

PRINCIPALES CONSECUENCIAS ECONÓMICAS DERIVADAS DE LOS CAMBIOS EN EL CLIMA

José Luis Blasco Vázquez

Doctor en Economía y Licenciado en CC Químicas

Director Global de Sostenibilidad de ACCIONA

RESUMEN

Desde los primeros descubrimientos científicos en el siglo XIX hasta las investigaciones más recientes, se ha demostrado con claridad cómo el incremento de gases como el CO₂, el metano y el óxido nitroso impacta significativamente en la temperatura global. En el presente artículo se analizan los orígenes de la ciencia climática, así como su relación con los modelos económicos que estudian las principales consecuencias derivadas del cambio climático.

El texto profundiza en los efectos económicos específicos que provoca este fenómeno, incluyendo pérdidas en sectores como la agricultura, la pesca, el turismo, la industria alimentaria y los seguros. Además, destaca cómo nuevos modelos matemáticos están ayudando a prever y comprender las dinámicas entre el crecimiento económico y el cambio climático.

Estos modelos arrojan resultados que evidencian cómo las respuestas políticas internacionales y los escenarios futuros para enfrentar este desafío global resultan aún insuficientes a la hora de implementar medidas concretas para limitar el calentamiento global. Una verdad incómoda que interpela a nuestra generación a minimizar las pérdidas económicas y humanas, asegurando la estabilidad del planeta para las generaciones futuras.

*“Somos la primera generación que comprende plenamente el impacto del cambio climático,
y la última que puede hacer algo para evitarlo”*

António Guterres, Secretario General de las Naciones Unidas

1. EL CARÁCTER ANTROPOGÉNICO DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA DEL PLANETA

En 1824, el físico y matemático francés Joseph Fourier en su artículo “*Mémoire sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires*” presentó por primera vez la idea de que la atmósfera de la Tierra funciona de manera similar a un invernadero (Fournier, J., 1827). Según Fourier, la atmósfera permite la entrada de energía solar, similar a cómo el vidrio de un invernadero permite el paso de la luz, pero retiene el calor en su interior. Él identificó tres principales fuentes de calor que contribuyen a este efecto:

- La radiación solar, que varía a lo largo del año y con ello es responsable de la variedad de climas;
- El calor proveniente del espacio interplanetario, irradiado por la luz de numerosas estrellas; y
- El calor interno de la Tierra, generado desde su formación.

Diferentes historiadores de la física (American Institute of Physics, 2021) atribuyen al físico irlandés John Tyndall el descubrimiento de que el bloqueo de la radiación infrarroja en la atmósfera, causado por variaciones en la concentración de ciertos gases, podría provocar un cambio climático se produjo en 1859, cuando identificó en laboratorio dos gases responsables de este efecto: el vapor de agua y el dióxido de carbono.

Se puede considerar que el siguiente aporte científico relevante al estudio de los cambios en el clima fue realizado por Svante Arrhenius, cuando en 1896 llegaba a la conclusión de que si se reducía la cantidad de CO₂ en la atmósfera a la mitad, la temperatura en Europa disminuiría entre 4-5°C, es decir, temperatura que se observaba en la edad de hielo.

Sus trabajos perseguían explicar el enigma de las edades de hielo atribuyendo el cambio de temperatura, a cambios en la composición atmosférica. Según el historiador del Instituto Norteamericano de Física Spencer Weart, Arrhenius recurrió a un colega, Arvid Högbom, el cual había recopilado estimaciones sobre los ciclos del dióxido de carbono a través de procesos geoquímicos naturales (Weart, 2021). Al comparar estas con las cantidades de CO₂ emitidas por las fábricas y otras fuentes industriales, concluyó que estas actividades humanas añadían CO₂ a la atmósfera a un ritmo comparable a los procesos geoquímicos naturales (Crawford, 1997).

Aunque en aquella época la cantidad de CO₂ adicional era insignificante en comparación con el volumen total presente en la atmósfera, se estimaba que todas las emisiones generadas por la quema de carbón en 1896 apenas habrían incrementado la concentración en una milésima parte. (Crawford, 1997).

En 1938, el ingeniero británico Guy Callendar publicó cómo el nivel de dióxido de carbono estaba incrementando la temperatura global. Para ello utilizó los registros de 147 estaciones meteorológicas de todo el mundo, y demostró que las temperaturas habían aumentado durante el siglo anterior, así como las concentraciones de CO₂ habían aumentado durante el mismo periodo. Pero la mayoría de los científicos de aquel tiempo consideraron que sus argumentos en torno a lo que se denominó el "efecto Callendar" eran inverosímiles (BBC News, 2013).

Tras la Segunda Guerra Mundial, diferentes equipos de científicos decidieron dedicar tiempo y recursos al estudio de las dinámicas atmosféricas y los potenciales cambios en el clima que pudieran tener un origen antropogénico. En 1952, el físico teórico Lewis D. Kaplan demostró que añadir más CO₂ debería estar cambiando el equilibrio de la radiación en la atmósfera superior. (American Institute of Physics, 2021).

Gracias a la creciente potencia de la computación el físico Gilbert N. Plass y un grupo de científicos norteamericanos comprobaron que la adición de CO₂ en la atmósfera aumentaba la interferencia de la radiación infrarroja. Más allá de este resultado cualitativo, Plass calculó que duplicar el nivel supondría un aumento de 3-4°C. Suponiendo que las emisiones continuaran al ritmo actual (años 50), preveía que la actividad humana elevaría la temperatura media mundial "a razón de 1,1 °C por siglo" (Weart, 2021).

Es en la década de los 60 del siglo pasado cuando comienzan las mediciones de alta precisión de la concentración atmosférica de CO₂ atmosférico. Estas fueron iniciadas por Charles David Keeling en 1958, en el observatorio de Mauna Loa¹ en Hawaii, constituyendo la serie temporal más amplia que documenta la composición de la atmósfera a lo largo del tiempo (Howe, 2015) y se pueden consultar en línea².

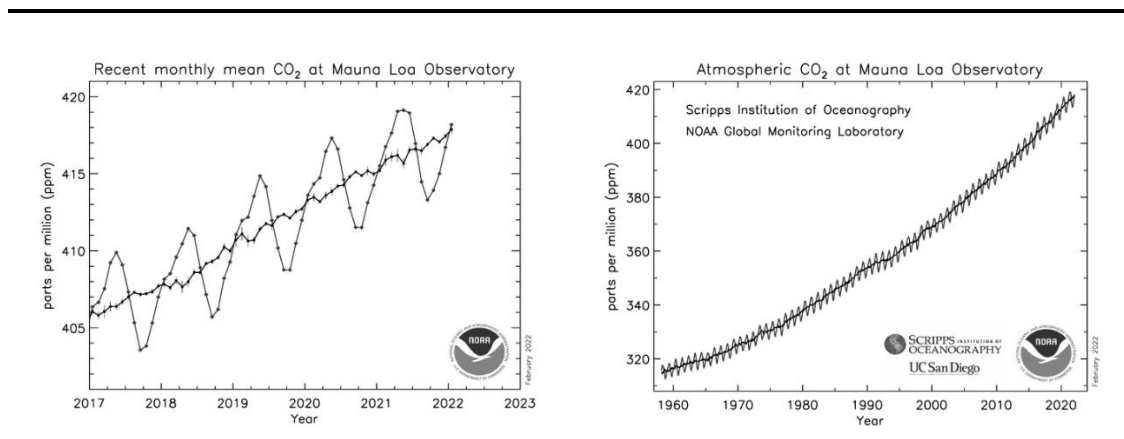
¹ Las medidas en continuo de este observatorio se pueden consultar en este enlace, dónde se pueden comprobar las alteraciones en la concentración de CO₂ derivadas del incremento de las emisiones de CO₂ : <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

² <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

Estas medidas proporcionan un registro continuo que permite a los científicos separar las emisiones de los combustibles fósiles, de las debidas del ciclo anual natural de la biosfera, demostrando el cambio que se está produciendo en el intercambio estacional de CO₂ entre la atmósfera, la biosfera y el océano (Treut et al., 2007).

Mientras que la concentración de CO₂ atmosférico aumentó sólo 20 ppm en los 8.000 años antes de la industrialización, la concentración de CO₂ atmosférico ha aumentado desde un valor preindustrial desde 280 ppm a más de 427 ppm en 2025 (1)

Figura 1. Incremento de la concentración en la atmósfera observado desde Mauna Loa en Hawaii (NOAA)³



Principales sustancias que generan el denominado efecto invernadero

Probado por los científicos el carácter antropogénico del clima, la influencia de las diferentes sustancias precursoras del cambio climático se mide de acuerdo al concepto forzamiento radiativo (*RF* por sus siglas en inglés).

Este se produce debido a que la energía total que el Sol emite hacia la Tierra, considerado un cuerpo negro a una temperatura de 5.780 K; es reflejado de vuelta aproximadamente en un 30% al espacio (albedo), mientras que el 50% es absorbido por la superficie terrestre y el 20% restante por la atmósfera.

Esta absorción atmosférica se atribuye en gran medida a componentes minoritarios de la atmósfera, como el dióxido de carbono, vapor de agua, metano, óxido nitroso y ozono. Mientras que los componentes mayoritarios, el nitrógeno y el oxígeno, son en su mayoría transparentes a la radiación solar. Esto se produce debido a que estas moléculas poseen una simetría cuya interacción con la luz solar visible y la radiación infrarroja terrestre, que va de 5 a 100 μm , provoca una absorción extra de energía que da lugar al fenómeno explicado del forzamiento radiativo (Antonio, 2010).

La contribución de los gases a este forzamiento radiativo se mide en su *Potencial de Calentamiento Global* (GWP). Para calcular el GWP de un gas, los científicos estiman el forzamiento radiativo que ese gas genera y lo integran a lo largo del tiempo, tomando en cuenta la razón de degradación en la atmósfera y la duración de su presencia.

Para la medida del GWP se toma como referencia el dióxido de carbono, de esta forma esta métrica cuantifica cuánta energía absorberá 1 tonelada de un gas en particular en un periodo establecido, en comparación con 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂). Un GWP alto indica que un gas tiene una mayor capacidad de calentar la Tierra que el CO₂ en el mismo intervalo de tiempo. Comúnmente, el periodo utilizado para calcular el GWP es de 100 años. Los GWP facilitan una métrica uniforme que permite a los analistas sumar y comparar las emisiones

³ <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

de distintos gases, así como ayudar a los formuladores de políticas a evaluar las opciones de reducción de emisiones en diversos sectores (US EPA, 2016).

