

44 Jornadas Nacionales de Administración Financiera
Septiembre 19 y 20, 2024

Cisnes verdes, cambio climático y sistemas financieros

Gustavo Tapia

Universidad de Buenos Aires

SUMARIO

1. Introducción a la problemática del riesgo climático
2. El aporte del BIS-Banque de France
3. Conclusiones

Para comentarios:
gustavo.tapia1@gmail.com

1. Introducción a la problemática del riesgo climático

Frente al cambio climático, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), advierte continuamente sobre los efectos materiales, sociales y económicos, todos ellos nefastos, a partir de las consecuencias en el deterioro del medio ambiente.

Vamos a ocuparnos en este trabajo, de decisiones financieras que están atravesadas por riesgos originados por el factor medioambiental. Una parte de la doctrina caracteriza este peligro como un ‘cisne verde’ interpretándolo como un hecho extremo de baja probabilidad, pero con resultados catastróficos.

Una cantidad de riesgos físicos, recaen sobre el valor de los activos, se trate de los derivados de choques climáticos extremos, como los ocasionados por deterioros crónicos, provocando pérdidas para las compañías de seguros, los bancos y otros intermediarios financieros de diferentes maneras. Otros riesgos son de transición, y se producen por cambios estructurales de las economías que se mueven hacia sistemas económicos bajos en carbono, causando pérdidas financieras en ciertos activos asociados con industrias y actividades con mayor emisión de carbono.

Estos riesgos físicos y de transición pueden producirse en forma simultánea y potenciarse: generando una transición desordenada y originando un “*escenario de muy poco y my tarde*” con un efecto mitigador reducido.

El riesgo de afrontar reducciones en el valor de los activos afectados por el cambio climático (*stranded assets* o activos hundidos), podrían generar pérdidas para bancos, inversores y otras instituciones financieras. A su vez, los efectos del riesgo climático pueden repercutir en otras categorías de riesgo como riesgo de crédito, riesgo de mercado, riesgo de liquidez y generar un canal de transmisión *cross border* por incremento en la prima de riesgo en activos relacionados con el riesgo climático en diferentes jurisdicciones. De hecho, las agencias calificadoras de riesgo consideran las cuestiones y los riesgos ambientales, sociales y de gobernanza en sus evaluaciones y ratings.

La materialización de los riesgos físicos en países más expuestos al riesgo climático podría provocar la retirada a gran escala de fondos de inversión extranjeros, una especie de “efecto manado climático”. Ese efecto podría verse amplificado en el caso de las economías en desarrollo por las vulnerabilidades macroeconómicas propias, incluida la rápida depreciación del tipo de cambio y las salidas de capital más amplias.

El Banco de Basilea (BIS), los reguladores e instituciones financieras internacionales han comenzado a emitir recomendaciones y principios para gestionar el riesgo climático. En 2015, el Financial Stability Board (FSB) creó el Grupo de Trabajo sobre Divulgaciones Financieras Relacionadas con el Clima (TCFD, Task Force on Climate-related Financial Disclosures) y en 2017 el TCFD propone un marco de gestión y divulgación voluntario: gobernanza, estructura y divulgación de la gobernanza de una organización sobre los riesgos y oportunidades relacionados con el clima. Ocho bancos centrales y supervisores en diciembre de 2017 establecieron la Red de Bancos Centrales y Supervisores para Enverdecer el Sistema Financiero (*Network for Greening the Financial System*, NGFS), siendo un foro internacional de discusión e intercambio

de conocimientos para reguladores y supervisores sobre cuestiones de finanzas verdes y riesgos sistémicos del cambio climático.

Por su parte, los reguladores han comenzado a evaluar cómo las entidades financieras gestionan los riesgos relacionados con el clima y a tomar medidas para alentar a las empresas a mitigar dichos riesgos propiciando la generación de una cultura de riesgo que incorpore el riesgo climático.

El BIS se encuentra analizando la posibilidad de que los requisitos de capital reflejen la incidencia del riesgo climático, a través de dos mecanismos:

- *Green supporting factor*: que reduciría la exigencia de capital en los bancos con menor exposición al riesgo climático.
- *Brown penalising factor*: que incrementaría la exigencia de capital en los bancos con mayor exposición al riesgo climático.

Los modelos de medición *Climate Value at Risk*, para gestionar el riesgo climático se presentan como un instrumento actual para desarrollar escenarios de impacto. De su precisión dará cuenta el resultado de los acontecimientos y la prima de riesgo que se calcule. Simultáneamente, la incorporación del riesgo climático en la cultura organizacional favorece la producción de estrategias de inversión y de financiación de triple impacto.

Los cisnes verdes o cisnes negros climáticos presentan muchas de las características de los cisnes negros. Los enfoques tradicionales para la gestión de riesgos que consisten en extrapolar datos históricos y en supuestos de distribuciones normales son en gran medida irrelevantes para evaluar los riesgos relacionados con el clima.

¿Cuáles son los riesgos económicos del cambio climático?

- Impacto sobre la demanda: la incertidumbre respecto a algunos escenarios implica una reducción de la inversión y cambios en los patrones de consumo. El comercio y el transporte también están afectados.
- Impacto sobre la oferta: desde una caída en la productividad por las continuas interrupciones hasta un descenso de la producción agrícola y energética.
- Incremento de la desigualdad: los países y las poblaciones con menos recursos son también las que más sufren los efectos del cambio climático, acrecentando la inestabilidad social.
- Mayor inestabilidad monetaria. las consecuencias mencionadas pueden afectar a las capacidades de los bancos centrales para mantener la estabilidad de los sistemas monetarios.
- Incremento de los riesgos financieros: sea por pérdidas reales en diferentes sectores, incluido el asegurador como por el ineficiente funcionamiento de los mercados, la liquidez y el crédito.

Los cisnes verdes son diferentes de los cisnes negros en tres aspectos: primero existe certeza sobre la necesidad de acciones ambiciosas a pesar de la incertidumbre; segundo, las catástrofes climáticas son más graves que la mayoría de las crisis financieras sistémicas y pueden representar una amenaza existencial para la humanidad; tercero, la complejidad relacionada con el cambio climático es superior a la de los cisnes negros por las reacciones en cadena y los efectos

en cascada que pueden dar lugar a dinámicas ambientales, geopolíticas, sociales y económicas fundamentalmente impredecibles.

Ante esta situación los bancos centrales impulsan un cambio profundo a largo plazo para mantener la estabilidad financiera y de precios. Se propende a integrar los riesgos climáticos en las regulaciones y se coordina con gobiernos, sector privado, sociedad y comunidad internacional.

