Impacto macroeconómico del cambio climático en Colombia

Número:
102
DOI:
https://doi.org/10.32468/espe102
Publicado:
Lunes, 11 Julio 2022
Cordinador(a/es):
Joaquín Bernal-Ramírez[a],
Jair N. Ojeda-Joya[e]
Coautores:
Camila Agudelo-Rivera[e],
Felipe Clavijo-Ramírez[e],
Carolina Durana-Ángel[e],
Clark Granger[a],
Daniel Osorio-Rodríguez[a],
Daniel Parra-Amado[a],
José Pulido[a],
Jorge Enrique Ramos-Forero[a],
Daniela Rodriguez-Novoa[a],
Andrés Sánchez-Jabba[a],
Jorge Hernán Toro Córdoba[a]
Ver más
[a]Banco de la República, Colombia
[e]Externo
Clasificación JEL:
E50, F32, G18, H23, H60, Q54
Palabras clave:
Cambio climatico, Crecimiento económico, ajuste de cuenta corriente, Impuesto al carbono, Finanzas públicas
Resumen:

En este documento se hace una revisión de la literatura relativa a los efectos macroeconómicos esperados de los riesgos físicos y de transición asociados al cambio climático (RACC), identificando las principales fortalezas, debilidades y vacíos en dicha literatura. Esta revisión busca contextualizar su impacto potencial en Colombia en las próximas décadas y reflexionar sobre los desafíos que plantea para el manejo de diversos ámbitos de la política económica.

En primer lugar, se examinan los efectos esperados sobre la actividad económica en las próximas décadas. Luego se revisan los posibles efectos de los RACC en el sector externo y se realizan proyecciones del balance en cuenta corriente bajo distintos escenarios climáticos.

Enseguida se examina el impacto sobre las finanzas públicas y se presentan los resultados de ejercicios para evaluar diversas alternativas de política sobre la evolución del déficit y la deuda del gobierno nacional. A continuación, se presentan los desafíos que enfrentan las instituciones financieras y las autoridades y se presentan los resultados de un ejercicio de sensibilidad sobre las entidades crediticias en Colombia. Finalmente, se revisa la forma en que se afectarán los objetivos primarios de los bancos centrales, la formulación de sus políticas y sus mecanismos de transmisión.

Descargar documento

- Introducción
- 1. Impacto del cambio climático en el crecimiento económico
- 2. Efectos esperados de los riesgos asociados al cambio climático sobre el sector externo
- 3. Impacto del cambio climático sobre las finanzas públicas
- 4. Impacto del cambio climático sobre la estabilidad financiera
- 5. Impacto del cambio climático sobre la política monetaria
- 6. Conclusiones y reflexiones finales
- Recuadros
- Anexos

Lo más reciente

El desarrollo económico de Colombia desde finales de la Guerra de los Mil Días hasta la Gran Depresión
Juliana Jaramillo-Echeverri, María Teresa Ramírez-Giraldo
Experimentando con los LLM para el pronóstico de la inflación en Colombia
Aarón Levi Garavito-Acosta, Wilmer Martinez-Rivera, Juan J. Ospina-Tejeiro, Edgar Caicedo-García
Evaluando el seguro de desempleo en una economía en desarrollo: evidencia para Colombia
Leonardo Fabio Morales, Diego Astorga-Rojas, Nicolas Guida-Johnson
Otras Publicaciones

- Resumen
- Referencias
- Notas
- Le puede Interesar
- Como citar ""
    - Para citar este artículo, se sugiere el siguiente orden: Bernal-Ramírez, J.; Ojeda-Joya, J. (coordinadores); Agudelo-Rivera, C.; Clavijo-Ramírez, F.; Durana-Ángel, C.; Granger-Castaño, C.; Osorio-Rodríguez, D.; Parra-Amado, D.; Pulido, J.; Ramos-Forero, J.; Rodríguez-Novoa, D.; Sánchez-Jabba, A.; Toro-Córdoba, J. (2022). Impacto macroeconómico del cambio climático en Colombia. Ensayos sobre

Política Económica (ESPE), núm. 102, julio, DOI: 10.32468/espe102.

- Derechos Reprod©
  - Los derechos de reproducción de este documento son propiedad de la revista Ensayos sobre Política Económica (ESPE). El documento puede ser reproducido libremente para uso académico, siempre y cuando no se obtenga lucro por este concepto y, además, cada copia incluya la referencia bibliográfica de ESPE. El (los) autor(es) del documento puede(n), también, poner en su propio sitio electrónico una versión electrónica del mismo, pero incluyendo la referencia bibliográfica de ESPE. La reproducción de esta revista para cualquier otro fin, o su colocación en cualquier otro sitio electrónico, requerirá autorización previa de su comité editorial.
- Descargar xml

Un grupo de 13 investigadores e investigadoras del Banco de la República desarrollaron un nuevo Ensayo sobre Política Económica y en este capítulo de Charlas Banrep los coordinadores de este trabajo, Joaquín Bernal y Jair Ojeda, ponen en contexto el impacto potencial en Colombia en las próximas décadas del cambio climático y plantean reflexiones sobre los desafíos del manejo de diversos ámbitos de la política económica. Las opiniones contenidas en este video son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva.

Resumen

Enfoque

En este documento se hace una revisión de la literatura relativa a los efectos macroeconómicos esperados de los riesgos físicos y de transición del cambio climático, identificando las principales fortalezas, debilidades y vacíos. Esta revisión busca contextualizar su impacto potencial en Colombia en las próximas décadas y reflexionar sobre los desafíos que plantea para el manejo de diversos ámbitos de la política económica.

En primer lugar, se examinan los mecanismos de transmisión de los riesgos asociados al cambio climático (RACC) y sus efectos esperados sobre la actividad económica. Luego se revisan sus efectos en el sector externo y se realizan proyecciones del balance en cuenta corriente bajo distintos escenarios climáticos en el largo plazo. Enseguida se examina el

Impacto de dichos riesgos sobre las finanzas públicas y se presentan los resultados de ejercicios contables de equilibrio parcial para evaluar el impacto de diversas alternativas de política sobre la evolución del déficit y la deuda del gobierno nacional. Luego, se presentan los desafíos que enfrentan las instituciones financieras y se presentan los resultados de un ejercicio de sensibilidad sobre las entidades crediticias en Colombia. Finalmente se revisa la forma en que los RACC afectarán los objetivos primarios de los bancos centrales de estabilidad de precios, sobre la formulación de sus políticas y sus mecanismos de transmisión.

Contribución

El trabajo incorpora una revisión crítica de una amplia literatura actualizada sobre los efectos macroeconómicos esperados de los RACC. Para los ejercicios cuantitativos se utilizó la metodología de análisis de escenarios debido al alto nivel de incertidumbre al que están expuestos ejercicios de este tipo.

La base de los cálculos de impacto de los RACC sobre la actividad económica en Colombia son los modelos del Red para el Reverdecimiento del Sistema Financiero (NGFS) y posibles sendas del PIB hasta 2100 consistentes con tres escenarios de cambio climático: políticas actuales, transición demorada y cero emisiones a 2050. A partir de los impactos estimados para Colombia por los modelos del NGFS, se calculan las sendas de PIB hasta 2100.

Para el ejercicio de impacto de los RACC sobre el sector externo, primero se estiman las relaciones entre el balance corriente y sus principales determinantes entre 1996 y 2020. Estos resultados se combinan con posibles trayectorias de los determinantes para efectuar una proyección lineal del balance corriente entre 2021 y 2050. Finalmente, se analiza cómo la implementación de medidas mitigadoras del cambio climático podría incidir sobre el déficit de cuenta corriente.

En lo relativo a finanzas públicas, se realizan estimativos de simulación contable de equilibrio parcial, que consideran tanto una potencial disminución de las rentas petroleras como mayores esfuerzos de gastos en adaptación y mitigación frente a los RACC, con el propósito de evaluar el impacto sobre la evolución del déficit y la deuda del gobierno nacional central a 2050.

En cuanto a estabilidad financiera, se lleva a cabo un ejercicio pionero en nuestro país para simular los efectos sobre el indicador de calidad por riesgo, rentabilidad y solvencia de los establecimientos de crédito que tendrían tres escenarios de cambio climático, el cual emplea el modelo SYSMO del Banco de la República.

> **El país debe considerar un cronograma balanceado para sustituir las rentas petroleras mediante la generación de nuevas fuentes de ingresos externos y reformas de carácter estructural en el frente tributario y de gasto público.**

Conclusiones

Los estimativos realizados sobre el impacto de los RACC en la economía colombiana arrojan posibles pérdidas de PIB a 2100 de entre el 2% en un escenario donde se cumplen los Acuerdos de París y 8% sin políticas de mitigación adicionales. Los impactos son no lineales, con mayores pérdidas de PIB a mayores incrementos de temperatura.

Los RACC podrían causar una contracción significativa de los ingresos corrientes y un deterioro del balance corriente de largo plazo. La senda esperada muestra una ampliación del déficit en el escenario de cero emisiones netas en 2050. Estos cálculos se basaron en modelos simplificados de equilibrio parcial y forma reducida. Su efecto podría ser más moderado pues en un contexto de equilibrio general se presentarían diversos ajustes de factores macroeconómicos que permitirían amortiguar episodios de deterioro de la cuenta corriente. Entre estos, se encuentran una depreciación de la tasa de cambio real y un recorte del gasto público.

Las finanzas públicas también se verían afectadas debido a una disminución de las rentas petroleras y mayores esfuerzos de gastos frente a los RACC, con mayor incidencia sobre el déficit fiscal y la deuda del gobierno en un escenario de cero emisiones.

Los RACC pueden, adicionalmente, generar costos y pérdidas para las instituciones financieras y tener implicaciones sobre la estabilidad del sistema. El escenario de políticas actuales traería el mayor impacto adverso sobre los establecimientos de crédito, debido al deterioro de la calidad de riesgo de la cartera. La diferencia de los impactos entre escenarios de políticas sugiere que el sistema financiero colombiano es menos resiliente a la materialización del riesgo físico que al riesgo de transición.

En lo que concierne a la política monetaria, para los bancos centrales será más difícil evaluar y pronosticar los niveles de precios y su volatilidad, la brecha de producto, el empleo y la tasa de interés natural. Así, los RACC tendrán consecuencias sobre los objetivos de estabilidad de precios y la manera en que formulan sus políticas.

Otras implicaciones sobre la política monetaria son que episodios climáticos más frecuentes e intensos afectarían a la economía en forma de choques de oferta, los cuales crean un dilema para el manejo de la política monetaria; y que el menor crecimiento en el largo plazo llevaría probablemente a menores niveles de tasa de interés natural, lo cual limitaría el espacio para realizar políticas contracíclicas.

De otra parte, las presiones hacia mayores déficits de cuenta corriente y fiscales podrían acarrear deterioros en la calificación crediticia del país que restrinjan el acceso al financiamiento externo y empeoren el dilema de política monetaria frente a choques de oferta. Los resultados sobre el sistema financiero implican que los indicadores de crédito deteriorados pueden dificultar la transmisión de la política monetaria.

Para evitar mayores deterioros en la posición externa y las finanzas públicas, el país debe considerar un cronograma balanceado para sustituir las rentas petroleras mediante la generación de nuevas fuentes de ingresos externos y reformas de carácter estructural en el frente tributario y de gasto público.

Introducción

La humanidad ha logrado un notable avance en la reducción de la pobreza extrema y en el mejoramiento de los indicadores de desarrollo humano en las últimas décadas casi en todas las geografías del planeta, a pesar del crecimiento exponencial de la población mundial. Mientras que esta se duplicó en los últimos cincuenta años[1], el PIB mundial aumentó en 4,7 veces. En los últimos veinticinco años más de 1.000 millones de personas lograron salir de la pobreza, de forma que la tasa mundial de pobreza extrema (8,6 % en 2018) es la más baja de la que se tenga registro[2]. En Colombia la población se multiplicó por 2,3 veces en los últimos cincuenta años y el PIB en 2019 fue 6,4 superior al de 1970. Desde 1992 hasta 2019 la pobreza extrema se redujo[3] del 9 % al 4,9 %.

Sin embargo, los patrones de producción y consumo asociados con el mayor bienestar individual y social se han basado en un creciente agotamiento de recursos naturales y de la biodiversidad del planeta[4], por lo cual resultan cada vez menos sostenibles. Aquellos han descansado sobre un altísimo consumo de energía, en especial basada en combustibles fósiles. Se estima que en todo el planeta se están generando anualmente cerca de 40 gigatoneladas de dióxido de carbono (Gt CO_2), además de otros gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2014, 2018 y 2021)[5]. Las emisiones antropógenas acumuladas de CO_2 a la atmósfera desde 1850 superan las 2.400 Gt CO_2, y aproximadamente la mitad de estas se han producido en los últimos cuarenta años.

Como resultado de ello, se viene registrando un sostenido aumento de la temperatura en el planeta: la media global en la superficie fue 1,1 °C más alta en 2011-2020 que en 1850-1900. Las últimas cuatro décadas han sido progresivamente más cálidas (IPCC, 2021: 5 y 38; Bárcena *et al.*, 2020: 50 y 52). En un escenario medio (SSP2-4.5, véase la sección 1, Cuadro 1)[6], IPCC (2021) estima que el aumento en las temperaturas durante 2081-2100 superará entre 2,1 °C y 3,5 °C a las de la era preindustrial (con ritmos más acelerados en las zonas polares y tropicales[7]), siendo superiores a las de cualquier otro momento de los últimos 12.000 años en los que la civilización humana se ha desarrollado (Burke *et al.*, 2018:13288-9).

El cambio climático podría desencadenar significativos riesgos físicos, tanto de carácter agudo -tales como cambios abruptos en los patrones de distribución y magnitud de la precipitación (lluvias y sequías), el aumento del nivel del mar, huracanes, incendios, etc.-, como de carácter crónico -cambios persistentes en las temperaturas con impactos estructurales en la salud y el bienestar de la población-[8]. A pesar de la dificultad para cuantificar la trayectoria futura del cambio climático, sus efectos heterogéneos y sus posibles puntos de inflexión (denominados "no linealidades") de difícil pronóstico, existe un amplio consenso en la comunidad científica en cuanto a su carácter previsible (pese a que el horizonte temporal exacto de sus efectos sea incierto), su severidad potencial y su irreversibilidad si se llegara a superar el umbral considerado seguro de 1,5 °C (NGFS, 2019a; Bolton *et al.*, 2020). Esta literatura indica que, mientras más demore la toma de acciones de mitigación, mayor será el costo del ajuste.

Por otra parte, el proceso de ajuste hacia una economía más baja en emisiones de GEI, provocado por cambios en políticas ambientales de mitigación (tales como impuestos al

"carbono", topes de emisión y permisos negociables, subsidios, etc.), cambios tecnológicos (en especial en los sectores energético y transporte) y ajustes en las preferencias de los consumidores, originan lo que literatura denomina *riesgos de transición*.

Existe una probabilidad creciente, entonces, de que los riesgos asociados con el cambio climático (RACC) tengan un amplio alcance y afecten a todos los agentes y sectores de la economía, en todas las geografías del planeta, aunque de una manera desigual (NGFS, 2019a). La ventana de oportunidad para mantener el aumento de la temperatura a niveles considerados seguros por los científicos se está cerrando rápidamente. Se requiere con urgencia adoptar medidas enérgicas para frenar las emisiones de carbono y reducirlas a cero en forma neta[9] en todo el mundo para mediados de siglo (Acuerdo de París, UNFCCC, 2015).

En conclusión, la principal causa del cambio climático -las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero- son una externalidad negativa mundial y, como señala Stern (2007), constituyen "la mayor falla del mercado de todos los tiempos". Ello es consecuencia del hecho de que dichas emisiones no tienen costo (o es muy bajo e inferior a su verdadero costo social) y sus negativos efectos sobre la destrucción de la biodiversidad, la salud, e incluso la viabilidad de ciertas naciones han estado por fuera de las cuentas económicas (Bárcena *et al.*, 2020).

Sin embargo, la naturaleza de largo plazo del cambio climático, los grandes rangos de incertidumbre asociados a los modelos climáticos, y el hecho de que los riesgos físicos, económicos y financieros relacionados con el clima solo hayan ido avanzado de manera paulatina, ha llevado a muchos agentes económicos, incluidos los gobiernos, a retrasar la adopción de medidas de política de mitigación (Carney, 2015).

Para enfrentar este problema, es imperativo transformar masivamente la estructura del aparato productivo mundial para permitir un desarrollo con bajas emisiones de GEI (IEA, 2019) y aumentar la capacidad global de adaptación a los efectos del cambio climático. Se requerirá una amplia adopción de nuevas tecnologías, profundos ajustes en el uso de la tierra y cambios en el comportamiento de los consumidores. Para el efecto, existe un amplio consenso en la literatura en que se requiere construir un ambiente habilitador que catalice la transformación necesaria, basado en políticas públicas (como impuestos al carbono y regulaciones que ajusten los costos de emisión de CO2) que contribuyan a internalizar las externalidades asociadas con el costo social de las emisiones de gases de efecto invernadero, desalentar el uso de energía fósil, incentivar la eficiencia energética y reasignar recursos de actividades de alta hacia baja huella de carbono (véase la sección 1.1) (IMF, 2020; Batten, 2018; Krogstrup y Oman, 2019; World Bank, 2019). Ellas deben ser complementadas con medidas orientadas al direccionamiento de recursos financieros (públicos y privados) hacia inversiones en infraestructura sostenible, apoyar a los movimientos sociales y cambiar la manera como se hace investigación para el desarrollo, entre otros (Krogstrup y Oman, 2019; Steiner *et al.*, 2020).

El reto es monumental dado que se trata de un complejo problema de acción colectiva, en el que habrá ganadores y perdedores e inclinaciones a comportamientos oportunistas (Bolton *et al.*, 2020). Además, la aprobación de las medidas de política para mitigar los RACC y adaptarse a ellos deberá pasar por un complejo proceso de discusión política y tendrá efectos

sobre la distribución del ingreso (Romero *et al.*, 2015) y de las oportunidades de los agentes productivos, así como sobre el crecimiento económico, el consumo y el bienestar en el corto plazo, todo lo cual será altamente desafiante para los tomadores de decisiones.

Se prevé que los países tropicales, muchos de los cuales tienen ingresos y niveles de desarrollo humano más bajos, resulten más duramente afectados (Tol, 2018) y que el incremento de los riesgos físicos crónicos y agudos impacte la evolución de su producto interno bruto (PIB) per cápita (IMF, 2017). En razón de su localización geográfica tropical, diversos estudios encuentran que Colombia estará expuesta a importantes riesgos de incremento de temperaturas, especialmente en el litoral Caribe y Pacífico, la región Andina y la Orinoquía, así como a disminuciones de la precipitación[10] que se intensificarían a lo largo del siglo y a crecientes costos económicos de eventos agudos asociados con el clima (BID-Cepal-DNP, 2014; Ideam *et al.*, 2017). Adicionalmente, Colombia está expuesta a un alto riesgo de transición debido a la significativa participación que tienen los mineroenergéticos en los ingresos corrientes externos (37 % entre 2000 y 2020) y en las rentas fiscales (7,6 % entre 1995 y 2020, que alcanzaron el 17 % entre 2012 y 2014).

El objetivo de este documento es hacer una revisión crítica de la literatura nacional e internacional relativa a los efectos macroeconómicos esperados de los riesgos físicos y de transición del cambio climático, identificando las principales fortalezas, debilidades y vacíos en dicha literatura. Esta revisión busca contextualizar el impacto potencial en Colombia en las próximas décadas y reflexionar sobre los desafíos que plantea para el manejo de los principales ámbitos de la política económica. Para fortalecer este análisis, se desarrollan ejercicios cuantitativos relacionados con impactos sobre los sectores real, externo, fiscal y sobre la estabilidad financiera en nuestro país. Estos ejercicios empíricos tienen como base las proyecciones de la red de bancos centrales y supervisores por el reverdecimiento del sistema financiero (NGFS, por sus siglas en inglés) que están, a su vez, basadas en modelos de evaluación integrada de los efectos macroeconómicos del cambio climático mundial y con efectos específicos para Colombia en el caso de los efectos sobre la actividad económica (más información sobre los modelos del NGFS se encuentra en la sección 1 y en NGFS, 2021b). Cabe anotar que este documento se enfoca solamente en los aspectos macroeconómicos del cambio climático, teniendo en cuenta que estos son los más relevantes para el análisis de la política monetaria. Existe una amplia literatura sobre los efectos microeconómicos que tienen que ver con sus impactos sobre precios, estructuras de mercado y cantidades producidas en sectores o bienes específicos (véase, por ejemplo, Ciarli y Savona, 2019, para una revisión al respecto).

