos 31°C son muy perjudiciales para el rendimiento de varios cultivos alimentarios importantes. También hay una creciente conciencia de las consecuencias del aumento de las temperaturas que afectan a la productividad general, lo que sugiere que, al menos en los países calurosos, ésta disminuye bruscamente en tiempo tórrido (Dell, Jones y Olken 2012; Heal and Park 2013; Heal and Park 2015; Cachón, Gallino y Olivares 2012). También sabemos que el aumento del nivel del mar será costoso (Yohe, Neumann y Ameden 1995), pero no sabemos cómo los cambios de temperatura se traducen en la fusión de las capas de hielo y el aumento del nivel del mar. Esta variada bibliografía está bien recopilada por Houser y otros (2015) en el caso de Estados Unidos, con una amplia integración de cómo todos los impactos microeconómicos conocidos de la temperatura se desarrollarán en el caso de Estados Unidos, y un énfasis muy apropiado y humilde sobre el tamaño de las barras de error en cualquier previsión. Tal vez sea comprensible que WW sintieran que esta área no está aún madura para un libro para el hombre de la calle.

7. Implicancias de Políticas

Estas cuestiones son intelectualmente fascinantes y desafiantes, pero en última instancia nos interesan porque queremos proporcionar un marco para el análisis de políticas. ¿Hemos llegado ya a eso, y cómo contribuyen estos dos libros?

Algunos analistas ven la necesidad de una acción inmediata y fuerte para reducir las emisiones de GEI (Stern por ejemplo), mientras que otros están notablemente más relajados (Nordhaus). Estas diferencias pueden ser generalmente rastreadas desde dos fuentes: diferentes opciones de tasa de descuento, y diferentes funciones de daño. Stern utiliza una tasa de descuento más baja que Nordhaus, y asume daños mucho mayores: esto es suficiente para explicar las distintas conclusiones. Ambos basan sus conclusiones en modelos de evaluación integrados: ¿son estos modelos lo suficientemente buenos para soportar tal carga?

Como ya he indicado, no soy creyente cuando se trata de conclusiones numéricas de los MEI: Creo que estos modelos tienen un papel para jugar en la exploración de las relaciones cualitativas en sistemas complejos y tener alguna idea del orden de magnitud de interacciones importantes, pero hay demasiada incertidumbre acerca de las relaciones clave para tomar los resultados numéricos en serio. Pero creo que a pesar de esto, es posible justificar una fuerte acción para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

¿Cuál es la naturaleza del argumento a favor de la acción firme? Es básicamente el de Wagner y Weitzman: es un argumento de gestión de riesgos basado en los riesgos de cola asociados a posibles cambios en la temperatura media global superficial, no uno centrado en los resultados más probables. Hay una probabilidad, entre el 2 y el 10 por ciento, de que la TMGS de este siglo pueda aumentar unos seis grados Celsius (véase Fig. 1). Este no es el resultado más probable, pero es un resultado con una probabilidad

no despreciable. Las consecuencias de un aumento de la temperatura de esta magnitud, aunque no se conozcan con certeza, es probable que sean desastrosas, lo que supone un desafío para la totalidad de nuestra forma de vida. Una probabilidad en algún punto entre el 2 y el 10 por ciento de un desastre es un riesgo que nadie debería correr si puede evitarlo, es casi tan malo como jugar a la ruleta rusa. Y podemos evitarlo, y de hecho podemos hacerlo a un costo relativamente modesto.

El costo de evitar el cambio climático es el costo de cambiar de fuentes de energía fósiles a no fósiles. En términos prácticos, esto significa pasar de la quema de carbón y gas a la generación de gran parte de nuestra electricidad a partir de fuentes renovables o energía nuclear, o alguna combinación de ambas. También significa reemplazar la nafta y el diésel como fuentes de energía en transporte.

