

Cambio Climático y Crecimiento Económico¹

Javier Andrés^b y Rafael Doménech^a

^a Universidad de Valencia

^b BBVA Research y Universidad de Valencia

Enero, 2020

Resumen

Cada vez se dispone de más y mejor información sobre el impacto de la actividad humana en la concentración de gases de efecto invernadero, el cambio climático, el calentamiento global y sus efectos sobre un crecimiento económico menor y más volátil, con consecuencias negativas sobre el bienestar social. En este capítulo se realiza una panorámica sobre la interacción entre cambio climático y crecimiento económico, se analiza la sensibilidad climática a la acumulación de gases de efecto invernadero, se evalúan los efectos de la actividad humana y el crecimiento económico sobre las emisiones de CO₂, así como el impacto del cambio climático sobre el crecimiento económico. Finalmente se examinan los distintos componentes de una estrategia global e integral con la que reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y evitar el cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, calentamiento global, crecimiento económico, transición energética.

Números JEL: H23, Q51, Q54, O13

1. Introducción

Durante los últimos siglos, la economía mundial ha vivido a espaldas de la sostenibilidad medioambiental y del cambio climático. Antes de la revolución industrial, el impacto de la actividad económica sobre el medioambiente era relativamente limitado debido a una población reducida y a unos métodos de producción basados en la energía hidráulica o eólica, en la fuerza humana y de los animales. Con las revoluciones industriales y el consiguiente aumento de la población y de la renta per cápita, con la producción masiva de bienes basada en el uso de combustibles fósiles, el panorama ha cambiado drásticamente. Y con ello los efectos sobre el clima a nivel global. Cada vez se dispone de más y mejor información sobre el impacto de la actividad humana en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y sus efectos sobre el calentamiento global. Sabemos que el aumento de las temperaturas a nivel mundial en los últimos 150 años se debe en su mayor parte a los efectos

¹ Este artículo ha sido preparado para el monográfico de *Revista de Geoeconomía*, titulado “Transición energética: cambio climático y desarrollo económico.” Los autores agradecen la ayuda de los proyectos de la CICYT SEC ECO2017-84632-R y de la Generalitat Valenciana PROMETEO2016-097.

de las emisiones asociadas a la actividad humana. De igual manera, se empieza a acumular evidencia sobre los efectos de los cambios en el clima global y el aumento de temperaturas sobre un crecimiento económico que puede ser menor y más volátil, con consecuencias negativas sobre el bienestar de los ciudadanos y sobre su riqueza financiera e inmobiliaria. La evidencia apunta a que estos efectos pueden ser bastante heterogéneos por países (mayores entre los países menos desarrollados) y grupos de población, con consecuencias significativas en términos de equidad y sostenibilidad social.

El objetivo de este capítulo es realizar una panorámica sobre la interacción entre cambio climático y crecimiento económico. Para ello, en la segunda sección se analiza la sensibilidad climática a la acumulación de gases de efecto invernadero. En la tercera sección se evalúan los efectos de la actividad humana y el crecimiento económico sobre las emisiones de CO₂, el principal componente de los GEI. En la cuarta sección se analiza la causalidad en la dirección contraria, que va del cambio climático, particularmente el aumento de la temperatura, al menor crecimiento económico. La discusión se centra en lo que en esta literatura se conoce como la función de daños o coste económico, que relaciona el aumento de la temperatura global con la disminución esperada del PIB per cápita a largo plazo. En la quinta sección se examinan los distintos elementos de una estrategia global e integral con la que reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para frenar primero y detener después el cambio climático. En particular se presta especial atención a la fiscalidad medioambiental y a las estimaciones del coste social del carbono. Hasta ahora esta estrategia está siendo poco exitosa. De acuerdo con el quinto informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, las emisiones de CO₂ deberían reducirse entre un 40 y un 60 por ciento en 2030, y su acumulación (balance entre emisiones y absorción) detenerse en 2050. Sin embargo, desde que se aprobó este informe en 2014 las emisiones no han dejado de crecer. Todo ello invita a pensar que en los próximos años la presión para acelerar la transición energética se va a intensificar, tanto por parte de los organismos multilaterales y reguladores, como de muchos gobiernos nacionales. En la sexta y última sección se presentan las principales conclusiones de este capítulo.

2. La sensibilidad climática a los gases de efecto invernadero

Más allá de efectos sobre el medioambiente, como la contaminación de los recursos hídricos, o sobre los ecosistemas terrestres o la vida submarina, en las últimas décadas se ha ido acumulando cada vez más evidencia de los efectos de la actividad humana sobre el clima y el calentamiento global, en el que centramos este capítulo. Como se representa en el Gráfico 1,

Huber y Knutti (2012) mostraron que la temperatura mundial desde 1900 hasta 2005 aumentó más de 8 décimas respecto a su promedio 1850-1900. Y lo que es más importante, este aumento sólo puede explicarse por la actividad humana, ya que la volatilidad debida a los factores naturales habría mantenido constante la temperatura media del planeta.

Otros indicadores del cambio climático muestran una evidencia parecida y son igualmente preocupantes. El Índice Anual de acumulación de Gases de efecto Invernadero (AGGI, por su acrónimo en inglés) que elabora NOAA ha aumentado un 82,5 por ciento entre 1979 y 2018, siendo las emisiones de CO₂ las que muestran mayor crecimiento y explican un porcentaje creciente del AGGI, que en la actualidad supone un 65,9 por ciento del total.²

Como muestra el Gráfico 2, las emisiones de CO₂ actuales en la atmósfera son las más elevadas de los últimos 800 mil años. El nivel de 2018 era un 47 por ciento mayor que el de 1750 antes de la primera revolución industrial (278 partes por millón). Según Oreskes y Stern (2019), la concentración actual de CO₂ en la atmósfera es la más alta de los últimos tres millones de años. Por aquel entonces la temperatura global del planeta era 2,8 grados más elevada y el nivel del mar entre 9,7 y 18,8 metros más alto que el actual.

El Gráfico 1 y, sobre todo, el Gráfico 2 ponen de manifiesto la elevada correlación entre la concentración de CO₂ en la atmósfera y los cambios en la temperatura global. Aunque son varios los factores que afectan al clima y es difícil estimar la contribución precisa de cada uno de ellos al cambio climático, desde hace años numerosos estudios han establecido una relación de causalidad de la acumulación de gases de efecto invernadero a los cambios de temperatura. Más recientemente Stips et al. (2016) confirman que la concentración de CO₂ es la principal causa del calentamiento del último siglo, mientras que con anterioridad y desde una escala de tiempo paleoclimático, la relación causal era la inversa, es decir, eran los cambios de temperatura debidos a causas naturales (por ejemplo, radicación solar o fuerzas volcánicas) los que provocaban variaciones en la acumulación de CO₂. En la misma línea, Farnsworth et al. (2019) encuentran que la sensibilidad climática estimada implica que doblar la concentración de CO₂ aumentaría la temperatura entre 3,5 y 5,5 grados centígrados.³ Este resultado acota el intervalo estimado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2013), según el cual la sensibilidad climática está en el rango de 1,5 a 4,5° C, siendo muy poco probable que sea superior a 6° C, y extremadamente improbable que sea inferior a 1° C.

² Véase <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>

³ La sensibilidad climática al CO₂ mide cuánto se incrementa la temperatura como consecuencia del aumento del dióxido de carbono, y normalmente se expresa como el cambio debido a duplicar la concentración de CO₂ en la atmósfera.