Por otro lado, el metano (CH_4), con un GWP de entre 27 y 30 para un periodo de 100 años, y más de 80 en el caso de un periodo de 20 años. Este tiene una vida atmosférica mucho más corta que el CO_2 , pero absorbe mucha más energía. Este alto GWP del metano también considera efectos indirectos, como su papel en la formación de ozono, otro gas de efecto invernadero (US EPA, 2016).

El óxido nitroso (N_2O) presenta un GWP que es 273 veces mayor que el del CO_2 para un periodo de 100 años, dado que este gas también perdura en la atmósfera por más de un siglo. En cuanto a los gases como los Clorofluorocarbonos (CFC), Hidrofluorocarbonos (HFC), Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), Perfluorocarbonos (PFC), y Hexafluoruro de Azufre (SF_6), se los considera de alto PCG porque capturan mucho más calor en comparación con el mismo peso de CO_2 , con GWP que pueden alcanzar los miles o incluso decenas de miles.

Además de la eficiencia radiativa, el poder contributivo al calentamiento global de un gas depende de otros tres factores (Peláez, 2017).

- *Del tiempo de vida medio de dicho gas en la atmósfera.* La vida media será menor cuanto más intensos sean los procesos que destruyen ó absorben dicho gas. Ejemplo: la vida media del CH_4 es mucho menor que la del CO_2 .
- *Del tiempo de respuesta del sistema climático.* El tiempo de respuesta se refiere al tiempo que tarda en absorber el 63% de la energía teórica que puede absorber.
- *De las emisiones de dicho gas a la atmósfera.* Se refiere a la cantidad de dicho gas emitido a la atmósfera cada año.

Una vez considerado su poder contributivo, la respuesta internacional al cambio climático se ha centrado en la regulación de los siguientes siete gases de efecto invernadero (IPCC, 2014) (IPCC, EPA, 2023) (Parlamento Europeo, 2023).

- *Dióxido de carbono (CO_2):* Este gas se produce naturalmente por la respiración animal y la descomposición de materia orgánica. También se emite a través de la combustión de combustibles fósiles y ciertas reacciones químicas. Durante la fotosíntesis, las plantas absorben CO_2 , utilizando la luz solar para generar energía, lo cual subraya la importancia crucial de los bosques en la captura de carbono (GWP₂₀=1)

- *Metano (CH_4):* El metano, un componente principal del gas natural, es incoloro. Se libera durante la producción y transporte de carbón, petróleo y gas natural. También proviene de la agricultura, el uso del suelo y la descomposición de desechos orgánicos en vertederos. En 2021, el sector agrícola, forestal y pesquero fue el principal emisor de metano (GWP₂₀= 81,2).

- *Óxido nitroso (N_2O):* Generado por la actividad microbiana en suelos y el uso de fertilizantes nitrogenados, la quema de biomasa, y en procesos industriales, este gas tiene fuentes significativas en la agricultura y la industria, así como en la quema de combustibles fósiles y residuos sólidos, y en el tratamiento de aguas residuales. GWP₂₀= 273

- *Hidrofluorocarburos:* Constituyendo cerca del 90% de las emisiones de gases fluorados, la Unión Europea está trabajando hacia su eliminación gradual para 2050. Estos gases se usan principalmente en sistemas de refrigeración, aire acondicionado, bombas de calor, inhaladores para el asma, aerosoles técnicos, agentes espumantes y extintores. Su fuente proviene principalmente del sector comercial y automotriz.

- *Perfluorocarbonos:* Usados frecuentemente en procesos de fabricación industrial. Los perfluorocarburos son compuestos sintéticos.

- *Hexafluoruro de azufre*: Este gas se emplea habitualmente para el aislamiento en líneas eléctricas. GWP=18.300

- *Trifluoruro de nitrógeno*: Se utiliza para limpiar depósitos de material en componentes de microprocesadores y circuitos durante su fabricación. GWP=12.800

Además, nos encontramos con el *vapor de agua*, en realidad es el gas de efecto invernadero más abundante e importante presente en la atmósfera y se calcula que el causante de entre el 30-70% del forzamiento. Sin embargo, las actividades humanas tienen sólo una pequeña influencia directa respecto de la cantidad de vapor de agua en la atmósfera por lo que no se considera un gas de efecto invernadero con carácter antropogénico según el IPCC (IPCC, 2014).

2. DINÁMICA DE LA INTERACCIÓN ENTRE LA ECONOMÍA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El problema fundamental que plantea el cambio climático en los modelos económicos es su carácter secular como externalidad (Andrew, 2008). Se trata de un fenómeno cuyas consecuencias - costes o beneficios- se extienden fuera del mercado y no se recogen en los precios. Estos pueden incluir efectos indirectos positivos, como los nuevos conocimientos, y los negativos, como es en este caso el calentamiento del planeta (Stern, 2007).

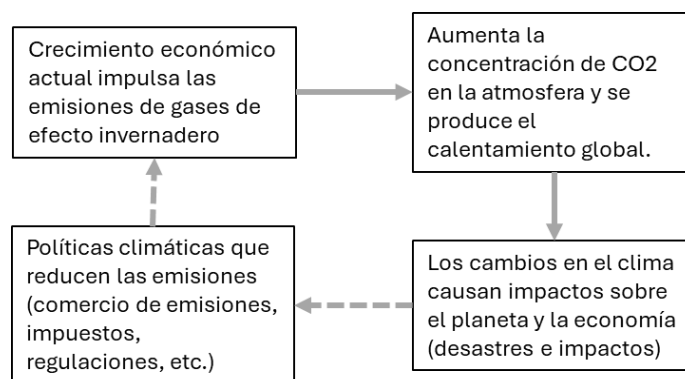
De acuerdo a la teoría de los bienes públicos desarrollada por Paul Samuelson (W. D. Nordhaus, 2006), los dos atributos clave de un bien público son, en primer lugar, que el coste de extender el efecto (el servicio del producto) a una persona adicional es cero ("no rivalidad") y, segundo, que es imposible excluir a los individuos de su disfrute ("no exclusividad"). La teoría de los bienes públicos se aplica también al cambio climático. En este caso hablamos de una externalidad negativa en forma de gases de efecto invernadero (GEI), que además es global. En estas externalidades globales los impactos se extienden por todo el mundo, aunque se produzcan en lugares discretos. Se podrían considerar externalidades globales de este tipo, las crisis financieras internacionales o el riesgo de ciberdelincuencia.

En 2018, un discípulo de Samuelson, el economista norteamericano William Nordhaus, recibió el premio Nobel de Economía por los trabajos que describían las interacciones entre la economía y el cambio climático. En su discurso de recepción del Premio exponía "la externalidad climática es especialmente perniciosa porque afecta a muchas actividades de la vida diaria, afecta a todo el planeta y lo hace durante décadas, incluso siglos, y, sobre todo, porque ninguno de nosotros, actuando individualmente, puede hacer nada para frenar los cambios" (W. Nordhaus, 2019).

En la década de 1990, Nordhaus desarrolló los primeros modelos de evaluación integrados para explorar cómo el crecimiento económico afecta a las emisiones de carbono y cómo el cambio climático afecta a su vez al crecimiento económico, que denominó como modelo DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy model) (W. D. Nordhaus, 2017).

El modelo DICE considera el cambio climático en el marco de la teoría del crecimiento económico. En un modelo de crecimiento óptimo neoclásico estándar como el modelo de Ramsey, la sociedad invierte en bienes de capital, reduciendo así el consumo actual, para aumentar el consumo en el futuro (W. D. Nordhaus, 2017). El modelo DICE modifica el modelo Ramsey para incluir los impactos y las inversiones climáticas, con un tratamiento análogo a las inversiones de capital en el modelo estándar.

Figura 2. Modelo dinámico Integrado Economía – Clima propuesto por William Nordhaus



La estructura básica del modelo muestra el flujo circular lógico que parte de las emisiones al clima, a los impactos, luego a las políticas y cerrando el círculo de vuelta a las emisiones.

El fenómeno del calentamiento global comienza en el recuadro superior izquierdo, donde el crecimiento económico y las señales de precios distorsionadas conducen a un rápido aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. La flecha se desplaza a la casilla superior derecha donde las concentraciones de CO₂ y otras fuerzas conducen a importantes cambios en el sistema climático. Los cambios en el clima producen entonces impactos en los sistemas humanos y naturales en el recuadro inferior derecho. Por último, el recuadro de la parte inferior izquierda muestra las respuestas de la sociedad a la amenaza del cambio climático.

3. FACTORES FÍSICOS: ALTERACIONES CLIMÁTICAS

Con el fin de facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta se creó 1998 el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)⁴.

Se trata de un órgano intergubernamental formado por expertos nominados por 195 países (todos los países de las Naciones Unidas y de la Organización Meteorológica Mundial) el cual examina y evalúa de forma constante la bibliografía científica, técnica y socioeconómica relacionada con la comprensión del cambio climático y producida en todo el mundo. Se puede decir que es un órgano científico, pero por sí mismo no lleva a cabo investigación alguna, ni supervisa los datos o parámetros relativos al clima y está supervisado por los gobiernos. Ninguno de ellos recibe pago alguno por los servicios prestados en el IPCC.

El último análisis realizado, el sexto (AR6) (Reisinger, Andy, Mark Howden, Carolina Vera, et al, 2020), se fue presentando por partes desde septiembre de 2021 y a lo largo de 2022. Estos informes que han puesto de manifiesto el consenso existente en la comunidad científica sobre el carácter antropogénico del cambio climático y la aceleración de sus efectos sobre la temperatura y los ecosistemas de la Tierra.

La importancia de no superar los 1.5°C

Unos años antes, en 2018 el IPCC estableció los márgenes de confianza en los que los incrementos de temperatura provocados por el calentamiento global no tendrían impactos significativos sobre los ecosistemas terrestres de forma irreversible (Masson-Delmotte, 2019).