En materia de inversión, el cambio climático es considerado por los inversores como un factor determinante, sobre todo para el mediano y largo plazo, porque afectará en diferente medida al riesgo crediticio, al mercado, a la liquidez, a las operaciones y a la cobertura. Así, la depreciación de los activos utilizados como garantía de préstamos aumenta el riesgo crediticio o las liquidaciones a bajos precios pueden provocar crisis financieras, todo esto con las derivaciones que afectan al valor de la empresa a futuro.

Si el cambio climático es una amenaza global o no, debe ser materia de un análisis completo en tiempo real para el presente y para el futuro, con la mejor tecnología disponible que formule las causas del deterioro que es o se convertirá en una externalidad negativa y las respuestas que conformen una propuesta de solución completa o de mitigación. Todo esto frente a las posiciones políticas de referentes que menosprecian el cambio climático y sin abandonar la reunión de evidencia que muestre el impacto negativo y también el positivo indicando los resultados, a partir de la puesta en marcha de las mejores prácticas económica, socio ambientales.

2. El aporte del BIS-Banque de France ¹

Una primera solución para abordar el cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es la tributación del carbono de Pigou. Esta política sugiere que la responsabilidad fundamental de abordar los problemas relacionados con el cambio climático recae en los gobiernos y es de difícil implementación por los consensos que requiere. Una respuesta efectiva requiere sensibilizar a los interesados y facilitar la coordinación entre ellos.

Existen varias acciones prácticas que los bancos centrales pueden llevar a cabo:

- Supervisión específica de los riesgos relacionados con el cambio climático.
- Inclusión de indicadores y criterios ambientales, sociales y de gobierno (ESG) en las operaciones de inversión y financiación.
- Desarrollar y evaluar la taxonomía para definir la huella de carbono de los activos en categorías que consideren los riesgos climáticos.
- Estudiar la exposición intensiva en carbono y los posibles riesgos de estabilidad financiera para precisar la regulación prudencial.

Es necesario integrar el cambio climático en los modelos económicos y de pronóstico y de generar un debate amplio y profundo entre los actores principales que regulan y supervisan el sistema financiero. Sin embargo, la integración del análisis de riesgos relacionados con el clima en el monitoreo de la estabilidad financiera y la supervisión prudencial es particularmente difícil

¹ Basado en Bolton *et al* (2020).

debido a las características distintivas de los impactos del cambio climático y las estrategias de mitigación. Estos comprenden riesgos físicos y de transición que interactúan con efectos complejos, de largo alcance, no lineales, de reacción en cadena. Exceder los puntos de inflexión climática podría generar impactos catastróficos e irreversibles que imposibilitarían la cuantificación de los daños financieros. Evitar esto requiere una acción inmediata y ambiciosa hacia una transformación estructural de nuestras economías, que implique innovaciones tecnológicas que puedan escalarse, pero también cambios importantes en las regulaciones y normas sociales.

Por lo tanto, el cambio climático podría conducir a eventos de “cisne verde” y ser la causa de la próxima crisis financiera sistémica. Los riesgos físicos y de transición relacionados con el clima implican dinámicas ambientales, sociales, económicas y geopolíticas interactivas, no lineales y fundamentalmente impredecibles que se transforman irreversiblemente por la creciente concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. En este contexto de profunda incertidumbre, los modelos tradicionales de evaluación de riesgos retrospectivos que simplemente extrapolan las tendencias históricas impiden la plena apreciación del riesgo sistémico futuro que representa el cambio climático.

El análisis basado en escenarios es solo una solución parcial para aprehender los riesgos que plantea el cambio climático para la estabilidad financiera. Las profundas incertidumbres involucradas y la necesaria transformación estructural de nuestro sistema socioeconómico global son tales que ningún modelo o escenario único puede proporcionar una imagen completa de los posibles impactos macroeconómicos, sectoriales y a nivel de empresa causados por el cambio climático.

Los bancos centrales pueden promover una visión a más largo plazo para ayudar a romper la *tragedia del horizonte*, integrando criterios de sostenibilidad en sus propias carteras y explorando su integración en la conducción de políticas de estabilidad financiera. Pero, lo que es más importante, los bancos centrales deben coordinar sus propias acciones con los actores principales del sistema que interactúan con el financiero –gobiernos, sector privado, sociedad civil, comunidad internacional. Entre las acciones necesarias figuran la fijación del precio al carbono y la divulgación de los riesgos climáticos que operan en los sectores de producción.

El cambio climático tiene importantes efectos distributivos tanto entre países como dentro de ellos. Los riesgos y los costos debieran distribuirse de manera justa y con transferencias compensatorias. Este punto también debe ser motivo de análisis procurando una vasta aceptación social.

Los cisnes verdes, presentan muchas características de los cisnes negros típicos. Los riesgos relacionados con el clima generalmente se ajustan a las distribuciones de cola gruesa: tanto los riesgos físicos como los de transición se caracterizan por una profunda incertidumbre y falta de linealidad, sus posibilidades de ocurrencia no se reflejan en datos pasados y no se puede descartar la posibilidad de valores extremos (Weitzman, 2009, 2011). En este contexto, los enfoques tradicionales de gestión de riesgos que consisten en extrapolar datos históricos y en supuestos de distribuciones normales son en gran medida irrelevantes para evaluar futuros riesgos relacionados con el clima.

Los cisnes verdes son diferentes de los cisnes negros en tres aspectos:

- 1) Si bien los impactos del cambio climático son altamente inciertos, existe un alto grado de certeza de que alguna combinación de riesgos físicos y de transición se materializará en el futuro a pesar de la incertidumbre del momento y sobre su naturaleza.

- 2) Las catástrofes climáticas son aún más graves que la mayoría de las crisis financieras sistémicas y podrían representar una amenaza existencial para la humanidad (Ripple 2019).
- 3) La complejidad relacionada con el cambio climático es de un orden superior al de los cisnes negros: las reacciones en cadena y los efectos en cascada asociados con los riesgos físicos y de transición podrían crear otras dinámicas ambientales, geopolíticas, sociales y económicas fundamentalmente impredecibles.

La resiliencia del sistema se centra en la utilización de modelos de no equilibrio con enfoques cualitativos para capturar mejor las interacciones complejas entre el clima y el sistema financiero y en la política fiscal verde que considera la estabilidad climática como un bien público.