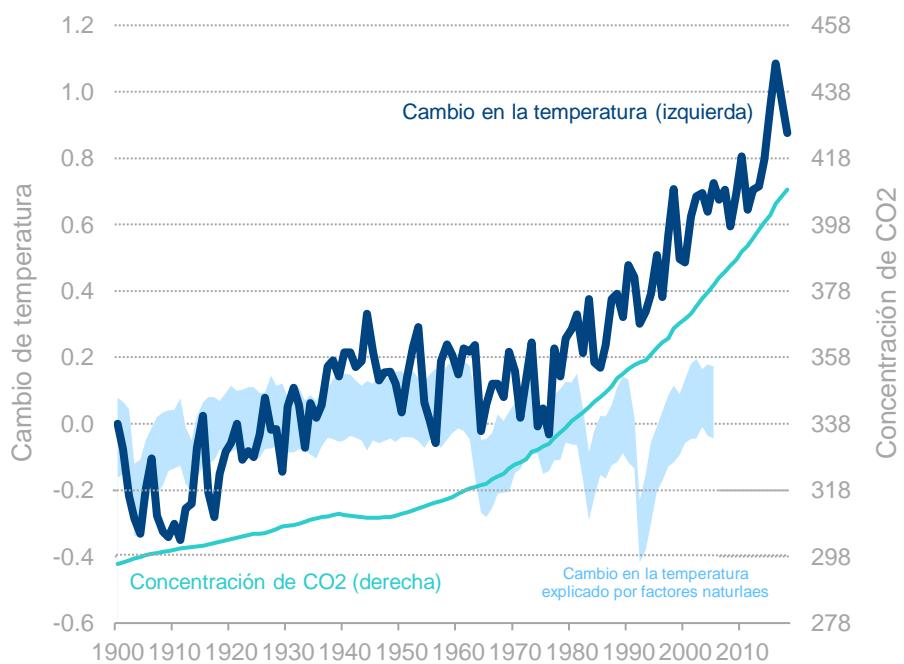


Gráfico 1: Cambio de la temperatura global entre 1900 y 2018, en desviación respecto al promedio 1850-1990, y concentración de CO₂. Fuente: elaboración propia a partir de NOAA y datos de Huber y Knutti (2012) en GlobalChange.gov

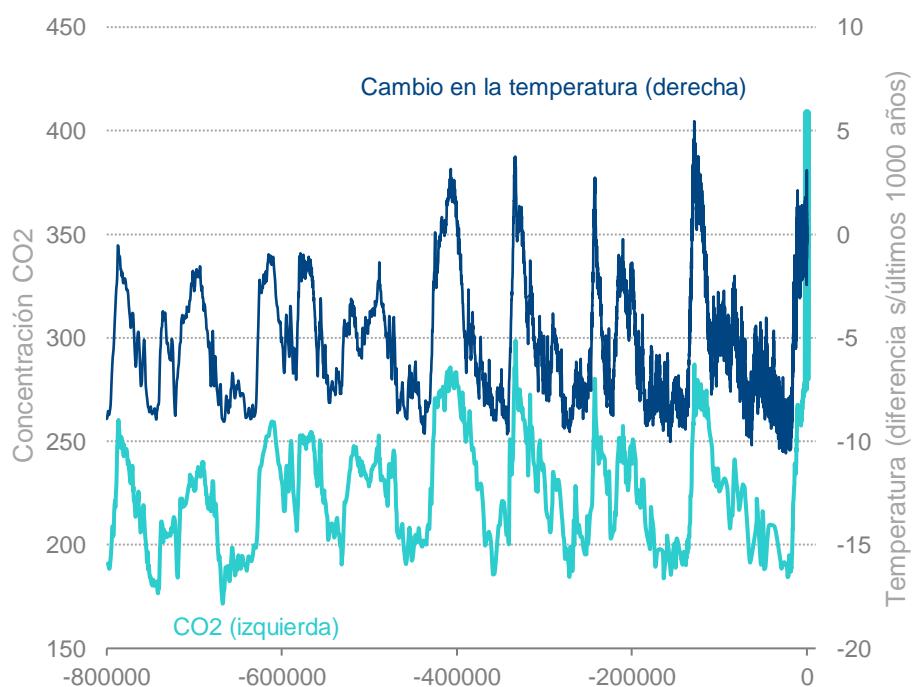


Gráfico 2: Cambio de la temperatura global y concentración de CO₂ en la atmósfera en los últimos 800 mil años. Fuente: elaboración propia a partir de Jouzel et al (2007), Lüthi et al. (2008) y NOAA (<http://bit.ly/38bQty6>). Muestra de hielo en la Antártida, programa EPICA. Concentración de CO₂ en Mauna Loa desde 1959

Knutti, Rugenstein y Hegerl (2017) revisan los resultados de 204 investigaciones, la mayor parte de ellas realizadas a partir de 2001, que han estimado la sensibilidad del cambio climático a la concentración de CO₂ con distintas muestras, metodologías, variables de control e interacciones entre factores. Su interpretación de todos esos resultados se resume en el Gráfico 3, que muestra la función de densidad de la sensibilidad climática. El área resaltada de esa función de densidad muestra los resultados más probables al 90 por ciento, entre 1,5º C y 4,5º C aproximadamente.

La evidencia disponible que muestran los Gráficos 2 y 3 indica que, incluso si se detuvieran las emisiones de CO₂, buena parte del cambio climático que ya se ha experimentado persistiría durante siglos. Desde una perspectiva intergeneracional, esta es la escala relevante a nivel humano, por lo que sus efectos económicos también serían muy persistentes en el tiempo.

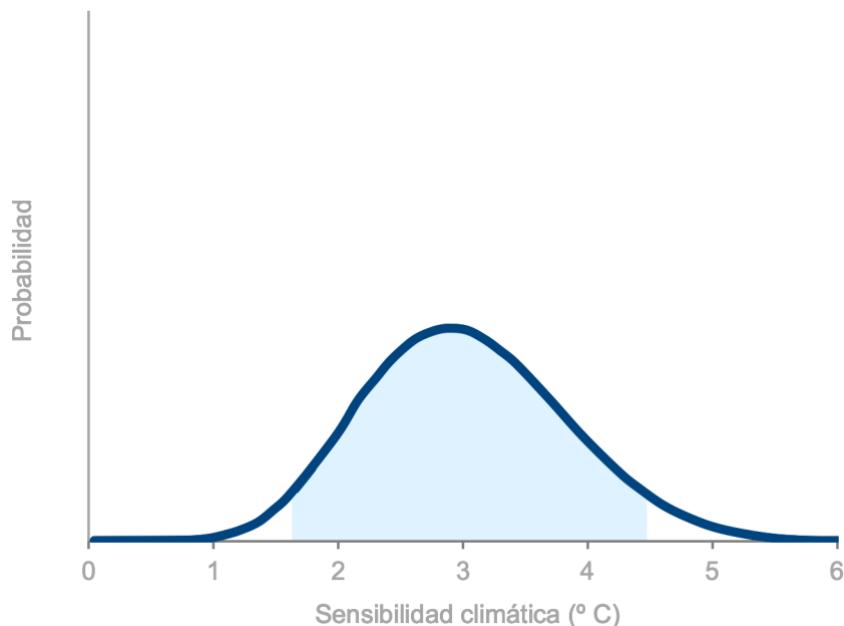


Gráfico 3: Sensibilidad climática al CO₂. Fuente: elaboración propia a partir de Knutti, Rugenstein y Hegerl (2017). El área representa el intervalo de valores con una probabilidad del 90 por ciento.