El documento consta de cinco secciones. En la primera se examinan los mecanismos de transmisión de los RACC y sus efectos esperados sobre la actividad económica en las próximas décadas. Partiendo de estimaciones de otros estudios, se generan sendas futuras del PIB para Colombia en distintos escenarios de cambio climático, las cuales son utilizadas en los ejercicios cuantitativos que se realizan en las secciones posteriores. En la segunda sección se revisa la literatura sobre los posibles efectos de los RACC en el sector externo y se realizan proyecciones del balance en la cuenta corriente en distintos escenarios climáticos con el objetivo de establecer la incidencia de los RACC sobre la posición externa del país en el largo plazo. En la tercera sección se examina el impacto de la transición energética sobre los ingresos fiscales, los principales aspectos del impuesto al carbono y del gasto público en

adaptación y mitigación, y se presentan los resultados de ejercicios contables de equilibrio parcial para evaluar el impacto de diversas alternativas de política sobre la evolución del déficit y la deuda del Gobierno Nacional en un horizonte de largo plazo. En la cuarta sección se presenta una serie de consideraciones, lineamientos y desafíos metodológicos que enfrentan las instituciones financieras y las autoridades para identificar y medir los RACC y su impacto sobre el sistema financiero; luego, se presentan los resultados de un ejercicio de sensibilidad sobre las entidades crediticias en Colombia considerando los canales de transmisión macroeconómicos del cambio climático. En la quinta sección se revisa la forma como los RACC afectarán crecientemente los objetivos primarios de los bancos centrales de estabilidad de precios y otras esferas de su interés. También, se analizará cómo los RACC podrían tener implicaciones sobre la formulación de sus políticas, su margen de maniobra, sus mecanismos de transmisión, la forma como ella se comunica y su credibilidad; así como sobre los instrumentos básicos de la política monetaria. Al final se presentan las conclusiones y consideraciones de política.

1. Impacto del cambio climático en el crecimiento económico

En esta sección se revisa la literatura reciente sobre mecanismos de transmisión de los riesgos asociados con el cambio climático (RACC) y sus efectos esperados sobre la actividad económica en las próximas décadas, haciendo énfasis en la cuantificación de los impactos para la economía colombiana. Para ello, en primer lugar, se hace un recuento de las estimaciones más representativas que ofrece la literatura especializada, y un balance crítico sobre los consensos, desacuerdos y vacíos que subyacen en la actualidad. En segundo lugar, se exponen los escenarios y modelos que utiliza la NGFS, del cual el Banco de la República hace parte, para la estimación de los impactos de los RACC. Se argumenta que estas herramientas podrían ser unas de las más adecuadas para cuantificar los impactos en la economía colombiana. Finalmente, a partir de las estimaciones del NGFS para Colombia, se generan sendas futuras del PIB en distintos escenarios de cambio climático, y se comparan dichas estimaciones con las que supone para el país la literatura especializada. Estas estimaciones son utilizadas en los ejercicios cuantitativos que se realizan en las secciones posteriores.

1.1 Balance de la literatura

Los estudios que calculan la incidencia de los RACC sobre la actividad económica se pueden dividir entre los que cuantifican los efectos derivados de los riesgos físicos, los que examinan los impactos de los riesgos de transición y los que estudian las interacciones entre ambos. En cualquiera de los tres casos, la cantidad de contribuciones ha sido creciente en el tiempo y ha supuesto la integración de distintos saberes que ha dado lugar a enfoques cada vez más multidisciplinares.

En lo que respecta a la cuantificación de los riesgos físicos, los cálculos varían en función de los escenarios supuestos de cambio climático, los canales considerados y las metodologías empleadas. Para los distintos escenarios del cambio climático generalmente se suponen varias sendas de incrementos en la temperatura promedio, asociadas con determinados

niveles de acumulación de gases de efecto invernadero en la atmosfera, cuyos valores varían en función de la presencia o no de políticas de mitigación mundiales, y de su grado de efectividad. Las sendas más utilizadas son las denominadas *trayectorias de concentración representativas* (RCP, por sus siglas en inglés), las cuales, en años recientes, se han compatibilizado con las *trayectorias socioeconómicas compartidas* (SSP, por sus siglas en inglés), que son consistentes con las dimensiones adicionales del desarrollo socioeconómico (Cuadro 1)[11].

Respecto a los canales de afectación de los riesgos físicos, los más comúnmente modelados son los impactos en la productividad agrícola y laboral, en la infraestructura física, en la oferta energética, en la migración y en la mortalidad humana. Estos impactos son producto de la mayor ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos tanto agudos como crónicos, según se definieron en la introducción. Generalmente, los costos en la actividad económica se sintetizan mediante funciones de pérdida, las cuales relacionan la intensidad de los fenómenos climáticos con caídas en el PIB.

Por último, respecto a las metodologías empleadas, la literatura especializada usa una amplia variedad de técnicas. Entre las más comunes, se podrían enumerar: 1) estimaciones estadísticas, que pueden ser a partir de datos de panel históricos o de metaanálisis de literatura; 2) modelos de equilibrio general computable (MEGC), que permiten una descripción detallada de las relaciones estructurales de la economía, pero sin una modelación explicita del comportamiento de los agentes; 3) modelos de evaluación integrada (MEI), que combinan distintos módulos para captar las interrelaciones entre la economía y el medioambiente, y 4) modelos de simulación de agentes, los cuales permiten modelar las respuestas endógenas de adaptación de los individuos al cambio climático (CC). Para una discusión acerca de las ventajas y desventajas de cada aproximación metodológica, véase .

En el Cuadro 2 se resumen algunas de las estimaciones más representativas de la literatura sobre los impactos del cambio climático en el PIB mundial o el de un conjunto amplio de países, al horizonte temporal de 2100 (o cuando los aumentos de temperatura alcanzan ciertos umbrales), bajo el supuesto de ausencia de políticas de mitigación (solo riesgos físicos). Estos impactos se calculan como la diferencia porcentual entre el PIB que se observaría a dicho horizonte y el de un mundo contrafactual sin cambio climático. Como se puede observar, las estimaciones tienen una alta dispersión, inclusive bajo los mismos supuestos de incrementos de temperatura. Por ejemplo, en la senda de mayor riesgo climático (RCP 8.5), los valores del impacto en el PIB mundial oscilan entre el 23 % estimado por Burke *et al.* (2015) y el 7,2 % estimado por Kahn *et al.* (2019) [12]. Como se comenta más adelante, la heterogeneidad de estos resultados se explica, entre otros factores, por los mecanismos que consideran u omiten las metodologías utilizadas y por las formas funcionales elegidas en las funciones de pérdida utilizadas.

Con respecto a la cuantificación de los impactos de los riesgos de transición, la literatura es aún más diversa y resulta complejo establecer una taxonomía precisa. Sin embargo, y a riesgo de ser imprecisos, se podrían establecer tres distintos enfoques. En el primero de ellos se calculan políticas de mitigación óptimas, como impuestos o regulaciones, que permitan alcanzar determinados objetivos de reducción de emisiones. Ejemplos de estos estudios son

los cálculos de trayectorias de precios/impuestos óptimos por emisión de CO2 para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París que realizan Ens y Johnson (2020) y Liu *et al.* (2020).

En el segundo enfoque se contabilizan los costos directos en el PIB de determinadas políticas de mitigación, pero sin considerar los beneficios económicos de segunda ronda por cuenta de la reducción de emisiones. Usualmente, se utilizan MEGC o modelos macroeconométricos para tener en cuenta las posibles dislocaciones y readaptaciones sectoriales, como resultado de ajustes en los precios relativos y de las reorientaciones de la demanda y de las inversiones públicas y privadas. Por ejemplo, el Cuadro 3 muestra las estimaciones para el PIB de Colombia a 2050 de tres de estos modelos, realizadas por Kober *et al.* (2016), que cuantifican el impacto de dos posibles sendas de precios por emisión de CO2, y encuentra costos del 2,3 % al 2,9 % o inclusive ganancias del 3 %. Este mismo artículo realiza estimaciones de dichos costos para toda Latinoamérica como bloque y encuentra niveles similares.

El tercer enfoque integra los costos de políticas de mitigación con su beneficio en la reducción de los riesgos físicos por cuenta del descenso de emisiones. Esto se intercepta, entonces, con la literatura que evalúa simultáneamente los impactos de los riesgos físicos y de transición. Dichos estudios, que generalmente se realizan mediante MEI, toman en cuenta la multidimensionalidad del fenómeno del cambio climático, en particular la reciprocidad existente entre el crecimiento demográfico y económico y la generación de emisiones que determina la frecuencia de eventos hidrometeorológicos. En la siguiente sección se comentan en detalle los del NGFS, los cuales son los seleccionados para el análisis de impacto de los RACC para Colombia.

Un breve balance sobre la literatura sugiere que, en primer lugar, existe un consenso acerca de que las políticas que reduzcan las emisiones netas globales atenúan de manera significativa los efectos adversos sobre la actividad económica de los RACC. Además, que los impactos de los RACC son altamente heterogéneos por países y regiones, con mayor afectación para los países tropicales y los de menores ingresos. Para cada país la afectación entre actividades también es heterogénea, siendo las más vulnerables aquellas impactadas directamente por fenómenos naturales o las más dependientes del consumo de combustibles fósiles; mientras que otras, inclusive, se beneficiarán de nuevas oportunidades[13]. Los impactos son no lineales, con mayores pérdidas del PIB a mayores incrementos de temperatura.

Con respecto a los desacuerdos en esta literatura, estos se relacionan con la amplia dispersión, comentada antes, en las evaluaciones de impacto de los riesgos físicos. Las estimaciones varían dependiendo de si los modelos incorporan o no mecanismos de adaptación de los agentes económicos, como la migración local o internacional, o cambios en la especialización industrial[14]. La reasignación factorial, ya sea en la dimensión espacial (Desmet *et al.*, 2020) o sectorial (Costinot *et al.*, 2016; Gouel y Laborde, 2018), podría atenuar los impactos de los RACC. Dado que varias de las metodologías utilizadas no permiten incorporar dichos efectos, estas estarían sobreestimando los impactos. Adicionalmente, la manera como se incorpora la no linealidad en las funciones de pérdida es importante. Por ejemplo, Kalkuhl y Wenz (2020) destacan que las relevantes magnitudes de

los impactos estimadas por Burke *et al.* (2015) dependen, en buena parte, de la forma funcional de la función de pérdida elegida, y que no existe evidencia empírica que respalde dicha elección (véase el Anexo 1 para una discusión técnica al respecto). Finalmente, han existido controversias entre los especialistas acerca de inexactitudes en algunas de las estimaciones realizadas -véanse, por ejemplo, las críticas de Nordhaus y Moffat (2017) formuladas a los estudios de Tol (2009, 2014)-. Así las cosas, el vacío más importante en la literatura resulta ser el alto grado de incertidumbre sobre las estimaciones referenciadas, inclusive cuando estas consideran los mismos escenarios de cambio climático o tipos de riesgo; no solo por la complejidad inherente del fenómeno del cambio climático, sino también por las elecciones metodológicas para su estudio con las consecuencias comentadas antes. Además, en varios estudios no existe el detalle suficiente para establecer efectos para industrias o regiones, por lo que en muchos casos el análisis sectorial o espacial es limitado.

1.2 Modelos y escenarios de NGFS

Los modelos de evaluación integrada de NGFS evalúan los impactos de los RACC en seis escenarios de cambio climático que conjugan de manera consistente distintas combinaciones de riesgos físicos y de transición. Dichos escenarios se agrupan en las siguientes tres categorías:

Escenarios ordenados: se introducen políticas de mitigación del cambio climático cada vez más exigentes en el mundo, de tal forma que se cumplen metas estrictas que evitan el calentamiento global a 2050. A esta categoría pertenecen dos escenarios: 1) cero emisiones netas en 2050, y 2) por debajo de +2 °C. La principal diferencia entre estos dos escenarios es la intensidad de las políticas de mitigación que, en el primer caso, consiguen limitar el calentamiento global a solo +1,5 °C con respecto al periodo preindustrial.

Escenarios desordenados: las políticas de mitigación se demoran un tiempo considerable en ser implementadas y son diversas entre países y sectores. Esta divergencia y heterogeneidad de políticas lleva a que, con alta probabilidad, las economías sufran altos riesgos de transición, debido a que estas políticas tendrán que ser más estrictas una vez se logran resolver dichos desacuerdos. A esta categoría pertenecen dos escenarios: 1) cero emisiones netas de manera divergente y 2) transición demorada. La principal diferencia entre ellos es que en el primero la reacción de política es inmediata, pero con divergencias entre países y sectores, y logran limitar el calentamiento a +1,5 °C. Mientras tanto, en el segundo escenario la reacción de política es tardía y divergente, por lo que no logra limitar el calentamiento a menos de +1,8 °C.

Escenarios de calentamiento global: en este caso los esfuerzos globales son insuficientes para detener el cambio climático, por tanto, se pronostican altos riesgos físicos como consecuencia de eventos climáticos extremos asociados con el calentamiento global. A esta categoría pertenecen dos escenarios: 1) contribuciones determinadas nacionalmente y 2) políticas actuales. Estos dos escenarios difieren en el nivel de políticas de mitigación que implementan los países. En el primer caso, los países implementan las políticas a las que se han comprometido a la fecha; mientras que en el segundo caso no hay ninguna política nueva implementada a futuro. De esta manera, teniendo en cuenta que, aún hoy en día, el nivel de compromiso de varios países en políticas de mitigación es bajo, el calentamiento

global llegaría a niveles cercanos a los +2,5 °C y superiores a +3 °C en el primer y segundo escenarios, respectivamente.

El Cuadro 4 muestra de manera esquemática cómo los diferentes tipos de escenarios varían en sus RACC, tanto físicos como de transición. En la primera columna se describen los niveles de riesgo físico con colores y temperaturas asociadas. Un color rosado indica altos riesgos, amarillo nivel medio y morado nivel bajo. Las siguientes cuatro columnas miden la intensidad de los riesgos de transición con los mismos colores y con cuatro fuentes de riesgos: reacción de la política, cambio tecnológico, eliminación del dióxido de carbono y variación de la política regional.

La NGFS, en colaboración con varios de sus asociados e instituciones externas, ha desarrollado varios MEI que permiten estudiar las interacciones entre los escenarios climáticos y las principales variables macroeconómicas en el largo plazo. Estos modelos se caracterizan por incluir la mayor parte de las regiones del mundo y por su interdisciplinariedad, puesto que contienen módulos específicos muy detallados para las variables climáticas, la producción de energía y el ciclo de carbono[15]. En el Recuadro 1 se realiza una breve descripción de la estructura de cada modelo y de sus características principales. Para una descripción más detallada véase NGFS (2021b).

1.3 Sendas de PIB para Colombia

A partir de los impactos de los RACC disponibles para Colombia en los modelos del NGFS[16], se producen posibles sendas del PIB para Colombia hasta 2100 consistentes con tres escenarios de cambio climático: uno de calentamiento global (políticas actuales), uno de mitigación desordenado (transición demorada) y uno de transición ordenada (cero emisiones a 2050)[17]. Para ello, se sigue el procedimiento de cuatro pasos que se describe a continuación.

En primer lugar, se supone que el PIB "observable" en una ventana de tiempo relativamente cercana, esto es, el PIB observado hasta 2020 y aquel que se espera en el *Marco Fiscal de Mediano Plazo* (MFMP) a 2032, es consistente con el escenario de transición demorada. Es decir, se supone implícitamente que la evolución reciente de la economía colombiana ha sido y será consistente con la implementación pasada y esperada en los próximos diez años de algunas políticas de mitigación en el país, pero estas no son suficientes para alcanzar el escenario de cero emisiones a 2050. En segundo lugar, a partir de los impactos medios estimados para Colombia en el escenario de transición demorada (promedio de los modelos) en el periodo 2011-2032, se calcula un PIB contrafactual sin cambio climático para dicho lapso. Este PIB sería el que se hubiera observado desde 2011 y el que se esperaría hasta 2032 en ausencia de los RACC, de acuerdo con las estimaciones de los modelos del NGFS. En tercer lugar, el PIB contrafactual sin cambio climático se extrapola hasta 2100, usando las proyecciones de población total de largo plazo del DANE (disponibles a 2070) y de productividad laboral en el escenario SSP2 (véase el Cuadro 1) para Colombia[18]. Por ende, se supone que las proyecciones de población del DANE no incorporan efectos importantes de los RACC, sino solo las consideraciones usuales de los modelos demográficos. Finalmente, a partir de los impactos medios estimados para Colombia por los modelos del NGFS en los tres escenarios de cambio climático empleados, se calculan las sendas del PIB hasta 2100,

usando como referencia la senda contrafactual del PIB construida en el anterior paso[19].

El panel A del Gráfico 1 muestra las sendas resultantes del anterior procedimiento para cada uno de los escenarios considerados, es decir, las posibles trayectorias del PIB colombiano hasta 2100, dependiendo de la evolución del cambio climático y de las políticas globales de mitigación. También, se muestra el PIB contrafactual sin cambio climático usado como referencia y los intervalos de confianza para las sendas construidas de los escenarios[20]. Cabe decir que las diferencias porcentuales entre las sendas del PIB en cada uno de los escenarios y la senda contrafactual, que se muestran en el panel B del Gráfico 1, provienen de los modelos del NGFS exclusivamente. Por tanto, no están afectadas por el procedimiento de construcción de los niveles del PIB descritos en esta subsección.

Para tener una idea de la magnitud de las posibles pérdidas que los RACC le ocasionarían a la economía colombiana, el Cuadro 5 compara los impactos medios obtenidos para el 2100, junto con sus intervalos de confianza (IC), en los tres escenarios considerados. Estos impactos varían entre una pérdida del PIB del 8 % (IC: 4 % a 13 %) en el escenario sin políticas de mitigación adicionales, y una del 2 % (IC: 1 % a 4 %) en el escenario donde se cumplen los Acuerdos de París. Dado que estos son los impactos acumulados sobre el PIB a 2100, los efectos sobre los crecimientos anuales del PIB promedio son inferiores al 0,2 %, inclusive en la cota superior del escenario sin políticas de mitigación adicionales. Sin embargo, cabe decir que la transición demográfica hace disminuir de manera importante las tasas de crecimiento anual del PIB en el largo plazo, por lo que en términos relativos dichas afectaciones a las tasas de crecimiento no son despreciables[21].

¿Cómo se comparan estas estimaciones con las encontradas para Colombia en la literatura especializada? Para responder esta pregunta, se consideran cinco estimaciones independientes sobre los impactos de los riesgos físicos asociados con el cambio climático en el PIB de Colombia en escenarios sin políticas de mitigación adicionales, obtenidas de artículos académicos relativamente recientes (2014 en adelante). Los artículos con los que se realiza la comparación se muestran en el Cuadro 6, ordenados por fecha de aparición. Los últimos cuatro artículos en el Cuadro 6 corresponden a ejercicios en donde se realizan estimaciones para múltiples países (y, por tanto, sus resultados para el PIB mundial se muestran en el Cuadro 1), mientras que el primero es un estudio específicamente para Colombia, realizado por el DNP, el BID y la Cepal en 2014. Cabe decir que las estimaciones pueden diferir en los horizontes y los aumentos de temperatura considerados, por lo que se realizó un ejercicio para homogeneizar los impactos y volverlos comparables[22]. A partir de dichos impactos y el PIB contrafactual sin cambio climático, obtenido anteriormente, se construyen las sendas del PIB a 2100 que implican dichas estimaciones.

El Gráfico 2 compara esas sendas con la obtenida a partir de los impactos medios estimados por los modelos del NGFS en el escenario sin políticas de mitigación adicionales, y el Cuadro 6 muestra en la última columna los impactos a 2100. Como se puede apreciar, la senda del NGFS es la segunda más optimista, pero es cercana a la que se obtiene con las estimaciones de los artículos más recientes (Kahn *et al.*, 2019; Kompas, 2018). Se evidencia que las estimaciones han tendido en el tiempo a converger a impactos más moderados. Esto podría

deberse a que las estimaciones más recientes logran captar de mejor manera mecanismos de adaptación de los agentes, o a que estas ya reflejan la transición energética en curso dado el desplome de los costos de muchas tecnologías bajas en carbono durante la última década. Se observa, también, una estimación atípicamente fuerte, la producida por Burke *et al*. (2015). Como se comentó, este artículo ha sido debatido en la literatura reciente por suponer unas no linealidades muy extremas sin respaldo empírico (Kalkuhl y Wenz, 2020; véase, además, el Anexo 1), por lo que sus resultados deben tomarse con cautela.

Así las cosas, los impactos de los RACC en el PIB colombiano estimados por el NGFS son acordes con las estimaciones más recientes de la literatura especializada para Colombia. Las series del PIB construidas con dichos impactos son las sendas de referencia para los ejercicios cuantitativos que evalúan los efectos de los RACC en diferentes dimensiones en las siguientes secciones.

2. Efectos esperados de los riesgos asociados al cambio climático sobre el sector externo

Esta sección estudia los posibles efectos de los riesgos asociados con el clima (RACC) sobre el sector externo en Colombia durante las próximas décadas, enfocándose en sectores en donde el país exhibe mayor vulnerabilidad debido a su importancia para la generación de ingresos externos. Para ello se realiza una revisión de literatura que expone cómo los RACC podrían impactar la balanza de pagos. Luego se realiza una proyección del balance corriente en distintos escenarios climáticos con el objetivo de establecer si la incidencia de los RACC afectaría la posición externa del país en el largo plazo.

2.1 Efectos del cambio climático sobre el sector externo: revisión de literatura

De acuerdo con la literatura, entre los riesgos físicos y de transición que pueden impactar la balanza de pagos de la economía colombiana sobresalen: el deterioro de la infraestructura de transporte y una caída permanente en el precio de los mineroenergéticos. Con respecto al primero, el aumento esperado en la frecuencia e intensidad de choques meteorológicos afectaría negativamente la infraestructura crítica (*e. g.*: puertos y carreteras) necesaria para soportar el comercio internacional (IPCC, 2014; Schweikert *et al*., 2014; WTO, 2009). Por ejemplo, el DNP y BID (2014) calculan que, hacia 2040, los efectos del cambio climático reducirían la capacidad de operación del sector transporte en Colombia en un 2,3 % cada año. Ello agravaría deficiencias logísticas que afectan la competitividad del país en los mercados internacionales y limitarían notablemente la actividad comercial (Ramírez *et al*., 2021; García *et al*., 2019; Arvis *et al*., 2016; Dennis y Shepherd, 2011).