El marco del problema es que el cambio climático representa un cisne verde; un nuevo tipo de riesgo sistémico que implica dinámicas interactivas, no lineales, fundamentalmente impredecibles, ambientales, sociales, económicas y geopolíticas, que son irreversiblemente transformadas por la creciente concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

De acuerdo con la economía básica del bienestar, una buena política para combatir el cambio climático requiere un "precio" como un incentivo para reducir las emisiones de GEI. Un impuesto al carbono, por ejemplo, crea un incentivo para que los agentes económicos reduzcan las emisiones al cambiar a procesos de producción y patrones de consumo más eficientes. El monto de este impuesto debe reflejar lo que ya sabemos sobre los costos adicionales del cambio climático a mediano y largo plazo. Desde la perspectiva de un economista convencional, un impuesto al carbono que refleja el costo social del carbono (SCC) haría explícito el "costo oculto" de las emisiones de carbono y sería suficiente para inducir a los actores económicos a reducir las emisiones en un mundo walrasiano perfecto. Mediante este marco analítico, los bancos centrales, los reguladores y los supervisores tienen poco que hacer en el proceso de descarbonización del sistema económico. De hecho, la transición necesaria sería impulsada principalmente por empresas y hogares no financieros, cuyas decisiones descentralizadas se orientarían hacia tecnologías bajas en carbono a causa de los precios del carbono. Desde una perspectiva financiera, usar un impuesto al carbono para fijar correctamente el precio de la externalidad negativa sería suficiente para reasignar los activos de las instituciones financieras de un uso intensivo de carbono hacia un capital más ecológico.

A lo sumo, los bancos centrales y los supervisores deben analizar cuidadosamente las imperfecciones del mercado financiero, a fin de garantizar la estabilidad financiera a lo largo de la transición hacia una economía baja en carbono. Sin embargo, la opinión de que el precio del carbono es la única respuesta al cambio climático, y su corolario en términos de políticas monetarias y prudenciales –es decir, que los bancos centrales, los reguladores y los supervisores no deberían preocuparse realmente por el cambio climático–, adolece de tres limitaciones significativas, que contribuyen para pasar por alto posibles eventos de cisne verde.

- No se ha implementado en la práctica el precio del carbono en un nivel que conlleve a reasignar capital de alto consumo de carbono a bajo consumo de carbono.
- El cambio climático es presumiblemente la mayor falla del mercado que el mundo haya visto jamás (Stern 2007).

- El abordaje es de enorme magnitud combinando incertidumbre, riesgo, transformaciones potencialmente profundas en nuestros estilos de vida, priorizando opciones éticas a largo plazo sobre consideraciones económicas a corto plazo y coordinación internacional para el bien común. (Geels *et al*, 2004)

Dada la inercia institucional o sociotécnica, los precios más altos del carbono por sí solos pueden no ser suficientes para impulsar los comportamientos individuales y el reemplazo del capital físico por parte de las empresas hacia alternativas bajas en carbono, como sugieren los libros de texto de economía. Por ejemplo, la política fiscal proactiva puede ser un primer paso esencial para construir una infraestructura adecuada (VG. ferrocarriles), antes de que los precios del carbono realmente puedan llevar a los agentes a modificar su comportamiento (por ejemplo, cambiando de automóvil a tren). Por lo tanto, abordar el cambio climático puede requerir encontrar mezclas de políticas complejas que combinen instrumentos monetarios, prudenciales y fiscales (Krogstrup & Omán, 2019).

Para garantizar una transición exitosa con bajas emisiones de carbono, deben surgir nuevas tecnologías, nuevos arreglos institucionales y nuevos marcos culturales (Beddoe *et al*, 2009) hacia una remodelación integral de las estructuras productivas y los patrones de consumo actuales. Si bien en una crisis ordinaria los bancos pueden resolver dificultades financieras, esto será más difícil en el caso de economías que ya no son viables debido al cambio climático. Intervenir como rescatistas climáticos de último recurso podría, por lo tanto, afectar la credibilidad del banco central y exponer de manera cruda la sustituibilidad limitada entre capital financiero y natural. Dada la gravedad de estos riesgos, la incertidumbre involucrada y la conciencia de las intervenciones de los bancos centrales después de la gran crisis financiera 2007-08, la presión sociopolítica va en aumento sobre los actores del sistema financiero.

Los daños climáticos podrían disminuir el consumo y las inversiones comerciales podrían reducirse debido a la incertidumbre sobre la demanda futura y las perspectivas de crecimiento (Hallegatte, 2009). También es probable que el cambio climático interrumpa los flujos comerciales (Gassebner *et al*, 2010) y reduzca la riqueza de los hogares. Incluso las economías menos expuestas pueden tener amplias interacciones con los mercados mundiales y verse afectadas por choques climáticos extremos. Las perturbaciones del lado de la oferta podrían afectar la capacidad productiva de la economía, actuando a través de los componentes de la oferta potencial: mano de obra, capital físico y tecnología.

De hecho, los enormes desafíos descritos anteriormente significan que las políticas para combatir el cambio climático serán bastante invasivas y es probable que tengan efectos colaterales significativos en nuestras sociedades y nuestros procesos de producción y consumo, con los efectos distributivos asociados (Zachmann *et al*, 2018).

Con respecto a los shocks del lado de la oferta (McKibbin *et al*, 2017), las presiones sobre el suministro de productos agrícolas y energía son particularmente propensas a ajustes bruscos de los precios y una mayor volatilidad. La frecuencia y la gravedad de tales eventos pueden aumentar y afectar el suministro a través de canales más o menos complejos. Todavía hay relativamente pocos estudios que analicen el impacto de los shocks relacionados con el clima en la inflación, pero algunos estudios indican que los precios de los alimentos tienden a aumentar a corto plazo después de los desastres naturales y los fenómenos climáticos extremos (Parker, 2018).

Además de estas presiones a corto plazo sobre los precios, los choques de oferta también pueden reducir la capacidad productiva de las economías. El cambio climático podría tener impactos de larga data en los rendimientos agrícolas, provocar una escasez frecuente de recursos o una pérdida de horas trabajadas debido a las olas de calor. Estos efectos, a su vez, pueden reducir el stock de capital físico y humano, lo que puede dar como resultado una producción reducida. Pero el cambio climático también puede traducirse en choques de demanda, al reducir la riqueza y el consumo de los hogares (Batten, 2018). Las políticas de mitigación climática también podrían afectar la inversión en algunos sectores.

Tradicionalmente, las respuestas de política monetaria se determinan observando su impacto en los precios y las expectativas. Si existe la presunción de que el impacto es temporal, la respuesta puede ser esperar y ver o mirar a través del shock, ya que no afecta los precios y las expectativas de forma permanente. Sin embargo, si el impacto tiene efectos más duraderos, podría haber motivos para considerar una reacción política para ajustar las condiciones de la demanda agregada.