Teniendo en cuenta que los impactos observados durante la década de 2006-2015, provocaron un calentamiento global de 0,87 °C, y aunque todavía no se dispone de información directa sobre los impactos de un calentamiento global de 1,5 °C, la distribución global de los impactos observados permite

⁴ Información sobre el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático se puede encontrar en www.ipcc.ch

el uso de metodologías capaces de detectar los impactos en sistemas fuertemente influenciados por factores (por ejemplo, la urbanización y la presión humana en general) o en los que el clima puede desempeñar solo un papel secundario en el impulso de los impactos (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Usando estos modelos, el informe de 2018 detallaba los efectos de un potencial incremento de la temperatura media de 1.5°C a 2°C (IPCC, 2019). Estas diferencias incluyen incrementos en la temperatura media en la mayoría de las regiones terrestres y oceánicas, calor extremo en regiones habitadas, precipitaciones intensas en varias regiones, y la probabilidad de sequías y déficits de precipitación en algunas áreas. El informe proyecta que los países en los trópicos y los subtrópicos del hemisferio sur experimentarán los mayores impactos.

Los efectos que detalla este informe destacan las temperaturas extremas que podrían aumentar más que la temperatura media global del aire superficial (GMST), con días extremadamente calurosos en latitudes medias calentándose hasta aproximadamente 3°C con un calentamiento global de 1.5°C y alrededor de 4°C con 2°C. Las noches extremadamente frías en latitudes altas podrían calentarse hasta 4.5°C con 1.5°C y cerca de 6°C con 2°C de calentamiento.

Los eventos de precipitación intensa también tendrían riesgos más altos en latitudes altas del hemisferio norte, Asia oriental y Norteamérica del este con 2°C de calentamiento. La precipitación asociada con ciclones tropicales sería mayor con 2°C comparado con 1.5°C.

El informe proyecta para el año 2100, un nivel medio global del mar aproximadamente 0.1 metro más bajo con un calentamiento de 1.5°C comparado con 2°C. El aumento del nivel del mar continuaría más allá de 2100, y su magnitud y velocidad dependerían de los caminos futuros de emisión. En el interior de los continentes, los impactos en la biodiversidad y los ecosistemas, incluida la pérdida de especies y la extinción, serían menores con un calentamiento global de 1.5°C comparado con 2°C.

Limitar el calentamiento global a 1.5°C en comparación con 2°C reduciría los impactos en los ecosistemas terrestres, de agua dulce y costeros, y retendría más de sus servicios para los humanos.

Los riesgos relacionados con el clima para la salud, los medios de vida, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico aumentarían con un calentamiento global de 1.5°C y aumentarían aún más con 2°C. Limitar el calentamiento a 1.5°C en comparación con 2°C podría reducir el número de personas expuestas a riesgos relacionados con el clima y susceptibles a la pobreza hasta en varios cientos de millones para 2050.

Estos cambios, a su vez, pueden tener impactos significativos en las vidas de las personas, seguridad y bienestar. Gran parte de la civilización y la economía dependen del entorno natural para su estabilidad, previsibilidad y recursos básicos. El cambio climático afectará la relación que tenemos con el medio ambiente, incluyendo los sectores específicos como:

- *Seguros*: El Programa Nacional de Seguros contra Inundaciones en EE. UU., por ejemplo, recauda alrededor de \$3.6 mil millones en primas cada año, pero asegura más de \$1.25 trillones en activos totales. Muchas compañías de seguros están comenzando a retirarse de mercados que consideran catastróficos (Weitzman, 2012).

- *Agricultura*: Las temperaturas más altas podrían reducir los rendimientos de muchos cultivos, como los granos, debido a que un crecimiento más rápido reduce el tiempo de maduración de las semillas. Un informe de la ONU de 2014 sugirió que los precios de los alimentos podrían aumentar hasta un 84% para 2050 debido a la caída de los rendimientos (Wiebe et al., 2015).

- *Industria de alimentación*: La escasez de agua amenaza al mercado mundial de bebidas y agua embotellada, valorado en \$247 mil millones. Cambios en los patrones climáticos podrían impactar la

disponibilidad o aumentar el costo de materias primas clave para las grandes compañías de alimentos (Gregory et al., 2005).

- *Pesca comercial*: El aumento de los niveles del mar y la acidificación oceánica afectarán negativamente a la industria pesquera. Por otra parte, la pérdida de hábitat para especies como el salmón y la trucha podría ser considerable (Galappaththi et al., 2022).

- *Esquí*: El acortamiento y calentamiento de los inviernos podría ser devastador para el turismo basado en el clima frío. En 2023, se advirtió que con un calentamiento global de 2°C por encima de los niveles preindustriales, el 53% de los 28 centros turísticos europeos examinados estaría en un riesgo muy alto de tener una cantidad escasa de nieve (Laville, 2023)

- *Vinicultura*: El cambio geográfico en las áreas de producción de uvas para vino podría ser dramático. Regiones tradicionales de vino como Rioja, Borgoña o Toscana podrían experimentar una caída del dos tercios en la producción, mientras que nuevas regiones, como el sur de Inglaterra, podrían emerger como nuevos centros vinícolas.(van Leeuwen et al., 2024).

4. FACTORES DERIVADOS DE LA TRANSICIÓN: ACELERACIÓN DE LAS POLÍTICAS CLIMÁTICAS

En la segunda mitad del siglo XX, las cuestiones medioambientales se consideraron por primera vez en el ámbito internacional e intergubernamental. Las catástrofes provocadas por derrames de petróleo en la costa de Alaska hasta el descubrimiento de los efectos perniciosos de los insecticidas promovieron un estado de opinión en el que se cuestionaba que el modelo de crecimiento imperante pudiera ser continuar de forma indefinida, derivado a la dependencia y carácter finito de los recursos naturales en los que se basa.

Un ejemplo de esta corriente de pensamiento fue la publicación en 1972 de “los Límites del Crecimiento” (Meadows et al., 2013) en el que 17 científicos del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), a petición de la organización conocida como Club de Roma, publicaron un informe de gran impacto para entender cómo los impactos que se observaban podrían poner en peligro el futuro de la humanidad, tal como se entendía en aquel entonces.

En 1972, la Conferencia de Estocolmo, organizada por Naciones Unidas, marcó un hito en la política ambiental global, que dio entre otros resultados, la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y en el inicio de esfuerzos coordinados para promover la protección del planeta. Sin embargo, durante la Cumbre el cambio climático fue tratado marginalmente como una cuestión científica más que como un problema político urgente. A lo largo de la década de 1970 y 1980, la creciente preocupación por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) llevó a conferencias clave como la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima en 1979 y la de Toronto en 1988.

En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el PNUMA establecieron el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que ha producido cinco evaluaciones exhaustivas y fue galardonado con el Premio Nobel de la Paz en 2007. El primer informe del IPCC en 1990 instó a la acción global, culminando en la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992 durante la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro. Este tratado, firmado por casi todos los países del mundo, busca estabilizar las concentraciones de GEI para prevenir impactos antropogénicos dañinos en el clima. Además, estableció diferentes responsabilidades para los países, asignando a las naciones industrializadas el papel principal en la lucha contra el cambio climático.

Siguiendo el impulso generado por los informes del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la Asamblea General de la ONU comenzó las negociaciones que llevaron a la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

el 9 de mayo de 1992. Esta Convención se firmó en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil, un mes después, estableciendo el primer acuerdo global para abordar el cambio climático, con casi una aceptación universal de 197 Partes.

La Convención tenía como objetivo "estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático". Reconoció la existencia del cambio climático provocado por el hombre y categorizó a los países en tres grupos con compromisos diferenciados, asignando a los países industrializados (Partes del Anexo I) la responsabilidad principal en la lucha contra el cambio climático.

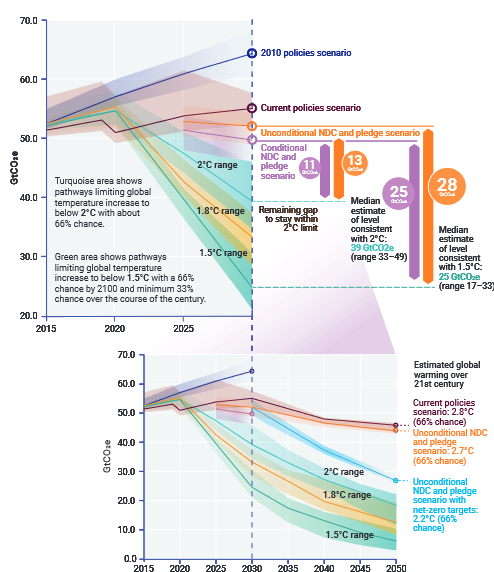
Desde su adopción, la CMNUCC ha celebrado anualmente una Conferencia de las Partes (COP), el órgano supremo de decisión, donde los países revisan y promueven la implementación de la Convención. Durante la COP 1 en 1995, comenzaron negociaciones que llevarían al Protocolo de Kioto en 1997, que estableció por primera vez objetivos vinculantes de reducción de emisiones para los países industrializados. Aunque las emisiones globales continuaron aumentando, el protocolo fue un paso adelante significativo, y la Enmienda de Doha extendió estos compromisos hasta 2020, sentando las bases para el futuro Acuerdo de París.

El camino hacia el Acuerdo de París comenzó en 2007 en la COP 13, aunque fue en la COP 21 en París, en 2015, donde se lograron compromisos significativos. El Acuerdo de París estableció el objetivo ambicioso de mantener el aumento de las temperaturas globales "muy por debajo de los 2 °C" y de "proseguir los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5 °C". A diferencia de acuerdos anteriores, el Acuerdo de París obligó a todas las Partes, desarrolladas y en desarrollo, a presentar Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), que son planes nacionales para combatir el cambio climático.

Para 2018, en la COP 24 en Katowice, Polonia, se adoptó el Libro de Reglas de París, que delineó directrices detalladas para implementar el Acuerdo, aunque algunos aspectos técnicos quedaron pendientes y fueron finalmente acordados en la COP26 en Glasgow en 2021. Este Libro de Reglas abarca desde la transparencia hasta la rendición de cuentas, esencial para seguir la progresión y la efectividad de las NDC.

A pesar de los avances, los informes anuales del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente sobre la brecha de emisiones señaló que las NDC actualizadas o nuevas y los compromisos anunciados para 2030 todavía son insuficientes para alcanzar los objetivos climáticos establecidos, evidenciando una necesidad crítica de aumentar la ambición global (Environment, 2021) (UN Environment, 2023).

Figura 3. Consecuencias del incremento de las emisiones en las temperaturas globales (UN Environment, 2023)⁵.