Entre las principales manifestaciones de los riesgos de transición se encuentra una caída permanente en los ingresos externos, principalmente en el valor de las exportaciones de petróleo, debido al establecimiento de políticas y regulaciones dirigidas a frenar los efectos del cambio climático (Bernal y Ocampo, 2020; Gaulin y Le Billon, 2020; NGFS, 2019; Carbone y Rivers, 2017; Sorin y Pilasluck, 2015; Boehringer *et al*., 2010)[23]. En este ámbito, Mattoo *et*

al. (2012) estiman que, ante una contracción del 17 % en las emisiones globales de carbono, el valor de las exportaciones energéticas en los países de ingreso medio y bajo experimentaría una reducción del 8,2 % en relación con un escenario que mantiene las políticas actuales. En Sudáfrica el valor de las exportaciones de carbón disminuiría un 65 % como respuesta a una contracción del 50 % en la demanda externa por este producto, con un costo equivalente a un tercio del PIB en el acumulado a 2050 (Huxham *et al*., 2019). Por su parte, Makarov *et al*. (2020) proyectan que, en caso de alcanzar los objetivos asociados con el Acuerdo de París (UNFCCC, 2015), el descenso en el valor de las exportaciones rusas de combustibles fósiles recortaría la tasa de crecimiento económico en medio punto porcentual. En el caso de Colombia, la transición hacia fuentes de energía renovables reduciría la producción de carbón en un 68 % y limitaría considerablemente el volumen de las exportaciones (Oei y Mendelevitch, 2019).

La contracción de los ingresos corrientes, a su vez, tendría implicaciones sobre los costos de endeudamiento externo. La incertidumbre relacionada con la capacidad futura para generar ingresos deterioraría la confianza inversionista, provocando una salida de capitales y una disminución en su entrada, en particular hacia economías emergentes (Bems *et al*., 2016; Erduman y Kaya, 2016; Sarno *et al*., 2016; Adler *et al*., 2016; Ahmed y Zlate, 2014). Frente a este riesgo, la literatura encuentra que países con un alto grado de vulnerabilidad climática tendrían que asumir costos de endeudamiento que serían, en promedio, 1,2 % más altos (Kling *et al*., 2018)[24]. Este incremento podría explicarse a partir de aumentos en la tasa de interés asociada con los títulos de deuda pública y en la prima de riesgo soberano (Cevik y Jalles, 2020). Como respuesta a ello, algunos países recortarían su deuda soberana, lo cual podría afectar otras variables macroeconómicas (Malucci, 2020).

2.2 Efectos sobre los ingresos externos en Colombia

Para contextualizar algunos de los efectos esperados del cambio climático, se analiza el impacto que han tenido choques petroleros sobre variables del sector externo en Colombia. Este ejercicio está motivado por la importancia de las rentas petroleras para la generación de ingresos externos en el país, así como el deterioro esperado en los términos de intercambio ante este tipo de choques (Arndt *et al*., 2019; Bauer *et al*., 2016; Carney, 2015).

Durante las últimas décadas, el comercio de mineroenergéticos constituyó una fuente fundamental de ingresos externos en Colombia (Gráfico 3). En promedio, entre 2000 y 2020 las exportaciones de estos alcanzaron un valor equivalente al 6 % del PIB, aportaron un 37 % de los ingresos corrientes -más del 50 % durante el auge en los precios del petróleo a comienzos de la década anterior- y un 42 % de la inversión extranjera directa (IED)[25]. Estos ingresos crearon un superávit que permitió al país amortiguar episodios donde se presentó un déficit comercial en el resto de la economía (Toro *et al*., 2015; López *et al*., 2013)[26]. Sin embargo, esta dependencia incrementa la vulnerabilidad frente a choques externos que pueden limitar el crecimiento económico (Garavito *et al*., 2020).

En consecuencia, no resulta sorprendente que un choque negativo sobre el precio del petróleo, como podría esperarse en algunos escenarios climáticos, genere desequilibrios externos significativos en la economía colombiana. De acuerdo con Álvarez-Espinosa *et al*.

(2014), entre 2011 y 2100 las exportaciones colombianas tendrían una disminución anual del 0,27 % en su valor total debido a los RACC. Por su parte, Álvarez-Espinoza *et al*. (2017) calculan que la implementación de medidas de mitigación que permitan al país cumplir con los compromisos nacionales propuestos en la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático (COP21) -reducir emisiones en un 20 % en relación con un escenario sin medidas (*i. e.*: *business as usual*)- recortaría el valor de las exportaciones entre un 8 % y 9 % en 2040. De acuerdo con Toro *et al*. (2015), el choque petrolero de 2014-2015 generó una ampliación del déficit corriente que alcanzó 7 % del PIB, efecto mediado por una caída anual en los términos de intercambio del 28,5 % y una depreciación real del 42 %. Para el mismo choque, y aplicando un choque negativo del 10 % en el precio, Melo *et al*. (2016) reportaron una devaluación del 8,1 % en la tasa de cambio real. En líneas similares, Francis y Restrepo-Ángel (2018) mostraron que un choque positivo en el precio del petróleo aprecia el peso colombiano, y que lo opuesto podría esperarse ante un impulso negativo.

El cambio en los flujos de capital del país durante el choque petrolero de 2014 también se ajusta a los efectos reportados por la literatura. Toro *et al*. (2015) indican que entre 2014 y 2015 los flujos de IED del sector petrolero disminuyeron un 35 % y el índice EMBI de prima de riesgo soberano para Colombia aumentó 121 puntos básicos (pb). Los autores atribuyen el deterioro en la percepción de riesgo a la incertidumbre acerca de la capacidad de la economía para generar ingresos futuros y las implicaciones de ello sobre la situación fiscal, como se mostrará en la sección 3. Precisamente, Melo *et al*. (2016) muestran que el choque petrolero de 2014 aumentó la deuda pública, aspecto que refuerza este punto, pues la situación fiscal del país empeoró. Aunque no encuentran un efecto estadísticamente significativo sobre los flujos de IED, Francis y Restrepo-Ángel (2018) reportan un aumento en el EMBI para Colombia.

2.3 Balance corriente en el largo plazo

En esta sección se realiza una proyección del balance corriente en distintos escenarios climáticos con el propósito de establecer si la incidencia de los riesgos asociados con el cambio climático afectaría la posición externa del país en el largo plazo. Inicialmente, se estima el balance corriente entre 1996 y 2020 para obtener las relaciones de largo plazo entre esta variable y algunos de sus principales determinantes. Luego, se emplean los resultados de dicha estimación, combinado con posibles trayectorias para los determinantes (provenientes de diversas fuentes exógenas) para efectuar una proyección lineal del balance corriente entre 2021 y 2050. Finalmente, se miden las desviaciones del balance corriente con respecto a un escenario en que se mantienen las políticas actuales para analizar cómo la implementación de medidas mitigadoras del cambio climático podría incidir sobre el déficit de la cuenta corriente de largo plazo.

Vale la pena aclarar que varios factores limitan la capacidad de pronóstico del ejercicio de proyección, aparte de la incertidumbre que inherentemente caracteriza el análisis de escenarios, en particular en un contexto climático. En primer lugar, no se contemplan respuestas de política o ajustes macroeconómicos que permitirían amortiguar una eventual ampliación del déficit corriente en el largo plazo, como una depreciación real, recortes del gasto público o variaciones en la producción de petróleo ante fluctuaciones en el precio[27]. Tampoco se cuenta con información sectorial que permita medir la incidencia de los riesgos

físicos (*e. g.*: deterioro de la infraestructura de transporte; choques en la productividad agrícola, entre otros) sobre las diferencias del balance corriente entre escenarios, ni se modelan factores de oferta o un eventual agotamiento de las reservas petroleras colombianas, de tal manera que el análisis se enfoca en los riesgos de transición. Por tanto, los resultados aquí presentados solo ilustran algunas de las posibles sendas para el balance corriente.

No obstante, aún con estas limitaciones, el modelo estimado logra capturar una buena proporción (82 %) de la variación observada en el balance corriente durante las últimas décadas. Adicionalmente, las proyecciones para algunos de los determinantes empleados en este ejercicio contienen ajustes endógenos. Por ejemplo, la trayectoria esperada de la deuda pública incorpora los resultados de la sección 3 en el sentido de que el gasto del Gobierno Nacional Central asociado con la mitigación del cambio climático se triplicaría en un escenario de cero emisiones, en adición a una disminución paulatina de los ingresos petroleros, lo cual incide directamente sobre el balance corriente, y cuya respuesta favorece la precisión del modelo estimado.

Determinantes de la cuenta corriente

La selección de los determinantes de la cuenta corriente se basó en una revisión de literatura en la cual se consultaron estudios que incluyeran ejercicios empíricos donde se estima la cuenta corriente[28]. Se encontró que entre los factores que normalmente inciden sobre el comportamiento de esta variable están: la población en dependencia, la brecha del producto, la deuda pública, el PIB per cápita, el precio del petróleo, la tasa de interés externa y la expectativa de vida (Cuadro 7).

El conjunto de variables a incluir en las estimaciones estuvo acotado por la disponibilidad de datos prospectivos, ya que las proyecciones del NGFS no contienen información para algunos de los factores que normalmente afectan el comportamiento de la cuenta corriente, como los activos externos netos, el grado de profundidad financiera y el valor de las exportaciones de petróleo, entre otros. No obstante, aun si se pudiesen obtener trayectorias para estas variables, las desviaciones del balance corriente se mantendrían, ya que estas se encuentran determinadas por los factores incluidos en los escenarios climáticos del NGFS. Por tanto, la senda correspondiente a cada una de estas variables no cambiaría entre escenarios, de tal manera que su inclusión no necesariamente alteraría los resultados del estudio.

La relación de cointegración entre el balance corriente y sus determinantes fue estimada empleando el método de mínimos cuadrados totalmente modificados, propuesto por Phillips y Hansen (1990), el cual corrige posibles problemas de endogeneidad derivados de correlaciones entre las variables explicativas y el término de error[29]. Para evitar correlaciones espurias, este método requiere que los regresores sean estacionarios o contengan (como máximo) una raíz unitaria, por lo que se realizó una prueba que verifica esta condición. Los resultados de dicha prueba indican que algunas de las series para los determinantes del balance corriente no son estacionarias o contienen más de una raíz unitaria, razón por la cual fueron diferenciadas[30]. La frecuencia de los datos es anual y el periodo de análisis corresponde a 1996-2020, elección determinada por la disponibilidad de información.

Los resultados de las estimaciones se muestran en el Cuadro 8 y el Gráfico 4, donde se observa que la mayoría de los determinantes propuestos para este ejercicio son estadísticamente significativos. Aquellos que no resultan significativos (expectativa de vida y producto per cápita) se incluyeron debido a su relevancia dentro de la literatura relacionada con el tema. De esta forma, la predicción del balance corriente exhibe un ajuste robusto con respecto a la serie observada, pues la variación en estos explica el 82 % del cambio en la variable dependiente. Acorde con los resultados reportados por la literatura, el aumento de la población en dependencia expande considerablemente el déficit corriente, efecto atribuible a la reducción del ahorro nacional a medida que los jubilados utilizan sus ahorros. Lo anterior, sin embargo, es contrarrestado por incrementos en la expectativa de vida, factor que favorece el ahorro nacional (Backus *et al*., 2014). Recortes en la brecha del producto ejercen un efecto negativo, ya que una menor brecha refleja una demanda interna relativamente fuerte, lo que se traduce en mayores importaciones.

Por otro lado, el signo negativo del coeficiente asociado con la deuda pública puede explicarse por una partida de la equivalencia ricardiana, de tal forma que aumentos en la deuda pública no se compensan completamente con la acumulación de activos privados (Lane y Milesi-Ferretti, 2002). En cuanto al PIB per cápita, se entiende que economías en desarrollo que exhiben altas tasas de crecimiento atraen mayores flujos de capital al ofrecer rendimientos comparativamente altos sobre estas inversiones (Moral-Benito y Viani, 2017). Alzas en el precio del petróleo tienen un efecto positivo mediante mejoras en los términos de intercambio e incrementos en el valor de las exportaciones. Finalmente, una mayor tasa de interés en los Estados Unidos provoca salidas de capitales desde economías emergentes y endurece las fuentes de financiamiento externo, lo que produce una depreciación real que mejora la competitividad del país e impulsa las exportaciones.

Proyección del balance corriente

Para proyectar el balance corriente se utilizaron las relaciones de largo plazo entre esta variable y sus determinantes, junto con las trayectorias esperadas para estos, en distintos escenarios climáticos. Las sendas para la tasa de interés externa y el precio internacional del petróleo se obtuvieron de las proyecciones del NGFS para distintos escenarios climáticos. La información correspondiente a la brecha del producto, el PIB per cápita y la deuda pública se tomaron de las proyecciones presentadas en las secciones 1 y 3, respectivamente. La población en dependencia mayor a 65 años y la expectativa de vida al nacer provienen de las proyecciones demográficas del DANE, y no varían entre escenarios. Los resultados corresponden a tres escenarios climáticos: cero emisiones netas en 2050; transición demorada, y políticas actuales bajo el modelo de evaluación integrada REMIND-MAgPIE del NGFS[31].

El Gráfico 5 muestra la trayectoria esperada del balance corriente en los escenarios climáticos considerados en esta sección[32]. Esta se encuentra determinada principalmente por las variaciones en la brecha del producto y la población en relación de dependencia, que son los determinantes con mayor incidencia sobre la dinámica del balance corriente, de acuerdo con los resultados presentados en el Cuadro 7. En particular, se espera que la tasa de

crecimiento de la relación de dependencia determine la evolución del balance corriente a partir de 2030, periodo a partir del cual se esperan cambios demográficos importantes, sin que haya ampliaciones o reducciones considerables en la brecha del producto (Anexo 4). Aunque el precio del petróleo es una variable estadísticamente relevante, la magnitud de su efecto es en comparación menor, por lo que su aporte a la trayectoria del balance corriente es limitado, a pesar de las fluctuaciones esperadas en esta variable durante las próximas décadas.

En el corto plazo se espera un recorte explicado por ajustes macroeconómicos que reflejan los impactos económicos del Covid-19. El primero de ellos consiste en una ampliación de la brecha del producto, atribuible a un debilitamiento de la demanda interna. A lo anterior se suma un choque positivo en el precio del petróleo derivado de un efecto de rebote con respecto al desplome que se presentó durante 2020. Finalmente, la deuda pública disminuiría conforme se desmontan los programas de alivio implementados por el Gobierno para mitigar los efectos de la pandemia sobre hogares y firmas, al tiempo que se reintroducen normas de disciplina fiscal suspendidas temporalmente en dicho lapso. La mejora del balance corriente se revertiría hacia mediados de la década en curso, a medida que se atenúan los efectos del Covid-19. Sin embargo, durante la próxima década se espera una disminución importante de la población en dependencia, uno de los principales determinantes del saldo corriente, aspecto que impulsaría nuevos recortes del déficit, seguido de otra reversión hacia 2050.

2.4 Efectos de los riesgos de transición

El Gráfico 6 muestra las desviaciones del balance corriente entre escenarios climáticos, utilizando como referencia el escenario de políticas actuales: valores positivos (negativos) indican un menor (mayor) déficit corriente en relación con el escenario de referencia. Como se puede observar, en el corto plazo el déficit corriente es comparativamente menor en los escenarios donde se implementan políticas ambientales estrictas. La balanza comercial se vería en particular favorecida en el escenario de cero emisiones netas a 2050, donde el precio del petróleo y la tasa de interés externa exhiben incrementos notables. En este escenario hay una introducción inmediata de un impuesto al carbono para reducir el consumo global de combustibles fósiles, cuyo costo social es internalizado mediante aumentos paulatinos en el precio final de los energéticos (NGFS, 2021). Ello provocaría incrementos en la tasa de política de la Fed, que reaccionaría adoptando una política monetaria contractiva para mitigar el riesgo inflacionario asociado con el aumento en el precio de los energéticos. Este impulso, sin embargo, se disiparía hacia finales de la década actual con la transición hacia fuentes de energías renovables; en particular en economías avanzadas, factor que provocaría una disminución gradual del precio del petróleo y la tasa de interés externa. Al tiempo, la deuda pública aumentaría ante la caída de las rentas petroleras, ubicándose permanentemente por encima de los niveles esperados para los demás escenarios. Como resultado de lo anterior, en el largo plazo el déficit corriente en el escenario de cero emisiones netas en 2050 sería comparativamente mayor.

En relación con el escenario de transición demorada, a partir de 2030 se espera un superávit

corriente, explicado, de la misma forma que en el escenario anterior, por choques positivos en el precio del petróleo y la tasa de interés externa. Además, se presentaría una ampliación transitoria de la brecha del producto. No obstante, esto sería contrarrestado por un aumento drástico en el precio del carbono y, por ende, del precio final del petróleo, para asegurar el cumplimiento de las metas climáticas asociadas con este escenario. Lo anterior resultaría en una contracción de la demanda global, lo que causaría una caída permanente en el precio del petróleo mayor a la esperada en el escenario de cero emisiones netas en 2050. No obstante, el déficit corriente de largo plazo sería menor, puesto que la deuda pública se incrementaría en una menor proporción que en el escenario de cero emisiones netas en 2050.

Finalmente, en caso de mantenerse las políticas actuales con respecto al cambio climático, el precio del petróleo continuaría su senda ascendente, favoreciendo la balanza comercial del país en relación con escenarios donde se presentarían riesgos de transición. Además de términos de intercambio favorables, con la continuidad de las políticas actuales la deuda pública de largo plazo sería significativamente menor debido a mayores ingresos petroleros, de tal manera que no se esperaría un deterioro considerable de la cuenta corriente.

2.5 Resultados y consideraciones adicionales

La proyección del balance corriente en distintos escenarios climáticos indica que una política ordenada de cero emisiones netas en 2050 podría ampliar el déficit corriente en una cantidad anual equivalente a 0,2 pp del PIB a partir de 2030. Este incremento sería explicado en particular por una caída permanente en el precio del petróleo y un aumento sustancial de la deuda pública, choques atribuibles a avances tecnológicos y cambios en las preferencias de los consumidores, los cuales acelerarían una transición hacia fuentes de energía renovables. Acorde con los resultados reportados en la sección 1, donde se encuentra que el PIB de Colombia caería entre 0,5 % y 4,3 % en un escenario de cero emisiones netas a 2050, el costo neto acumulado de cero emisiones sobre el balance corriente ascendería a 2,3 % del PIB (descontando el impacto inicial positivo derivado de una mejora en los términos de intercambio y una depreciación nominal). Ello implicaría un incremento proporcional en la deuda externa del país, ya que las ampliaciones del déficit corriente deben ser financiadas acudiendo a los activos externos netos.

En caso de una transición demorada, el déficit corriente de largo plazo no exhibiría deterioros notables relativos a una continuidad de las políticas climáticas actuales. Aunque la caída permanente en el precio del petróleo sería mayor en este escenario, la situación fiscal del Gobierno Nacional Central se beneficiaría de menores gastos en mitigación del cambio climático, como se muestra en la sección 3. La posición externa comparativamente favorable ante una transición demorada (relativo a cero emisiones netas) no implica que este escenario sea conveniente para Colombia. En estricto sentido, se muestra que una transición demorada no implicaría una ampliación persistente del déficit corriente, como sí se esperaría en el escenario de cero emisiones netas. En últimas, el efecto neto depende de la magnitud de los riesgos físicos y de transición, los cuales ejercen efectos opuestos sobre la cuenta corriente, y para los cuales existe un alto grado de incertidumbre.

Independientemente de la ocurrencia de una transición ordenada o demorada, los resultados de esta sección resaltan el potencial de los riesgos de transición para afectar la posición

externa de Colombia en el largo plazo, ya que el efecto neto negativo sobre el balance corriente surgiría, a pesar de una menor incidencia de los riesgos físicos, los cuales podrían aumentar las pérdidas sobre el PIB en cerca de 6 pp hacia 2100[33]. Estos costos serían minimizados en un escenario de cero emisiones netas, donde se asume que las emisiones netas de gases de efecto invernadero son inexistentes a mediados de siglo, junto con una mayor disponibilidad de tecnologías que permiten capturar carbono, lo que limita de manera considerable la incidencia de choques climáticos. Por tanto, el efecto negativo (nulo, en el mejor de los casos) que se espera sobre el balance corriente en escenarios con políticas mitigadoras del cambio climático resalta el potencial de los riesgos de transición para afectar la posición externa de Colombia en el largo plazo, ya que dicho resultado surgiría, aun si se evitara una buena proporción de los riesgos físicos aún al continuar las políticas actuales.