La sustitución de combustibles fósiles en la generación de energía parece hoy en día mucho más factible y mucho menos costosa que hace una década. Los costos de la energía eólica y solar fotovoltaica han disminuido drásticamente, y ahora son competitivos o casi competitivos con los combustibles fósiles. La siguiente tabla muestra cifras de los costos de la electricidad de varias fuentes de Lazard:⁴

Fuente de energía	Lazard LCOE
Viento	\$32-\$62/mWh
Solar PV6	\$46-\$56/mWh
Pico de gas	\$165-\$217/mWh
Gas de Ciclo Combinado	\$48-\$78/mWh
Carbón IGCC ⁷	\$94-\$210/mWh
Carbón	\$60-\$143/mWh

Estos costos no tienen en cuenta los costos sociales no pagados por el productor, y también omiten los costos de transmisión y los asociados a la necesidad de respaldar las plantas intermitentes, que pueden añadir entre 5 y 10 dólares/mWh a los costos eólicos o solares y, en general, requieren el mantenimiento de una capacidad de gas de reserva. Estos costos tampoco reflejan el impacto de subsidios gubernamentales. Este no es el lugar para discutir estos números con gran detalle: el punto es que la energía eólica y solar puede ser competitiva con cualquier combustible fósil. Otros cinco años de reducciones de precios o un modesto impuesto al carbono u otra penalización de las emisiones inclinarían la balanza completamente hacia el gas y el carbón. Por lo tanto,

⁴ <https://www.lazard.com/media/438038/levelized-cost-of-energy-v100.pdf>

los costos de cambiar de combustibles fósiles a alternativas en la generación de energía eléctrica son limitados: Estados Unidos consume alrededor de cuatro mil millones de mWh anualmente, de modo que si el costo de cada uno de ellos se incrementa en 20 dólares -el peor de los casos a partir de las cifras anteriores- el costo adicional es de 80 mil millones de dólares anuales. LCOE incluye tanto costos de capital como de operación, por lo que esta cifra es el equivalente anualizado de todos los costos de transición de los combustibles fósiles en la generación de energía. (Para un análisis más detallado, véase próximamente Heal).

Probablemente el mayor obstáculo para la adopción generalizada de energía renovable ahora no sea el costo, sino su intermitencia y la necesidad de trabajar en torno a esto. La intermitencia clama por tecnologías de almacenamiento de energía, y este es un campo en rápida expansión, pero que sólo ahora está empezando a proporcionar formas económicamente atractivas de suavizar la salida de las fuentes de energía intermitentes. (Heal 2016 revisa la economía del almacenamiento de energía).

La sustitución de combustibles fósiles en el transporte es una tarea más difícil, pero los desarrolladores de vehículos eléctricos e híbridos están empezando. Por supuesto, a menos que la energía que los carga provenga de fuentes no fósiles, los vehículos eléctricos son sólo una pequeña mejora con respecto a los motores de combustión interna (Holland y otros 2015). El mayor obstáculo para el éxito comercial de los vehículos eléctricos parece ser actualmente la tecnología de las baterías, de hecho, el mismo problema de almacenamiento de energía que limita la difusión de las energías renovables.

Volviendo a los dos libros en discusión, *Climate Shock: The Economic Consequences of a Hotter Planet* hace un gran trabajo al exponer el caso de la acción sobre el clima, aunque dice menos de lo que me gustaría sobre la caída de los costos de dicha acción. *Sustainability for a Warming Planet* es un libro más reflexivo y erudito, no es un llamado a la acción sino un análisis inteligente y original de las cuestiones económicas y filosóficas que subyacen al problema del clima. Concluye que podemos cumplir el objetivo de dos grados centígrados del mundo mientras seguimos creciendo y cumpliendo con las restricciones políticas internacionales, lo que es a la vez alentador y un llamado implícito a la acción.