Sin bien es cierto que se necesita una reducción antes de 2030 del 30% para limitar el calentamiento a 2°C y un 55% para 1,5°C. según el citado informe, las emisiones proyectadas para 2030 en base a las promesas países presentadas en 2023, hacen prever que el calentamiento alcanzará 2,5°C (UN Environment, 2023).

Objetivo cero emisiones a mediados de siglo

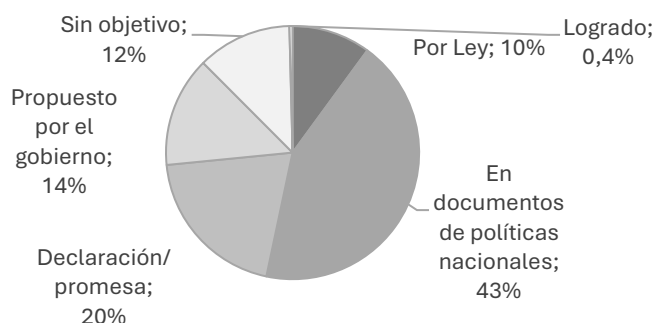
Tras la pandemia sufrida entre 2020 y 2022, la conciencia global sobre la importancia de actuar contra el cambio climático se ha acelerado de forma notable. Los compromisos de cero emisiones durante este periodo nos muestran que las empresas, las ciudades, los estados, las regiones, los inversores y las universidades de todo el mundo comprenden que el reto de hacer frente al cambio climático (NetZero Tracker, 2022).

En la primavera de 2022, 137 países se habían comprometido con la neutralidad del carbono. Y en lo que respecta a los primeros logros, Bután y Surinam fueron los dos primeros países que han alcanzado la neutralidad de carbono y se entiende que son realmente carbono negativos (eliminan más carbono del que emiten) (NetZero Tracker, 2022)..

Uruguay tiene como objetivo lograrlo en 2030 seguido por los europeos Finlandia, Austria, Islandia, Alemania y Suecia, que tienen como objetivo 2045. Más del 90%, es decir, 124 de los 137 países mencionados, se han fijado como objetivo alcanzar la neutralidad de carbono en 2050 y sólo cinco países se han comprometido a alcanzar la neutralidad después de 2050, entre ellos Australia y Singapur, que aún no han fijado un objetivo firme. Además de Ucrania y Kazajistán, el mayor emisor del mundo, China, tiene como objetivo 2060 (NetZero Tracker, 2022).

⁵ <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36990/EGR21.pdf>

Figura 4. Países con objetivos establecidos de neutralidad climática (Abril, 2022)
(NetZero Tracker, 2022).



El Pacto Verde Europeo y los objetivos de reducción de emisiones de la UE

En junio de 2021, se aprobó la Ley Europea del Clima que convierte en ley el objetivo de ser neutro en carbono en 2050 (Reglamento (UE) 2021/1119)⁶. La ley establece el objetivo intermedio de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en al menos un 55% para 2030, en comparación con los niveles de 1990. Este paquete de medidas denominado "Fit for 55" es un conjunto de propuestas políticas de la Comisión Europea que incluyen un conjunto de cambios en las políticas existentes, así como nuevas medidas para reducir las emisiones, entre las que destacan el refuerzo de los objetivos de reducción de emisiones para cada Estado miembro (Unión Europea, 2021);

- Un mecanismo de ajuste en la frontera del carbono, que pone un precio al carbono en las importaciones de hierro y acero, cemento, aluminio, fertilizantes y electricidad.
- El aumento del objetivo de producción de energía renovable hasta el 40% para 2030.
- La actualización de los objetivos de eficiencia energética para cada Estado miembro hasta el 36-39% para 2030.
- La revisión del Sistema de Comercio de Emisiones de la UE (ETS), y un nuevo ETS para el transporte por carretera y los edificios.
- La revisión de la Directiva sobre fiscalidad de la energía, introduciendo un tipo impositivo mínimo en toda la UE para los combustibles contaminantes de la aviación y el transporte marítimo.
- Normas más estrictas sobre las emisiones de CO₂ de coches y furgonetas, que exigen que las emisiones medias de los coches nuevos se reduzcan en un 55% a partir de 2030 y en un 100% a partir de 2035 en comparación con los niveles de 2021.
- Una obligación para los proveedores de combustible en los aeropuertos de la UE de mezclar niveles crecientes de combustibles de aviación sostenibles en el combustible para aviones a través de la iniciativa de aviación *ReFuelEU*.
- Un límite máximo en el contenido de GEI de la energía utilizada por los buques que hacen escala en los puertos europeos a través de la Iniciativa Marítima *FuelEU*.
- La introducción de un objetivo global de la UE para la absorción de carbono por los sumideros naturales, equivalente a 310 millones de toneladas de emisiones de CO₂ para 2030.
- Una nueva Estrategia Forestal de la UE, que establece un plan para plantar tres mil millones de árboles en toda Europa para 2030.

Cada una de estas medidas tienen un impacto significativo en los sectores de energía, transporte, infraestructuras, agricultura o forestal y sobre el presupuesto de la UE que dedicará un 30% anualmente a políticas climáticas de acuerdo a la Ley.

⁶ Revisado posteriormente por el Reglamento (UE) 2023/857 del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de abril de 2023 por el que se modifica el Reglamento (UE) 2018/842 sobre reducciones anuales vinculantes de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los Estados miembros entre 2021 y 2030 que contribuyan a la acción por el clima, con objeto de cumplir los compromisos contraídos en el marco del Acuerdo de París, y el Reglamento (UE) 2018/1999.

5. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA ECONOMÍA

El efecto global del cambio climático sobre el crecimiento económico será probablemente negativo a largo plazo (Stern, 2007). Aunque habrá diferentes ganadores y perdedores a distintos niveles de calentamiento, el impacto del aumento de las temperaturas será generalizado, debido a la globalidad de los efectos y la conexión financiera, política y económica de las economías del mundo (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Las consecuencias desde el punto de vista de las transformaciones físicas sobre los sectores más expuestos a los recursos naturales pueden influir en el crecimiento económico provocando daños a propiedades e infraestructuras, la pérdida de productividad, las migraciones masivas y las amenazas a la seguridad. (alimentación, turismo, inmobiliaria, etc.), así mismo tenga influencia desde el punto de vista de la aplicación de las políticas de transición sobre los sectores económicos más intensivos en emisiones (energía, transporte, agricultura, etc.) (Stern, 2007).

Principales factores de impacto

Los impactos sobre la economía pueden provenir de diferentes fuentes (Molico, M, 2019) (IPCC (AR5), 2014) (Hoegh-Guldberg et al., 2018):

- **Perdida o depreciación de activos:** Los impactos generalizados y dominantes sobre los ecosistemas, las personas, los asentamientos y las infraestructuras consecuencia de los aumentos observados en la frecuencia e intensidad de los extremos climáticos y meteorológicos, incluidos los extremos cálidos en la tierra y en el océano, las fuertes precipitaciones, la sequía y los incendios.
- **Daños sobre los recursos:** El cambio climático causado daños sustanciales, y pérdidas cada vez más irreversibles, en los ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos costeros y de alta mar.
- **Agua y alimentos:** El cambio climático, incluido el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos, ha reducido la seguridad alimentaria y del agua, obstaculizando los esfuerzos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- **Salud de las personas:** El cambio climático ha afectado negativamente a la salud física de las personas a nivel mundial a la salud mental de las personas en las regiones evaluadas
- **Infraestructura de las ciudades:** En los entornos urbanos, el cambio climático observado ha causado impactos en la salud humana, los medios de vida y las infraestructuras clave
- **Prosperidad económica:** Se han identificado cada vez más impactos económicos adversos globales atribuibles al cambio climático, incluidos los fenómenos meteorológicos lentos y extremos.
- **Crisis humanitarias:** El cambio climático está contribuyendo a las crisis humanitarias en las que los riesgos climáticos interactúan con una alta vulnerabilidad.

Cuantificación de los impactos económicos

El reto de hacer frente al calentamiento global es especialmente complejo, porque abarca disciplinas muy diversas y partes de la sociedad muy diferentes. Los análisis y modelos de evaluación de los impactos climáticos desempeñan un papel fundamental a la hora de encajar las diferentes piezas del puzle de consecuencias que conllevan los diferentes escenarios.

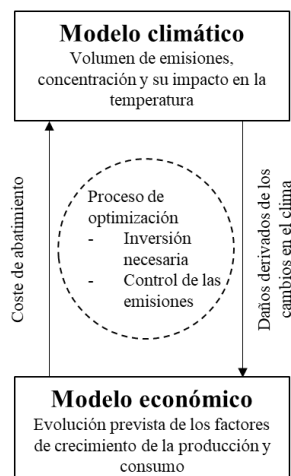
Estos modelos denominados *IAMs* por sus siglas en inglés (Integrated Assessment Models) pueden definirse como enfoques que integran conocimientos de dos o más ámbitos en un único marco. A veces son teóricos, pero los modelos computarizados a partir de datos empíricos, dinámicos y no lineales desarrollan modelos con mayores niveles de complejidad.

Estos modelos de evaluación integrada del cambio climático surgieron como un desarrollo de los modelos energéticos desarrollados en la década de los setenta por Tjalling, ganador del Premio Nobel de Economía en 1975 (Nordhaus, W, 2017).

Los modelos de Koopmans (Modeling Resource Group (MRG)) sirvieron de base para proyectar demanda de energía y las tecnologías en un largo horizonte temporal y constituyen la base de gran parte de la modelización que se inició en aquella época y que llega hasta la actualidad.

De esta forma, los primeros IAM sobre cambio climático eran básicamente modelos energéticos con un modelo de emisiones incluido a los que se les fue añadiendo modelos de ciclo del carbono y más tarde los modelos de escenarios climáticos.

Figura 1.5. Esquema básico de funcionamiento de un IAM - adaptado de (Stanton et al., 2009).



Según Wilson (Wilson et al., 2021) los IAM pueden clasificarse en seis tipos.

- Los métodos de evaluación utilizan datos observables: simulaciones históricas, observaciones a corto plazo y hechos estilizados o simplificados.
- Dos métodos de evaluación utilizan comparaciones entre modelos: jerarquías de modelos de simples a complejos y proyectos de comparación entre modelos.
- El análisis de sensibilidad sería un sexto método de evaluación que suele aplicarse a los modelos individuales, pero que también puede formar parte de las comparaciones entre modelos.