Una depreciación real o recortes del gasto público, sumados a conseguir fuentes alternativas de ingresos externos, podrían amortiguar este efecto. Al minimizar el impacto de los riesgos de transición mediante ajustes macroeconómicos y respuestas de política, el efecto neto sobre la balanza de pagos puede llegar incluso a ser positivo, tal como se espera en el crecimiento económico de países con temperaturas iniciales templadas (Burke *et al.*, 2015). Para ello se precisa una implementación oportuna de medidas que promuevan este tipo de respuestas, en particular entre países con alta vulnerabilidad frente a los RACC, como es el caso de Colombia.

3. Impacto del cambio climático sobre las finanzas públicas

Las políticas públicas y los acuerdos colectivos orientados a internalizar las externalidades asociadas con el costo social de las emisiones de gases de efecto invernadero, incentivar la eficiencia energética y avanzar en la agenda de descarbonización, a las que se hizo referencia en la introducción, podrían tener efectos importantes sobre las finanzas públicas de un país como Colombia, cuya dependencia externa y fiscal de la producción y exportación de petróleo es significativa. Un riesgo creciente proviene del debilitamiento futuro de la demanda de petróleo y otros combustibles fósiles.

Los canales mediante los cuales el cambio climático y los esfuerzos para mitigarlo podrían afectar la sostenibilidad de las finanzas públicas son múltiples. Para la economía como un todo se corre el riesgo de que parte de las existencias de reservas de combustibles fósiles dejen de ser rentables para su explotación, lo que tendería a convertirlas en activos improductivos, imponiendo grandes costos sociales y económicos. Este riesgo podría acentuarse por la imposición de impuestos al carbono o la eliminación acelerada de subsidios a los combustibles fósiles que reduzcan la competitividad de la explotación de estos recursos (Delgado *et al.*, 2021).

En el ámbito fiscal, en Colombia se han introducido herramientas como el impuesto al carbono y el gasto público dirigido a la mitigación y adaptación al cambio climático, cuya financiación se realiza con recursos nacionales y territoriales. En materia de gasto público, para contrarrestar el cambio climático es necesario advertir que los programas y proyectos no están centralizados y se encuentran dispersos entre ministerios y entidades públicas. En

el nivel nacional las entidades más representativas son el Fondo Adaptación (FA)[34] y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGR)[35], cuya creación estuvo motivada por los desastres de la ola invernal de 2010 y 2011. Algunos ministerios, como el de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, el de Transporte y el de Minas y Energía, también incluyen en sus presupuestos anuales proyectos relativos a mitigación y adaptación al cambio climático.

A continuación se examina la participación de los ingresos provenientes de la actividad petrolera en las finanzas del Gobierno Nacional Central a partir de 1995, cuando estos ganaron importancia, luego de los hallazgos de grandes yacimientos de petróleo a inicios de la década. Con el tiempo tales rentas petroleras demostraron ser bastante volátiles, y ante el proceso de transición energética requerido para contener el cambio climático, las finanzas públicas se enfrentan a la perspectiva de una pérdida significativa de ingresos provenientes de la actividad petrolera.

También se discuten los principales aspectos del impuesto al carbono, poniendo de presente que el nivel de ese impuesto en Colombia se ubica muy por debajo de las recomendaciones internacionales en el tema, y que su destinación se ha desviado del propósito fundamental de financiar estrategias orientadas a combatir el cambio climático. Otro tema que se aborda es el del gasto público en adaptación y mitigación. Al respecto se muestra la dispersión entre muchas entidades públicas que caracteriza este tipo de gasto, al igual que su monto relativamente modesto frente los costos derivados de los desastres climáticos y la reconstrucción posterior de la infraestructura afectada, como también al tamaño de las inversiones requeridas para cumplir con los compromisos asumidos por Colombia en el Acuerdo de París.

La sección concluye con la presentación de los resultados de ejercicios de simulación para evaluar el impacto de las políticas de cambio climático sobre la evolución del déficit y la deuda del Gobierno Nacional a mediano y largo plazos. Estas simulaciones parten de un escenario que no considera la ocurrencia de cambio climático, en el cual las rentas provenientes del petróleo conservan la participación en el producto contemplada en el MFMP de 2021. Luego se considera un escenario que mantiene las políticas de mitigación actuales; otro que incluye una política algo más exigente, denominado de *transición demorada*; y finalmente un escenario de cero emisiones, en el cual el país alcanza la neutralidad en materia de emisiones de carbono a mediados del siglo. Para cada escenario de política se calcula la posible trayectoria del déficit y de la deuda del Gobierno Nacional Central entre 2024 y 2050, partiendo del principio general de que a medida que las políticas de mitigación se hacen más exigentes, mayor sería el gasto requerido para implementarlas y menores los ingresos provenientes de la actividad petrolera si dichas políticas tienen éxito. De allí el resultado previsible de que tanto el déficit del Gobierno Nacional como su deuda aumentarían a medida que se contemplan escenarios de mitigación más exigentes. Estas estimaciones se basan en ejercicios contables de equilibrio parcial que, aunque no tienen los alcances de un modelo de equilibrio general, permiten apreciar que los resultados fiscales de cada escenario serían considerablemente diferentes.

3.1 Finanzas públicas y cambio climático en Colombia

3.1.1 Rentas petroleras y finanzas nacionales

La actividad petrolera genera rentas fiscales tanto al Gobierno Nacional como a las regiones. Los ingresos del Gobierno Nacional provienen del pago de impuestos de las compañías petroleras y de la transferencia de dividendos de la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol) (Gráfico 7). Las regiones perciben directa o indirectamente los recursos provenientes de las regalías[36] (Gráfico 8). El flujo de estas rentas no es uniforme en el tiempo, depende de los niveles de producción del país y de los precios internacionales del crudo, cuyo comportamiento está asociado a factores externos que inciden sobre la oferta y la demanda mundial de petróleo. Cabe anotar que las regiones también perciben regalías por la explotación de carbón, por lo cual el proceso de transición energética puede conducir a la pérdida gradual de este tipo de recursos en el mediano y largo plazos.

Los ingresos provenientes del petróleo ganaron importancia en las finanzas públicas colombianas con el hallazgo del campo de Caño Limón y posteriormente con los pozos de Cusiana y Cupiagua (Melo *et al.*, 2016). Entre 1995 y 2020 las rentas provenientes del petróleo contribuyeron en promedio anual con el 7,6 % de los ingresos totales del Gobierno Nacional Central. Esta participación alcanzó el 17 % entre 2012 y 2014, gracias a la cotización favorable de los precios internacionales y al aumento de los niveles de producción petrolera del país. La actividad petrolera permitió que el déficit del Gobierno Nacional fuera inferior en 1 pp del producto frente al que se habría contabilizado en ausencia de estos recursos, lo cual significó una menor acumulación de deuda pública.

En los próximos años la generación de este tipo de rentas dependerá del hallazgo de nuevos yacimientos, de la explotación de crudo bajo técnicas no convencionales y del proceso de transición energética y lucha contra el cambio climático, como lo señala la Ley 2099 del 10 de julio de 2021. El impacto económico de las políticas de transición energética dependerá de la importancia del petróleo como fuente de recursos fiscales y de la velocidad a la cual se vayan ajustando los procesos productivos para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. En Colombia existen reservas de petróleo para 6,3 años, de acuerdo con la información de la Agencia Nacional de Hidrocarburos. Este periodo podría extenderse debido a la incorporación de nuevos hallazgos petroleros, cuya explotación puede incluir métodos no convencionales. En cualquier caso, desde una perspectiva de mediano y largo plazos, las finanzas nacionales y regionales experimentarán una pérdida paulatina de ingresos, lo que exige identificar alternativas que permitan sustituir las rentas generadas por el petróleo.

3.1.2. Impuesto al carbono

Un impuesto al carbono corresponde a una tarifa sobre los combustibles fósiles y otros productos en función de la cantidad de gases de efecto invernadero que emiten. La Comisión de Alto Nivel sobre los Precios del Carbono (2017) recomienda que todos los países apliquen un precio del carbono de al menos entre USD 40 y USD 80 por tonelada de CO_2 para 2020 y entre USD 50 y USD 100 por tonelada de CO_2 para 2030, junto con una serie de políticas

sectoriales para facilitar el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París. Los estimativos del FMI (2019) apuntan en la misma dirección y sugieren, en concreto, ir subiendo gradualmente el nivel del impuesto al carbono, hasta llegar a USD 75 por tonelada para los países más desarrollados y entre USD 25 y USD 50/tonelada para países en vías de desarrollo.

En Colombia el impuesto al carbono se estableció con la Ley 1819 de 2016 con una tarifa de COP 15.000 por tonelada de carbono, la cual se ajusta anualmente con base en la inflación más 1 pp, de acuerdo con lo establecido en la norma. La tarifa para el año 2021 es de COP 17.660 por tonelada. Los combustibles gravados son: gasolina, kerosene, fuel oíl, jet fuel y ACPM[37]. El recaudo del impuesto alcanzó un promedio anual de COP 379 mil millones [38] entre 2017 y 2020.

Estos recursos tienen destinación específica. La Ley 1819 de 2016 dispuso que se destinaran al Fondo de Sostenibilidad Ambiental y Desarrollo Sostenible para el manejo de la erosión costera, la conservación de fuentes hídricas y la protección de ecosistemas. Posteriormente, la Ley 1930 de 2018 reasignó el impuesto al Fondo Colombia en Paz y modificó la distribución de los recursos. De acuerdo con dicha norma, el 25 % del recaudo se dirige al manejo de la erosión costera, la reducción de la deforestación y la conservación de fuentes hídricas y de ecosistemas. La Ley también señaló que el 5 % del recaudo se destine al Sistema Nacional de Áreas Protegidas y el 70 % restante a la implementación del Acuerdo Final para la terminación del conflicto armado. Los consumidores o usuarios finales de combustibles gravados pueden estar exonerados del impuesto cuando adopten energías renovables, ejecuten programas de ganadería sostenible, mejoren la eficiencia energética en calderas, desarrollen proyectos forestales o reduzcan las emisiones de metano.

En la práctica, el impuesto al carbono aumenta el precio de la energía y afecta en mayor medida actividades como la producción industrial de aluminio, vidrio, cemento, refinación de petróleo y el transporte público. En este último caso, produce efectos distributivos, puesto que las personas de bajos ingresos son las que utilizan el transporte público de manera más intensiva. Para compensar este efecto, se sugiere destinar parte del recaudo a la financiación de subsidios a favor de los grupos poblacionales más afectados (IMF, 2019).

Por otra parte, los subsidios energéticos del gobierno han mantenido artificialmente bajos los precios de la energía. Su focalización hacia los hogares más pobres sería una manera de mejorar las finanzas públicas, y su eliminación o reforma proveería un estímulo para avanzar en la descarbonización.

A pesar de los beneficios que los impuestos al carbono y las reformas a los subsidios energéticos podrían tener para la mitigación del cambio climático (IMF, 2020), en la práctica han sido políticas difíciles de implementar, por su efecto negativo en el costo de la energía, los alimentos y el transporte público que afectan a los consumidores pobres y en situación de vulnerabilidad (Romero *et al.*, 2015), lo que genera un malestar social.

3.1.3 El gasto público en cambio climático

Como se puso de presente en secciones anteriores, los riesgos asociados con el cambio climático (RACC) tienden a reducir los ingresos fiscales por su impacto sobre los sectores

productivos. Adicionalmente, generan una mayor presión sobre el gasto público, como consecuencia de los costos para atender la emergencia y la reconstrucción posterior de la infraestructura afectada, así como por los compromisos adquiridos por Colombia en el Acuerdo de París. En la Cumbre de Ambición Climática que conmemora el quinto aniversario de la adopción de dicho acuerdo, el presidente Iván Duque anunció una meta de reducción del 51 % sobre las emisiones de gases de efecto invernadero en el país para 2030 y la neutralidad en 2050, y refrendó el compromiso de Colombia para aportar con soluciones ambiciosas al desafío del cambio climático[39]. Ambos canales de impacto inciden negativamente sobre el balance fiscal.

En un estudio del Comité de Gestión Financiera del Sisclima (2018) se identifica el gasto público en cambio climático para el periodo 2011-2015 mediante el rastreo de las cifras del Sistema de Información Financiera del Ministerio de Hacienda (SIIF), del Formato Único Territorial (FUT) y del Sistema General de Regalías (SGR). De acuerdo con ese estudio, el gasto consolidado durante el periodo alcanzó COP 6,7 billones, con un promedio anual de COP 1,4 billones, que equivalen a 0,19 % del PIB. El 56,7 % de estos recursos corresponde a gasto nacional, el 30,8 % a gasto territorial y el 12,4 % restante a gasto realizado a través del SGR. El FA y la UNGR ejecutaron un presupuesto consolidado anual inferior al 0,2 % del PIB entre 2013 y 2019, como se observa en el Gráfico 9. En 2020 el presupuesto de estas dos entidades alcanzó el 0,4 % del PIB por la asignación a la UNGR de responsabilidades sobre la ejecución de los recursos del Fondo de Mitigación de Emergencia (FOME), creado para atender el financiamiento de la crisis sanitaria derivada de la pandemia del Covid-19.

El FA es un ente adscrito al Ministerio de Hacienda y Crédito Público que se creó en 2010 para atender los programas de reconstrucción, recuperación y reactivación de algunas zonas del país que se vieron afectadas por la ola invernal de ese momento. En el Plan Nacional de Desarrollo aprobado en 2015 se facultó al fondo para ejecutar proyectos de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático. Actualmente el fondo financia algunos macroproyectos como: Gramalote, Canal del Dique, Jarillón de Cali y La Mojana en Sucre.

La UNGR se creó en 2011 como una unidad administrativa especial adscrita a la Presidencia de la República, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa y financiera, cuyo principal objetivo es la dirección, orientación y coordinación de la gestión del riesgo de desastres. Esta unidad se financia fundamentalmente con recursos del Presupuesto General de la Nación que son canalizados a través del Fondo Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres. Dentro de los proyectos especiales a cargo de esta unidad está la administración del Fondo para el Desarrollo Integral de Buenaventura (FonBuenaventura), el programa Todos Somos Pacífico, el programa de reconstrucción de Mocoa y la protección costera de Cartagena. Con los recursos de la UNGR también se atienden diversos proyectos relacionados con obras civiles de emergencia, proyectos de agua y saneamiento básico, subsidios de arrendamiento y obras de infraestructura.

Hacia adelante se plantean retos que incluyen el desarrollo de estrategias financieras para implementar políticas fiscales contracíclicas ante la ocurrencia de desastres, el fortalecimiento de los mecanismos de aseguramiento ante el riesgo de eventos catastróficos, la reorientación de la inversión pública hacia una infraestructura resiliente y el uso de

metodologías que permitan cuantificar y gestionar eficientemente el gasto público relacionado con el cambio climático y los desastres naturales.

3.2 Transición energética y perspectivas fiscales a 2050

En esta sección se presentan los resultados de algunos ejercicios contables de equilibrio parcial que se realizaron con el propósito de evaluar el impacto de las políticas de cambio climático sobre la evolución del déficit y la deuda del Gobierno Nacional Central (GNC)[40] entre 2024 y 2050. Para el desarrollo de estos ejercicios se utilizó la información sobre el GNC que se presenta en el MFMP de 2021 y las estimaciones sobre crecimiento económico realizadas en la sección 1 de este documento, a partir de lo cual se definieron cuatro escenarios, que no contemplan ajustes legislativos sobre el impuesto al carbono establecido en 2016. El recaudo de este tributo está implícito en las proyecciones de los ingresos tributarios que fue necesario calcular para definir la trayectoria del déficit fiscal. Por limitaciones de información, no se analiza el impacto de las políticas de cambio climático sobre las finanzas subnacionales ni se incluye una estimación del gasto del gobierno nacional en programas de reforestación
El primer escenario no considera la ocurrencia del fenómeno del cambio climático. En este caso, los ingresos tributarios diferentes a los petroleros evolucionan desde 2024 con las tasas de crecimiento obtenidas en la sección 1. Las rentas provenientes del petróleo, incluyendo la transferencia de dividendos de Ecopetrol, conservan la participación en el producto que tienen en el MFMP, la cual en el año 2032 se sitúa en el 0,6 % del PIB. Entre 2033 y 2050 esta participación se mantiene. En materia de gasto, las proyecciones toman la senda del MFMP, que alcanza el 19,6 % del PIB en 2032. Esta proporción se mantiene entre 2033 y 2050 (cuadros 9 y 10).

El segundo escenario, que corresponde al de políticas actuales sobre cambio climático, no considera un esfuerzo adicional en materia de mitigación. Aquí los ingresos tributarios sin petróleo aumentan con base en las tasas de crecimiento obtenidas a partir de la sección 1. Como resultado del proceso de transición energética, los impuestos provenientes del petróleo y los dividendos de Ecopetrol descienden lentamente en cada caso del 0,3 % del PIB en 2032 al 0,25 % del PIB entre 2033 y 2040, y al 0,2 % del PIB entre 2041 y 2050. En este escenario, si bien el Estado reconoce la necesidad de que el país desarrolle un proceso de transición energética, no se adopta una postura radical que conduzca a la desaparición total de las rentas fiscales provenientes del petróleo a mediados de este siglo. En materia de mitigación no se considera un esfuerzo adicional mediante la ejecución de nuevos programas de gasto, por lo cual su nivel se mantiene en un 19,6 % del PIB entre 2033 y 2050.

El tercer escenario es el de transición demorada y refleja políticas de mitigación tardías. Se toma la información del MFMP hasta 2032 y luego se utiliza las tasas de crecimiento obtenidas de la información de la sección 1 para proyectar las rentas tributarias no petroleras entre 2033 y 2050. Con un proceso de transición energética más lento, los ingresos tributarios por petróleo y los dividendos transferidos por Ecopetrol descienden en conjunto desde el 0,6 % del PIB en 2032 al 0,4 % del PIB entre 2033 y 2040, y al 0,2 % del PIB entre 2041 y 2050. En este escenario se asume que el gasto en mitigación del gobierno nacional se duplica frente al registro de los últimos años, ascendiendo al 0,4 % del PIB a partir de 2033,

con lo cual el tamaño del gasto del gobierno se sitúa en un 20 % del PIB. Este último ajuste se explica porque un proceso de transición energética lento podría manifestarse a través de eventos climáticos extremos que afectan la infraestructura y la actividad económica en diversas regiones del país, lo cual demandaría mayores recursos fiscales para mitigación en un contexto con poco espacio fiscal, tanto por la inflexibilidad del presupuesto general de la Nación como por el tamaño de la deuda del gobierno, que se ubica en un nivel superior al 60 % del PIB.

El cuarto escenario es el de cero emisiones a 2050, lo cual significa que el país alcanza la neutralidad en materia de emisiones de carbono a mediados del siglo. Los ingresos tributarios no petroleros entre 2024 y 2050 se estiman con las tasas de crecimiento obtenidas a partir de la información de la sección 1. Adicionalmente, desde 2029 no se consideran ingresos fiscales provenientes del petróleo, al asumir un fuerte compromiso del GNC en materia de transición energética y, en consecuencia, el agotamiento total de las reservas petroleras actuales, toda vez que no se desarrollan nuevos proyectos de explotación de crudo. Así mismo, por el mayor compromiso estatal con la reducción de emisiones de gases contaminantes, en un contexto de poco espacio fiscal, el gasto en mitigación se triplica con respecto a la asignación presupuestal actual, alcanzando un 0,6 % del PIB desde 2033.

En los gráficos 10 y 11 se presenta la trayectoria del déficit y la deuda del gobierno en los cuatro escenarios descritos. Como se observa, los escenarios de cero emisiones a 2050 y de transición demorada son los que registran las sendas de déficit y deuda más elevadas, especialmente por la incorporación de ajustes en el gasto. La brecha en el déficit entre el escenario sin cambio climático y el de cero emisiones es cercana a 1 pp del PIB en 2050, en tanto que la diferencia en la deuda bruta en ese año alcanza aproximadamente 15 pp del producto.

3.3 Consideraciones adicionales

Las finanzas públicas del país han sufrido choques muy importantes en los últimos años. Entre ellos, la crisis financiera internacional en 2009, la caída del precio del petróleo en 2014 y la pandemia del Covid-19 en 2020. Todos han sido choques de gran severidad, que redujeron los ingresos tributarios, y que en el caso del Covid-19 exigió una expansión importante del gasto. Como resultado, el déficit fiscal aumentó y la deuda se incrementó. Los esfuerzos de ajuste y la recuperación del ciclo económico ayudaron a superar los dos primeros. La reactivación económica durante 2021 y la prevista para 2022, aunada a los esfuerzos en materia tributaria, irán aliviando los serios efectos sobre las finanzas públicas que dejó la pandemia.

Como lo muestran los ejercicios contables de equilibrio parcial presentados en esta sección, la lógica de recuperación de los choques mencionados no se aplica para los efectos del cambio climático sobre las finanzas públicas. Esto, debido a que el cambio climático es un choque de carácter permanente, que podría tender a agravarse de no lograse un éxito relativo en el esfuerzo mundial para su mitigación y control.

De allí que las políticas requeridas para mantener la sostenibilidad de las finanzas públicas

deban ser de carácter estructural. No bastará con una reforma tributaria, con un recorte coyuntural del gasto público o con un repunte en el ciclo económico. Dado su carácter permanente, es necesario ajustar la matriz de ingresos a fin de superar la tradicional dependencia del petróleo. Esto exigirá políticas públicas en el frente tributario y de gasto, que identifique nuevas fuentes de ingreso y que enfoque el gasto en el desarrollo de fuentes alternativas de energía que no solo ayuden a mitigar el cambio climático, sino que, eventualmente, contribuyan a la diversificación de los ingresos públicos. Esto representa un gran reto para Colombia.