Referencias

- Aldy, Joseph E., and Robert N. Stavins, ed. 2010. *Post-Kyoto International Climate Policy: Implementing Architectures for Agreement*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Arrow, Kenneth J., Partha Dasgupta, Lawrence H. Goulder, Kevin J. Mumford, and Kirsten Oleson. 2010. "Sustainability and the Measurement of Wealth." National Bureau of Economic Research Working Paper 16599.
- Arrow, Kenneth J., et al. 2004. "Are We Consuming Too Much?" *Journal of Economic Perspectives* 18 (3): 147–72.
- Arrow, Kenneth J., et al. 2013. "Determining Benefits and Costs for Future Generations." *Science* 341 (6144): 349–50.
- Arrow, Kenneth J., et al. 2014. "Should Governments Use a Declining Discount Rate in Project Analysis?" *Review of Environmental Economics and Policy* 8 (2): 145–63.
- Ayres, Robert U., and Allen V. Kneese. 1969. "Production, Consumption, and Externalities." *American Economic Review* 59 (3): 282–97.
- Barrett, Scott. 2005. *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford and New York: Oxford University Press.
- Barrett, Scott. 2008. "The Incredible Economics of Geoengineering." *Environmental and Resource Economics* 39 (1): 45–54.
- Cachón, Gerard, Santiago Gallino, and Marcelo Olivares. 2012. "Severe Weather and Automobile Assembly Productivity." Columbia Business School Research Paper 12/37.
- Cai, Yongyang, Kenneth L. Judd, and Thomas S. Lontzek. 2013. "The Social Cost of Stochastic and Irreversible Climate Change." National Bureau of Economic Research Working Paper 18704.
- Carson, Richard. 2014. "Evolution of Economic Thought on Climate Change." Centennial Lecture given at Mississippi State University, March 20.
- Chichilnisky, Graciela, Geoffrey M. Heal, and Andrea Beltratti. 1995. "The Green Golden Rule." *Economics Letters* 49 (2): 175–79.
- Dasgupta, Partha, and Geoffrey M. Heal. 1979. *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.

- Dell, Melissa, Benjamin F. Jones, and Benjamin A. Olken. 2012. "Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century." *American Economic Journal: Macroeconomics* 4 (3): 66–95.
- Deschênes, Olivier, and Michael Greenstone. 2007. "The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather." *American Economic Review* 97 (1): 354–85.
- Dworkin, Ronald. 1981. "What Is Equality? Part 1: Equality of Welfare." *Philosophy and Public Affairs* 10 (3): 185–246.
- Gollier, Christian. 2012. *Pricing the Planet's Future: The Economics of Discounting in an Uncertain World*. Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- Gollier, Christian, and Martin L. Weitzman. 2010. "How Should the Distant Future Be Discounted When Discount Rates Are Uncertain?" *Economics Letters* 107 (3): 350–53.
- Gollier, Christian, and Richard Zeckhauser. 2005. "Aggregation of Heterogeneous Time Preferences." *Journal of Political Economy* 113 (4): 878–96.
- Hanemann, Michael. 2010. "What Is the Economic Cost of Climate Change?" In *Climate Change Science and Policy*, edited by Stephen H. Schneider, Armin Rosencranz, Michael D. Mastrandrea, and Kristin Kuntz-Duriseti, 185–93. Washington, DC: Island Press.
- Hansen, James, et al. 2016. "Ice Melt, Sea Level Rise and Superstorms: Evidence from Paleoclimate Data, Climate Modeling, and Modern Observations That 2°C Global Warming Could Be Dangerous." *Atmospheric Chemistry and Physics* 16: 3761–812.
- Hawkins, Ed, and Rowan Sutton. 2009. "The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions." *Bulletin of the American Meteorological Society* 90: 1095–107.
- Heal, Geoffrey M. 1984. "Interaction between Economy and Climate: A Framework for Policy Design under Uncertainty." In *Advances in Applied Microeconomics*, edited by V. K. Smith and A. D. White, 151–68. Greenwich, CT: JAI Press.
- Heal, Geoffrey M. 1991. "Economy and Climate: A Preliminary Framework for Microeconomic Analysis." In *Commodity and Resource Policies in Agricultural Systems*, edited by Richard E. Just and Nancy Bockstael, 196–212. Berlin and Heidelberg: Springer.
- Heal, Geoffrey M. 1998. *Valuing the Future: Economic Theory and Sustainability*. New York: Columbia University Press.