Los IAM se utilizan cada vez más en los análisis de los gobiernos nacionales y en las evaluaciones internacionales, permitiendo calcular el impacto de los escenarios climáticos y las políticas a poner en marcha, en variables importantes como la producción, las emisiones, el cambio de temperatura y el efecto de la actividad económica en el clima; y que estas proyecciones tengan entradas y salidas coherentes de los distintos componentes del sistema clima-economía (por ejemplo proyecciones del PIB sean coherentes con las de las emisiones).

El libro "*To slow or not to slow*" (W. Nordhaus, 1991) fue la primera evaluación económica de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y sentó las bases de una amplia bibliografía. En la actualidad existen docenas de IAM. Los modelos van desde los más pequeños, como el modelo DICE descrito en los apartados anteriores, hasta los más complejos, que pueden tener hasta decenas de miles de variables. Sin embargo, difieren en el que cada uno de ellos se estima se produzca el punto de inflexión de las emisiones globales y la velocidad de la reducción en momento diferentes.

Principales modelos de evaluación

a. Modelos de W.D. Nordhaus (2013).

Los cálculos del premio Nobel William Nordhaus son ampliamente utilizados por los economistas, estima que el daño climático sería progresivo, por lo que no se alcanzaría ningún punto de inflexión y la población mundial tiempo para compensar cualquier efecto negativo del calentamiento

global. Según este modelo para el año en el que el mundo fuera 4°C más cálido, la producción económica anual será sólo un 4% inferior a la de un caso base sin calentamiento. El caso base del estudio de Nordhaus es un calentamiento de alrededor del 3,8% para 2100. Nordhaus cree que el impacto económico del cambio climático será probablemente pequeño durante las próximas dos décadas y que la agricultura es el sector más expuesto al calentamiento global. Aunque los efectos acumulados se estiman “razonables” en el momento en que se alcancen los 4°C y la pérdida en términos de crecimiento medio anual sería pequeña y difícil de estimar.

b. Modelos de Martin Weitzman (2012).

Otra de las previsiones más citadas es la elaborada por el profesor Martin Weitzman de la Universidad de Harvard. Esta estima que para cuando se alcancen los 4°C de calentamiento, se perderá el 9% de la producción económica anual en relación con una base sin efecto de calentamiento. En este escenario, los sectores más predispuestos a los riesgos del cambio climático a nivel mundial son probablemente se vean afectadas, por ejemplo, los seguros, la agricultura y la silvicultura (estos sectores sólo aportan el 5% del PIB mundial).

Si asumimos un caso base de crecimiento económico anual del 3% y que el calentamiento de 4°C se alcanza en 2080, considera que el crecimiento anual se reducirá al 2,85% (Weitzman, 2012).

c. Modelos de Nicholas Stern (2007).

Las previsiones de Nicholas Stern, de la London School of Economics conmocionaron a la sociedad cuando en 2007 publicó escenarios en el que la economía mundial sufriría pérdidas considerables como consecuencia del cambio climático.

Este modelo incluye también las consecuencias directas sobre el medio ambiente y sobre la salud humana (consecuencias conocidas en el informe como ‘no comerciales’) que incrementan el coste total del impacto del cambio climático del 5% al 11% del PIB. Apunta la posibilidad de que la reacción del sistema climático a las emisiones de gases de efecto invernadero sea mayor de lo hasta ahora supuesto, debido, por ejemplo, a la existencia de interacciones entre los efectos que producen una amplificación de los efectos. Entre otros destaca la liberación de metano o el debilitamiento de los sumideros del carbono. Sobre esta base sus cálculos indican que la escala potencial de la reacción climática podría incrementar el coste del cambio climático del 5% al 7% del PIB o del 11% al 14%, de incluirse las consecuencias ‘no comerciales’ anteriormente descritas (Stern, 2007).

El informe destaca que un porcentaje desproporcionado de esta “carga” climática recaerá sobre las regiones pobres del mundo.

d. Modelos de Simon Dietz y Nicholas Stern (2013).

Los modelos de Dietz y Stern (Dietz & Stern, 2015) son los más aplicados en la actualidad y se basan en los esquemas generales de los modelos "DICE" de Nordhaus y se comparan con los elaborados con Weitzman, incluyendo tres elementos adicionales que no se encontraban en el modelo original:

- **Endogeneidad del crecimiento:** En el modelo original se consideraba que los elementos subyacentes del crecimiento económico son exógenos y no se ven afectados por el cambio climático. En su lugar, se incluyen dos modelos de crecimiento endógeno, en los que los daños del cambio climático afectan a los motores del crecimiento a largo plazo, no sólo a la producción actual.

- **Impactos que interactúan entre sí:** En el modelo de Nordhaus, la función de daño que relaciona el daño climático instantáneo con el aumento de la temperatura media global es sólo débilmente convexa. En su lugar, se incluye la posibilidad de que los daños instantáneos aumenten rápidamente, sobre todo una vez que la temperatura media global alcance los 4-6°C por encima del nivel preindustrial.

▪ **Respuesta imperfecta:** Se introduce que la sensibilidad climática no se conoce con precisión. La mayoría de los modelos económicos se realizan utilizando una única estimación central del parámetro de sensibilidad climática, situada en el centro de la distribución de las estimaciones disponibles de la ciencia. de las estimaciones disponibles en la ciencia.

Tabla 1. Pérdida anual estimada en el output de la economía dado un incremento de la temperatura comparado con un escenario base sin incremento adicional de temperatura en 2100. Comparativa realizada por Covington y Thamotheram de los tres modelos (Covington & Thamotheram, 2015).

	Dietz y Stern	Weitzman	Nordhaus
Temperatura aumento en °C	Pérdida en el PIB global en %	Pérdida en el PIB global en %	Pérdida en el PIB global en %
1°C	0%	0%	0%
2°C	2%	1%	1%
3°C	14%	3%	2%
4°C	50%	9%	4%
5°C	81%	25%	7%

La importancia de los impactos regionales

Los estudios que se van realizando parecen acelerar estas tendencias a nivel global y proponer fuertes variaciones a nivel regional. Las nuevas publicaciones elaboradas (Cambridge Econometrics, 2021) estiman que los daños físicos globales en el escenario BAU pueden alcanzar hasta el 7,5% del PIB proyectado para 2050 y mantenerse por debajo del 4,5% en un escenario muy por debajo de los 2°C, con grandes variaciones a nivel de país.

Los cambios en el clima no provocan los mismos cambios en todo el planeta. La velocidad y magnitud de los impactos dependen de la efectividad de las políticas climáticas, de esta forma en la medida que las medidas de mitigación tengan éxito los efectos sobre el clima serán menores. El aumento de las temperaturas aumenta significativamente los índices de precipitación media en muchas regiones del mundo (por ejemplo, en América del Norte y Asia Oriental). Por el contrario, algunos países experimentan una disminución general de las precipitaciones medias. En Francia, la precipitación media anual se prevé que disminuirá cerca de un 4%, y la precipitación de verano podría llegar a disminuir un 20% si no se tomaran medidas (Bank of England, 2021). En el sur de Europa, el caudal máximo anual podría disminuir en más de un 30% al final de la hipótesis de ausencia de medidas adicionales. Esto podría afectar negativamente al suministro de agua y a la producción agrícola.

▪ Los canales de transmisión a la economía del cambio climático pueden provenir desde diferentes fuentes físicas o de las políticas de transición que interactúan entre sí. Una vez que se ponen en marcha, los canales de transmisión a la economía se producen tanto a nivel micro como macroeconómicos. Se identifican como canales de *transmisión macroeconómicos* a los mecanismos por los que el riesgo climático pueden afectar a factores como el crecimiento o la productividad laboral, y y cómo éstos, a su vez, pueden repercutir en el sistema económico (Cambridge Econometrics, 2021) (Andersson et al., 2020).

▪ La *productividad* puede verse afectada negativamente tanto por el aumento de las temperaturas medias como por la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos (Stern, 2007).

▪ El *stock de capital* podría reducirse como consecuencia de los daños sufridos por el capital físico (infraestructuras, edificios y equipos). Aunque estos daños pueden estimular la inversión de sustitución a corto plazo, a nivel de la economía agregada, es probable que disminuya la riqueza neta (Stern, 2007).

▪ El *mercado laboral*. El aumento de las temperaturas puede repercutir en la salud y en la capacidad de las personas para trabajar, lo que provocaría una reducción de la mano de obra en algunos lugares y las migraciones (Stern, 2007).

▪ *Reasignación de valor*. El sector del petróleo y el gas y otros sectores intensivos en carbono, importantes para la estructura actual de las muchas economías van a verse impactados de forma muy importante. Se espera que los cambios en las preferencias, la tecnología y las políticas a lo largo de la trayectoria de transición, incluida la política climática, provoquen cambios significativos en sus valores relativos. Estos cambios en los precios podrían conducir a la reasignación de recursos entre sectores y a la alteración de las ventajas comparativas entre países, los patrones de comercio y especialización, la balanza de pagos y los tipos de cambio (Molico, M, 2019).

▪ El *comercio y el modelo de producción* pueden verse afectados por el impacto del cambio climático en el transporte. Mientras que algunas conexiones de transporte pueden mejorar en las regiones más frías del mundo, las tormentas más violentas pueden afectar a la producción (Stern, 2007).

▪ Las *migraciones*. Aunque se prevé que el impacto directo del cambio climático en Europa y América del Norte sea menos grave que en otras regiones del mundo, pueden producirse importantes efectos indirectos como resultado de migraciones desde lugares en las que los efectos sean más agudos. Un análisis de los datos sobre las solicitudes de asilo en Europa y sobre las variaciones climáticas en 103 países de origen en el periodo 2000-2014 (Andersson et al., 2020) estimó que para finales de siglo el calentamiento global podría provocar un aumento de las solicitudes de asilo del 28% y del 188% en dos escenarios diferentes del IPCC. El cambio climático y las catástrofes naturales relacionadas pueden exacerbar los conflictos sociales. El aumento del nivel del mar también puede convertirse en un motor adicional de la migración. Las proyecciones sobre el aumento del nivel medio del mar en el mundo son de 0,2-0,8 m en el escenario de calentamiento de 1,5 °C y de 0,3-1,00 m en el escenario de 2 °C, cientos de millones de personas viven en zonas costeras vulnerables de las que podrían verse obligadas a emigrar.