Como se ha mencionado, existen dos canales principales a través de los cuales el cambio climático puede afectar la estabilidad financiera:

- a) Los riesgos físicos son aquellos que surgen de la interacción de los peligros relacionados con el clima y con la vulnerabilidad de la exposición a los sistemas humanos y naturales. Representan los costos económicos y las pérdidas financieras debido a la creciente frecuencia y severidad de los eventos climáticos relacionados con el clima (tormentas, inundaciones u olas de calor) y los efectos de cambios a largo plazo en los patrones climáticos (acidificación de los océanos, aumento del nivel del mar o cambios en precipitación). Las pérdidas sufridas por las empresas en diferentes carteras financieras (préstamos, acciones, bonos) pueden hacerlas más frágiles. La destrucción de capital y la disminución de la rentabilidad de las empresas expuestas podrían inducir una reasignación de la riqueza financiera de los hogares. Por ejemplo, el aumento del nivel del mar podría conducir a una revaloración abrupta de los bienes inmuebles (Bunten & Kahn, 2014) en algunas regiones expuestas, causando grandes efectos negativos en la riqueza que pueden pesar sobre la demanda y los precios a través de efectos de segunda ronda. Los riesgos físicos relacionados con el clima también pueden afectar la expectativa de pérdidas futuras, lo que a su vez puede afectar las preferencias de riesgo actuales.
- b) Los riesgos de transición están asociados con los inciertos impactos financieros que podrían resultar de una transición rápida con bajas emisiones de carbono, incluidos los cambios de política, los impactos de reputación, los avances tecnológicos o las limitaciones, y los cambios en las preferencias del mercado y las normas sociales. En particular, una transición rápida y ambiciosa hacia vías de bajas emisiones significa que una gran fracción de las reservas probadas de combustible fósil no se puede extraer (McGlade & Elkins, 2015), y potencialmente si pierden valor podrían desencadenar una crisis financiera. Como dice Mark Carney: *“un movimiento demasiado rápido hacia una economía baja en carbono podría dañar materialmente la estabilidad financiera. Una reevaluación general de las perspectivas, a medida que se reevalúan los riesgos relacionados con el clima, podría desestabilizar los mercados, provocar una cristalización procíclica de pérdidas y provocar un endurecimiento persistente de las condiciones financieras: un momento climático de Minsky”* (Carney, 2016).

Los riesgos físicos y de transición pueden materializarse en términos de riesgo financiero de cinco maneras principales (DG Treasury *et al*, 2017):

- Riesgo de crédito: los riesgos relacionados con el clima pueden inducir, a través de la exposición directa o indirecta, un deterioro en la capacidad de los prestatarios para pagar sus deudas, lo que conduce a mayores probabilidades de incumplimiento y una mayor pérdida por incumplimiento. Además, la posible depreciación de los activos utilizados para la garantía también puede contribuir a aumentar los riesgos crediticios.
- Riesgo de mercado: en un escenario de transición abrupta (con activos varados importantes), los activos financieros podrían estar sujetos a un cambio en la percepción de rentabilidad de los inversores. Esta pérdida en el valor de mercado puede conducir potencialmente a ventas de fuego, lo que podría desencadenar una crisis financiera. El concepto de valor climático en riesgo (VaR) captura este riesgo.
- Riesgo de liquidez: podría afectar a bancos e instituciones financieras no bancarias. Por ejemplo, los bancos cuyo balance general se viera afectado por los riesgos crediticios y de mercado podrían no ser capaces de refinanciarse a corto plazo, lo que podría generar tensiones en el mercado de préstamos interbancarios.
- Riesgo operativo: por ejemplo, un banco cuyas oficinas o centros de datos se ven afectados por riesgos físicos podría ver afectados sus procedimientos operativos y afectar a otras instituciones en toda su cadena de valor.
- Riesgo de seguro: para los sectores de seguros y reaseguros, los riesgos físicos podrían derivar de pagos de reclamos de seguros más altos de lo esperado, y los posibles riesgos de transición.

Extrapolar las tendencias históricas solo puede conducir a la fijación de precios erróneos de los riesgos relacionados con el clima, ya que estos riesgos apenas han comenzado a materializarse: los riesgos físicos empeorarán a medida que avanza el calentamiento global, y los riesgos de transición son actualmente bajos debido a la falta de políticas ambiciosas en una escala global.

Además, los riesgos relacionados con el clima generalmente se ajustan a las distribuciones de cola gruesa y se concentran precisamente en el 1 % no considerado por VaR. Finalmente, el cambio climático se caracteriza por una profunda incertidumbre en la que su evaluación está sujeta a posibilidades relacionadas con los patrones climáticos, sus posibles impactos de gran alcance en todos los agentes de la economía y los canales de transmisión complejos (NGFS 2019), especialmente en el contexto de cadenas de valor globalizadas. Los riesgos de transición también están sujetos a una incertidumbre profunda o radical con respecto a cuestiones tales como las políticas que se implementarán (por ejemplo, fijación de precios del carbono versus regulaciones de comando y control), su calendario, la aparición impredecible de nuevas tecnologías bajas en carbono o cambios en preferencias y estilos de vida que podrían tener lugar.

La materialización de los riesgos físicos y de transición depende de múltiples dinámicas no lineales –naturales, tecnológicas, sociales, regulatorias y culturales–, que interactúan entre sí de formas complejas y están sujetas a una profunda incertidumbre. Los modelos climáticos económicos son inherentemente incapaces de representar todas estas interacciones, y por lo

tanto pasan por alto muchas fuerzas sociales y políticas que influirán fuertemente en la evolución del mundo.

La amplia gama de resultados relacionados con el valor monetario de los activos varados, uno de los riesgos de transición más destacados, son sintomáticos de la complejidad del tema. En particular, las interacciones complejas y múltiples entre el clima y los sistemas socioeconómicos son tales que la tarea de identificar y medir los riesgos relacionados con el clima presenta desafíos metodológicos significativos relacionados con la elección de escenarios que describen cómo las tecnologías, políticas, comportamientos, macroeconómicos e incluso la dinámica geopolítica y los patrones climáticos pueden interactuar en el futuro, especialmente dadas las limitaciones intrínsecas de la mayoría de los modelos climáticos económicos de equilibrio. En segundo lugar, y más fundamentalmente, los riesgos relacionados con el clima seguirán siendo en gran medida no asegurables o no corregibles mientras no se tomen medidas en todo el sistema.