- Heal, Geoffrey M. 2009. "The Economics of Climate Change: A Post-Stern Perspective." *Climatic Change* 96 (3): 275–97.
- Heal, Geoffrey M. 2012. "Reflections—Defining and Measuring Sustainability." *Review of Environmental Economics and Policy* 6 (1): 147–63.
- Heal, Geoffrey M. 2016. "Notes on the Economics of Energy Storage." National Bureau of Economic Research Working Paper 22752.
- Heal, Geoffrey M. Forthcoming. "What Would It Take to Reduce U.S. Greenhouse Gas Emissions 80% by 2050?" *Review of Environmental Economics and Policy*.
- Heal, Geoffrey M., and Bengt Kristrom. 2008. "A Note on National Income in a Dynamic Economy." *Economics Letters* 98 (1): 2–8.
- Heal, Geoffrey M., and Howard Kunreuther. 2012. "Tipping Climate Negotiations." In *Climate Change and Common Sense: Essays in Honour of Tom Schelling*, edited by Robert W. Hahn and Alistair Ulph, 50–60. Oxford and New York: Oxford University Press.
- Heal, Geoffrey M., and Antony Millner. 2013. "Discounting under Disagreement." National Bureau of Economic Research Working Paper 18999.
- Heal, Geoffrey M., and Antony Millner. 2014a. "Agreeing to Disagree on Climate Policy." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (10): 3695–98.
- Heal, Geoffrey M., and Antony Millner. 2014b. "Reflections: Uncertainty and Decision Making in Climate Change Economics." *Review of Environmental Economics and Policy* 8 (1): 120–37.
- Heal, Geoffrey M., and Antony Millner. Forthcoming. "Should Climate Policies Account for Ambiguity?" In *The Economics of Climate Risk*, edited by Robert Litterman. New York: Wiley.
- Heal, Geoffrey M., and Jisung Park. 2013. "Feeling the Heat: Temperature, Physiology and the Wealth of Nations." National Bureau of Economic Research Working Paper 19725.
- Heal, Geoffrey M., and Jisung Park. 2015. "Goldilocks Economies? Temperature Stress and the Direct Impacts of Climate Change." National Bureau of Economic Research Working Paper 21119.
- Holland, Stephen P., Erin T. Mansur, Nicholas Z. Muller, and Andrew J. Yates. 2015. "Environmental Benefits from Driving Electric Vehicles?" National Bureau of Economic Research Working Paper 21291.