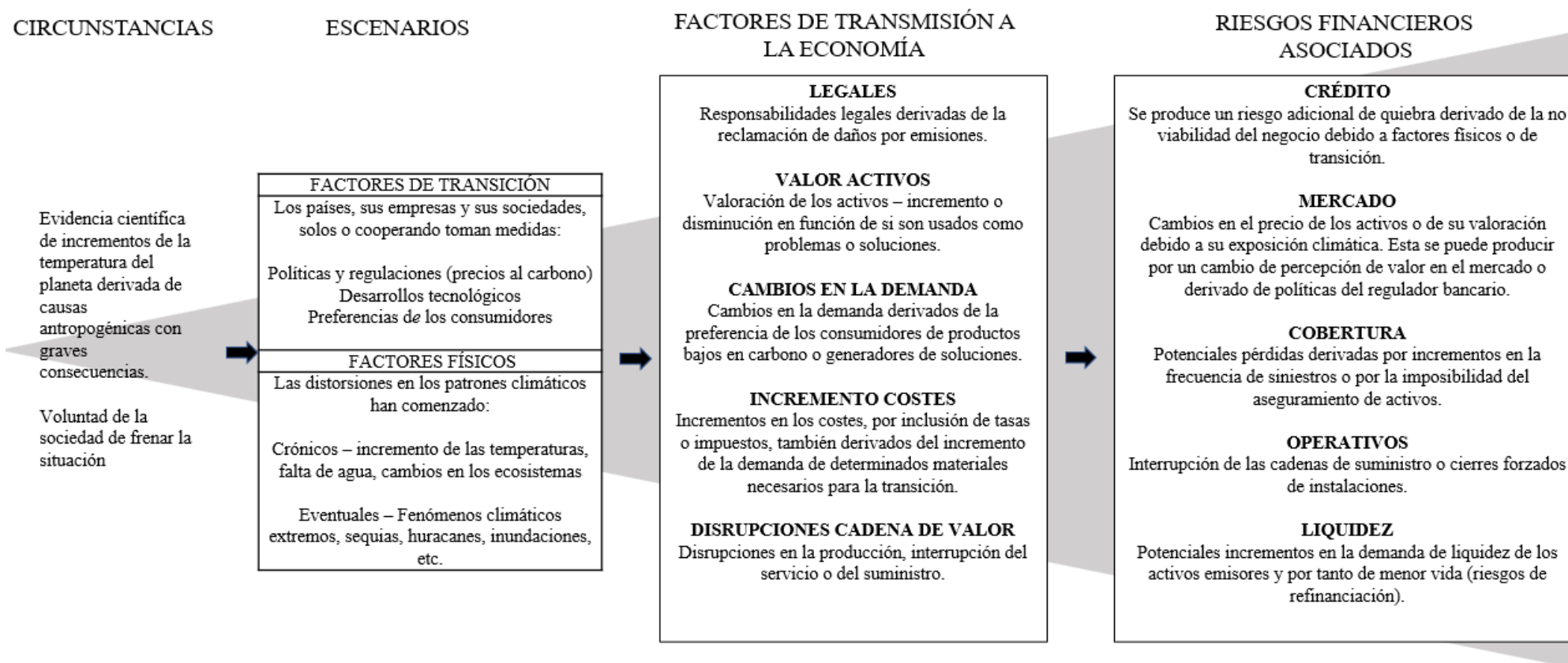
▪ Incrementos en la *inflación* por varias razones (Faccia et al., 2021).:

- Derivada de la presión en los sectores agrícola y sectores de la energía. Los precios de los productos básicos también pueden verse afectados por la menor disponibilidad de tierras, el aumento del nivel del mar y la desertificación.
- Los fenómenos meteorológicos extremos también pueden afectar a la inflación. Las catástrofes naturales más graves influyen de forma devastadora en economías pequeñas, pero tienen influencia relevante en la inflación de los países desarrollados.
- También es probable que haya impactos indirectos sobre la inflación derivados de los efectos del cambio climático sobre la demanda y la oferta de determinados productos. Cuellos de botella en las cadenas de suministro de productos que precisan de metales escasos como es el caso de los necesarios para la fabricación de baterías.

Por otra parte, se identifican como canales de *transmisión microeconómicos* a los efectos indirectos sobre los activos financieros específicos de los bancos (por ejemplo, bonos corporativos y acciones). Los canales de transmisión microeconómicos incluyen las cadenas causales por las que los impulsores del riesgo climático afectan a las empresas y que puede dar lugar a un riesgo financiero relacionado con el clima y para el sistema financiero. Esto incluye los efectos directos sobre los propios bancos, derivados de los impactos sobre sus operaciones y su capacidad de financiación.

Tanto los factores macro como micro, tienen una capacidad para impactar de forma sustancial en el sistema financiero haciendo de este un factor de riesgos sistémico. Los riesgos derivados de los efectos físicos del cambio climático, así como la transición hacia la neutralidad, suponen un riesgo para la estabilidad del sistema financiero en general, y para la seguridad y la solidez de las empresas.

Figura 6. Consecuencias en la economía y en el sistema financiero de los cambios en el clima.



6. CONSIDERACIÓN DE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Ante la dificultad de predecir los riesgos presentes y futuros derivados de los cambios en el clima, la construcción de escenarios está permitiendo caracterizar la incertidumbre en sistemas humanos y ambientales y sus complejas relaciones. Los escenarios ayudan a diseñar un conjunto de futuros que permiten explorar cómo puede evolucionar el futuro bajo una serie de condiciones alternativas, o cómo podrían alcanzarse los resultados deseables y evitarse los indeseables.

Escenarios climáticos basados en los potenciales cambios físicos: *Representative Concentration Pathways* (RCPs)

Los escenarios “*Representative Concentration Pathways*” (RCPs) son elaborados por el IPCC y representan simulaciones de modelos climáticos de impacto directo del incremento de las temperaturas con el fin de proyectar consecuencias en el sistema climático. Estas proyecciones, se utilizan para evaluar los impactos y la adaptación necesaria simultáneamente. Para ello se simula la trayectoria de las emisiones de GEI para poder después analizar con mayor precisión los efectos físicos, biológicos, económicos y sociales del cambio climático (Riahi et al., 2011).

Los RCPs representan el consenso científico sobre las posibles trayectorias de las emisiones y concentraciones de GEI, las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso del suelo hasta el año 2100. En 2014, el IPCC seleccionó cuatro RCP como base para sus proyecciones y análisis que desde entonces se utilizan como principales escenarios (IPCC (AR5), 2014):

- RCP 2.6: las emisiones alcanzan su punto máximo en 2020 y luego disminuyen hasta 2100.
- RCP 4.5: las emisiones alcanzan su punto máximo entre 2040 y 2050 y luego disminuyen hasta 2100.
- RCP 6.0: las emisiones siguen aumentando hasta 2080 y luego disminuyen hasta 2100.
- RCP 8.5: las emisiones aumentan continuamente hasta 2100.

Tabla 2. Características de los escenarios climáticos (Pachauri et al., 2015).

	Forzamiento radiativo (FR) W/m2	Tendencia del FR	Concentración de CO2 en 2100 en ppm
RCP 2.6	2,6	Decreciente en 2100	421
RCP 4.5	4,5	Estable en 2100	538
RCP 6.0	6,0	Creciente	670
RCP 8.5	8,5	Creciente	936

Los RCP 6.0 y 8.5 representan escenarios en los que las emisiones futuras siguen las tendencias pasadas con un cambio mínimo o nulo en la trayectoria derivados de la política y/o la tecnología. El IPCC no asigna probabilidades a estas diferentes vías de emisión.

Escenarios climáticos basados en los *modelos de crecimiento*: Senda Socioeconómica Compartida (SSP)

Los escenarios de la SSP elaborados por el IPCC consiste en un conjunto de líneas de base, que proporciona una descripción de un lado del desarrollo futuro en ausencia de nuevas políticas climáticas más allá de las actuales, así como escenarios de mitigación en las que se exploran las implicaciones de las políticas de mitigación del cambio climático.

Los escenarios de referencia del SSP se deben considerar como casos de referencia para los análisis de mitigación, impactos climáticos y adaptación. Son el resultado de una matriz que describe de un lado los resultados climáticos representados por las cuatro vías de concentración representativas de RCP - y por las proyecciones de los modelos climáticos basadas en ellas (incrementos de temperatura esperable) que forman parte del *Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados*. Y de otro incorpora la incertidumbre del desarrollo socioeconómico, ya que las diferentes vías de desarrollo pueden dar lugar a sociedades que varían mucho en cuanto a los impulsores de las emisiones y el uso de la tierra, así como en cuanto a sus capacidades para mitigar las emisiones o emprender medidas de adaptación. Se consideran cinco narrativas de desarrollos socioeconómicos alternativos (Welch, 2024):

- La necesidad de un desarrollo más sostenible.
- La rivalidad regional entre el Norte desarrollado y las necesidades de desarrollo del Sur.
- La desigualdad entre los que consumen y emiten, y el resto.
- Evitar un desarrollo basado en los combustibles fósiles por sus perjuicios, pese a los beneficios que ha conllevado.
- Transición justa. Transformación paulatina hacia una sociedad descarbonizada.

Los análisis comparativos (Riahi et al., 2017) de estos escenarios al no estar ligados a los impactos conducen a grandes incertidumbre. Los estudios que recogen Riahi et al, analizan que los escenarios diseñados estiman por ejemplo, que el consumo global de energía podría fluctuar entre 400-1200 EJ en 2100, presentar dinámicas de uso del suelo muy diferentes, que van desde una posible reducción de la superficie de cultivo hasta una expansión masiva de más de 700 millones de hectáreas en 2100, y lo que es más importante son compatibles con emisiones anuales de CO₂ asociadas a los escenarios de referencia oscilan entre unas 25 GtCO₂ y más de 120 GtCO₂ anuales en 2100.

Nuevos escenarios integrados RCP-SSP

Con objeto de mejorar los escenarios del SSP para que tuvieran en cuenta las retroalimentaciones del sistema climático sobre sus principales impulsores, como los impactos socioeconómicos del cambio climático, estos han sido evolucionados integrando ambas aproximaciones (RCP y SSP) en un nuevo marco de escenarios presentado en el Sexto Informe del IPCC en 2021.

El Sexto informe del IPCC ha evolucionado los resultados de la última generación de modelos climáticos globales tratando de integrar los resultados de la Senda Socioeconómica Compartida (SSP) con los modelos climáticos RCPs a partir de unos 100 modelos climáticos distintos producidos por docenas de grupos de modelización diferentes en todo el mundo realizados por el Consorcio de Modelos de Evaluación Integrada (IAMC) formado por instituciones de investigación de todo el mundo (Portner, H.O. et al., 2022).