3. Los efectos de la actividad humana sobre las emisiones de CO₂

Si los efectos de la concentración de CO₂ sobre la temperatura global del planeta y el cambio climático están sujetos a incertidumbre, la del impacto del crecimiento económico sobre las emisiones de CO₂ es mucho menor. Si hasta 1750 la concentración de CO₂ en la atmósfera de

los últimos diez mil años apenas osciló entre 250 y 278 ppm, la mayor parte del aumento que se ha producido en los últimos 250 años es consecuencia de que el desarrollo económico ha sido, durante décadas, intensivo en el uso de energía obtenida de combustibles fósiles. La evidencia de serie temporal y de corte transversal entre países apunta a una estrecha correlación positiva entre las emisiones de CO₂ y la renta per cápita, al menos hasta alcanzar los niveles de las economías más avanzadas, cuando esta correlación empieza a ser negativa.

En el Gráfico 4 se muestra la correlación entre la intensidad en las emisiones (el cociente entre las emisiones totales de CO₂ sobre el PIB) y el PIB per cápita. En ambas variables el PIB se expresa en paridades de poder de compra para facilitar las comparaciones internacionales. De la evidencia de este gráfico pueden extraerse varias conclusiones. Primera, la correlación entre PIB per cápita y CO₂ es, en promedio, positiva hasta niveles del 30 por ciento de la renta per cápita de Estados Unidos. A partir de ese nivel se empieza a apreciar una relación negativa entre ambas variables. Esta curva con forma de U invertida muestra que las emisiones de CO₂ aumentan más rápidamente que la renta en las primeras fases de desarrollo y más lentamente cuando se alcanzan niveles de PIB per cápita más elevados. Como se observa en el gráfico, países ricos como Suecia o Suiza emiten los mismos niveles de CO₂ por unidad de PIB producida que algunos de las economías con menor renta per cápita del planeta.

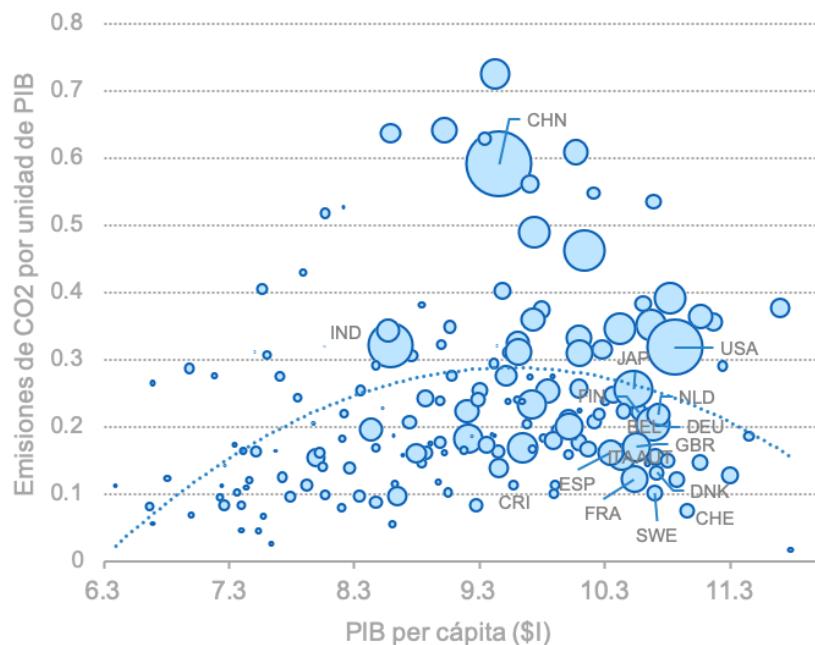


Gráfico 4: PIB per cápita y emisiones de CO₂ por unidad de PIB, 2014. Fuente: elaboración propia a partir de Banco Mundial y OurWorldInData. El tamaño de cada círculo es función de las emisiones totales de CO₂ de cada país.

Segundo, se observa una elevada dispersión entre economías. Por ejemplo, con niveles de renta per cápita similares, China emite casi seis veces más que Costa Rica por unidad de PIB producida. Las diferencias son menores, pero también importantes entre las economías avanzadas, de manera que la intensidad de emisiones de Estados Unidos triplica la de países como Suecia o Suiza. Como resultado de esta heterogeneidad, aunque la forma de U invertida es significativa en términos estadísticos, la renta per cápita sólo consigue explicar un 11 por ciento de la varianza observada entre países en las emisiones de CO2 por unidad de PIB.

Para comprobar si la mejora en eficiencia energética se traduce en menores emisiones per cápita, en el Gráfico 5 se muestra la relación existente entre las emisiones de CO2 y el PIB en 2014, ambas variables en términos per cápita. La renta per cápita permite explicar un 45 por ciento de la varianza en emisiones per cápita entre países y la relación es claramente creciente, incluso para los niveles de renta más elevados. Pero de nuevo se observa bastante heterogeneidad entre países. Con niveles de renta per cápita similares, las emisiones de CO2 per cápita en Estados Unidos son casi cuatro veces superiores a las de Suiza, que a su vez son casi la mitad que las de China y similares a las de países con niveles de renta per cápita diez veces inferiores. Estos resultados son sumamente esperanzadores puesto que indican que el crecimiento económico de muchos países en desarrollo es tecnológica y económicamente factible con el mantenimiento o incluso reducción de sus emisiones de CO2 per cápita. Como sostiene Stiglitz (2019), la sostenibilidad medioambiental no implica que los países en desarrollo tengan que renunciar a alcanzar los niveles de vida de las sociedades más avanzadas si el énfasis se pone en la calidad del crecimiento y en una estrategia apropiada de desarrollo basada en infraestructuras, regulaciones y fiscalidad adecuadas.

De la misma forma que las revoluciones industriales pueden generar una relación en forma de U invertida entre desigualdad de la renta y el PIB per cápita (que se conoce como curva de Kuznets), algo parecido puede ocurrir con indicadores medioambientales, como las emisiones de CO2, si a medida que los países se hacen más ricos utilizan tecnologías menos contaminantes y más sostenibles (véase, por ejemplo, Stern, 2004, o Dinda, 2004). Aunque la evidencia del Gráfico 5 es, en principio, desfavorable a la hipótesis sobre la existencia de una curva de Kuznets medioambiental, no puede concluirse esta afirmación sólo de la comparación entre países en un año dado sin tener en cuenta la información temporal.

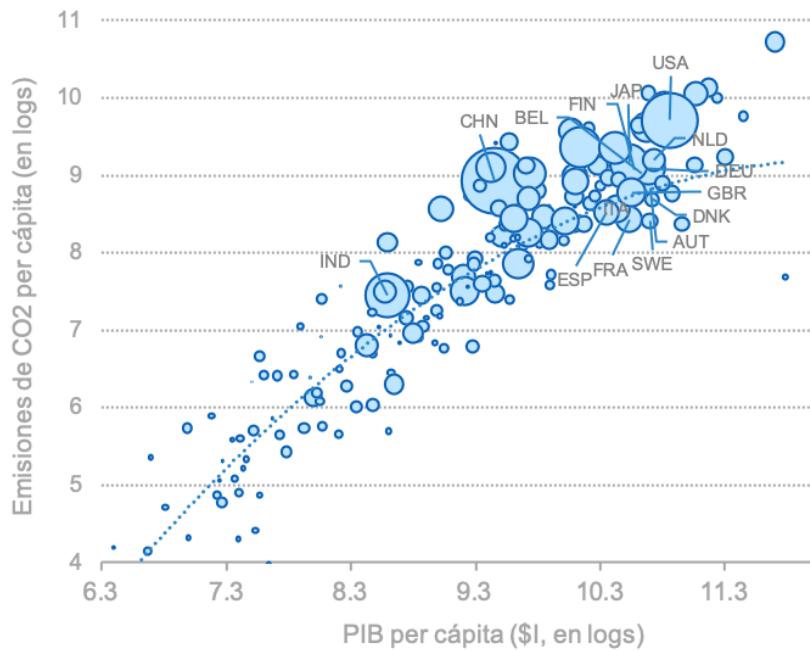


Gráfico 5: PIB y emisiones de CO2 per cápita, 2014. Fuente: elaboración propia a partir de Banco Mundial y OurWorldInData. El tamaño de cada círculo es función de las emisiones totales de CO2 de cada país.