4. Impacto del cambio climático sobre la estabilidad financiera

La creciente severidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos, así como los esfuerzos por converger a una economía baja en carbono, pueden generar costos y pérdidas para las instituciones financieras. En general, los riesgos asociados al cambio climático (RACC) se podrían materializar en cinco principales riesgos financieros: de crédito, de mercado, de liquidez, operacional y de aseguramiento (DG Treasury *et al.*, 2017).

Dado lo anterior, recientemente ha surgido un interés por identificar los RACC y analizar los canales de transmisión que los vinculan a los riesgos financieros, con el fin de emplear metodologías basadas en escenarios futuros de cambio climático que contribuyan a medir la resiliencia de las instituciones financieras y cuantificar los posibles efectos sobre el sistema financiero. En esta sección se presenta una revisión de la literatura sobre las consideraciones, lineamientos y desafíos metodológicos que enfrentan las instituciones financieras y autoridades para identificar y medir los RACC y su impacto sobre el sistema financiero, así como algunos ejercicios relacionados con el tema realizados para Colombia por algunas instituciones internacionales. Asimismo, se presenta un ejercicio de estrés sobre las entidades crediticias en Colombia, el cual busca evaluar su capacidad para enfrentar los impactos que, por medio del crecimiento económico (canales de transmisión macroeconómicos, véase el Recuadro 2), pudiese tener el cambio climático sobre su exposición al riesgo de crédito. Este ejercicio, que emplea la tecnología de pruebas de estrés actualmente usada por el equipo técnico del Banco de la República, es una contribución a la incipiente literatura sobre la cuantificación de los impactos del cambio climático sobre la estabilidad financiera.

4.1 Consideraciones metodológicas para identificar y medir los RACC

Recientemente se ha observado un interés muy fuerte por parte de organizaciones internacionales en analizar las consideraciones metodológicas que deben ser tenidas en cuenta a la hora de identificar y medir los riesgos financieros asociados al cambio climático (RFACC). De acuerdo con Bolton *et al.* (2020), el FSB (2020) y el BCBS (2021), un marco de gestión de RFACC eficaz debe tener tres objetivos: 1) identificar los factores de riesgo climático y sus canales de transmisión hacia el sistema financiero; 2) mapear y medir las exposiciones del sistema financiero relacionadas con el cambio climático, y 3) traducir los RACC en métricas de riesgo financiero cuantificables.

Adicionalmente, la literatura ha destacado algunos aspectos y lineamientos que deben considerar las instituciones financieras y supervisores a la hora de definir este marco y cumplir a cabalidad con los objetivos expuestos. Por un lado, el BCBS (2021), el FSB (2020) y Bolton *et al.* (2020) afirman que, dado que los RFACC probablemente diferirán de los patrones observados para los riesgos financieros hasta ahora, recurrir a datos históricos en la estimación del riesgo o en la calibración de los modelos presenta grandes limitaciones. Estas entidades concuerdan en que la cuantificación de los RACC requiere la aplicación de un conjunto de supuestos sobre las interacciones entre el clima, la actividad de los seres humanos y la actividad económica, en escenarios que en inglés se conocen como *forward-looking* (prospectivos), los cuales proyectan el comportamiento de estas variables en un horizonte de tiempo de largo plazo[41], lo cual le agrega una incertidumbre considerable al proceso de estimación.

Asimismo, el BCBS (2021) y el FSB (2020) mencionan que, pese a que los riesgos físicos y los riesgos de transición a menudo se consideran y evalúan por separado, varias características relacionadas con el cambio climático están aumentando la probabilidad de que la mayor frecuencia y gravedad de los riesgos físicos ejerza presión sobre los hacedores de política para que tomen medidas decisivas con el objetivo de mitigar los impactos de este riesgo en el futuro, lo que aumentaría así la posibilidad de que los riesgos de transición se manifiesten de forma conjunta con los físicos. Dado lo anterior, se recomienda contemplar escenarios de mayor probabilidad de materialización de riesgos de transición al momento de analizar los riesgos físicos.

Por otro lado, el BCBS (2021), el FSB (2020) y la NGFS (2020b) destacan que existen dos principales enfoques para evaluar los RFACC: *top down* y *bottom up*. En general, los *top down* comienzan por dimensionar el riesgo agregado y luego "miran hacia abajo" y atribuyen esta medida agregada del riesgo a los componentes. Así, un enfoque *top down* para el mapeo de la exposición de los riesgos físicos puede usar promedios de un sector económico específico y aplicar estos promedios a exposiciones individuales de las firmas que hacen parte de ese sector. En cuanto a la materialización del riesgo, este enfoque generalmente intenta estimarlo en el nivel consolidado (por ejemplo, un sistema bancario). Por el contrario, los enfoques *bottom up* dimensionan el riesgo por componente, agregando las medidas individuales para proporcionar una visión consolidada del riesgo. Por ejemplo, un enfoque *bottom up* para identificar exposiciones podría evaluar la exposición al riesgo relativo a nivel de activo (*e. g.*: préstamo) o contraparte (deudor) y sumar estas exposiciones para proporcionar una exposición al riesgo conjunto del portafolio.

Finalmente, las heterogeneidades desempeñan un papel clave en la selección de metodologías de medición de los RFACC, ya que cada institución financiera enfrenta RACC idiosincrásicos dentro de su portafolio. Según el BCBS (2021) y el FSB (2020), estas heterogeneidades están presentes en los siguientes ámbitos: 1) geográfico: los RACC se manifiestan regional o localmente según la diversidad geográfica; 2) sectorial: la clasificación sectorial puede enmascarar la heterogeneidad dentro de un sector dado, ya que los agentes individuales pueden demostrar diferentes capacidades de adaptación, y 3) jurisdiccional: dado que las fronteras nacionales (y subnacionales) definen los límites de la jurisdicción legal, las exposiciones entre límites jurisdiccionales pueden enfrentar diferentes políticas y regímenes regulatorios que influyen en la vulnerabilidad a los RACC.

4.2 Desafíos para el análisis financiero de los RACC

Aparte de establecer características y lineamientos que se deben tener en cuenta a la hora de desarrollar una metodología para evaluar los RFACC, la literatura también ha enfocado su análisis en los desafíos que enfrentan instituciones financieras y autoridades en el diseño de estas metodologías.

Un aspecto desafiante está relacionado con el horizonte temporal. La naturaleza a largo plazo del cambio climático está llevando a las instituciones financieras y autoridades a considerar horizontes que pueden extenderse significativamente más allá del que comúnmente consideran (hasta 2050 en las prácticas observadas). Esto plantea una serie de retos con respecto a los ejercicios de estrés y las evaluaciones prospectivas en general, pues, como se mencionó en la subsección anterior, aumentan sobremanera la incertidumbre en torno a las proyecciones económicas y financieras, lo que limita su confiabilidad. La NGFS (2020b) y el FSB (2020) afirman que es crucial reflexionar sobre la idoneidad y las posibles modificaciones de los enfoques existentes para capturar riesgos en horizontes de tiempo más largos, incluida la posibilidad de implementar herramientas nuevas de supervisión para varios horizontes de tiempo.

Asimismo, la NGFS (2020b) y el FSB (2020) afirman que la disponibilidad de información relacionada con la exposición de los agentes económicos a eventos asociados con el clima se ha destacado como el principal impedimento para desarrollar metodologías de medición de RACC en los últimos años. Argumentan que la información disponible actualmente (*e. g.*: *ratings* climáticos) es muy opaca en el sentido en que se alimenta de datos que no están muy estandarizados, como sí lo están los estados financieros que alimentan los *ratings* crediticios. Además, aseveran que la mayoría de información sobre exposiciones se construye a partir de modelos patentados, por lo cual los usuarios de los datos no pueden tener una visión clara del enfoque metodológico adoptado por los proveedores. Esta opacidad y falta de estandarización hace que la comparabilidad de la información entre oferentes sea muy limitada. Otro problema clave que destacan estos trabajos es que la información requerida para un debido análisis puede estar fuera del rango de las recopilaciones de datos financieros tradicionales y, en el caso de contrapartes pequeñas (*e. g.*: mipyme o personas naturales), la disponibilidad de la misma puede ser cualitativa, en lugar de cuantitativa, lo cual representa limitaciones en cuanto a integridad y precisión. Para hacer frente a este reto, la literatura recomienda a los hacedores de política aprovechar su proceso de supervisión con el fin de recolectar los datos necesarios para realizar análisis de los RFACC.

Otro desafío radica en que los criterios de identificación de riesgos actuales pueden no ser lo suficientemente granulares o específicos para diferenciar entre las contrapartes. Varios enfoques de clasificación de riesgos existentes suponen implícitamente que las contrapartes que pertenecen a las mismas áreas geográficas o al mismo sector exhiben características de riesgo similares. En la práctica, las capacidades de adaptación o mitigación de las contrapartes pueden ser diferentes dependiendo del RACC que está siendo evaluado.

El último aspecto resaltado en la literatura tiene que ver con la comparabilidad entre jurisdicciones. A modo de ejemplo, determinar si es más riesgoso otorgar préstamos en una

jurisdicción en relación con otra con respecto a un riesgo físico en particular, implica analizar los eventos en sí mismos, compararlos y clasificarlos de acuerdo con la cantidad de daños y pérdidas que pueden generar en función de la frecuencia, la intensidad y la probabilidad de ocurrencia en cada país. El reto consiste, entonces, en lograr desarrollar estándares que se puedan aplicar a todas las jurisdicciones.

4.3 Ejercicios realizados para Colombia

En 2021 se publicaron dos estudios que evalúan el efecto de los RACC sobre el sistema financiero colombiano[42]. El primer trabajo identifica y evalúa los RACC que afectan en mayor medida al sector bancario colombiano con el fin de realizar pruebas de sensibilidad[43] (Banco Mundial, 2021). En relación con los riesgos físicos, el análisis se enfoca en las inundaciones fluviales por municipio para evaluar la vulnerabilidad de los bancos ante escenarios de anegamientos[44]; mientras que para los riesgos de transición se consideran diversos escenarios de descarbonización extremos, pero plausibles, para evaluar el impacto sobre el valor agregado de 83 sectores económicos.

Para realizar las estimaciones de los efectos de los RACC sobre el sistema financiero colombiano, utilizan dos metodologías diferentes para cada uno de los riesgos analizados. En el caso del riesgo físico, obtienen estimaciones de la elasticidad de las provisiones para la cartera improductiva y la calificación crediticia de la deuda soberana con respecto a los daños económicos ocasionados por desastres naturales. Una vez tienen estos cálculos, definen cuatro escenarios de desastres naturales y emplean una metodología de pruebas de estrés elaborada por Čihák (2014) [45]. Los autores adaptan este modelo para permitir el uso de datos granulares sobre la exposición crediticia por ubicación geográfica y por sector, y para incluir un canal sobre el *spread* crediticio de los títulos de deuda soberana. De esta adaptación obtienen una estimación, por banco, del impacto de los episodios de inundaciones graves.

Para el riesgo de transición estudian el efecto potencial de las políticas climáticas en la economía y en el sector bancario colombiano, utilizando un modelo de equilibrio general del Departamento Nacional de Planeación (DNP) con base en cuatro escenarios de transición[46]. Finalmente, para investigar el impacto de los escenarios de transición en el sector financiero, extraen estimaciones del *systemic stress model* (Sysmo) del Banco de la República[47], el cual vincula los cambios en el valor agregado y el desempleo con variaciones en la cartera vencida del sector bancario.

Los resultados indican que escenarios de fuertes inundaciones pueden conducir a una caída en el índice de relación de solvencia: se observa una caída promedio de entre 0,3 y 1,1 pp si no se consideran efectos de mercado que podrían surgir ante un escenario de graves anegamientos. Si se contempla una inundación grave coincidente con una recesión, la disminución promedio en la relación de solvencia sería de 3,2 pp. Los resultados difieren entre bancos, dependiendo de su exposición a zonas rurales (mayor vulnerabilidad).

Asimismo, los escenarios de descarbonización bruscos y abruptos pueden conducir a pérdidas significativas en el sector bancario. Sin embargo, si se administra adecuadamente la transición, los impactos podrían mitigarse. En el escenario más adverso (meta de

reducción de gases de efecto invernadero del 51 % con implementación tardía de las políticas climáticas), en un horizonte de dos años, el indicador de mora de las entidades se incrementaría entre 0,5 pp y 1,9 pp para las distintas modalidades de préstamos y su relación de solvencia disminuiría en más de 1 pp, pero se mantendrían por encima del mínimo regulatorio.

El segundo trabajo, titulado "Climate-Related Stress Testing: Transition Risk in Colombia" (Sever y Pérez-Archila, 2021) del FMI, presenta una metodología para cuantificar las implicaciones del riesgo de transición sobre la estabilidad financiera mediante la exposición que los establecimientos de crédito tienen al sector corporativo no financiero. En particular, los autores exploran el riesgo que enfrentaría el sistema bancario en Colombia como consecuencia de un aumento en el impuesto al carbono, en diferentes escenarios.

El procedimiento que utilizan para cumplir con su objetivo se resume en los siguientes pasos: 1) estiman las emisiones de CO2 por sector; 2) en función de la producción de las empresas, calculan los pasivos adicionales generados a raíz de un aumento en el impuesto al carbono hasta USD 75/tonelada, e identifican las firmas que enfrentarían estrés financiero como consecuencia de este aumento si sus pasivos corrientes pasan a exceder sus activos corrientes, o si los pasivos totales exceden los activos totales; 3) computan la proporción de empresas en cada sector que pasaría a una situación de estrés financiero, y 4) cruzan esta información con las exposiciones de los establecimientos de crédito a cada sector económico para estimar la proporción de cartera en riesgo derivada del aumento del impuesto al carbono.

Los resultados de aplicar la metodología llevan a los autores a cuatro conclusiones principales: 1) los sectores de agricultura, manufactura, electricidad, comercio y transporte parecen ser los más importantes en la transmisión al sistema bancario del riesgo de transición derivado de un aumento en el impuesto al carbono. 2) En el escenario en el cual se produce un fuerte aumento del impuesto de USD 70/tonelada, desde el nivel actual de USD 5/tonelada, los autores encuentran que, como máximo, el 13,6 % del saldo total de créditos corporativos del sistema bancario y el 4,9 % de sus activos totales entrarían bajo estrés financiero, lo cual clasifican como un riesgo considerable, pero potencialmente manejable para los establecimientos de crédito, debido a que sus estimaciones deben entenderse como un límite superior por los supuestos simplificadores que emplean en el análisis. 3) El riesgo de transición se distribuye de manera desigual entre los establecimientos de crédito, debido a que aquellos que están más expuestos a los cinco sectores mencionados resultan más afectados por un aumento en el impuesto al carbono. 4) Cuando cuantifican el riesgo de transición en escenarios alternativos que consideran incrementos más bajos del impuesto (20, 15 y 10 dólares por tonelada de carbono), los efectos, como es de esperar, son mucho menores, lo cual sugiere que un aumento gradual a lo largo de los años del impuesto para alcanzar el objetivo de USD 75 por tonelada, en lugar de un único aumento súbito, puede ser preferible en términos de la materialización de riesgos financieros y, por ende, de la estabilidad financiera.

4.4 Ejercicio de estrés climático para el sistema bancario colombiano

Teniendo en cuenta los desafíos y consideraciones metodológicas discutidas, y con el fin de

analizar la capacidad del sistema bancario para enfrentar los impactos del cambio climático, en esta subsección se presenta un ejercicio de estrés que contempla los canales de transmisión macroeconómicos (véase el Recuadro 2). Este ejercicio emplea el modelo Sysmo, actualmente usado por el Banco de la República para sus ejercicios rutinarios[48], y representa la primera contribución analítica del equipo técnico del Banco de la República a la incipiente literatura sobre la cuantificación de los impactos del cambio climático sobre la estabilidad financiera.

El objetivo del ejercicio es simular los efectos que sobre los establecimientos de crédito[49] tendrían diferentes sendas de crecimiento económico asociadas con tres escenarios de cambio climático: uno de cero emisiones de carbono a 2050, otro en el cual el ajuste hacia una economía de bajas emisiones ocurre abruptamente (transición demorada) y el último que supone que se mantienen las políticas actuales[50]. En esencia, el modelo Sysmo estima los impactos que tiene una determinada senda de crecimiento económico sobre múltiples fuentes de riesgos financieros, lo que se logra mediante especificaciones econométricas que relacionan riesgos financieros con variables macroeconómicas. A partir de los impactos estimados, el modelo simula la respuesta de los establecimientos de crédito y evalúa su capacidad para enfrentarlos. Para esto último se analiza la respuesta simulada de la rentabilidad y de la solvencia de las entidades, que ofrece una cuantificación de la capacidad de las entidades de mantener su solidez financiera ante diferentes frentes de riesgo. Por simplicidad, en este ejercicio se supone que el único impacto que tendrían las sendas de crecimiento de los escenarios de cambio climático sobre los establecimientos de crédito sería un deterioro de la calidad de la cartera asociada con cada una de las sendas de crecimiento de los tres escenarios (riesgo de crédito)[51]. En este sentido, el crecimiento económico constituye el único "choque de cambio climático" que determina una senda específica para el indicador de calidad por riesgo (ICR)[52] de los establecimientos de crédito, tomando como punto de partida la situación observada a diciembre de 2019[53,54].

Dado que el modelo Sysmo emplea usualmente un horizonte de ocho trimestres y que los escenarios de cambio climático considerados en esta sección tienen un horizonte de tiempo hasta 2100, el enfoque utilizado para realizar el ejercicio se basa en una reducción artificial del horizonte de tiempo, el cual consiste en evaluar el efecto de circunstancias que ocurren en el mediano y largo plazos sobre la situación presente de los establecimientos de crédito. Para realizar la reducción, se construyen unas sendas del PIB a un plazo de ocho periodos artificiales para cada uno de los tres escenarios evaluados (Gráfico 12). Para el escenario de cero emisiones a 2050 se modela una desaceleración gradual; mientras que para los escenarios de transición demorada y de políticas actuales se supone la materialización súbita de un choque en el producto en el tercer periodo del horizonte. En el primer caso, estos choques buscan reflejar el ajuste abrupto de las políticas de transición climática y, en el segundo caso, reflejan la materialización sorpresiva de un riesgo físico. Acorde con las proyecciones del PIB de la primera sección de este documento, la magnitud del choque en el escenario de políticas actuales es significativamente superior a la de la transición demorada y, al término de los ocho periodos, el PIB en este último escenario exhibe una recuperación que lo lleva a una dinámica similar al del escenario de cero emisiones en 2050.

La principal ventaja de utilizar la reducción artificial del horizonte de tiempo radica en que

permite resolver el problema técnico de modelar escenarios de muy largo plazo. En contraste, su mayor limitación consiste en que no contempla que las instituciones financieras y autoridades pueden anticipar los RACC y ajustar sus portafolios y políticas para moderar sus exposiciones a, por ende, un menor impacto sobre el sistema financiero. Lo anterior equivale a suponer que el balance de las entidades responde muy poco a la materialización del riesgo de crédito proveniente de los escenarios de cambio climático y a que las entidades tienen una capacidad de adaptación limitada. Si su capacidad de adaptación fuera superior a la modelada, esto podría conducir a un menor impacto en el sector bancario, por lo cual los resultados que se presentan a continuación deben entenderse como una cota superior.

Los resultados del ejercicio de estrés se presentan en el Gráfico 13. Específicamente, el gráfico presenta las desviaciones en pp que experimentarían el ICR, la solvencia total y la razón de utilidades a activo (ROA, por sus siglas en inglés) en cada uno de los escenarios de cambio climático analizados con respecto a un escenario central[55] al final del horizonte de simulación. Como es de esperarse, los tres escenarios implican un aumento del ICR frente al escenario central. En este sentido, el modelo sugiere que el cambio climático tendría el efecto de aumentar el riesgo de crédito al que están expuestos los establecimientos de crédito. El escenario de políticas actuales es el que traería un mayor impacto adverso sobre el ICR, pues implica que no se toman medidas de transición hacia una economía baja en carbono. Por su parte, el escenario de transición demorada sería el segundo con mayores efectos adversos sobre el riesgo de crédito, mientras que el escenario de cero emisiones tendría el menor impacto estimado. Los impactos negativos sobre la rentabilidad y la solvencia de los establecimientos de crédito, que son consecuencia exclusiva de los mayores ICR, siguen, por ende, el mismo orden.

En ningún escenario la solvencia total agregada caería por debajo del mínimo regulatorio (9 %); en tal sentido, los escenarios considerados no comprometerían la estabilidad del sistema financiero. El impacto del escenario de políticas actuales sobre la rentabilidad sería en particular fuerte, ya que llevaría al ROA a niveles cercanos a cero de acuerdo con la simulación. Los impactos sobre la rentabilidad y la solvencia del escenario de cero emisiones son relativamente modestos. Lo anterior indica que la diferencia de los impactos entre el escenario de políticas actuales y aquellos en donde se toman medidas para hacer la transición es significativamente alta. Este es el principal resultado de este ejercicio y admite comparar la capacidad del sistema financiero colombiano de enfrentar diferentes fuentes de RACC: en el escenario de políticas actuales es más probable la materialización de riesgo físico; en los otros escenarios se contempla un mayor riesgo de transición, como resultado de las políticas. En la medida en que los impactos son más altos en el escenario con mayor probabilidad de enfrentar riesgo físico, los resultados apuntan a que el sistema financiero colombiano es menos resiliente a la materialización del riesgo físico que a la del riesgo de transición, en la medida en que sufriría impactos en rentabilidad y solvencia mucho mayores en el primer caso. Todo lo anterior, si se consideran únicamente los impactos de las diferentes sendas de crecimiento económico sobre el riesgo de crédito.