Este nuevo enfoque ofrece un nuevo conjunto de escenarios, derivados de los Escenarios Socioeconómicos Compartidos (SSP), elaborados a partir de proyectar cambios interrelacionados en los sistemas socioeconómicos, la educación, la tecnología, los usos energéticos, de uso del suelo entre otros aspectos y las emisiones de GEI hasta el año 2100 Se agrupan en 5 familias de escenarios (Climate Data Canadá, 2024):

▪ **SSP1-1.9:** Es el más optimista, manteniendo el aumento de la temperatura en aproximadamente 1,5°C sobre los niveles preindustriales en 2100, después de un leve sobrepaso, con emisiones netas de CO₂ llegando a cero hacia 2050. Este escenario implica un cambio hacia prácticas sostenibles globalmente y, aunque aumentan los fenómenos meteorológicos extremos, se evitan los peores efectos del cambio climático.

▪ **SSP1-2.6:** Mantiene el calentamiento por debajo de los 2°C, con emisiones netas de CO₂ nulas en la segunda mitad del siglo. Las reducciones de emisiones no son tan rápidas como en el SSP1-1.9, estabilizando las temperaturas en torno a 1,8°C más altas hacia el final del siglo.

▪ **SSP2-4.5:** Considerado un escenario intermedio, alinea con el extremo superior de los compromisos del Acuerdo de París, con un aumento de temperatura de alrededor de 2,7°C para 2100. Las emisiones de CO2 comienzan a disminuir a mediados de siglo, pero no alcanzan valores netos cero en 2100.

▪ **SSP3-7.0:** Un escenario medio-alto, sin políticas climáticas adicionales y con altas emisiones no-CO2. Las emisiones de CO2 se duplican respecto a los niveles actuales para 2100, deteriorando la cooperación internacional y aumentando la competencia por la seguridad y recursos nacionales, llevando a un incremento de temperatura de 3,6°C.

▪ **SSP5-8.5:** Un escenario de alta referencia con emisiones extremadamente altas, donde se duplican las emisiones de CO2 hacia 2050. La economía mundial se expande rápidamente impulsada por combustibles fósiles, resultando en un incremento de la temperatura media del planeta de 4,4°C en 2100. Este escenario representa un futuro que se debe evitar.

Aplicación elaborada por los Bancos Centrales para evaluar riesgos climáticos sistémicos

En 2017, ocho bancos centrales y supervisores crearon *Network for Greening the Financial System*⁷ (NGFS) con el fin de potenciar el papel del sistema financiero en la gestión de los riesgos y en la movilización de capital para las inversiones verdes y bajas en carbono en el contexto más amplio del desarrollo ambientalmente sostenible.

El Banco de Inglaterra fue el primer Banco Central en destacar este riesgo. En abril de 2019, tomando como base los informes de seguros de 2015 y el informe bancario de 2018, introdujo las primeras medidas de supervisión (Declaración de Supervisión 3/19) para bancos y aseguradoras. Estas medidas abordan la gestión de los riesgos financieros asociados al clima, e incluyen aspectos de gobernanza, gestión de riesgos, análisis de escenarios y divulgación.

NGFS elabora escenarios climáticos que están siendo utilizados por los reguladores que realizan pruebas de resistencia al riesgo climático. La primera edición de estos escenarios se publicó en junio de 2020 y la segunda en junio de 2021 (NGFS, 2021). Los escenarios se van actualizando a medida que se incluyen los compromisos de los países para alcanzar las emisiones netas cero y nueva información sobre los efectos sobre un conjunto de variables macroeconómicas. Estos escenarios utilizan el mismo escenario "intermedio" de la Senda Socioeconómica Compartida 2 (SSP 2) (Bertram C., Hilaire J, Kriegler E, Beck T, Bresch D, Clarke L, Cui R, Edmonds J, Charles M, Zhao A, Kropf et al., 2021).

La importancia de estos escenarios radica en que sirven de base para las pruebas de esfuerzo climático que llevan a cabo los bancos centrales sobre la base de los saldos de los bancos de cada sistema y por tanto determinan la exposición climática de las entidades financieras que lo componen.

Los escenarios que contempla NGFS se dividen en tres categorías (NGFS, 2021):

a. **Escenarios de “mundo caliente”** (es decir, se aplican las políticas actuales, pero no se toman medidas adicionales).

▪ Sub-escenario 1: Se incluyen todas las *Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional* (NDC) comprometidas, aunque no se hayan aplicado todavía. Como éstas son insuficientes para alcanzar el cero neto en 2050, se estima un aumento de la temperatura media alcanza los 2,5°C para esa fecha.

▪ Sub-escenario 2: *Solo se aplican las políticas actuales*, y esto supondría en el modelo el "peor de los casos". Como resultado, el aumento de la temperatura media supera los 3°C, con cambios en la

⁷ La Red, reúne al Banco de México, el Banco de Inglaterra, la Banque de France y la Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR), De Nederlandsche Bank, el Deutsche Bundesbank, Finansinspektionen (La FSA sueca), la Autoridad Monetaria de Singapur y el Banco Popular de China.

frecuencia y la gravedad de fenómenos meteorológicos graves como olas de calor, sequías, incendios forestales, etc.

b. Transición ordenada

▪ **Cero neto en 2050.** El calentamiento global se limita a 1,5°C mediante políticas climáticas estrictas e innovación. Las emisiones globales netas de CO₂ se alcanzan alrededor de 2050. Algunas jurisdicciones (por ejemplo, Estados Unidos, la Unión Europea y Japón) alcanzarían el cero neto para todos los GEI.

▪ **Por debajo de 2°C.** El rigor de las políticas climáticas aumenta gradualmente, de modo que hay dos tercios de posibilidades de que el calentamiento global se mantenga por debajo de los 2°C.

c. Transición desordenada

▪ **Cero neto divergente.** Las emisiones alcanzan el cero neto en torno a 2050, pero con mayores costes debido a las políticas divergentes introducidas en todos los sectores que conducen a una eliminación más rápida del uso de los combustibles fósiles.

▪ **Transición retardada.** Supone que las emisiones anuales no disminuyen hasta 2030. Se necesitan políticas para limitar el calentamiento a menos de 2°C. La eliminación de CO₂ es limitada. Los riesgos físicos y de transición son mayores debido al retraso.

Cada uno de ellos ofrece opciones con mayor detalle para reflejar mejor la influencia de las decisiones políticas de las autoridades, el cambio tecnológico y el alto nivel de incertidumbre en cuanto a lo que pudiera suceder, especialmente para el riesgo físico.

7. UNA VERDAD INCÓMODA, QUE SE ACELERA

Los escenarios elaborados por los bancos centrales describen un escenario panorama preocupante en términos de pérdidas económicas globales. Tanto los fenómenos agudos como los crónicos provocados por el cambio climático tienen un impacto significativo y creciente sobre el PIB mundial, especialmente en los escenarios de inacción.

Escenarios de riesgo físico agudo

• En el escenario de Políticas Actuales, las pérdidas económicas debidas a estos cuatro fenómenos superan el 8% del PIB global hacia finales del siglo.

• En contraste, en el escenario Cero Emisiones Netas en 2050, los daños se reducirían significativamente, manteniéndose por debajo del 4% del PIB global.

Los eventos más dañinos a nivel global son las sequías y las olas de calor, que representan más del 75% de las pérdidas totales por riesgos físicos agudos. No obstante, las cifras varían notablemente según la región, reflejando diferentes niveles de vulnerabilidad y exposición.

Una revisión metodológica reciente en la función matemática de daño utilizada por NGFS ha provocado una revisión sustancial al alza en las estimaciones de pérdidas. Con esta nueva función, el escenario de Políticas Actuales proyecta una pérdida del 15% del PIB global para 2050, comparado con un escenario sin cambio climático. En la edición anterior, esta misma pérdida se estimaba en torno al 5%, lo que implica un incremento del 10% atribuible a una mejora en el modelo de estimación, más que a un cambio en las trayectorias de temperatura.

Las proyecciones muestran aumentos significativos en las pérdidas para todos los escenarios:

- En el escenario de Políticas Actuales, las pérdidas se elevan del 5% al 15% del PIB global hacia 2050.
- En el escenario Net Zero 2050, las pérdidas aumentan del 2% al 7% para ese mismo año.
- Algunos países podrían experimentar aumentos de pérdidas superiores a 20 puntos porcentuales, mientras que en casos excepcionales, las pérdidas han disminuido.

Perspectiva de largo plazo

A pesar de estas pérdidas, no se prevé una recesión económica global causada exclusivamente por el cambio climático. Bajo el escenario de Políticas Actuales, las pérdidas podrían alcanzar el 30% del PIB para 2100, en comparación con una línea base sin cambio climático. No obstante, incluso en ese contexto, el PIB global seguiría creciendo más del 150% hacia 2100, frente a un crecimiento proyectado del 215% en un mundo sin cambio climático. Esto refleja el crecimiento esperado de la economía global, aunque de forma notablemente más limitada debido a los daños provocados por el clima.

Aunque los escenarios NGFS han mejorado significativamente, aún presentan limitaciones en la modelización de riesgos físicos, especialmente en lo que respecta a fenómenos complejos como los puntos de inflexión climáticos. Por ello, deben interpretarse como herramientas complementarias para el análisis del riesgo climático, y no como instrumentos únicos para evaluar el coste-beneficio de la acción climática.

La necesidad de actuar

El cambio climático es, sin lugar a dudas, una verdad incómoda. A pesar de la abrumadora evidencia científica acumulada en las últimas décadas, la acción global ha sido lenta e insuficiente. Sin embargo, ignorar la magnitud del problema no lo hará desaparecer. Muy por el contrario, los costes de la inacción —económicos, sociales y humanos— serán muy superiores a los de una transición ordenada hacia un modelo de desarrollo sostenible.

Los impactos del calentamiento global ya se hacen sentir en fenómenos extremos más frecuentes e intensos, en la presión sobre los recursos naturales, en los sistemas de salud pública, en la seguridad alimentaria y en la estabilidad de las economías. Y como suele ocurrir, quienes menos han contribuido al problema serán quienes más sufran sus consecuencias: los países más pobres, las comunidades costeras, las generaciones futuras.