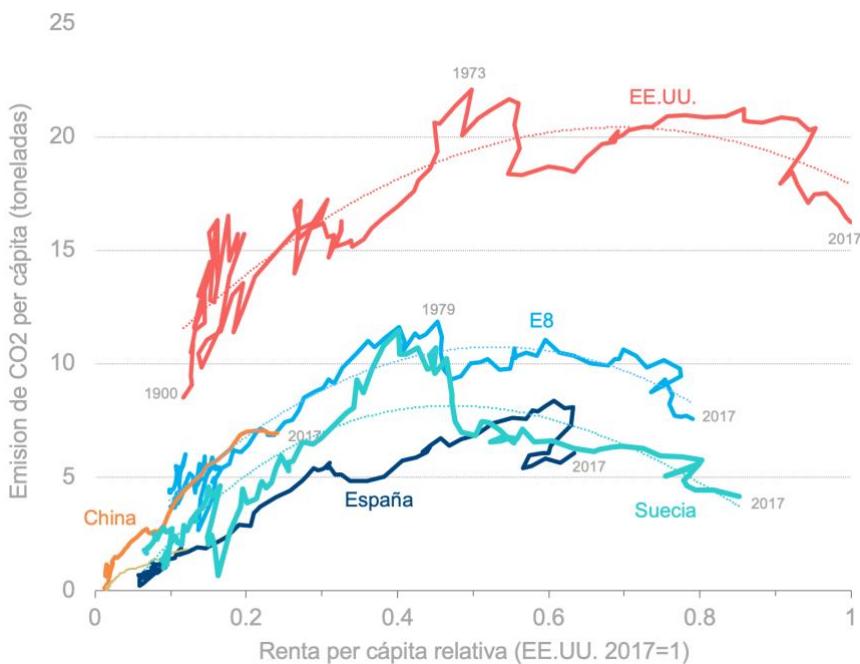


Gráfico 6: PIB y emisiones de CO2 per cápita, 1900-2017. Fuente: Andrés y Doménech (2020).

La evidencia muestra que algunos indicadores de calidad del aire y la emisión de gases de efecto invernadero presentan cierta evidencia de una curva de Kuznets medioambiental, pero los resultados sobre el nivel de renta per cápita a partir del cual la calidad medioambiental vuelve a mejorar son poco robustos. Estos resultados dependen de las

variables medioambientales utilizadas, de la muestra de países y del periodo temporal analizado, como pone de manifiesto el Gráfico 6.

Además de las enormes diferencias entre economías en su evolución temporal de la relación entre renta y emisiones de CO₂ per cápita, también se observan diferencias en los niveles de PIB per cápita y años en los que esa relación empieza a mostrar una tendencia negativa. La heterogeneidad que se observa en el Gráfico 6 tiene que ver con la distinta especialización sectorial, con las diferencias en el tiempo del proceso de industrialización, que ha permitido a los países que lo han iniciado más tarde acceder a las últimas generaciones de tecnologías menos contaminantes, y con las regulaciones medioambientales elegidas por cada país. Todo ello da lugar a que el máximo de emisiones per cápita se produzca con diferentes niveles de renta. Por ejemplo, en Suecia la relación en forma de U invertida alcanzó un máximo con un nivel de renta equivalente al 45 por ciento de la renta per cápita de Estados Unidos en 2017. En las ocho economías más avanzadas de Europa este máximo se produce con un nivel de renta per cápita relativo del 55 por ciento y en Estados Unidos del 70 por ciento de su nivel en 2017. En general, los picos de emisiones de CO₂ per cápita se produjeron durante las dos crisis del petróleo: en 1973 en Estados Unidos y 1979 en los países de E8. Otro resultado destacable es que las emisiones de Suecia en 2017 eran la cuarta parte de las de Estados Unidos de 2001, con el mismo nivel de renta per cápita, y las mismas que tenía Suecia unos 70 años antes, cuando su nivel de renta per cápita sólo representaba un 20 por ciento del que tiene Estados Unidos actualmente. Esto no es sorprendente ya que Suecia es unas de las sociedades que más tiempo lleva avanzando en la transición ecológica, con uno de los impuestos sobre las emisiones de CO₂ más elevados entre las economías avanzadas. A pesar de ello, su renta per cápita ha aumentado al mismo ritmo que en Estados Unidos, lo que pone de manifiesto que es posible conjugar el crecimiento económico y la sostenibilidad medioambiental sin un coste en términos de bienestar social. Más bien al contrario, puesto que el bienestar tiene también en cuenta la propia sostenibilidad ambiental, con implicaciones muy relevantes para las generaciones presentes y futuras.

De hecho, como señala Mokyr (2018), el crecimiento económico de los dos últimos siglos no ha internalizado el coste del deterioro medioambiental y la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que sus efectos positivos se han sobredimensionado. Por la misma razón el coste en el que habremos de incurrir para lograr una transición energética a una economía más sostenible debe entenderse como un pago diferido de los efectos negativos de la actividad humana sobre el medio ambiente. Esta es la misma lógica en la que descansa la propuesta de Arrow et al. (2012) para calcular la que denominan tasa de crecimiento

sostenible, es decir, aquella tasa que mantiene constante la riqueza de una sociedad (incluyendo tanto sus recursos naturales como el capital humano) y que, por lo tanto, garantiza que no se produce un deterioro medioambiental ni se perjudica el bienestar futuro.

Resulta natural, por consiguiente, evaluar el coste económico del cambio climático en términos de las pérdidas de bienestar y de renta per cápita en el futuro, que tendrían lugar en caso de no detener cuanto antes las emisiones de gases de efecto invernadero, en comparación con el coste de actuar ya para evitar el aumento de emisiones y de temperaturas. A estas dos cuestiones se dedican las dos secciones siguientes.

4. El coste económico de no actuar ante el cambio climático

Aunque la atención de los economistas al cambio climático no es nueva, ciertamente ha sido relativamente escasa en comparación con otras áreas del análisis económico. A medida que se han ido evaluando con más certidumbre los efectos de la actividad humana sobre el cambio climático, también se ha ido estimado con más precisión su coste económico.

Tras sus primeras investigaciones en los años setenta sobre el uso eficiente de energías no renovables, en parte motivadas por la crisis del petróleo de 1973, y sus modelos sobre sostenibilidad, el premio Nobel de Economía y premio Fronteras de Conocimiento de la FBBVA William Nordhaus fue uno de los pioneros en evaluar la interacción entre crecimiento económico, cambio climático y sostenibilidad medioambiental hace ya varias décadas (véase, por ejemplo, Nordhaus, 1977). En sus trabajos de finales de los años ochenta, las estimaciones del coste económico del aumento de temperaturas derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero eran bastante reducidas en comparación a las actuales. Por ejemplo, Nordhaus (1991) calculaba que un aumento de 3 grados centígrados en la temperatura global provocaría una disminución del PIB de alrededor de un cuarto de punto, aunque este impacto podría aumentar entre uno y dos puntos porcentuales del PIB bajo supuestos adicionales.