Aunque estos resultados reflejan la capacidad de los establecimientos de crédito para enfrentar diferentes escenarios de impacto del cambio climático, de ellos no se desprenden recomendaciones de política. Lo anterior se debe, en especial, a la amplia incertidumbre que

aún existe sobre los efectos de diferentes políticas económicas sobre la evolución del clima o sobre la exposición de los establecimientos de crédito a los riesgos mencionados. En ese sentido, la utilidad del ejercicio radica en servir solo como herramienta de medición de la capacidad del sistema financiero de enfrentar diferentes escenarios de cambio climático en un conjunto amplio de supuestos.

5. Impacto del cambio climático sobre la política monetaria

Como se discutió en secciones anteriores, los riesgos físicos asociados con el clima, tanto agudos como crónicos, provocarán choques de oferta negativos más frecuentes y severos, así como perturbaciones en la demanda. Los riesgos de transición hacia una economía baja en carbono también causarán perturbaciones sobre un amplio conjunto de precios de la economía, volatilidad de la inflación y reasignaciones de recursos sectoriales, en un entorno sujeto a grandes incertidumbres, efectos heterogéneos y puntos de quiebre de difícil pronóstico (Bernal y Ocampo, 2020; Batten, 2018; Batten *et al.*, 2016).

Cada vez más estos RACC afectarán variables macroeconómicas claves para el manejo de la política monetaria en diferentes horizontes de tiempo, y tendrán profundas implicaciones financieras (NGFS, 2020a, 2020b, 2020c y 2020d). Para los bancos centrales será más difícil discernir entre choques climáticos temporales y permanentes, evaluar y pronosticar los niveles de precios y su volatilidad, la brecha de producto, el empleo y la tasa de interés natural (NGFS, 2020d; Dietrich *et al.*, 2021). Así, tendrán consecuencias sobre los objetivos primarios de los bancos centrales de estabilidad de precios, sobre la manera en que formulan sus políticas, su margen de maniobra, la forma como se comunica y su credibilidad, así como sobre otras esferas de su interés, como el crecimiento económico y la estabilidad financiera (Lagarde, 2021; Schnabel, 2021; Hernández de Cos, 2021; Brainard, 2019).

Los RACC, incluso, podrían tener implicaciones sobre los instrumentos básicos de la política monetaria y generar exposiciones de riesgos en algunos países sobre los portafolios y los estados financieros de los bancos centrales por sus operaciones de compras, temporales y definitivas, de activos financieros, redescuentos y apoyos de liquidez a entidades financieras y calidad de los colaterales que respaldan estas operaciones (NGFS, 2021c; Schnabel, 2020 y 2021). En lo que concierne a los mecanismos de transmisión de la política monetaria, el incremento en la cantidad de activos varados[56] y los choques esperados tanto en la oferta como en los precios de la energía pueden tener impactos negativos sobre el precio de los activos corporativos y la rentabilidad de los negocios. Esto causaría mayor riesgo crediticio y menor disponibilidad de garantías. También afectaría las hojas de balance de los bancos comerciales, restringiendo su capacidad para otorgar crédito y mantener sus coeficientes de capital regulatorio, como se vio en mayor detalle en la sección 4 (en particular en las secciones 4.3 y 4.4 para Colombia). Este conjunto de choques podría alterar los canales de transmisión de la política monetaria relacionados con el crédito y la liquidez (Diagrama 1), así como la efectividad de los estímulos monetarios en la actividad económica (Batten *et al.*, 2020; NGFS, 2020d).

A continuación, se analizará el impacto de los riesgos asociados con el clima sobre los precios

y la producción y el dilema de la política monetaria. Luego se revisará el desempeño del esquema de inflación objetivo (como el actualmente vigente en Colombia) frente a choques relacionados con el clima y el impacto de estos según otros posibles regímenes de política monetaria. La discusión tiene un carácter general con base en la literatura relevante, sin pretender acometer ejercicios cuantitativos ni recomendaciones específicas de política para Colombia.

5.1 Impacto de los riesgos asociados con el clima sobre los precios y la producción: el dilema de la política monetaria

La literatura monetaria tradicional plantea un papel activo del banco central para mitigar choques de demanda, mientras sugiere que la autoridad monetaria debería adaptarse a los choques de oferta sin intervenir (Clarida *et al.*, 1999). Es importante mencionar, además, que los choques de oferta suscitan un dilema para el banco central, ya que en su decisión de política debe enfrentar una situación en la cual el PIB y la inflación tienen una dinámica opuesta, lo cual implica una pérdida o sacrifico por elegir el objetivo de una variable sobre la otra (véase el Recuadro 4 para una explicación más detallada a este respecto). En particular, en un régimen de meta de inflación, sobre el cual actualmente descansa el marco de política de un gran número de países (Fratzscher *et al.*, 2020), incluido Colombia[57], si las perturbaciones de oferta son de corta duración, la política monetaria no necesariamente tendría que reaccionar. Su propia credibilidad y la comunicación efectiva sobre la naturaleza transitoria de dichas perturbaciones bastarían para reducir el costo o la necesidad de contrarrestarlas, dado un marco de política creíble y expectativas bien ancladas (López *et al.*, 2017; Gómez *et al.*, 2002). No obstante, dependiendo de las características de la economía, la respuesta a choques de oferta resulta no ser tan trivial[58].

En el caso de choques de oferta derivados de los RACC, podrían generarse perturbaciones de precios sectoriales más frecuentes, e incluso más persistentes, que desanclarían las expectativas de inflación y desencadenarían efectos de segunda ronda que aumentarían las presiones sobre el nivel general de precios en el mediano plazo[59]. Una respuesta de política que priorice el control inflacionario (aumentando la tasa de interés ante un choque de oferta negativo), podría conducir a posturas monetarias que reduzcan aún más la actividad económica, es decir, procíclicas (Dikau y Volz, 2020; Bernal y Ocampo, 2020)[60].

En cuanto al impacto de los riesgos de transición asociados con impuestos al carbono, en el marco de un régimen estricto de metas de inflación, el banco central probablemente respondería al repunte de la inflación elevando las tasas de interés. Ello podría desacelerar más la economía y provocar una apreciación del tipo de cambio (Dikau y Volz, 2020, p. 10). Así, los riesgos relacionados con el clima pueden generar un impacto estanflacionario, es decir, estancamiento económico e inflación (Villeroy de Galhau, 2019).

La literatura reconoce que incorporar dentro del análisis de la política monetaria las problemáticas y efectos ocasionados por el cambio climático es bastante complejo. Economides y Xepapadeas (2018) resaltan que, desde el punto de vista monetario, el cambio climático se puede interpretar como una sucesión de choques negativos de oferta, los cuales están altamente correlacionados y pueden generar una contracción en la capacidad económica productiva y mayor inflación. Así, entre más persistentes sean dichos choques,

más probabilidades tienen de generar una reducción permanente en el producto potencial.

De hecho, afectaciones estructurales y persistentes de corto plazo, provocadas por anomalías climáticas, pueden transmitirse hacia las dinámicas de crecimiento de largo plazo y afectar la convergencia a dicha tendencia de largo plazo, lo que se conoce como histéresis climática (Panton, 2020). Adicionalmente, la presencia de eventos climáticos extremos más recurrentes y severos puede generar afectaciones sobre la oferta y productividad laboral (Dell *et al.*, 2012; Heal y Park, 2015; Kjellstrom *et al.*, 2019; Zander *et al.*, 2015), acelerar la depreciación del capital y su reasignación (Stern, 2013; Zhang *et al.*, 2017), y provocar riesgos macroeconómicos e incertidumbre, como se vio en la sección 1.

El dilema para la política monetaria que plantea esta situación suele ser más frecuente en las economías emergentes, como lo ha identificado Vegh *et al.* (2017). En un estudio basado en estimaciones de panel VAR, Ocampo y Ojeda-Joya (2021) evalúan las reacciones de la política monetaria a choques de oferta inesperados y temporales en países con diversos niveles de desarrollo, regímenes cambiarios y grados de apertura financiera. Sus resultados muestran que la política monetaria es: 1) en promedio, procíclica en las economías emergentes después de choques temporales de oferta; 2) más procíclica en las economías emergentes con regímenes de tipo de cambio fijo que aquellas con tipo de cambio flexible, y 3) también en las economías emergentes más abiertas financieramente. Este último resultado está relacionado con el dilema entre defender la moneda o suavizar las fluctuaciones de la actividad económica (resultado coherente con la hipótesis de dominancia de la balanza de pagos en economías emergentes). Por otra parte, los RACC pueden afectar a la tasa de interés natural (TIN) mediante varios canales de transmisión. Siguiendo a NGFS (2020d), los canales más relevantes para Colombia serían los siguientes:

1. Altos riesgos físicos: los RACC pueden afectar el crecimiento de la productividad en el largo plazo, reduciendo la TIN. Este efecto puede revertirse en escenarios de mitigación coordinada, en donde las regulaciones ambientales incentiven el desarrollo de nuevas tecnologías.

2. Incertidumbre: en escenarios de altos riegos físicos se aumentaría la demanda de ahorros precautelativos a nivel mundial, tendiendo a reducir la TIN. En escenarios de mitigación coordinada, esta alta incertidumbre sería temporal.

3. Endeudamiento: la adaptación y mitigación al cambio climático tendrán altos costos fiscales que para muchos países implicarán un aumento significativo de la deuda pública y privada. Este aumento del endeudamiento mundial presionará al alza la TIN.

4. Oferta laboral: en escenarios de altos riesgos físicos se pronostica una disminución de la oferta laboral a través de mayor morbilidad y migraciones. Si se observa escasez relativa del trabajo, la productividad marginal del capital disminuiría, presionando hacia abajo la TIN.

Cantelmo (2020), por su parte, se enfoca en estudiar el efecto de riesgos físicos con datos históricos y un modelo neokeynesiano. Sus resultados indican que la probabilidad de desastres climáticos disminuye la TIN debido al efecto de mayor incertidumbre *ex ante*. No obstante, una vez ocurre el desastre, si la destrucción de capital es suficientemente alta, la TIN tiende a incrementarse *ex post*. Dietrich *et al.* (2021) también utilizan un modelo

neokeynesiano para incorporar el canal de expectativas de desastres climáticos con base en los datos de una encuesta para Estados Unidos. Al incorporar esta información, encuentran una TIN que es 65 pb inferior a la calculada sin dicho canal. Esta misma estimación también encuentra efectos negativos sobre la inflación y la brecha del producto. El mecanismo de este modelo es similar al estudiado por Cantelmo (2020), para quien la mayor probabilidad de un desastre futuro incrementa la tasa de ahorro precautelativo actual de todos los agentes económicos, presionando hacia abajo la tasa de interés de equilibrio.

Ojeda-Joya (2022) evalúa el canal de productividad al realizar un ejercicio contrafactual de estimación de la TIN con datos para Colombia, en el cual se incluye un aumento gradual de la temperatura, junto con su impacto sobre el PIB y sobre la inflación, de acuerdo a los resultados de Khan *et al*. (2019) y deMukherjee y Ouattara (2021), respectivamente. Los resultados indican una disminución gradual y significativa de la TIN en un escenario de políticas actuales.

5.2 Desempeño del esquema de inflación objetivo frente a choques relacionados con el clima

Frente a la incertidumbre, Fratzscher *et al.* (2020) y Grosse-Stephen (2021) evalúan cómo el esquema de inflación objetivo mejora el desempeño económico en comparación con otros esquemas, tales como control de agregados monetarios o de tasa de cambio fija, cuando hay presencia de choques exógenos; por ejemplo, los relacionados con el clima. En particular, Fratzscher *et al.* (2020) muestran que, frente a un choque considerado como desastre natural, los países que han adoptado el esquema de inflación objetivo logran mitigar los aumentos en la inflación, las caídas en la actividad económica y la volatilidad de estas variables en mejor forma frente a los que siguen otros esquemas. Entre sus resultados encuentran que, después de tal choque, el crecimiento trimestral del PIB es mayor en 0,11 pp, en promedio, en países con esquema de inflación objetivo frente a otros esquemas monetarios. La inflación, por su parte, es menor en 0,67 pp[61]. Este resultado se ve reforzado cuando dichos países logran una adecuada coordinación entre política fiscal y monetaria[62], ya que el PIB sería mayor en 0,15 pp y la inflación sería menor en 1,18 pp. McGettigan *et al.* (2013), así como Thornton y Vasilakis (2016), muestran que la implementación de esquemas de metas de inflación ha ayudado en este proceso al reducir la volatilidad del producto y la inflación.

5.3 Riesgos climáticos e inflación en Colombia

En el caso colombiano, varios estudios han mostrado el impacto significativo de choques climáticos, como el fenómeno de El Niño sobre la producción y los precios de los alimentos (Abril-Salcedo *et al.*, 2020 y 2016; Bejarano-Salcedo *et al.*, 2020a y 2020b). Dichos estudios encuentran que el fenómeno de El Niño genera un incremento transitorio en los precios, el cual se magnifica en función de su intensidad, pero se revierte significativamente una vez culmina el evento climático. También hay asimetrías entre las fases cálidas o de sequías (El Niño) y las fases lluviosas (La Niña), teniendo las primeras un mayor impacto sobre los precios que las segundas[63].

Por su parte, Melo-Velandia *et al.* (2021) encuentran que el riesgo relativo de ocurrencia de

precios altos de alimentos es significativamente mayor (5 % a 30 % de mayor probabilidad) en escenarios donde se tienen sendas de condiciones climáticas adversas (sequías relacionadas con El Niño) en comparación con aquellos con condiciones climáticas consideradas promedio. Los alimentos más impactados por El Niño son los perecederos y el riesgo de ocurrencia de altos precios es significativamente mayor para escenarios de sequías que con elevadas lluvias. Observan que el riesgo relacionado con las condiciones climáticas tiene una tendencia creciente y no es necesariamente lineal. También comparan algunos de los determinantes de altos precios de alimentos perecederos y procesados (el nivel de lluvias, tasa de cambio y precios de los combustibles), encontrando evidencia de que el riesgo relativo es significativamente más alto para cambios en condiciones climáticas.

Finalmente, Romero y Saldarriaga-Naranjo (2021) analizan la relación entre las expectativas de inflación y los choques de oferta relacionados con el clima en Colombia, utilizando modelos BVARx. Encuentran evidencia de que: 1) eventos de El Niño ayudan a explicar desviaciones positivas de las expectativas de inflación con respecto a la meta; 2) la reversión del choque y eventos de La Niña parecen tener un impacto significativo en la dirección opuesta, y 3) la capacidad de respuesta de las expectativas de inflación a los choques climáticos es estadísticamente significativa y puede desviar las expectativas de inflación de la meta de inflación. Así, por ejemplo, los choques relacionados con el clima desempeñaron un papel importante en el aumento de las expectativas de inflación en 2016, cuando Colombia se vio particularmente afectada por una sequía severa. Una conclusión en particular relevante para la política monetaria en Colombia es que los choques climáticos tienen un papel importante, no solo en la determinación de la inflación, sino también en sus expectativas.

5.4 Los RACC en otros posibles regímenes de política monetaria

Sin perjuicio de los resultados favorables del régimen de inflación objetivo frente a choques climáticos, McKibbin *et al.* (2017) discuten cómo las reglas de política monetaria que se enfocan principalmente en el componente inflacionario y en una brecha del producto cada vez más difícil de pronosticar conducirían a pérdidas de producto mayores frente a esquemas alternativos como aquellos cuya meta es el PIB o el ingreso nacional[64], la cual es menos vulnerable a información imprecisa sobre la naturaleza de los choques relacionados con el clima y el estado actual de la economía[65]. Bhandari y Frankel (2017) señalan las ventajas de una meta de PIB nominal en escenarios de fuertes choques de oferta y de términos de intercambio, pues esta se acomoda más flexiblemente a choques de oferta (como los RACC), mientras mantiene ancladas las expectativas de inflación, a diferencia del esquema de inflación objetivo, donde el impacto pleno de esos choques recae sobre el PIB real. Otros estudios muestran que, en escenarios con rigideces de salarios y precios, los esquemas monetarios de reglas con metas nominales sobre PIB o ingreso presentan menores pérdidas frente a choques de oferta que aquellas reglas de inflación objetivo o tipo Taylor. Asimismo, frente a reglas con brecha del PIB, las anclas nominales producen menores pérdidas. Este es el caso en particular de entornos en que el banco central enfrenta dificultades para medir la brecha del PIB en tiempo real. Algunos ejemplos son: Garín *et al.* (2016), Billi (2020) y Fackler y McMillin (2020).

Sin perjuicio de lo anterior, NGFS (2020d: 9) alerta que todos los regímenes monetarios

enfrentarán desafíos por el cambio climático y su mitigación, y que no es evidente *ex ante* que un determinado régimen monetario se desempeñe mejor que otros en cuanto a "absorber" los choques relacionados con el clima por el lado de la oferta o la demanda. Se requiere, entonces, continuar profundizando en el análisis de si el cambio climático puede tener implicaciones para el diseño de regímenes, incluida la elección de: 1) el objetivo del banco central, 2) el horizonte sobre el cual se espera que cumpla dicho objetivo, y 3) el grado de flexibilidad incorporado en su estrategia monetaria.

6. Conclusiones y reflexiones finales

A pesar de la dificultad para cuantificar la trayectoria futura del cambio climático y sus posibles puntos de inflexión y no linealidades, existe un amplio consenso en la comunidad científica en cuanto a que este acarreará riesgos físicos y de transición de amplio alcance, que afectarían a todos los agentes y sectores de la economía mundial, aunque con mayor incidencia sobre los países tropicales, entre los cuales se encuentra Colombia. En este documento se hizo una revisión crítica de literatura nacional e internacional relativa a los efectos macroeconómicos esperados de los riesgos físicos y de transición del cambio climático, y se desarrollaron ejercicios cuantitativos relacionados con impactos sobre los sectores real, externo y fiscal, y sobre la estabilidad financiera en nuestro país. Debido al alto nivel de incertidumbre al que están expuestos ejercicios de este tipo, con horizontes de tan largo plazo y supuestos simplificadores, se utilizó la metodología de análisis de escenarios, como lo han hecho gran parte de los estudios académicos sobre la materia. Esta permite contextualizar un rango posible de resultados a los que puede estar expuesta la economía.

La base de los estimativos realizados sobre el impacto de los riesgos asociados con el cambio climático en la economía colombiana fueron los cálculos de la NGFS para Colombia. Estos muestran posibles pérdidas del PIB a 2100 de entre el 2 % en un escenario donde se cumplen los Acuerdos de París, al 8 % en un escenario sin políticas de mitigación adicionales. Los impactos son no lineales, con mayores pérdidas del PIB a mayores incrementos de temperatura. Estos resultados son cercanos a las estimaciones de estudios recientes de otros autores. El grado de afectación de la economía en su conjunto es heterogénea entre países, pues depende, ente otras dimensiones, de la composición sectorial inicial de la economía entre los sectores más sensibles y los que tienen oportunidades de expansión por cuenta de los RACC.

Luego, se identificó que, dado que durante las últimas décadas el comercio de mineroenergéticos constituyó una fuente fundamental de ingresos externos en Colombia, los riesgos de transición podrían causar una contracción significativa de los ingresos corrientes y un deterioro del balance corriente de largo plazo. La senda esperada para el balance corriente en distintos escenarios climáticos muestra una ampliación del déficit corriente mayor en el escenario de cero emisiones netas en 2050, y estaría explicada principalmente por una caída permanente en el precio del petróleo y un incremento substancial en la deuda pública. En caso de una transición demorada, el déficit corriente de largo plazo no mostraría deterioros importantes relativo a una continuidad de las políticas climáticas actuales. Sin embargo, una vez implementadas las medidas dirigidas a mitigar el cambio climático, la caída permanente del precio del petróleo sería mayor que en el escenario de cero emisiones netas en 2050. Por consiguiente, en un horizonte de tiempo mayor, el déficit corriente podría

excedería al esperado para los demás escenarios.

Estos cálculos se basaron en modelos simplificados de equilibrio parcial y de forma reducida. Su efecto podría ser más moderado, pues en un contexto de equilibrio general se presentarían diversos ajustes de factores macroeconómicos que permitirían amortiguar episodios de deterioro de la cuenta corriente. Entre estos, se encuentran una depreciación de la tasa de cambio real y un recorte del gasto público.

Las finanzas públicas también se verían severamente afectadas porque la actividad petrolera le ha venido generando importantes rentas tanto al Gobierno Nacional (impuestos y dividendos) como a las regiones (regalías). Los estimativos de simulación contable de equilibrio parcial elaborados en este documento, que consideran tanto una potencial disminución de las rentas petroleras como mayores esfuerzos de gastos en adaptación y mitigación frente a los RACC, generan una brecha significativa en el déficit fiscal entre el escenario sin cambio climático y el de cero emisiones, y una elevación de la deuda bruta del gobierno.