A diferencia de las áreas específicas donde el análisis de escenarios puede ayudar a las instituciones financieras a evitar resultados no deseados (por ejemplo, evitar el colapso de una represa para un proyecto hidroeléctrico), el análisis de escenarios relacionados con el clima no puede por sí solo permitir que una institución o el sistema financiero en su conjunto evite y resista eventos del cisne verde.

El primer paso para realizar un análisis de escenarios es determinar una explicación de cómo interactuarán los factores climáticos y socioeconómicos, de modo que puedan traducirse en un escenario sectorial de nivel empresarial. Pretender algunas respuestas con cierto respaldo técnico científico por ejemplo con ¿cómo impactará en el PBI y o en la tasa de interés? ¿Cuáles son los objetivos para lograr a partir del cambio climático en cuanto al calentamiento global y sus grados de aceptabilidad? ¿En qué tiempo se producirán los efectos esperados por las estrategias de mitigación y de prevención? ¿Qué impactos podrá obtenerse a partir de la sustitución de tecnologías intensivas en carbono?

Por estas razones, se reconoce que los modelos macroeconómicos actuales pueden no ser capaces de predecir con cierta precisión el impacto económico y financiero del cambio climático (Weyant, 2017). La profunda incertidumbre relacionada con los riesgos físicos y de transición significa que tanto el enfoque neoclásico de la mayoría de los modelos como el de los enfoques alternativos oferta-demanda y modelos de no equilibrio no capturarán muchos de los efectos que desencadene el cambio climático.

Se ha argumentado que las funciones de daño utilizadas por los modelos de evaluación integrada (IAM) no pueden explicar los riesgos de cola relacionados con el cambio climático (Calel *et al*, 2015), y en algunos casos conducen estudios para sugerir escenarios de calentamiento que en realidad corresponderían a condiciones catastróficas para el futuro de la vida humana y no humana en la Tierra: por ejemplo, mientras que los modeladores DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy) encuentran que un calentamiento de 6 ° C en el siglo 22 significaría una disminución de menos del 0.1 % por año en el PIB durante los próximos 130 años, en la práctica, tal aumento de las temperaturas globales podría significar la extinción de una gran parte de la humanidad (Keen 2019).

Del mismo modo, el costo social del carbono –que suma en términos monetarios todos los costos y beneficios de agregar una tonelada adicional de CO₂–, y la elección de una tasa de descuento de daños futuros puede proporcionar "casi cualquier resultado que uno desee"

(Pindyck, 2013) y conducen a resultados y recomendaciones de políticas que son extremadamente engañosas (Stern, 2016). Los modeladores climáticos generalmente adoptan la incertidumbre al mostrar la gran variedad de resultados que pueden resultar de un evento o patrón específico.

Con respecto a los riesgos de transición, una de las principales fuentes de incertidumbre en el modelado se relaciona con el uso general de los precios del carbono en toda la economía como proxy de la política climática en los IAM. Esta suposición tiende a pasar por alto muchas fuerzas sociales y políticas que pueden influir en la evolución del mundo.

Los nichos tecnológicos y las innovaciones serán, como era de esperar, un parámetro clave para una transición exitosa. Sin embargo, su representación en los modelos existentes no refleja la naturaleza impredecible y disruptiva de las innovaciones tecnológicas. El fuerte aumento del uso y la variación de costos en muchas tecnologías de energía renovable en los últimos años ha superado la mayoría de las predicciones, y esto parece haber respondido más a las inversiones masivas en I + D y subsidios específicos a la energía solar que a cualquier otro mecanismo ambicioso de fijación de precios del carbono (Zenghelis, 2019). Otro problema es la intermitencia de las energías renovables y también en otros sectores puede ser imposible de descarbonizar a mediano plazo, independientemente de los precios del carbono.

La implementación exitosa de tecnologías no depende solo de sus precios relativos, sino también de los llamados regímenes sociotécnicos en los que operan, es decir, las reglas y normas que guían el uso de tecnologías particulares, que se manifiestan en contextos en los que las tendencias cambian lentamente conforme la demografía, la ideología, la geopolítica o se producen cambios turbulentos a partir de crisis mundiales o guerras.

Finalmente, una transición baja en carbono podría desencadenar nuevas tensiones geopolíticas y posibles conflictos, incluidos los relacionados con la búsqueda de recursos necesarios para las energías renovables (Pitron, 2018). Por lo tanto, los modelos existentes todavía tienen un largo camino por recorrer para dar cuenta de la economía política internacional del cambio climático y del principio de *responsabilidades comunes pero diferenciadas* consagradas en las negociaciones internacionales sobre el clima (UNFCCC, 2015).

Se han producido transformaciones significativas de las economías de mercado en las últimas décadas, incluida una disminución de las tasas de crecimiento en las economías avanzadas, pero también a nivel mundial. Se están debatiendo las causas de esta desaceleración, una disminución a largo plazo de la productividad (Gordon, 2012) o una desaceleración más coyuntural en la demanda agregada que puede ser abordado por nuevas políticas macroeconómicas. Otras transformaciones incluyen un cambio en el gobierno corporativo hacia la maximización del valor para los accionistas y el corto plazo (Mazzucato, 2015) y el aumento de las desigualdades dentro de las naciones (Piketty, 2014) a pesar de una disminución relativa de las desigualdades entre las naciones (Milanovic, 2016). Estas características plantean preguntas importantes como la aceptabilidad social de una transición baja en carbono.

Una de las principales dificultades es determinar cómo una empresa está expuesta a los riesgos relacionados con el clima a lo largo de su cadena de valor. Una empresa puede estar expuesta a estos riesgos a través de: (i) emisiones directas, denominadas *alcance 1* (particularmente importantes en sectores como la minería, la aviación o la industria química); (ii) emisiones indirectas, llamadas de *alcance 2*, que resultan de la energía comprada (por ejemplo, bienes raíces o industrias intensivas en energía); y (iii) otras emisiones indirectas relacionadas con toda su cadena de valor aguas arriba y aguas abajo, las llamadas emisiones de *alcance 3*.

La evaluación de la exposición de una empresa a sus emisiones de alcance 1, 2 y 3 y su traducción a métricas de riesgo se pueden realizar de manera cuantitativa o cualitativa.