En su investigación publicada un año más tarde (Nordhaus, 1992) introdujo el modelo DICE, acrónimo en inglés de modelo *Dinámico Integrado de Economía del Clima*, que permitía estudiar conjuntamente la dinámica de las emisiones de gases de efecto invernadero, su concentración en la atmósfera, el cambio climático, el crecimiento económico y el coste de las políticas para reducir las emisiones. Se trata de uno de los primeros ejemplos de los modelos integrados de evaluación (IAM en su acrónimo en inglés), cuyos cuatro componentes principales son un modelo de proyección de emisiones de gases de efecto invernadero, otro que determina el cambio climático en función de las emisiones, una función de daños que establece el coste económico del cambio climático y, por último, una función de bienestar que

agrega el coste económico a lo largo del tiempo (véase Dell, Jones y Olken, 2014). Estos modelos integrados permiten estimar el coste social del CO₂, incorporando el bienestar de las generaciones futuras.

Las estimaciones iniciales del modelo DICE suponían que un aumento de 3°C reducían el PIB en 1,3 puntos porcentuales, aunque se reconocía que algunos efectos no considerados podían aumentar significativamente el coste económico del cambio climático. Como consecuencia de ello, las contribuciones posteriores de Nordhaus revisaron al alza este impacto, acercándose a 8 puntos de PIB para aumentos de 5 grados en la temperatura global (véase Nordhaus, 2018a). Esto es precisamente lo que muestra el Gráfico 7 en el que se representa la función de daños o coste económico en términos del PIB del aumento de la temperatura de la última versión disponible del modelo DICE de 2016. Una característica importante de este coste económico es que es cuadrático y, por lo tanto, aumenta más que proporcionalmente con la temperatura. En cualquier caso, el coste económico que incorpora el modelo DICE es relativamente asumible, equivalente a una recesión económica de carácter cíclico, incluso para aumentos de temperatura de 5 grados centígrados, en el rango superior de la sensibilidad climática que analizamos en la segunda sección.

En el mismo Gráfico 7 se ha representado la función de costes económicos del modelo integrado de evaluación PAGE (acrónimo de *Policy Analysis of the Greenhouse Effect*), en su versión de 2002 (véase Hope, 2006, y Díaz y Moore, 2017) que, a diferencia del enfoque global de DICE, tiene distingue sectores y ocho grandes regiones mundiales. Como puede apreciarse en el gráfico, con este modelo se estima que un aumento de las temperaturas entre 5 y 6 grados centígrados provocaría una disminución significativa del PIB entre el 7,5 y el 10 por ciento.

Los costes económicos derivados del modelo PAGE fueron utilizados por Nicholas Stern en el primer informe gubernamental sobre las consecuencias económicas del cambio climático, realizado en 2006. Como se señala en el mismo, si adicionalmente se considera la existencia de retroalimentación entre efectos y el debilitamiento de los sumideros de carbono, el coste económico del calentamiento global podría alcanzar el 20 por ciento del PIB en escenarios más adversos, muy por encima del escenario base del modelo PAGE.

En el Gráfico 7 también se han representado los costes económicos estimados en las investigaciones incluidas en la panorámica de Tol (2018), que comprende los resultados de 22 estudios, desde d'Arge (1979) hasta Nordhaus (2013). Adicionalmente, se han incluido las proyecciones del coste medio a largo plazo del aumento de las temperaturas obtenidas por Kahn et al. (2019) para cuatro escenarios diferentes dependiendo de la intensidad del aumento y de la capacidad de adaptación de las economías al mismo. Estas proyecciones hasta 2100 se

obtienen utilizando los resultados estimados de los efectos sobre la tasa de crecimiento del PIB per cápita del aumento de las temperaturas para 174 países de 1960 hasta 2014. Los cuatro escenarios permiten obtener el área trapezoidal sombreada del Gráfico 7. Limitar el aumento de las temperaturas en línea con el Acuerdo de París (2015) situaría este coste entre un 0,6 por ciento y un 1,6 por ciento. En el escenario más desfavorable, en el que las temperaturas aumenten 4 grados centígrados en 2100 y el tiempo medio de adaptación fuese de 4 décadas, el coste en términos de PIB per cápita en 2100 sería prácticamente equivalente al 10 por ciento del PIB per cápita de media global y alcanzaría el 14,3 por ciento en Estados Unidos. Estos costes son económicamente relevantes y estadísticamente significativos.

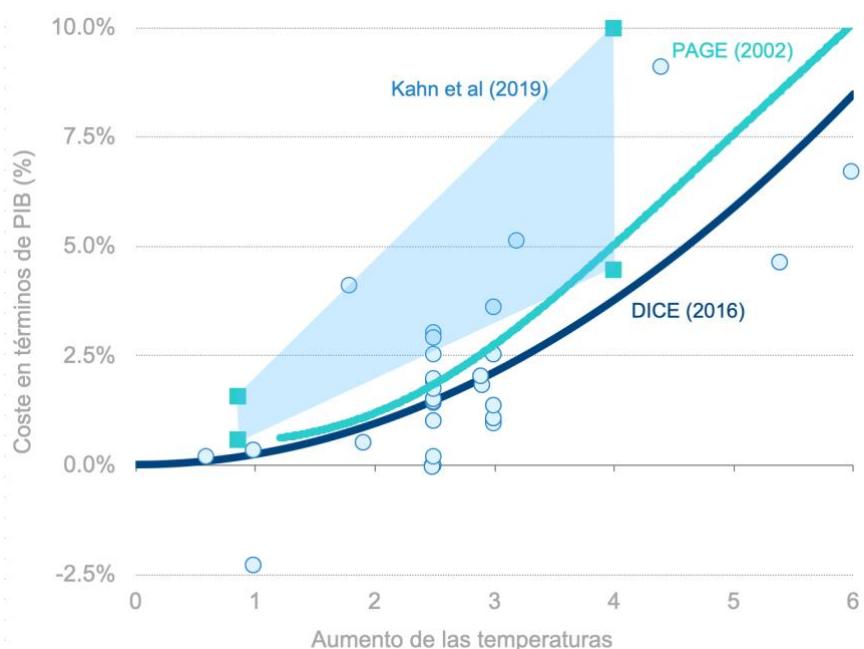


Gráfico 7: Coste económico del aumento de las temperaturas en porcentaje del PIB en DICE (2016), PAGE (2002), Kahn et al. (2019) y en la panorámica de Tol (2018). Fuente: elaboración propia a partir de Nordhaus (2017).

En promedio, los costes del cambio climático estimados por Kahn et al. (2019) están por encima de los que asumen los modelos DICE y PAGE. Como señalan Dell et al. (2014), uno de los desafíos más importante de las funciones de coste económico de los modelos integrados de evaluación es que no incorporan la evidencia econométrica más rigurosa y detallada sobre daños climáticos que ha ido apareciendo en las dos últimas décadas. El aumento y variabilidad del clima, sobre todo de la temperatura y las condiciones meteorológicas extremas, afectan a la producción agrícola, a la industria, a la productividad del trabajo, al stock de capital productivo e inmobiliario, a la salud y difusión de

enfermedades e, incluso, a la esperanza de vida y tasas de mortalidad de las personas. La mayoría de las investigaciones empíricas sobre el coste económico del cambio climático se concentran en el aumento previsto de la temperatura global. Sin embargo, la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos (sequías, inundaciones, olas de calor y frío, o huracanes) dependen también de volatilidad de las temperaturas y precipitaciones, y no sólo de su media.