- Houser, Trevor, Solomon Hsiang, Robert Kopp, and Kate Larsen. 2015. *Economic Risks of Climate Change: An American Prospectus*. New York: Columbia University Press.
- Kneese, Allen V. 1971. "Background for the Economic Analysis of Environmental Pollution." *Swedish Journal of Economics* 73 (1): 1–24.
- Krautkraemer, Jeffrey A. 1985. "Optimal Growth, Resource Amenities and the Preservation of Natural Environments." *Review of Economic Studies* 52 (1): 153–70.
- Kunreuther, Howard, Geoffrey M. Heal, Myles Allen, Ottmar Edenhofer, Christopher B. Field, and Gary Yohe. 2013. "Risk Management and Climate Change." *Nature Climate Change* 3: 447–50.
- Lemoine, Derek, and Christian Traeger. 2012. "Tipping Points and Ambiguity in the Economics of Climate Change." National Bureau of Economic Research Working Paper 18230.
- Lemoine, Derek, and Christian Traeger. 2014. "Watch Your Step: Optimal Policy in a Tipping Climate." *American Economic Journal: Economic Policy* 6 (1): 137–66.
- Lenton, Timothy M., et al. 2008. "Tipping Elements in the Earth's Climate System." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (6): 1786–93.
- Mendelsohn, Robert, William D. Nordhaus, and Daigee Shaw. 1994. "The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis." *American Economic Review* 84 (4): 753–71.
- Millner, Antony, Simon Dietz, and Geoffrey M. Heal. 2013. "Scientific Ambiguity and Climate Policy." *Environmental and Resource Economics* 55 (1): 21–46.
- Millner, Antony, and Geoffrey M. Heal. 2014. "Resolving Intertemporal Conflicts: Economics vs. Politics." National Bureau of Economic Research Working Paper 20705.
- Neumayer, Eric. 2013. *Weak versus Strong Sustainability: Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms*, Fourth edition. Cheltenham and Northampton: Elgar.
- Nordhaus, William D. 2007. "A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change." *Journal of Economic Literature* 45 (3): 686–702.
- Nordhaus, William D. 2015. "Climate Clubs: Overcoming Free-Riding in International Climate Policy." *American Economic Review* 105 (4): 1339–70.
- Pindyck, Robert S. 2013. "Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?" *Journal of Economic Literature* 51 (3): 860–72.

- Ramsey, F. P. 1928. "A Mathematical Theory of Saving." *Economic Journal* 38 (152): 543–59.
- Rawls, John. 1971. *A Theory of Justice*. Cambridge, MA and London: Harvard University Press, Belknap Press.
- Roemer, John E. 2009. "Equality: Its Justification, Nature, and Domain." In *The Oxford Handbook of Economic Inequality*, edited by Wiemer Salverda, Brian Nolan, and Timothy M. Smeeding, 23–39. Oxford and New York: Oxford University Press.
- Schlenker, Wolfram, W. Michael Hanemann, and Anthony C. Fisher. 2005. "Will U.S. Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach." *American Economic Review* 95 (1): 395–406.
- Schlenker, Wolfram, and Michael J. Roberts. 2009. "Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (37): 15594–98.
- Solow, Robert M. 1974. "Intergenerational Equity and Exhaustible Resources." *Review of Economic Studies* 41: 29–45.
- Stern, Nicholas. 2006. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Sterner, Thomas, and U. Martin Persson. 2008. "An Even Sterner Review: Introducing Relative Prices into the Discounting Debate." *Review of Environmental Economics and Policy* 2 (1): 61–76.
- Stewart, Richard B., Michael Oppenheimer, and Bryce Rudyk. Forthcoming. "Building Blocks: A Strategy for Near-Term Action within the new Global Climate Framework." *Climatic Change*.
- US Interagency Working Group on Social Cost of Carbon. 2010. "Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis—Under Executive Order 12866." https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/scc_tsd_2010.pdf.
- US Interagency Working Group on Social Cost of Carbon. 2015. "Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis—Under Executive Order 12866."
- Weitzman, Martin L. 2001. "Gamma Discounting." *American Economic Review* 91 (1): 260–71.
- Weitzman, Martin L. 2007. "A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change." *Journal of Economic Literature* 45 (3): 703–24.

- Weitzman, Martin L. 2010. "What Is the 'Damages Function' for Global Warming—And What Difference Might It Make?" *Climate Change Economics* 1 (1): 57–69.
- World Bank. 2011. *The Changing Wealth of Nations: Measuring Sustainable Development in the New Millennium*. Washington, DC: World Bank.
- Yohe, Gary, James Neumann, and Holly Ameden. 1995. "Assessing the Economic Cost of Greenhouse Induced Sea Level Rise: Methods and Application in Support of a National Survey." *Journal of Environmental Economics and Management* 29 (3): S78–97.