El modelo de prueba de estrés PACTA, basado en las rutas tecnológicas de la Agencia Internacional de Energía (AIE) hasta 2050 compatible con un escenario climático específico (por ejemplo, un aumento de temperatura de 2 ° C o 1.75 ° C) y en bases de datos patentadas que incluyen planes de inversión existentes en el nivel de empresa, determina cómo cada empresa dentro de sectores específicos puede alinearse o desalinearse con el escenario. Esta información luego informa una herramienta de prueba de estrés retrasado que calcula los choques en función de los flujos de efectivo alternativos, descontados en un modelo de valoración o riesgo de crédito. La evaluación de la materialidad del riesgo por sector es una dimensión clave de esta metodología, que implica consideraciones tecnológicas, de mercado y políticas.

Otra metodología, desarrollada por Carbon Delta (2019), procede desglosando el compromiso de reducción de emisiones de cada país (como lo indica su Contribución determinada a nivel nacional, o NDC) en objetivos a nivel de sector, y luego asignando cantidades de reducción de emisiones a las instalaciones de producción de una empresa basadas en su perfil de emisiones dentro de cada sector, utilizando una base de datos de ubicación de activos patentada. Los costos relativos a la transición se obtienen multiplicando la cantidad de reducción de GEI requerida por el precio por tonelada de dióxido de carbono (tCO₂) obtenido a través de IAM para el escenario bajo análisis (por ejemplo, para 3 ° C, 2 ° C y 1.5 ° C aumento de las temperaturas). Para estimar los ingresos que cada empresa podría obtener de una transición baja en carbono, Carbon Delta (2019) utiliza una base de datos que cubre millones de patentes bajas en carbono otorgadas por las autoridades de todo el mundo, y una evaluación cualitativa de cada cartera de patentes bajas en carbono como un proxy para la capacidad de adaptación de las empresas.

Independientemente del enfoque elegido, algunas críticas de incertidumbre para tener en cuenta al realizar evaluaciones de riesgos prospectivas se refieren a la capacidad de predecir. La exposición a riesgos de responsabilidad legal que aún no han surgido: las metodologías existentes se centran en los riesgos físicos y de transición, pero los riesgos de responsabilidad pueden ser cada vez más importantes en el futuro.² Estos ejemplos muestran cómo, en el futuro, las empresas pueden estar expuestas no solo a los riesgos físicos y de transición del cambio climático, sino también a los riesgos legales.

Una vez que un escenario se ha traducido en métricas específicas a nivel de empresa o sector, queda la difícil tarea de integrar dicho análisis en los procedimientos internos de gestión de riesgos de una institución financiera / las prácticas de un supervisor. A este respecto, algunas metodologías proporcionan un cuadro de mandos o una calificación de riesgo climático y estimaciones del impacto de carbono de una cartera.

² Un ejemplo de ello es PG&E (Baker & Roston, 2019, Gold, 2019), el propietario de la empresa de servicios eléctricos más grande de California, que se declaró en bancarrota a principios de 2019 después de que las víctimas de incendios forestales demandaron a la compañía por no ajustar su red a los riesgos planteado por condiciones climáticas cada vez más secas. También se están llevando a cabo varias acciones legales contra compañías de energía y petróleo y gas (por ejemplo, Drugmand, 2019), a menudo interpuestas por ciudades u organizaciones de la sociedad civil que buscan compensación por desastres relacionados con el clima o el incumplimiento de sus planes comerciales con el Acuerdo de París (Mark, 2018).

Otras metodologías apuntan a calcular el impacto específico en la fijación de precios de los activos o los riesgos crediticios, por ejemplo, a través del concepto de valor climático en riesgo (VaR climático), que compara un escenario de desastre climático con un escenario de referencia. Por ejemplo, Carbon Delta estima los flujos de efectivo futuros generados por cada empresa y los descuenta para medir los valores actuales que pueden informar los modelos de riesgo de crédito.

Independientemente del método elegido, al menos tres desafíos metodológicos principales deben tenerse en cuenta al realizar dicho ejercicio.

Primero, es posible que los inversores perciban riesgos a largo plazo que plantea el cambio climático, mientras permanecen expuestos a los combustibles fósiles a corto plazo (Christophers, 2019), especialmente si creen que no se establecerán regulaciones estrictas en cualquier momento pronto. La identificación del riesgo es una cosa; La mitigación es completamente otra. Lenton *et al* (2019) encuentran que la emergencia para actuar no es solo un factor del riesgo en juego, sino también la urgencia definida como el tiempo de reacción a una alerta dividido por el tiempo de intervención restante para evitar un mal resultado. Identificar todos los riesgos, si fuera posible, no sería necesariamente suficiente para “romper la tragedia del horizonte”.

En segundo lugar, es posible que las instituciones financieras se protejan individualmente contra el cambio climático, sin reducir la exposición del sistema en su conjunto, siempre que no se tomen medidas en todo el sistema. Kling *et al* (2018) analizan que los países vulnerables al clima exhiben un costo de deuda más alto en promedio. Esto significa que a medida que los mercados se protegen contra los riesgos relacionados con el clima al aumentar las primas de riesgo, el riesgo se transfiere a otros actores, como los soberanos vulnerables al clima, que también son países más pobres en promedio. Carney (2015) señaló que las respuestas racionales de los aseguradores a los riesgos físicos pueden desencadenar paradójicamente nuevos riesgos: por ejemplo, los patrones de tormentas en el Caribe han dejado a muchos hogares incapaces de obtener cobertura privada, lo que provocó que los préstamos hipotecarios se agoten y los valores colapsen con vecindarios a ser abandonados. Calcular los riesgos relacionados con el clima puede llevar a las instituciones financieras a tomar medidas racionales que, al tiempo que los cubre individualmente de un choque específico, no cubren los riesgos sistémicos que plantea el cambio climático. Para los bancos centrales, los reguladores y los supervisores, esto plantea preguntas difíciles, como la regulación prudencial adecuada que debería implementarse en respuesta.

En tercer lugar, para apreciar plenamente la posible dimensión sistémica de los eventos de *cisne verde* o *momentos climáticos de Minsky*, aún se necesita más trabajo sobre cómo un shock de precios de activos relacionados con el clima (activos varados) podría provocar otras pérdidas dentro de una dinámica red financiera, incluidos los efectos de contagio hacia sectores no relacionados con el clima.

La crisis financiera 2007-08 mostró cómo la caída de un sector, como las hipotecas de alto riesgo, puede dar lugar a múltiples descensos en diferentes regiones y sectores con poca exposición directa a los préstamos de alto riesgo. A este respecto, los cambios bruscos en el sentimiento del mercado relacionados con el cambio climático podrían afectar a todos los actores, incluidos aquellos que estaban protegidos contra riesgos específicos relacionados con el clima (Reynolds, 2015).