Todos estos canales tienen el potencial de generar conflictos sociales y migraciones, incidir negativamente sobre el crecimiento económico, dependiendo de la capacidad de las sociedades para adaptarse gradualmente a los cambios climáticos, y afectar a la estabilidad política y financiera. Por ejemplo, Carney (2015) señala tres canales a través de los cuales el cambio climático puede afectar la estabilidad financiera. El primero de ellos tiene que ver con los daños físicos contemporáneos con efectos negativos sobre activos financieros, propiedades o disruptores en la actividad económica. El segundo se debe a los riesgos de compensaciones futuras a los afectados por los daños causados por el cambio climático. Y el tercero por los riesgos del proceso de transición hacia una economía con menos emisiones de carbono, en el que se podría producir una reevaluación muy intensa del valor de muchos activos financieros.

Además, más allá de los efectos económicos medios del aumento global de la temperatura, existe una gran heterogeneidad de efectos en distintas geografías. El consenso de la mayoría de las investigaciones es que el coste económico sería mayor en las economías en desarrollo, con consecuencias desastrosas en algunos países, que en las más avanzadas, que además cuentan con una mayor capacidad de adaptación al cambio climático (véase Tol, 2018).

Dada la incertidumbre existente y la complejidad de los canales a través de los que opera, resulta difícil resumir en una función de daño económico los costes de cambio climático. Por esta razón, algunos economistas como el propio Stern advierten de que es probable que la mayor parte de las estimaciones del coste económico estén sesgadas a la baja, ya que extrapolan las tendencias actuales a una situación completamente nueva y que no hemos conocido en nuestra historia, de manera que sus efectos no pueden compararse con situaciones similares en el pasado. Por ejemplo, según el informe Stern el aumento del nivel del mar como consecuencia del incremento de las temperaturas amenazaría las condiciones de vida de al menos 1 de cada 20 habitantes en el mundo. A esto habría que añadir las mayor probabilidad e intensidad de las inundaciones, la disminución de la biodiversidad, la amenaza a muchos ecosistemas o la existencia de no linealidades como, por ejemplo, la posibilidad de

que se liberen enormes cantidades de metano al derretirse el permafrost, lo que podría intensificar considerablemente el aumento de la temperatura global.

5. ¿Cómo prevenir el cambio climático?

Dados los potenciales costes económicos que hemos analizado en la sección anterior y la posibilidad de que los riesgos sean incluso mayores de lo que se prevé en la mayor parte de escenarios, es necesario que las sociedades apuesten por un crecimiento económico medioambientalmente sostenible con estrategias globales e integrales. Como señala Mazzucato (2019), el crecimiento económico no es solo una tasa o cantidad, sino que también debe tener una dirección u objetivo. Afortunadamente esto es posible y, por lo tanto, una opción para los países en sus estrategias de crecimiento. Como vimos en el Gráfico 5, China podría emular la vía de otros países que han tenido éxito en este reto, aumentando su renta per cápita en las próximas décadas, convergiendo gradualmente a los niveles de las sociedades más avanzadas, y reducir, al mismo tiempo, las emisiones per cápita de CO2 y de otros gases de efecto invernadero.

Para que estas estrategias tengan éxito deben ser globales e integrales, y abordar cuatro frentes. Primero, es necesario involucrar a la sociedad para que tome conciencia del desafío potencial que supone el cambio climático. En la medida que es necesario elegir entre alternativas de crecimiento económico con distintos efectos medioambientales, es preciso que la sociedad conozca los costes a corto plazo y los beneficios a largo de las distintas opciones posibles. Sólo así podrá asumir el esfuerzo de la transición energética. Como indica Nordhaus (2018b), la sociedad debe comprender las implicaciones y la gravedad de lo que supone potencialmente el calentamiento global. Más y mejor investigación sobre la sostenibilidad medioambiental no sólo es beneficiosa para anticipar el riesgo de cambio climático sino también para hacer frente a argumentos falsos y tendenciosos.

Segundo, la transición ecológica exige que la actividad económica internalice el coste medioambiental y los efectos de la acumulación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de regulaciones medioambientales más estrictas, el consenso entre los expertos es que una de las medidas más efectivas para reducir el riesgo de calentamiento global es aumentar la fiscalidad sobre estos gases, en particular sobre el CO2 (véase, por ejemplo, Golosov et al, 2014, y FMI, 2019). En términos de imposición óptima, para llegar a este resultado se necesita implantar un impuesto Pigouviano que corrija la externalidad medioambiental negativa. Esto es precisamente el objetivo de las estimaciones del coste social del carbono, que se define como el impacto económico de la emisión de una tonelada marginal

de dióxido de carbono y que sería el impuesto que un planificador social impondría a las emisiones de CO₂. Teniendo en cuenta las emisiones per cápita de cada país, este coste social del carbono se puede utilizar para calcular el consumo per cápita minorado por esta externalidad negativa y, de esta manera, el bienestar social teniendo en cuenta la acumulación de CO₂.⁴

El problema de estas estimaciones es que son muy sensibles a los supuestos sobre la absorción de las emisiones de CO₂ en la atmósfera y su impacto sobre el clima global, los efectos económicos a largo plazo del cambio climático, la forma en la que se valora el bienestar (es decir, la curvatura de la función de utilidad) y el tipo de descuento utilizado para expresar el coste futuro en términos de valor presente. Por ejemplo, manteniendo el resto de supuestos, para una tasa de descuento del 1,5 por ciento Golosov et al. (2014) calculan que el impuesto debería ser 60 dólares por tonelada, mientras que sería 500 dólares si la tasa de descuento fuera del 0,1 por ciento, ya que en este caso estaría aumentando significativamente el peso que se otorga al bienestar de las generaciones futuras.

Estas diferencias en función de los supuestos otorgan una enorme discrecionalidad en el cómputo y aplicación del coste social del carbono. Por ejemplo, utilizando una metodología y supuestos bastante convencionales, la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA en su acrónimo en inglés) empezó a publicar en 2010, durante el mandato de Barack Obama, estimaciones del coste social del carbono (véase Greenstone, Kopits y Wolverton, 2013), de manera que las administraciones públicas norteamericanas internalizaran el coste de las emisiones de CO₂. Estas estimaciones estaban alrededor de 50 dólares por tonelada, en línea con muchos de los estudios existentes como los de Golosov et al. (2014), o Nordhaus (2017), para un tipo de interés cercano al 2 por ciento, y son aproximadamente el doble de lo estimado por Tol (2019). Sin embargo, bajo la administración Trump, la Agencia de Protección Medioambiental ha revisado los supuestos de cálculo (por ejemplo, aumentando el tipo de interés de descuento), de manera que las nuevas estimaciones del coste social del carbono se sitúan entre 1 y 7 dólares por tonelada.

En claro contraste con estos resultados, la mayor parte de los estudios concluyen que para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París de 2015 es necesario aumentar los impuestos sobre CO₂ entre 50 y 100 dólares por tonelada en 2030. Aunque con diferencias

⁴ Un ejemplo de la estimación del bienestar social es el que calculan Andrés y Doménech (2020) para las principales economías avanzadas en función del consumo per cápita, las horas trabajadas, la desigualdad y la esperanza de vida, en línea con la propuesta de Jones y Klenow (2016). El bienestar social

entre países, en función de su mix energético y productivo y del uso de las tecnologías de última generación, en promedio para el G20 este incremento de la fiscalidad medioambiental sería equivalente a un 1,5 por ciento del PIB, a un aumento del 43 por ciento de la factura media en electricidad de los hogares, o del 14 por ciento del precio de la gasolina (véase FMI, 2019).