No obstante, la descarbonización no debe entenderse solo como un sacrificio o un desafío, sino como una oportunidad económica sin precedentes. La transformación que implica avanzar hacia una economía baja en carbono —mediante la electrificación, la eficiencia energética, la movilidad sostenible, y la restauración de ecosistemas— es también un potente motor de innovación, inversión y empleo. Según estimaciones recientes, lograr la neutralidad de carbono hacia 2050 requerirá una inversión anual cercana a los 7 billones de dólares a nivel global, pero generará rendimientos tangibles tanto en términos de crecimiento económico como de resiliencia social y ambiental.

Los modelos integrados analizados en este trabajo muestran con claridad que las decisiones que se tomen hoy definirán el mundo en el que viviremos mañana. Los escenarios más optimistas solo serán posibles si se adoptan políticas ambiciosas y coherentes en el corto plazo. Limitar el calentamiento global a 1,5 °C aún es factible, pero requiere actuar ahora.

Nota: Este artículo forma parte de la Tesis Doctoral de José Luis Blasco, dirigida por el Prof. Jesús Lizcano Alvarez. Leída el 13 de diciembre de 2024 en la Universidad Autónoma de Madrid

8. BIBLIOGRAFÍA

- American Institute of Physics. (2021, agosto). *Global Warming Timeline*. The Discovery of Global Warming. <https://history.aip.org/climate/timeline.htm>
- Andersson, M., Morgan, J., & Baccianti, C. (2020). Climate Change and the Macro Economy. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3632832>
- Andrew, B. (2008). Market failure, government failure and externalities in climate change mitigation: The case for a carbon tax. *Public Administration and Development*, 28(5), 393-401. <https://doi.org/10.1002/pad.517>
- Antonio, J. S. (2010). Forzamiento radiativo y cambios químicos en la atmósfera. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 104 (1), 149-173.
- Bank of England. (2021, junio). *Key elements of the 2021 Biennial Exploratory Scenario: Financial risks from climate change*. <https://www.bankofengland.co.uk/stress-testing/2021/key-elements-2021-biennial-exploratory-scenario-financial-risks-climate-change>
- BBC News. (2013, abril 26). A brief history of climate change. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/uk-england-norfolk-22283372>
- Bertram C., Hilaire J, Kriegler E, Beck T, Bresch D, Clarke L, Cui R, Edmonds J, Charles M, Zhao A, Kropf, C, Sauer I, Lejeune Q, Pfleiderer P, Min J, Piontek F, Rogelj J, Schleussner CF, Sfera, F, van Ruijven B, Yu S, & Holland D, Liadze I, Hurst I. (2021). *NGFS Climate Scenario Database: Technical Documentation V2.2*. Network for Greening the Financial System. https://www.ngfs.net/sites/default/files/ngfs_climate_scenarios_technical_documentation__phase2_june2021.pdf
- Cambridge Econometrics. (2021, agosto 24). IPCC report: The macroeconomic impacts of climate action and inaction. *Cambridge Econometrics*. <https://www.camecon.com/blog/ipcc-report-macroeconomic-impacts/>
- Climate Data Canadá. (2024). Understanding Shared Socio-economic Pathways (SSPs). *ClimateData.ca*. <https://climatedata.ca/resource/understanding-shared-socio-economic-pathways-ssps/>
- Covington, H., & Thamotheram, R. (2015). *The Case for Forceful Stewardship (Part 1): The Financial Risk from Global Warming* (SSRN Scholarly Paper 2551478). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2551478>
- Crawford, E. (1997). Arrhenius' 1896 Model of the Greenhouse Effect in Context. *Ambio*, 26(1), 6-11.
- Dietz, S., & Stern, N. (2015). Endogenous Growth, Convexity of Damage and Climate Risk: How Nordhaus' Framework Supports Deep Cuts in Carbon Emissions. *The Economic Journal*, 125. <https://doi.org/10.1111/ecoj.12188>
- Environment, U. N. (2021, octubre 25). *Emissions Gap Report 2021*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>
- Faccia, D., Parker, M., & Stracca, L. (2021, noviembre 12). What we know about climate change and inflation. *VoxEU.org*. <https://voxeu.org/article/what-we-know-about-climate-change-and-inflation>
- Fournier, J. (1827). *Mémoire sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires*. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 7, 569–604. 25 pages.
- Galappaththi, E. K., Susarla, V. B., Loutet, S. J. T., Ichien, S. T., Hyman, A. A., & Ford, J. D. (2022). Climate change adaptation in fisheries. *Fish and Fisheries*, 23(1), 4-21. <https://doi.org/10.1111/faf.12595>
- Gregory, P. j, Ingram, J. s. i, & Brklacich, M. (2005). Climate change and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2139-2148. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1745>
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijioka, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S. I., Thomas, A., Warren, R., & Zhou, G. (2018). Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y.

- Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (Eds.), *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. World Meteorological Organization Technical Document.
- Howe, J. P. (2015). This Is Nature; This Is Un-Nature: Reading the Keeling Curve. *Environmental History*, 20(2), 286-293. <https://doi.org/10.1093/envhis/emv005>
- IPCC. (2014). *Frequently Asked Questions—AR4 WG1* [IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007]. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faqs.html
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C. Resumen para responsables de políticas*. OMM_PNUMA.
- IPCC (AR5). (2014). *Topic 2: Future changes, risks and impacts. Climate Change 2014 Synthesis Report Fifth Assessment Report*. IPCC 5th Assessment Synthesis Report. http://ar5-syr.ipcc.ch/topic_futurechanges.php
- IPCC, EPA. (2023). *IPCC AR4, AR5, and AR6 20-, 100-, and 500-year GWPs* [Dataset]. U.S. EPA Office of Research and Development (ORD). <https://catalog.data.gov/dataset/ipcc-ar4-ar5-and-ar6-20-100-and-500-year-gwps>
- Laville, S. (2023, diciembre 26). Ski resorts battle for a future as snow declines in climate crisis. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/2023/dec/26/ski-resorts-battle-for-a-future-as-snow-declines-in-climate-crisis>
- Masson-Delmotte, and others. (2019). *Global warming of 1.5? Summary for policymakers*. World Meteorological Organization (WMO); Intergovernmental Panel on Climate Change; United Nations Environment Programme.
- Meadows, D. H., Randers, J., & Meadows, D. L. (2013). The Limits to Growth (1972). En *The Limits to Growth (1972)* (pp. 101-116). Yale University Press. <https://doi.org/10.12987/9780300188479-012>
- Molico, M. (2019). *Researching the Economic Impacts of Climate Change*. Banco de Canadá. <https://www.bankofcanada.ca/2019/11/researching-economic-impacts-climate-change/>
- NetZero Tracker. (2022, abril). *Analysis*. Net Zero Tracker. <https://zerotracker.net/analysis>
- NFGS. (2021). *Scenarios in Action: A progress report on global supervisory and central bank climate scenario exercises*. NFGS publications.
- NGFS. (2021). *NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors* [Central banks and supervisors]. <https://www.ngfs.net/en/ngfs-climate-scenarios-central-banks-and-supervisors-june-2021>
- Nordhaus, W. (1991). To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect. *Economic Journal*, 101(407), 920-937.
- Nordhaus, W. (2017, septiembre). *Integrated Assessment Models of Climate Change*. The Reporter N°3. <https://www.nber.org/reporter/2017number3/integrated-assessment-models-climate-change>
- Nordhaus, W. (2019). Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics. *American Economic Review*, 109(6), 1991-2014. <https://doi.org/10.1257/aer.109.6.1991>
- Nordhaus, W. D. (2006). Paul Samuelson and Global Public Goods: A commemorative essay for Paul Samuelson. En M. Szenberg, L. Ramrattan, & A. A. Gottesman (Eds.), *Samuelsonian Economics and the Twenty-First Century* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199298839.003.0006>
- Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1518-1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- Pachauri, R. K., Mayer, L., & Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.). (2015). *Climate change 2014: Synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Parlamento Europeo. (2023, marzo 23). *Cambio climático: Gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global*. Temas | Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que-causan-el-calentamiento-global>

- Peláez, Á. J. G. (2017). Conceptos Básicos sobre Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Calentamiento Global. *AEMET*, 30.
- Portner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S, Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, Marlies, M., Langsdorf, S., Loschke, S., Moller, V, Okem, A., & Rama, B. (2022). IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., Kc, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., ... Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Stanton, E. A., Ackerman, F., & Kartha, S. (2009). Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics. *Climate and Development*, 1(2), 166-184. <https://doi.org/10.3763/cdev.2009.0015>
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*.
- Treut, H. L., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., Prather, M., Allen, M., Auer, I., Biercamp, J., Covey, C., Fleming, J. R., García-Herrera, R., Gleckler, P., Haigh, J., Hegerl, G. C., Isaksen, K., Jones, J., ... Prather, M. (2007). *Historical Overview of Climate Change Science*. 36.
- UN Environment. (2023). *Emissions Gap Report 2023*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023>
- Unión Europea. (2021). *REGLAMENTO (UE) 2021/1119 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. de 30 de junio de 2021 por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática y se modifican los Reglamentos (CE) n.o 401/2009 y (UE) 2018/1999*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>
- US EPA, O. (2016). *Understanding Global Warming Potentials* [Overviews and Factsheets]. US EPA. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- van Leeuwen, C., Sgubin, G., Bois, B., Ollat, N., Swingedouw, D., Zito, S., & Gambetta, G. A. (2024). Climate change impacts and adaptations of wine production. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5(4), 258-275. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00521-5>
- Weart, S. (2021). *The Carbon Dioxide Greenhouse Effect*. 28.
- Weitzman, M. L. (2012). GHG Targets as Insurance Against Catastrophic Climate Damages. *Journal of Public Economic Theory*, 14(2), 221-244. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9779.2011.01539.x>
- Welch, I. (2024). *The IPCC Shared Socioeconomic Pathways (SSPs): Explained, Evaluated, Replaced* (Working Paper 32178). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w32178>
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., Mensbrugghe, D. van der, Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D'Croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Meijl, H. van, & Willenbockel, D. (2015). Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters*, 10(8), 085010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/085010>
- Wilson, C., Guivarch, C., Kriegler, E., van Ruijven, B., van Vuuren, D. P., Krey, V., Schwanitz, V. J., & Thompson, E. L. (2021). Evaluating process-based integrated assessment models of climate change mitigation. *Climatic Change*, 166(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03099-9>