Mercure *et al* (2019) encuentran que los modelos de equilibrio y no equilibrio tienden a arrojar conclusiones opuestas con respecto a los impactos económicos de las políticas climáticas. Los modelos de equilibrio (como DSGE) siguen siendo los más utilizados para la política climática, pero su suposición central de que los precios coordinan las acciones de todos los agentes (bajo optimización restringida) para equilibrar los mercados de factores de producción no representa patrones de transición (incluidos algunos discutidos arriba) de manera consistente. En este contexto, los modelos de no equilibrio pueden estar mejor posicionados.

Análisis de sensibilidad: la realización de evaluaciones de riesgos basadas en escenarios relativamente simples, también llamados análisis de sensibilidad, puede ser otro enfoque para capturar algunas características de los riesgos relacionados con el clima, especialmente los riesgos de transición. Los análisis de sensibilidad representan un método rápido y fácil para evaluar la sensibilidad de una cartera a un riesgo dado (DG Treasury *et al*, 2017) y no necesitan depender de escenarios complejos.

Los mecanismos destinados a financiar la transición baja en carbono, la severidad del clima y otras crisis ambientales han llevado a una floreciente corriente de investigación para reconsiderar cómo dar cuenta del valor económico en una era de creciente degradación ecológica.

3. Conclusiones

El cambio climático plantea un desafío sin precedentes para la gobernanza de los sistemas socioeconómicos. Las posibles implicaciones económicas de los riesgos físicos y de transición relacionados con el cambio climático se han debatido durante décadas, aunque las implicaciones financieras del cambio climático se han ignorado en gran medida. En los últimos años, los bancos centrales, los reguladores y los supervisores han reconocido que el cambio climático es una fuente de importantes riesgos financieros sistémicos. En ausencia de políticas climáticas bien coordinadas y ambiciosas, ha habido una creciente conciencia de la materialidad de los riesgos físicos y de transición que afectarían la estabilidad del sector financiero. Seguir las tendencias actuales podría dejar a los bancos centrales en la posición de “*rescatadores climáticos de último recurso*”, lo que sería insostenible dado que hay poco que los flujos monetarios y financieros puedan hacer frente a los impactos irreversibles del cambio climático. En otras palabras, una nueva crisis financiera mundial provocada por el cambio climático dejaría a los bancos centrales y supervisores financieros impotentes.

La gestión de riesgos tradicional que se basa en la extrapolación de datos históricos, a pesar de su relevancia para otras cuestiones relacionadas con la estabilidad financiera, no puede utilizarse para identificar y gestionar los riesgos relacionados con el clima dada la profunda incertidumbre involucrada. De hecho, los riesgos relacionados con el clima presentan muchas características distintivas. Los riesgos físicos están sujetos a la no linealidad y la incertidumbre no solo por los patrones climáticos, sino también por los patrones socioeconómicos que se desencadenan por los climáticos. Los riesgos de transición requieren incluir problemas de acción colectiva complejos entrelazados y abordar consideraciones bien conocidas de economía política a nivel global y local.

Se necesitan enfoques transdisciplinarios para capturar las múltiples dimensiones –geopolíticas, culturales, tecnológicas y reguladoras– que deberían movilizarse para garantizar la transición a un sistema sociotécnico bajo en carbono.

Se confía más en análisis de escenarios prospectivos en lugar de comportamientos meramente probabilísticos para evaluar los riesgos climáticos.

El desarrollo y la mejora de la evaluación de riesgos prospectiva y la regulación relacionada con el clima serán esenciales, pero no serán suficientes para preservar la estabilidad financiera en la era del cambio climático, caracterizada por la profunda incertidumbre involucrada y la necesidad de una transformación estructural de la situación socioeconómica global.

Además de la fijación de precios del carbono, los bancos centrales:

- a) Pueden ayudar a promover de manera proactiva a largo plazo apoyando los valores o ideales de las finanzas sostenibles.
- b) Pueden exigir un mayor papel de la política fiscal en apoyo de la transición ecológica, especialmente en el límite inferior cero.
- c) Pueden aumentar la cooperación en cuestiones ecológicas entre las autoridades monetarias y financieras internacionales.
- d) Pueden apoyar iniciativas que promuevan una mayor integración de las dimensiones climáticas y de sostenibilidad dentro de los marcos contables corporativos y nacionales.

La estabilidad financiera y climática son dos bienes públicos cada vez más interdependientes.

REFERENCIAS

- Baker, D.R. & Roston, E. (2019). *After PG&E's climate-driven bankruptcy, who's next?* Bloomberg, January 22, 2019
- Batten, S. (2018). *Climate change and the macro-economy: A critical review*. Bank of England Working Paper N° 706
- Beddoe, R., Costanza, R., Farley, J., Garza, E., Kent, J., Kubiszewski, I., Martinez, L., McCowen, T., Murphy, K., Myers, N., Ogden, Z., Stapleton, K. & Woodward, J. (2009). *Overcoming systemic roadblocks to sustainability: The evolutionary redesign of worldviews, institutions, and technologies*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106 (8): 2483-2489
- BIS Annual Economic Report 2019*. Bank for International Settlements
- Bolton, P., Despres, M., Pereira Da Silva, L.A., Samama, F. & Svartzman, R. (2020). *The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change*. BIS-Banque de France
- Bunten, D. & Kahn, M.E. (2014). The impact of emerging climate risks on urban real estate price dynamics. NBER Working Paper N° 20018
- Calel, R., Stainforth, D.A. & Dietz, S. (2015). *Tall tales and fat tails: The science and economics of extreme warming*. Climatic Change, 132 (1): 127-141
- Carbon Brief (2018). *Q&A: How 'Integrated Assessment Models' Are Used to Study Climate Change*
- Carbon Delta (2019). *Carbon Delta Methodologies Overview*