Los RACC pueden, adicionalmente, generar costos y pérdidas para las instituciones financieras y tener implicaciones sobre la estabilidad del sistema financiero. Un ejercicio pionero para nuestro país presentado en este documento estima que el escenario de políticas actuales en materia climática traería el mayor impacto adverso sobre la situación financiera de los establecimientos de crédito, seguido por el de transición demorada, debido al deterioro de la calidad de riesgo de la cartera. La diferencia de los impactos entre el escenario de políticas actuales y aquellos en donde se toman medidas para hacer la transición es significativa, lo cual sugiere que el sistema financiero colombiano es menos resiliente a la materialización del riesgo físico que a la del riesgo de transición.

En lo que concierne a la política monetaria, para los bancos centrales será más difícil discernir entre choques climáticos temporales y permanentes, evaluar y pronosticar los niveles de precios y su volatilidad, la brecha del producto, el empleo y la tasa de interés natural. Así, los RACC tendrán consecuencias sobre los objetivos de estabilidad de precios, la manera en que formulan sus políticas, su margen de maniobra, la forma en que ella se comunica y su credibilidad. También, podrían alterar los canales de transmisión de la política monetaria relacionados con el crédito y la liquidez, así como la efectividad de los estímulos monetarios en la actividad económica.

Las implicaciones de los resultados de crecimiento (sección 1) sobre la política monetaria en Colombia son dos. En primer lugar, la presencia de riesgos físicos en el escenario de políticas actuales indica que probablemente ocurrirán episodios climáticos más frecuentes e intensos que afectarían a la economía en forma de choques de oferta, los cuales derivan en el dilema mencionado en la sección 5. En segundo lugar, el menor crecimiento en el largo plazo en este mismo escenario llevaría probablemente a menores niveles de tasa de interés natural por los mecanismos discutidos en la sección 5. Una menor tasa de interés natural limitaría el espacio de la política monetaria para realizar políticas expansivas.

Los resultados sobre los sectores externo y fiscal (secciones 2 y 3) tienen una implicación importante de política monetaria en Colombia, principalmente en el escenario de cero emisiones netas. Los riesgos de transición energética hacia una economía con menor uso de

combustibles fósiles implicarán que Colombia probablemente tendrá presiones hacia mayores déficits de la cuenta corriente y fiscales. Estos fenómenos implicarán mayores presiones hacia deterioros en la calificación crediticia del país, lo cual puede restringir el acceso al financiamiento externo y empeorar el dilema de política monetaria frente a choques de oferta. Por último, los resultados sobre el sistema financiero (sección 4) implican que en escenarios de políticas actuales y ante fenómenos climáticos especialmente fuertes, indicadores de crédito deteriorados pueden dificultar la transmisión de la política monetaria.

Las conclusiones de los ejercicios empíricos y la revisión de literatura son consistentes: la caída permanente del precio y las cantidades exportadas del petróleo asociada con los riesgos de transición llevarían a una reducción en la capacidad del país para generar ingresos externos, un incremento de la deuda pública y limitarían la capacidad del gobierno para financiar programas de inversión y transferencias sociales. En el otro extremo, un plan de ajuste demasiado lento, con inversiones excesivas y una apuesta demasiado optimista por las exportaciones futuras de hidrocarburos podría resultar en una transición más traumática si la demanda de exportación esperada no se materializa.

El ajuste de algunas variables macroeconómicas, como una depreciación real de la tasa de cambio o recortes del gasto público, podrían amortiguar parcialmente estos efectos. Sin embargo, para evitar deterioros en la posición externa de largo plazo y las finanzas públicas, el país debería diseñar un cronograma balanceado para sustituir los ingresos petroleros mediante la generación de nuevas fuentes de ingresos externos y reformas de carácter estructural en el frente tributario y de gasto público.

Desde una perspectiva más general, es imperativo diseñar políticas públicas orientadas a internalizar las externalidades asociadas con el costo social de los gases efecto invernadero, mediante impuestos sobre sus emisiones (preferiblemente coordinados internacionalmente), o permisos negociables, y la eliminación de los subsidios a los combustibles fósiles. Más en general, se deben desalentar acciones y usos indeseables de los recursos, propender por transformar la estructura del aparato productivo y los patrones de consumo para permitir un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, fortalecer la capacidad para adaptarse a los efectos del cambio climático y promover la resiliencia climática.

Esto requerirá una amplia adopción de nuevas tecnologías, ajustes profundos en el uso de la tierra y cambios en el comportamiento del consumidor inducidos por ajustes radicales en los costos de los gases de efecto invernadero, y en particular las emisiones de CO_2, complementados con una masiva movilización de recursos financieros (públicos y privados) hacia inversiones en infraestructura, construcción, investigación y desarrollo sostenibles. La coordinación entre un gran número de entidades estatales con diferentes mandatos institucionales, y con un gran número de actores de los mercados financieros, los sectores reales y la sociedad civil, representa un desafío de alta complejidad. Todos estos aspectos también requerirán de investigaciones microeconómicas en las que se estudien en detalle los datos relevantes en cada política o regulación ambiental, con el fin de entender mejor sus canales de transmisión y realizar análisis de costo-beneficio con respecto a su implementación.

Recuadros

Recuadro 1. Modelos de evaluación integrada de la NGFS

Global Change Assessment Model 5.3 (GCAM 5.3): este modelo fue desarrollado por el Instituto de Investigación del Cambio Global de la Universidad de Maryland. Corresponde a un MEI global que incluye cinco sistemas: energía, agua, agricultura, economía y clima. Este modelo contempla estructuras que llevan cuarenta años en desarrollo y su versión más reciente se describe en Calvin *et al*. (2019). GCAM crea escenarios completos de precios, uso de energía, flujos de bienes entre regiones e interacciones entre sistemas, a partir de una base de datos mundial y un conjunto de supuestos de comportamiento. Adicionalmente, este modelo incluye un análisis detallado de la demanda y disponibilidad del agua. El cubrimiento geográfico es extensivo, ya que el sistema energía-economía opera con 32 regiones globales, el uso de la tierra es analizado en 384 subregiones y se rastrean 235 fuentes de agua en todo el mundo.

MESSAGEix-GLOBIOM 1.1: este modelo fue desarrollado por el Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas de Austria, y consiste de cinco módulos integrados: energía (MESSAGE), uso de la tierra (GLOBIOM), gases de efecto invernadero, clima y efectos macroeconómicos. Los módulos base son los de energía y uso de la tierra en una estructura de optimización lineal que se describe en Huppmann *et al*. (2019). El modelo divide el globo en once regiones. El módulo de energía y el macroeconómico interactúan para alcanzar un equilibrio y luego el módulo de uso de la tierra produce información consistente con ese resultado. Las implicaciones de equilibrio general alimentan los módulos de clima y de ciclo de carbón para producir proyecciones climáticas y de emisiones, respectivamente. Este modelo incluye el efecto de tecnologías de control de polución del aire.

REMIND 2.1 - MAgPIE 4.2: este modelo fue desarrollado por el Instituto Postdam para la Investigación del Cambio Climático en Alemania, tal como se describe en Leimbach *et al*. (2020). Es un MEI global que simula las dinámicas entre los sistemas de energía, uso de la tierra, agua y polución del aire y sus efectos sobre la salud, la economía y el clima. El primer componente (REMIND) es un módulo de crecimiento económico óptimo y su interacción con la oferta y demanda de energía. El componente MAgPIE es un módulo de uso global de la tierra que se integra con los efectos climáticos de temperatura. Los módulos anteriores se integran con un componente de vegetación, hidrología y ciclo del carbón. Cabe anotar que este modelo cubre doce regiones del mundo, permite analizar escenarios de comercio internacional de bienes y de energía, e incorpora el impacto de tecnologías de captación de carbono y de conversión energética.

NiGEM: los resultados macroeconómicos de los anteriores tres MEI, son transformados por NGFS en proyecciones de corto plazo de diversas variables macroeconómicas en países específicos, con la ayuda del modelo NiGEM. Este es un modelo econométrico global usado en varias instituciones del mundo para proyecciones, construcción de escenarios y análisis de eventos de crisis. Consiste en submodelos específicos para las principales economías mundiales, junto con su comercio de bienes, servicios, así como mercados integrados de capitales. La economía global es modelada como un equilibrio general en economía cerrada. La mayoría de países están incluidos en bloques regionales. Adicionalmente, esta

herramienta permite modelar las instituciones de Gobierno y monetarias para incluir opciones alternativas de política fiscal y monetaria en las principales economías. Cabe anotar que Colombia aún no está incluida individualmente en el NiGEM, pero sí se encuentra en el bloque regional de Latinoamérica[66].

Recuadro 2. Impacto del cambio climático en el sistema financiero y sus canales de transmisión

La relación entre el cambio climático (CC) y el sistema financiero (SF) se debe analizar a través de los canales por medio de los cuales el CC se traduce en riesgos financieros. En la literatura existe un amplio consenso en que los riesgos asociados con el cambio climático (RACC) se agrupan en dos categorías: riesgos físicos (RF) y riesgos de transición (RT). Los primeros surgen como consecuencia de eventos climáticos y/o cambios en los ecosistemas, mientras que los segundos se vinculan a la evolución hacia una economía baja en carbono.

Los canales de transmisión se entienden como medios a través de los cuales los RACC se materializan en riesgos financieros. Estos pueden dividirse en dos tipos: los microeconómicos y los macroeconómicos (BCBS, 2021). Los primeros se refieren a las contrapartes, las operaciones, la capacidad para fondearse, entre otras variables propias de las instituciones financieras (IF) que se ven afectadas, ya sea por los RF o los RT, y que suponen un impacto en algún indicador financiero. Los segundos incluyen factores macroeconómicos (productividad, crecimiento económico, inflación, etc.) que son impactados por los RACC, afectando el entorno en el cual operan las entidades.

Independientemente del canal de transmisión, los impactos de los RACC en el SF se pueden observar en las medidas de riesgos financieros tradicionales: riesgo de crédito, riesgo de mercado, riesgo de liquidez y riesgo operacional. Estos impactos varían y dependen de factores propios de las IF que incluyen la ubicación geográfica, la exposición sectorial, los niveles de concentración de cartera y depositantes, así como de los modelos y procesos internos. A su vez, su magnitud está sujeta a las acciones de mitigación que las entidades pueden tomar.

Canales de transmisión de los riesgos físicos y riesgos de transición

El canal de transmisión relacionado con el riesgo de crédito consiste en la pérdida de capital de las contrapartes de los establecimientos de crédito (EC) ante un evento climático. La reducción en la riqueza de los deudores incrementa la probabilidad de impago de sus obligaciones financieras, lo que a su vez aumenta la cartera vencida y, por ende, el indicador de calidad por mora (ICM) de los EC. Adicionalmente, el valor del colateral o garantía también puede verse reducido. Asimismo, al considerar los RT, los EC con exposición crediticia alta a firmas cuyas ganancias se vean impactadas por la transición a bajas emisiones de carbono pueden ver afectados sus indicadores de riesgo de crédito debido una mayor probabilidad de incumplimiento.

En cuanto al riesgo de mercado, el canal de transmisión se da través de los precios de los activos financieros. Los RF pueden tener un efecto sobre la volatilidad en los mercados financieros debido a la creciente frecuencia e intensidad de los eventos climáticos futuros.

Por su parte, las políticas dirigidas a reducir el uso del carbono pueden suponer cambios en los costos de endeudamiento y en la valoración de los activos financieros. En términos generales, en un escenario de transición abrupta y poco coordinada, el precio de los activos (*e. g.*: bonos y acciones) puede sufrir una reevaluación debido a los cambios tecnológicos, destrucción creativa y modificaciones de procesos (Martínez y Ramos, 2020).

Con respecto al riesgo de liquidez, este se puede ver afectado por los RACC a través de un incremento en la demanda por liquidez por parte de los depositantes. Ante un evento climático las contrapartes pueden requerir de liquidez para financiar su recuperación o para atender otras necesidades de efectivo, por lo que incrementarían los retiros, lo que afectaría la capacidad de las IF para cumplir con los requerimientos regulatorios de liquidez (riesgo de liquidez). Además, se podría dar un escenario de preferencia por liquidez que dificultara el fondeo de las entidades.

Por último, el riesgo operativo, que se define como el riesgo de pérdida resultante de fallas en los sistemas y procesos internos o por eventos externos (BCBS, 2021), puede afectarse por los RF debido a que estos podrían impactar la infraestructura de transporte, conectividad y telecomunicaciones, reduciendo la capacidad operativa de las IF.

Recuadro 3. Ejercicios sobre riesgos asociados con el cambio climático realizados por bancos centrales

En este recuadro se presenta una revisión de trabajos publicados por algunos bancos centrales en donde se analiza la exposición de los sistemas financieros de cada jurisdicción a los RACC. De estos estudios se puede evidenciar que el progreso en el análisis de la exposición a los RACC varía y las evaluaciones se encuentran principalmente en sus etapas iniciales o se presentan en forma de artículos de investigación. Sin embargo, algunos bancos centrales han avanzado en la identificación de riesgos relevantes y en el mapeo y medición de exposiciones.

Si bien los bancos centrales utilizan los ejercicios de estrés tradicionales para determinar la resiliencia de las posiciones de capital de las instituciones financieras (IF) a las pérdidas financieras o informar la calibración de los requisitos de capital adicionales, en el caso de los RACC estos ejercicios suelen ser exploratorios y se realizan con fines distintos. Los bancos centrales son conscientes de que la incertidumbre en torno a los supuestos cuando se trabajan los RACC puede ser mayor y más difícil de estimar que en las pruebas de estrés convencionales, dada la naturaleza de los riesgos y el horizonte a largo plazo. El análisis de escenarios climáticos y las pruebas de estrés climáticas, tal como lo vienen utilizando actualmente algunos bancos centrales, tiene dos objetivos principales: 1) como una herramienta para complementar la comprensión de los impactos del cambio climático en la gestión de riesgos y la estrategia comercial de sus regulados, en lugar de una prueba de la adecuación del capital de los mismos frente a posibles pérdidas, y 2) como parte de sus políticas prudenciales para sensibilizar a la industria financiera con respecto a estos riesgos e incentivar a las IF a desarrollar modelos de riesgo y gobernanza que incluyan estos aspectos.

A continuación, se presenta un breve resumen de cuatro trabajos realizados por bancos centrales para ejemplificar el tipo de análisis que vienen realizando:

Banco Central de Inglaterra (2018). Analiza los RACC en el sector bancario del Reino Unido a través de una descripción general de los mecanismos de transmisión. Basándose en cuatro casos de estudio, expone cómo estos riesgos podrían materializarse en el sistema, dadas las políticas de transición que se han tomado en los últimos años.

En el primer caso se analiza el deterioro de las posiciones crediticias de los propietarios de vivienda debido al plan diseñado por el gobierno del Reino Unido que impide arrendar viviendas que emitan altos niveles de gases de efecto invernadero. En general, un deudor que es propietario de un inmueble energéticamente eficiente tiene un 18,4 % menos de probabilidad de estar en mora que aquel que posee una propiedad ineficiente energéticamente. Asimismo, considerando la intención del gobierno de que todo el parque automotriz del Reino Unido sea cero emisiones para 2050, en el segundo caso analizan la exposición de los bancos a la industria automotriz; mientras que en el tercero, su exposición a la industria del carbón. Finalmente, en el cuarto caso evalúan la probabilidad de que una determinada zona se inunde en determinado periodo y calculan la exposición de la cartera de vivienda a estas zonas.

Encuentran que el 8,8 % del saldo de préstamos hipotecarios está localizado en una zona de riesgo de inundación; sin embargo, la mayoría de estas propiedades se encuentran dentro de la categoría de bajo riesgo (probabilidad de inundación del 0,1 % al 1 % en cualquier año). Mencionan que a futuro es probable que la proporción de hipotecas ubicadas en una zona de riesgo de inundación y su categoría de riesgo aumenten.

Central de Países Bajos (2019). Analiza los riesgos inherentes al estrés hídrico (escasez de agua potable) y encuentran una exposición significativa de las IF a firmas ubicadas en regiones con niveles altos de estrés hídrico, específicamente el 20 % de la cartera comercial. Estas empresas tienen una mayor probabilidad de que se materialice el riesgo de escasez, lo que podría resultar en un bloqueo en la operación que podría traducirse en incumplimientos de obligaciones.

Central de Francia (2020). Basándose en los escenarios propuestos por la NGFS, el banco central da un orden de magnitud a los impactos de una política climática de transición sobre variables económicas y financieras. Propone dos escenarios en los cuales se consideran un aumento en los precios del carbono y choques de productividad para reflejar procesos de transición hacia una economía baja en carbono. El primer escenario (transición tardía) se caracteriza por un nivel del PIB de un 2 % menor que el de la línea base en 2050. Esta disminución ocurre a partir de 2035, año en el cual se proyecta un incremento del precio del impuesto al carbono. Por su parte, en el segundo escenario (transición repentina) el nivel del PIB de Francia en 2050 es un 5,5 % más bajo que en el escenario de referencia.

Asimismo, en cuanto a la probabilidad de incumplimiento de obligaciones financieras, en el segundo escenario se observa un mayor impacto para todos los sectores de la economía. El incremento en la probabilidad de incumplimiento se observa, sobre todo, para el sector agrícola y el petrolero, y en menor medida para el de electricidad.

Central de México (2020). Realiza un análisis de exposiciones a algunos RACC por sector económico. En cuanto a los RF encuentra que el nivel de exposición del sector bancario a daños causados por sequías está más concentrado en agricultura y ganadería, pero con una

participación menor que el sector turismo, el cual está más expuesto a los ciclones tropicales. Con respecto a los RT, concluye que durante la última década la exposición del portafolio de créditos de los bancos a los sectores con altas y medias emisiones de CO_2 ha aumentado.

Banco Central de Alemania (2021). En su *Reporte de Estabilidad Financiera* de 2021 esta institución presenta una descripción de un marco analítico que utilizó para evaluar los efectos del RT sobre los activos de los bancos, fondos de inversión y aseguradoras, junto con sus respectivos resultados. Para su análisis definen un horizonte de tiempo de diez años (2021-2030), principalmente porque no toma en cuenta los ajustes de balance y portafolio de las IF y a que los vencimientos promedio de los activos analizados son aproximadamente de cinco a diez años. Se basa en tres escenarios de la NGFS: *current policies, below 2 °C* y *net zero 2050* (véase el Cuadro 4 de la sección 1) y utiliza el precio global promedio del carbono en cada uno de ellos como la variable principal que afectará al sector real de la economía y, por ende, también a los activos que los IF tienen de estos agentes. Concluye que un cambio inesperado del escenario base de *current policies* al escenario estresado de *net zero 2050* (riesgo de transición) dejaría a los IF alemanes moderadamente vulnerables, con una gran proporción de las pérdidas derivadas del rubro de acciones. Los bancos resultan ser los menos vulnerables al RT, perdiendo un máximo del 2 % del valor de su portafolio, mientras que los fondos de inversión y las aseguradoras son más vulnerables; pues el valor de sus portafolios exhibe una caída de un 7 % y un 6 %, respectivamente.

Recuadro 4. Choques de oferta y política monetaria

Supóngase que hay un choque de oferta, como el causado por fenómeno de El Niño, que eleva los precios de los alimentos y produce un incremento de la inflación total que la aleja de la meta propuesta por el banco central. En ese escenario, la teoría económica sugiere que si el banco central reacciona con un aumento de tasas de interés, sacrificaría crecimiento económico, ya que: 1) dichos choques de oferta suelen ser de carácter transitorio y, por ende, tienden a corregirse por sí solos en el tiempo; 2) el endurecimiento monetario afecta negativamente la demanda agregada y la producción, para luego afectar los precios, y con ello retornar la inflación a la meta, y 3) dado el rezago que se observa entre la respuesta del banco central y las variables macroeconómicas, es probable que el choque de oferta ya se haya disipado para cuando el cambio en la postura monetaria haya inducido ajustes por el lado de la demanda. Como resultado, la inflación total y el crecimiento posiblemente se ubiquen por debajo de lo que hubiera sido el caso si el banco central hubiera mantenido una postura neutral, y de allí que se produzca una pérdida económica mayor. Adicionalmente, el banco central podría reaccionar cambiando su postura en dirección opuesta para recuperar dicha pérdida, lo que genera fluctuaciones de la economía más largas y costosas que el mismo choque de oferta. Sin embargo, este análisis supone que el choque de oferta inicial no incide en los otros precios de la economía y es aquí donde dicha postura resulta no ser tan trivial. De hecho, en muchas economías emergentes, dada la importancia de la canasta de alimentos dentro del IPC, se observa que dichos choques exacerban los mecanismos de indexación y los efectos de "segunda ronda", los cuales terminan contaminando las expectativas de inflación. De ser así, la intervención del banco central puede estar justificada para disipar la espiral inflacionaria.