Es interesante destacar que países como Suecia han aumentado el impuesto sobre CO2 hasta 127 dólares por tonelada, un 60 por ciento por encima del precio medio recomendado de 75 dólares. Este incremento de la fiscalidad ha contribuido a limitar el consumo de energías contaminantes e incentivado la adopción de energías renovables y tecnologías más limpias y eficientes. El resultado, como vimos en el Gráfico 7 es que Suecia ha reducido sus emisiones per cápita en más de un 50 por ciento respecto a su máximo. Y además lo ha hecho sin menoscabo de la convergencia en renta per cápita con Estados Unidos, una economía más rica pero también con niveles muy superiores de emisiones de CO2. De hecho, en un trabajo reciente Metcalf y Stock (2020) no encuentran evidencia de un efecto negativo del impuesto sobre el carbono en el empleo y el crecimiento del PIB en los países europeos que forman parte del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones. Una posible interpretación de estos resultados es que los impuestos medioambientales no sólo permiten corregir una externalidad negativa, sino que crean un espacio fiscal para reducir otros impuestos con efectos más distorsionadores sobre el crecimiento y el empleo.

El diseño y aumento de los impuestos medioambientales debe hacerse minimizando sus potenciales efectos negativos y de manera coordinada internacionalmente. El calentamiento global es un reto a escala mundial, por lo que los efectos del aumento de la fiscalidad en un país son reducidos o inexistentes si no se aplican impuestos similares en el resto. Como señala Nordhaus (2015), la mayor esperanza para una coordinación efectiva de políticas globales con la que evitar conductas oportunistas y egoístas por parte de países que no aplican los acuerdos internacionales es mediante la existencia de clubs climáticos, que impongan sanciones comerciales a los países que no participen en el club. Sólo así se podrán mantener coaliciones estables y amplias con elevados niveles de reducción de las emisiones de CO2.

Otro reto de la fiscalidad medioambiental es evitar una amplia contestación social por parte de los contribuyentes que ven aumentados sus impuestos. Las revueltas sociales de los chalecos amarillos en Francia, de los tractores naranjas en Holanda o las protestas en Chile son un ejemplo de este riesgo. A este riesgo hay que añadir la incidencia sobre los costes de producción y la pérdida potencial de competitividad internacional que la fiscalidad

medioambiental puede generar frente a países en las que el aumento de estos impuestos no se lleve a cabo. Además de la concienciación social que se ha comentado anteriormente, es recomendable diseñar bien este tipo de políticas e, incluso, llevar a cabo pruebas piloto o experimentos aleatorizados para ver cómo funcionan de manera controlada, y utilizar buena parte de la recaudación obtenida con los impuestos verdes en transferencias de cuantía fija a los contribuyentes, independientemente de su renta per cápita. De esta manera se desincentivan fiscalmente las emisiones de gases de efectos invernadero (el que contamina, paga), pero al mismo tiempo todos los contribuyentes reciben una parte de los ingresos por la mayor recaudación medioambiental. En la medida que una mayoría reciba más de lo que paga, disminuye la probabilidad de tensiones sociales ante la fiscalidad medioambiental.

El tercer frente de actuación de la estrategia con la que reducir el riesgo de cambio climático es desplegar las tecnologías ya existentes, e innovar e invertir en otras nuevas menos intensivas en emisiones, en procesos productivos más eficientes energéticamente y en infraestructuras con las que acelerar la transición energética. Como hemos comentado anteriormente, y en línea con Stiglitz (2019), sin crecimiento económico, miles de millones de ciudadanos en las economías en desarrollo no alcanzarán el nivel de vida y de bienestar de las economías avanzadas. La solución pasa por conseguir que ese desarrollo económico venga acompañado de un cambio tecnológico suficientemente rápido como para mantener o incluso reducir las emisiones per cápita. En términos del Gráfico 6 esta estrategia supondría que países que tienen los mismos niveles de emisiones per cápita, pero poco más de un 10 por ciento de la renta per cápita de Suecia o Suiza se movieran horizontalmente a medida que se desarrollan económicamente, evitando la U invertida y la senda de aumento inicial y posterior disminución de emisiones.

Como señalan Andrés y Doménech (2020), a diferencia de las revoluciones industriales anteriores, muchas de las tecnologías de utilidad general de la revolución digital en curso tienen un enorme potencial para mejorar la eficiencia en la producción y el consumo, para reducir la huella de carbono del sistema productivo. Es importante redirigir la revolución digital para que sea más sostenible. Las energías renovables han mejorado significativamente su eficiencia y reducido su coste. La inteligencia artificial aplicada a datos masivos, la interconexión digital a través de internet de más y más objetos cotidianos, o los sensores inteligentes facilitan una logística y un transporte más eficiente, el control en tiempo real de todo tipo de emisiones, el uso de las energías renovables, anticipar el consumo de energía las 24 horas del día y todos los días del año, reducir la intensidad energética en la producción, las ciudades y hogares inteligentes, o la economía circular. Adicionalmente, la innovación en la

agricultura y la minería de precisión pueden aliviar la presión sobre los recursos naturales del planeta.

El cuarto y último frente tiene que ver con la financiación de la transición energética, es decir, con la capacidad de movilizar el capital necesario para realizar la transición productiva a una economía más sostenible y menos intensiva en carbono, innovar e invertir en las nuevas infraestructuras sostenibles, de manera horizontal en la mayor parte de sectores productivos. Todo ello requiere a su vez una regulación eficiente de las finanzas sostenibles, un análisis de los riesgos medioambientales a los que está expuesto el sistema productivo y el sistema financiero en su conjunto, tanto bancos como compañías aseguradoras, y anticipar la transición energética, con la finalidad de evitar variaciones súbitas en los precios de los activos y los problemas potenciales de inestabilidad del sistema financiero discutidos en la sección anterior. Además de una taxonomía de las actividades productivas y de las inversiones de acuerdo con sus impactos medioambientales, instituciones como el Banco de Inglaterra, el Banco Central Europeo o la Autoridad Bancaria Europea han anunciado ya la realización de pruebas de estrés a las entidades financieras para evaluar los riesgos en sus balances asociados al cambio climático.

Por otro lado, la tendencia secular de las últimas décadas, que muestran los tipos de interés reales hacia niveles más reducidos, favorece la inversión e innovación en tecnologías renovables, particularmente en un momento de cierta atonía inversora entre las economías más avanzadas. El impulso que la inversión pública en infraestructuras de este tipo puede suponer para la propia inversión privada puede hacer de este un terreno ideal para aumentar la actividad económica a corto y medio plazo y el PIB potencial a largo. En la medida que las inversiones que faciliten la transición energética aumenten el crecimiento potencial de las economías, podrían contribuir también a revertir parcialmente parte de la disminución del tipo de interés natural, reducir la probabilidad de estancamiento secular y ganar espacio fiscal. En este sentido es bienvenido el objetivo de la Comisión Europea por el Pacto Verde Europeo (*European Green Deal*) como nueva estrategia de crecimiento, para hacer de Europa el primer continente neutral en términos climáticos en 2050 (véase Comisión Europea, 2019). Sin duda es un reto y, al mismo tiempo, una enorme oportunidad para aumentar el bienestar de los ciudadanos europeos y para relanzar la innovación, el crecimiento económico y la creación de empleo.