- Carney, M. (2015). *Breaking the tragedy of the horizon: Climate change and financial stability*. Speech at Lloyd's of London, London, Sep 29
- Carney, M. (2016). *Resolving the climate paradox*. Text of the Arthur Burns Memorial Lecture, Berlin, Sep 22
- Christophers, B. (2019). *Environmental beta or how institutional investors think about climate change and fossil fuel risk*. *Annals of the American Association of Geographers*, 109 (3): 754-774
- DG Treasury, Banque de France & ACPR (2017). *Assessing climate change related risks in the banking sector*. Directorate General of the Treasury
- Drugmand, D. (2019). *Shell faces lawsuit in the Netherlands, a new legal front in the climate battle*. *Climate Liability News*
- Gassebner, M., Keck, A. & Teh, R. (2010). *Shaken, not stirred: the impact of disasters on international trade*. *Review of International Economics*, 18 (2): 351-368
- Geels, F.W., Elzen, B. & Green, K. (2004). *General introduction: System innovations and transitions to sustainability*. En Elzen, B., Geels, F.W. & Green, K., *System innovation and the transition to sustainability: Theory, evidence and policy*, págs. 19-47
- Global Sustainable Investment Alliance (2019). *Global Sustainable Investment Review 2018*
- Gold, R. (2019). *PG&E: The first climate-change bankruptcy, probably not the last*. *Wall Street Journal*
- Gordon, R.J. (2012). *Is U.S. economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds*. NBER Working paper 18315
- Hallegatte, S. (2009). *Strategies to adapt to an uncertain climate change*. *Global Environmental Change*, 19 (2): 240-247
- IAIS (International Association of Insurance Supervisors) (2018). *Issues paper on climate change risks to the insurance sector*. International Association of Insurance Supervisors c/o Bank for International Settlements
- Keen, S. (2019). *The cost of climate change: A Nobel economist's model dismantled*. *Economics (blog)*. 2019.
- Keen, S., Ayres, R.U. & Standish, R. (2019). *A note on the role of energy in production*. *Ecological Economics*, 157: 40-46
- Krogstrup, S. & Obstfeld, M. (2018). *A planet at risk requires multilateral action*. *IMF Blog*
- Kling, G., Lo, Y.C., Murinde, V. & Volz, U. (2018). *Climate vulnerability and the cost of debt*. Working paper
- Krogstrup, S. & Oman, W. (2019). *Macroeconomic and financial policies for climate change mitigation: A review of the literature*. *IMF Working Paper N° 19/185*
- Lenton, T.M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W. & Schellnhuber, H.J. (2019). *Climate tipping points: Too risky to bet against*. *Nature*, 575: 592-95
- Lerven, F.van & Ryan-Collins, J. (2017). *Central banks, climate change and the transition to a low-carbon economy*. *The New Economics Foundation*
- Mark, J. (2018). *Sue the bastards: Climate change lawsuits are going global*. *Sierra Club*, December
- Mazzucato, M. (2015). *The entrepreneurial state: Debunking public vs. private myths in risk and innovation*. *Public Affairs*
- Mazzucato, M. & Perez, C. (2015). *Innovation as growth policy*. En Fagerberg, J., Laestadius, S. & Martin, B.R., *The triple challenge for Europe: Economic development, climate change, and governance*, págs. 229-264
- McGlade, C. & Ekins, P. (2015). *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C*. *Nature*, 517 (7533): 187-190

- McKibbin, W., Morris, A., Panton, A.J. & Wilcoxon, P.J. (2017). *Climate change and monetary policy: Dealing with disruption*. CAMA Working Paper N° 77/201
- Mercure, J.F., Pollitt, H., Viñuales, J.E., Edwards, N.R., Holden, P.B., Chewpreecha, U., Salas, P., Sognnaes, I., Lam, A. & Knobloch, F. (2018). *Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets*. *Nature Climate Change*, 8 (7): 588-593
- Mercure, J.F., Knobloch, F., Pollitt, H., Paroussos, L., Serban Scricieiu, S. & Lewney, R. (2019). *Modelling innovation and the macroeconomics of low-carbon transitions: Theory, perspectives and practical use*. *Climate Policy*, 19 (8): 1019-1037
- Milanovic, B. (2016). *Global inequality: A new approach for the age of globalization*. Harvard University Press
- NGFS (2018). *NGFS First Progress Report*. October
- NGFS (2019a). *NGFS First Comprehensive Report. A call for action: Climate change as a source of financial risk*. April
- NGFS (2019b). *Macroeconomic and financial stability: Implications of climate change*. NGFS Technical Supplement to the First Comprehensive Report, July
- OECD (2019a). *Beyond growth: Towards a new economic approach*. Report of the Secretary General's Advisory Group on a New Growth Narrative. OECD Publishing
- OECD (2019b). *Climate finance provided and mobilised by developed countries in 2013-17*. OECD Publishing
- Parker, M. (2018). *The impact of disasters on inflation*. *Economics of Disasters and Climate Change*, 2 (1): 21-48
- Pereira da Silva, L.A. (2019). *The inflation conundrum in advanced economies and a way out*. University of Basel, May 5
- Piketty, T. (2014). *Capital in the twenty-first century*. Harvard University Press
- Pindyck, R.S. (2013). *Climate change policy: What do the models tell us?* *Journal of Economic Literature*, 51 (3): 860-872
- Pitron, G. (2018). *La guerre des métaux rares*. Les Liens qui Libèrent
- Reynolds, J. (2015). *Unhedgeable risk: How climate change sentiment impacts investment*. Cambridge Institute for Sustainability Leadership
- Ripple, W.J., Wolf, C., Newsome, T.M., Barnard, P. & Moomaw, W.R. (2019). *World scientists' warning of a climate emergency*. *BioScience*, 70 (1): 8-12
- Ripple, W.J., Wolf, C., Newsome, T.M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M.I. & Laurance, W.F. (2017). *World scientists' warning to humanity: A second notice*. *BioScience*, 67 (12): 1026-1028
- Rogoff, K. (2019). *The case for a world carbon bank*. Project Syndicate, July
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern Review*
- Stern, N. (2008). *The economics of climate change*. *American Economic Review*, 98 (2): 1-37
- Stern, N. (2016). *Economics: Current climate models are grossly misleading*. *Nature*, 530 (7591): 407-409
- Stiglitz, J. (2019). *The climate crisis is our third world war. It needs a bold response*. *The Guardian*, Jun 4
- Taleb, N. (2007). *The black swan*. Penguin Random House.
- UNFCCC (2015). *Paris Agreement*. United Nations
- Weitzman, M.L. (2009). *On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change*. *Review of Economics and Statistics*, 91 (1): 1-19

-
- Weitzman, M.L. (2011). *Fat-tailed uncertainty in the economics of catastrophic climate change*. Review of Environmental Economics and Policy, 5 (2): 275-292
- Weyant, J. (2017). *Some contributions of integrated assessment models of global climate change*. Review of Environmental Economics and Policy, 11 (1): 115-137
- Zachmann, G., Fredriksson, G. & Claeys, G. (2018). *The distributional effects of climate policies*, Bruegel Blueprint series 28
- Zenghelis, D. (2019). *Securing decarbonisation and growth*. National Institute Economic Review, 250 (1): R54-60