6. Conclusiones

De acuerdo con las últimas estimaciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2018), al ritmo de emisiones actuales, la temperatura media global podría aumentar unos 4 grados centígrados en 2100 respecto a la media entre 1986 y 2005. Aunque existe bastante incertidumbre sobre el coste económico del cambio climático, las investigaciones más recientes indican que en el escenario base el impacto de este aumento de temperaturas supondría entre un 4 y un 10 por ciento de menor renta per cápita a largo plazo, pudiendo más que duplicar estos efectos si se materializan los escenarios más pesimistas en la distribución de posibles eventos.

Para evitar este riesgo y limitar el aumento global de las temperaturas a 1,5 grados centígrados en línea con el Acuerdo de París de 2015, la sostenibilidad medioambiental tiene que estar en el centro de la estrategia de crecimiento de los países y actuar más rápida y anticipadamente, para reducir los costes económicos y sociales. La transición energética debe ser justa y socialmente sostenible, para no dejar a nadie atrás y que cuente con el apoyo de la mayor parte de la sociedad. Para ello hay que concienciar la sociedad de los riesgos y costes asociados al cambio climático, aumentar la fiscalidad medioambiental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, innovar e invertir en tecnologías que aceleren el crecimiento económico, sobre todo de las economías en desarrollo, y permitan al mismo tiempo reducir las emisiones, y movilizar los recursos necesarios para financiar la transición energética.

Como ha reconocido recientemente la Comisión Europea, es posible convertir el reto de la sostenibilidad ambiental en una nueva oportunidad de crecimiento con la que crear empleo y mejorar el bienestar de nuestras sociedades, otorgando la misma importancia al interés de las generaciones futuras que al de las presentes. En la medida que la transición energética no es gratis, el desafío es encontrar un equilibrio socialmente aceptable entre los costes de transición y los enormes beneficios de una sociedad medioambientalmente neutral.

Referencias bibliográficas

- Arrow, K. J., P. Dasgupta, L. H. Goulder, K. J. Mumford y K. Oleson (2012): "Sustainability and the measurement of wealth." *Environment and Development Economics*, 17.3 (2012): 317-353.
- Carney, M. (2015): "Breaking the Tragedy of the Horizon – climate change and financial stability." Bank of England. <http://bit.ly/2Qlx5rN>
- Comisión Europea (2019): *A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent.* <http://bit.ly/39BmqAw>
- Dell, M., B. F. Jones, y B. A. Olken (2014): "What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature." *Journal of Economic Literature*, 52 (3): 740-98. <http://bit.ly/352jzOz>

- Diaz, D., y F. Moore (2017): "Quantifying the economic risks of climate change." *Nature Climate Change*, 7(11), 774-782. <http://bit.ly/2SAQR3Z>
- Dinda, S. (2004): "Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey." *Ecological Economics*, 49(4), 431-455.
- Etheridge, D.M., L.P. Steele, R.L. Langenfelds, y R.J. Francey, (1996): "Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 101, 4115-4128.
- Farnsworth, A., Lunt, D.J., O'Brien, C.L., Foster, G.L., Inglis, G.N., Markwick, P., Pancost, R.D. y Robinson, S.A. (2019): "Climate Sensitivity on Geological Timescales Controlled by Nonlinear Feedbacks and Ocean Circulation." *Geophysical Research Letters*, 46.16, 9880-9889.
- FMI (2019): *Fiscal Monitor: How to Mitigate Climate Change*. <http://bit.ly/2SMAt06>
- Golosov, M., J. Hassler, P. Krusell y A. Tsyvinski (2014): "Optimal taxes on fossil fuel in general equilibrium." *Econometrica*, 82(1), 41-88. <http://bit.ly/2th7z1b>
- Greenstone, M., E. Kopits y A. Wolverton (2013): "Developing a social cost of carbon for US regulatory analysis: A methodology and interpretation." *Review of Environmental Economics and Policy*, 7(1), 23-46. <http://bit.ly/2Slwq4w>
- Hope, C. (2006): "The Marginal Impact of CO₂ from PAGE 2002." *Integrated Assessment Journal*, 6(1), 9-56. <http://bit.ly/2Shvv7h>
- IPCC (2018): *Global Warming of 1.5°C*. <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>
- Jones, C. y P. Klenow (2016): "Beyond GDP? Welfare across Countries and Time," *American Economic Review*, vol. 106(9), 2426-2457.
- Kahn, M. E., Mohaddes, K., Ng, R. N., Pesaran, M. H., Raissi, M., y Yang, J. C. (2019): "Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis." NBER w26167. <http://bit.ly/2YzRVWF>
- Knutti, R., M.A.A. Rugenstein y G.C. Hegerl (2017): "Beyond equilibrium climate sensitivity." *Nature Geoscience*, 10.10, 727-736. <http://bit.ly/355woaM>
- Metcalf, G. y J. H. Stock (2020): "Measuring the Macroeconomic Impact of Carbon Taxes." Presentado en *2020 Annual Meeting of the American Economic Association*.
- Mokyr, J. (2018): "The Past and the Future of Innovation: some lessons from Economic History." *Explorations in Economic History*, 69, 13-26.
- Nordhaus, W. D. (1977): "Economic growth and climate: the carbon dioxide problem." *The American Economic Review*, 67(1), 341-346.
- Nordhaus W. D. (1992): "An optimal transition path for controlling greenhouse gases." *Science* 258, 1315-1319.
- Nordhaus, W. (2015): "Climate clubs: Overcoming free-riding in international climate policy." *American Economic Review*, 105(4), 1339-70. <http://bit.ly/2QDSUBv>
- Nordhaus, W. D. (2017): "Revisiting the social cost of carbon." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1518-1523. <http://bit.ly/2ZeSjdp>
- Nordhaus, W. D. (2018a): "Evolution of modeling of the economics of global warming: Changes in the DICE model, 1992-2017." *Climatic Change*, 148(4), 623-640. <http://bit.ly/2PPq4PG>
- Nordhaus, W. D. (2018b): "Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics." Nobel Lecture in Economic Sciences. <http://bit.ly/2scNO7d>
- O'Neill, Brian C., et al. "IPCC reasons for concern regarding climate change risks." *Nature Climate Change* 7.1 (2017): 28-37.
- Pindyck, Robert S. (2013) "Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?" *Journal of Economic Literature*, 51 (3): 860-72. <http://bit.ly/2P2ED1H>
- Pretis F, Schwarz M, Tang K, Haustein K, Allen MR. (2018): "Uncertain impacts on economic growth when stabilizing global temperatures at 1.5°C or 2°C warming." *Phil. Trans. R. Soc. A* 376: 20160460. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0460>
- Stern, D. I. (2004): "The rise and fall of the environmental Kuznets curve." *World Development*, 32(8), 1419-1439. <http://bit.ly/2P89Cd2>
- Stiglitz, J. (2019): "Is Growth Passé?" Project Syndicate. <http://bit.ly/2PF4aNM>
- Stips, A., Macias, D., Coughlan, C., Garcia-Gorriz, E., & San Liang, X. (2016): "On the causal structure between CO₂ and global temperature." *Scientific Reports*, 6, 21691, 1-9. <https://go.nature.com/2sXPbXu>

- Tol, R. S. (2018): "The economic impacts of climate change." *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 4-25. <http://bit.ly/2MNBvkP>
- Tol, R. S. (2019): "A social cost of carbon for (almost) every country." *Energy Economics*, 83, 555-566. <http://bit.ly/2QjoA0n>