Anexos

Anexo 1. Funciones de pérdida climática

Una función de pérdida tiene como fin asociar la pérdida agregada en la actividad económica para el país *i* en un periodo *t*, denotada por , a cambios en su temperatura. En Burke et al. (2015) la especificación de la función de pérdida considerada tiene una forma cuadrática en términos de la temperatura del año anterior, esto es:

(A1.1)

Donde es un polinomio que representa una tendencia determinística, son efectos fijos de tiempo (que ayudan a capturar choques homogéneos específicos de determinados años) y es un término de error. La literatura especializada ha destacado que los resultados obtenidos en las estimaciones de Burke *et al.* (2015) podrían ser sensibles a la forma funcional elegida de dicha función de pérdida. Por ejemplo, Kalkuhl y Wenz (2020) estiman el ajuste econométrico de distintas combinaciones resultantes de una forma funcional mucho más general, en la que el crecimiento económico depende no solo de los niveles de temperatura, sino también de sus variaciones observadas:

(A1.2)

Al comparar estadísticamente el ajuste econométrico de las ecuaciones (A1.1) y (A1.2), Kalkuhl y Wenz (2020) encuentran que el de la ecuación (A1.2) es superior[67]. Además, que los coeficientes , que son los términos comunes entre ambas especificaciones, no son estadísticamente significativos cuando se estima la ecuación (A1.2). Esto lleva a que los efectos de largo plazo en el crecimiento de aumentos temporales en la temperatura sean muy distintos entre ambas especificaciones. Particularmente, los autores muestran que con coeficientes iguales a cero, la especificación en la ecuación (A1.2) implica que los efectos en el crecimiento de aumentos transitorios en la temperatura no perduran en el tiempo; solo persisten, y de manera no lineal, los efectos de aumentos progresivos de temperatura. En cambio, positivos implican que tanto choques transitorios como persistentes de temperatura afectan de manera permanente las tasas de crecimiento. Esta sería la razón por la que en el estudio de Burke *et al.* (2015) se presenten estimaciones mucho más fuertes del impacto de los riesgos físicos asociados con el cambio climático frente a las resultantes de otros estudios (véase Cuadro 1), y que las diferencias sean más marcadas para países como Colombia, que tienen temperaturas promedio anuales más altas (véase Cuadro 6).

Anexo 2. Determinantes de la cuenta corriente: revisión de literatura

Anexo 3. Prueba de raíz unitaria Dickey-Fuller aumentada

Anexo 4.Senda de los determinantes del balance corriente en distintos

Referencias

-- Abril-Salcedo, D .; Melo-Velandia, L. F.; Parra-Amado, D. (2020). "Nonlinear Relationship between the Weather Phenomenon El Nino and Colombian Food Prices", Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, vol. 64, núm. 4, pp. 1059-1086.

-- Abril-Salcedo, D.; Melo-Velandia, L. F.; Parra-Amado, D. (2016). "Impactos de los fenómenos climáticos sobre el precio de los alimentos en Colombia", Ensayos sobre Política Económica, vol. 34,. núm 80, pp. 146-158.

-- Adjemian, S.; Darracq Paries, M. (2008). "Optimal Monetary Policy and the Transmission of Oil-supply Shocks to the Euro Area under Rational Expectations", ECB Working Paper Series, núm. 962, European Central Bank.

-- Adler, G.; Djigbenou, M. L.; Sosa, S. (2016). "Global Financial Shocks and Foreign Asset Repatriation: Do Local Investors Play a Stabilizing Role?", Journal of International Money and Finance,. vol 60, pp. 8-28.

-- Agudelo-Rivera, C.; Granger-Castaño, C.; Sánchez-Jabba, A. (2022). "The Expected Effects of Climate Change Mitigation Policies on Colombia's Current Account" (mimeo), Banco de la República.

-- Ahmed, S.; Zlate, A. (2014). "Capital Flows to Emerging Market Economies: A Brave New World?", Journal of International Money and Finance, vol. 48, pp. 221-248.

-- Alba, J. D.; Chia, W. M.; Su, Z. (2013). "Oil Shocks and Monetary Policy Rules in Emerging Economies", Applied Economics, vol. 45, núm. 35, pp. 4971-4984.

-- Alestra, C.; Cette, G.; Chouard, V.; Lecat, R. (2020). "Long-term Growth Impact of Climate Change and Policies: The Advanced Climate Change Long-term (ACCL) Scenario Building Model", Banque de France Working Paper, núm. 759, Banque de France, disponible en: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3569499

-- Álvarez-Espinosa, A. C.; Ordóñez, D. A.; Nieto, A.; Wills, W.; Romero, G.; Calderón, S. L.; Hernández, G.; Argüello, R.; Delgado-Cadena, R. (2017). "Evaluación económica de los compromisos de Colombia en el marco de COP21", Desarrollo y Sociedad, núm. 79, pp. 15-54.

-- Álvarez-Espinoza, A. C.; Calderón, S. L.; Romero, G.; Ordóñez, A. (2014). "Análisis macroeconómico de los impactos sectoriales del cambio climático en Colombia", Archivos de Economía, núm. 422, Bogotá D. C.: Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Estudios Económicos.

-- Arndt, C.; Chinowsky, P.; Fant, C.; Paltsev, S.; Schlosser, C. A.; Strzepek, K.; Tarp, F.; Thurlow, J. (2019). "Climate Change and Developing Country Growth: the Cases of Malawi, Mozambique, and Zambia", Climate Change, vol. 154, núm. 3-4, pp. 335-349, disponible en: https://doi.org/10.1007/s10584-019-02428-3

-- Arteaga, C.; Luna, R.; Ojeda-Joya, J. (2011). "Normas de cuenta corriente y tasa de cambio real de equilibrio en Colombia", Borradores de Economía, núm. 681, Banco de la República.

-- Arvis, J. F.; Saslavsky, D.; Ojala, L.; Shepherd, B.; Busch, C.; Raj, A.; Naula, T. (2016). "Connecting to Compete 2016: Trade Logistics in the Global Economy. The Connecting to Compete series features the Logistics Performance Index", World Bank Documents, Washington, D. C.: World Bank.

-- Banco Central de Alemania (2021). Climate policy and financial stability, Financial Stability Review - 2021, noviembre.

-- Banco Central de Francia (2020). Climate-Related Scenarios for Financial Stability Assessment: an Application to France, Working Paper Series, núm. 774, julio, disponible en: https://publications.banque-france.fr/sites/default/files/medias/documents/wp774.pdf

-- Banco Central de Inglaterra (2018). Transition in Thinking: the Impact of Climate Change on the UK Banking Sector, septiembre, disponible en: https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/prudential-regulation/report/transition-in-thinking-the-impact-of-climate-change-on-the-uk-banking-sector.pdf?la=en&hash=A0C99529978C94AC8E1C6B4CE1EECD8C05CBF40D

-- Banco Central de México (2020). "Otros riesgos del sistema financiero", Reporte de Estabilidad Financiera, segundo semestre, diciembre.

-- Banco Central de Países Bajos (2019). Values at Risk? Sustainability Risks and Goals in the Dutch Financial Sector, disponible en: https://www.dnb.nl/media/hm1msmzo/values-at-risk-sustainability-risks-and-goals-in-the-dutch.pdf

-- Banco de la República (2000). Informe al Congreso, julio, disponible en: https://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/7032

-- Banco Mundial (2021). "Not-So-Magical Realism: A Climate Stress Test of the Colombian Banking Sector", Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Banco Mundial, disponible en: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/36586/Not-So-Magical-Realism-A-Climate-Stress-Test-of-the-Colombian-Banking-System.pdf?sequence=1&isAllowed=y

-- Backus, D.; Cooley, T.; Henriksen, E. (2014). "Demography and Low-Frequency Capital Flows", Journal of International Economics, vol. 92, pp. 94-102.

-- Bárcena, A.; Samaniego, J.; Peres, W.; Alatorre, J. E. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la

acción?, Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 386 p.

-- Bauer, N.; Mouratiadou, I.; Luderer, G.; Baumstark, L.; Brecha, R. J.; Edenhofer, O.; Kriegler, E. (2016). "Global Fossil Energy Markets and Climate Change Mitigation - an Analysis with Remind", Climate Change, vol. 136, núm. 1, pp. 69-82.

-- Basel Committee on Banking Supervision, BCBS (2021). Climate-Related Financial Risks - Measurement Methodologies, Bank for International Settlements, abril, disponible en: https://www.bis.org/bcbs/publ/d518.pdf

-- Batten, S. (2018). "Climate Change and the Macro-Economy: a Critical Review", Staff Working Paper, núm. 706, Bank of England.

-- Batten, S.; Rhiannon S.; Misa, T. (2016). "Let's Talk about the Weather: The Impact of Climate Change on Central Banks", Staff Working Paper, núm. 603, Bank of England.

-- Batten, S.; Rhiannon S.; Misa, T. (2020). "Climate Change: Macroeconomic Impact and Implications for Monetary Policy", en: Walker T.; Gramlich D.; Bitar M.; Fardnia P. (eds.), Ecological, Societal, and Technological Risks and the Financial Sector, Cham: Palgrave Macmillan, pp. 13-38, disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-38858-4_2

-- Bejarano-Salcedo, V.; Caicedo-García, E.; Lizarazo-Bonilla, N. F.; Cárdenas-Cárdenas, J. A.; Julio-Román, J. M. (2020a). "Hechos estilizados de la relación entre El Niño, La Niña y la inflación en Colombia", Borradores de Economía, núm. 1105, Banco de la República.

-- Bejarano-Salcedo, V.; Cárdenas-Cárdenas, J. A.; Julio-Román, J. M.; Caicedo-García, E. (2020b). "Entendiendo, modelando y pronosticando el efecto de El Niño sobre los precios de los alimentos: el caso colombiano", Borradores de Economía, núm. 1102, Banco de la Republica.

-- Bems, R.; Catão, L.; Kóczán, Z.; Lian, W.; Poplawski-Ribeiro, M. (2016). "Understanding the Slowdown in Capital Flows to Emerging Markets", en IMF (ed.). World Economic Outlook: Too Slow for Too Long, Washington: Fondo Monetario Internacional

-- Benveniste, H.; Oppenheimer, M.; Fleurbaey, M. (2020). "Effect of Border Policy on Exposure and Vulnerability to Climate Change", Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 117, núm. 43, pp. 26692-26702, disponible en: https://doi.org/10.1073/pnas.2007597117

-- Bernal, J.; Ocampo, J. A. (2021). "Climate Change: Policies to Manage its Macroeconomic and Financial Effects", Background Paper, núm. 2-2020, UNDP Human Development Report.

-- Bhandari, P.; Frankel, J. (2017). "Nominal GDP Targeting for Developing Countries", Research in Economics, vol. 71, núm. 3, pp. 491-506.

-- BID; Cepal; DNP (2014). "Impactos económicos del cambio climático en Colombia - síntesis", en: Calderón, S.; Romero, G.; Ordóñez, A.; Álvarez, A.; Ludeña, C.; Sánchez, L.; De Miguel, C.; Martínez, K.; Pereira, M. (eds.), Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía, núm. 221, Washington: Naciones Unidas.

-- Bilbiie, F. O. (2020). "Unemployment Fluctuations and Nominal GDP Targeting", Economics Letters, vol. 188, núm 108970, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.econlet.2020.108970

-- Boehringer, C.; Fischer, C; Rosendahl, K. E. (2010). "The Global Effects of Subglobal Climate Policies", The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy, vol. 10, núm. 2.

-- Bolton, P.; Despres, M.; Pereira Da Silva, L.; Samama, F.; Svartzman, R. (2020). "The Green Swan: Central banking and financial stability in the age of climate change", BIS y Banque de France, enero, disponible en: https://www.bis.org/publ/othp31.pdf

-- Brainard, L. (2019). "Why Climate Change Matters for Monetary Policy and Financial Stability", documento presentado en el Federal Reserve Bank of San Francisco, The Economics of Climate Change, noviembre, disponible en: https://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/brainard20191108a.htm

-- Burke, K. D.; Williams, J. W.; Chandler, M. A.; Haywood, A. M.; Lunt, D.; Otto-Bliesner, B. L. (2018). "Pliocene and Eocene Provide best Analogs for Near-Future Climates", Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 115, núm. 52, pp. 13288-13293, disponible en: https://doi.org/10.1073/pnas.1809600115

-- Burke, M.; Hsiang, S. M.; Miguel, E. (2015). "Global Non-linear Effect of Temperature on Economic Production", Nature, vol. 527, núm. 7577, pp. 235-239, disponible en: https://doi.org/10.1038/nature15725

-- Burzyński, M.; Deuster, C.; Docquier, F.; De Melo, J. (2019). "Climate Change, Inequality, and Human Migration", CEPR Discussion Paper, núm. DP13997, Center for Economic and Policy research.

-- Calvin, K.; Patel, P.; Clarke, L.; Asrar, G.; Bond-Lamberty, B.; Cui, R. Y.; Vittorio, A. D.; Dorheim, K.; Edmonds, J.; Hartin, C.; Hejazi, M.; Horowitz, R.; Iyer, G.; Kyle, P.; Kim, S.; Link, R.; McJeon, H.; Smith, S. J.; Snyder, A.; Waldhoff, S.; Wise, M. (2019). "GCAM v5.1: Representing the Linkages between Energy, Water, Land, Climate and Economic Systems", Geoscientific Model Development,. vol 12 núm. 2, pp. 677-698, disponible en: https://doi.org/10.5194/gmd-12-677-2019

-- Cantelmo, A. (2020). "Rare Disasters, the Natural Interest Rate and Monetary Policy", Working Papers, núm. 1309, Bank of Italy.

-- Carbone, J.; Rivers, N. (2017). "The Impacts of Unilateral Climate Policy on Competitiveness: Evidence from Computable General Equilibrium Models", Review of Environmental Economics and Policy, vol. 11, núm. 1, pp. 24-42.

-- Carney, Mark (2015), "Breaking the Tragedy of the Horizon: Climate Change and Financial Stability", documento presentado en Lloyd's, Londres: Bank of England, septiembre.

-- Cashin, P.; Mohaddes, K.; Raissi, M. (2017). "Fair Weather or Foul? The Macroeconomic Effects of El Niño", Journal of International Economics, vol. 106, pp. 37-54.

-- Cevik, S.; Jalles, J. T. (2020). "This Changes Everything: Climate Shocks and Sovereign

Bonds", IMF Working Paper, núm. 20-79, Fondo Monetario Internacional.

-- Cheung, C.; Furceri, D.; Rusticelli, E. (2013). "Structural and Cyclical Factors behind Current Account Balances", Review of International Economics, vol. 21, núm. 15, pp. 923-944.

-- Chinn, M. D.; Prasad, E. S. (2003). "Medium-term Determinants of Current Accounts in Industrial and Developing Countries: An Empirical Exploration", Journal of International Economics, vol. 59, núm. 1, pp. 47-76.

-- Ciarli, T.; Savona, M. (2019). "Modelling the Evolution of Economic Structure and Climate Change: A Review", Ecological Economics, vol. 158(C), pp. 51-64.

-- Čihák, M. (2014). "Stress Tester: A Toolkit for Bank-by-Bank Analysis with Accounting Data", en: Li Lian Ong (ed.), A Guide to IMF Stress Testing, vol. 17, núm. 44, Washington, D. C.: Fondo Monetario Internacional.

-- Clarida, R.; Galí, J.; Gertler, M. (1999), "The Science of Monetary Policy: A New Keynesian Perspective", Journal of Economic Literature, American Economic Association, vol. 37, núm. 4, pp. 1661-1707.

-- Comisión de Alto Nivel sobre los Precios del Carbono (2017). Informe de la Comisión de Alto Nivel sobre los Precios del Carbono, Washington D.C.: Banco Mundial.

-- Comité de Gestión Financiera del Sisclima (2018). Análisis del gasto público y privado e institucionalidad para el cambio climático - Caso de Colombia, disponible en: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Finanzas%20del%20Clima/Documento%20CPEIR.pdf

-- Costinot, A.; Donaldson, D.; Smith, C. (2016). "Evolving Comparative Advantage and the Impact of Climate Change in Agricultural Markets: Evidence from 1.7 Million Fields around the World", Journal of Political Economy, vol. 124, núm. 1, pp. 205-248, disponible en: https://doi.org/10.1086/684719

-- Das, D. K. (2016). "Determinants of Current Account Imbalance in the Global Economy: a Dynamic Panel Analysis", Economic Structures, vol. 5, núm. 8, disponible en: https://doi.org/10.1186/s40008-016-0039-6

-- Debelle, G; Faruqee, H. (1996). "What Determines the Current Account? A Cross-Sectional and Panel Approach", IMF Working Paper, núm. 058, Fondo Monetario Internacional.

-- Delgado, R.; Huáscar, E.; Lopes, A. (2021). "Política fiscal y cambio climático: experiencias recientes de los ministerios de finanzas de América Latina y el Caribe", Monografía del BID, núm. 941.

-- Dell, M.; Jones, B. F.; Olken, B. A. (2014). "What do We Learn from the Weather? the New Climate-Economy Literature", Journal of Economic Literature, vol. 52, núm. 3, pp. 740-798, disponible en: http://dx.doi.org/10.1257/jel.52.3.740

-- Dell, M., Jones, B. F.; Olken, B. A. (2012). "Temperature Shocks and Economic Growth:

Evidence from the Last Half Century",American Economic Journal: Macroeconomics, vol. 4, núm. 3, pp. 66-95.

-- Dennis, A.; Shepherd, B. (2011). "Trade Facilitation and Export Diversification", World Economy, vol. 34, núm. 1, pp. 101-122.

-- Desmet, K.; Kopp, R. E.; Kulp, S. A.; Nagy, D. K.; Oppenheimer, M.; Rossi-Hansberg, E.; Strauss, B. H. (2021). "Evaluating the Economic Cost of Coastal Flooding", American Economic Journal: Macroeconomics, vol. 13, núm. 2, pp. 444-86, disponible en: https://doi.org/10.3386/w24918

-- DG Treasury; Banque de France; ACPR (2017). Assessing Climate Change- Related Risks in the Banking Sector, directorate General of the Treasury, disponible en: https://www.tresor.economie.gouv.fr/Ressources/File/433465

-- Dietrich, A.; Müller, G.; Schoenle, R. (2021). "The Expectations Channel of Climate Change: Implications for Monetary Policy", CEPR Discussion Papers, núm. 15866, Centre for Economic Policy Research, marzo.

-- Dikau, S.; Robins, N.; Volz, U. (2020). "A Toolbox for Sustainable Crisis Response Measures for Central Banks and Supervisors, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment", INSPIRE Briefing Paper, CSF- SOAS University of London and LSE, junio.

-- Dikau, S.; Volz, U. (2020). "Central Bank Mandates, Sustainability Objectives and the Promotion of Green Finance", SOAS Working Paper, núm. 232, University of London, Department of Economics, enero.

-- Economides, G.; Xepapadeas, A. (2018). "Monetary Policy under Climate Change", CESifo Working Paper, núm. 7021, Munich: CESifo.

-- Ens, E.; Johnston, C. (2020). "Scenario Analysis and the Economic and Financial Risks from Climate Change", Bank of Canada Staff Discussion Paper, vol. 3, Bank of Canada, disponible en: http://hdl.handle.net/10419/227814

-- Erduman, Y.; Kaya, N. (2016). "Time Varying Determinants of Bond Flows to Emerging Markets", Central Bank Review, vol. 16, núm. 2, pp. 65-72.

-- Fackler, J. S.; McMillin, W. D. (2020). "Nominal GDP versus Price Level Targeting: An Empirical Evaluation", Journal of Economics and Business, vol. 109, núm. 105890.

-- Francis, N.; Restrepo-Ángel, S. (2018). "Sectoral and Aggregate Response to Oil Price Shocks in the Colombian Economy: SVAR and Local Projections Approach", Borradores de Economía, núm. 1055, Banco de la República.

-- Fratzscher, M.; Gross-Stephen, C.; Rieth, M. (2020). "Inflation targeting as a shock absorber", Journal of International Economics, vol. 123, núm. 103308, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2020.103308

-- FSB - Financial Stability Board (2020). The implications of climate change for financial

stability, noviembre, disponible en: https://www.fsb.org/wp-content/uploads/P231120.pdf

-- Gamba, S.; Jaulín, O.; Lizarazo, A.; Mendoza, J. C.; Morales, P.; Osorio, D.; Yanquen, E. (2017). "SYSMO I: a systemic stress model for the Colombian financial system", Borradores de Economía, núm. 1028, Banco de la República, disponible en: https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/borradores_de_economia_1028.pdf

-- Garavito, A.; Montes, E; Toro, J.; Agudelo, C.; Alfonso, V.; Carmona, Á.; Collazos, M.; González, C.; Hernández, M.; López, D.; Martínez, A.; Rodríguez, N.; Salamanca, S.; Santos, J.; Zárate, H. (2020). "Ingresos externos corrientes de Colombia: desempeño exportador, avances y retos", Ensayos sobre Política Económica, núm. 95, Banco de la República.

-- García, J.; Montes, E.; Giraldo, I. (2019). Comercio exterior en Colombia: política, instituciones, costos y resultados, primera edición, Bogotá: Banco de la República.

-- Garín, J.; Lester, R.; Sims, E. (2016). "On the Desirability of Nominal GDP Targeting", Journal of Economic Dynamics and Control, vol. 69, pp. 21-44.

-- Gaulin, N.; Le Billon, P. (2020). "Climate Change and Fossil Fuel Production Cuts: Assessing Global Supply-Side Constraints and Policy Implications", Climate Policy, vol. 20, núm 8, pp. 888-901.

-- Gómez J.; Uribe, J. D.; Vargas, H. (2002). "The Implementation of Inflation Targeting in Colombia", Borradores de Economía, núm. 202, Banco de la República.

-- Gouel, C.; Laborde, D. (2018). "The Crucial Role of International Trade in Adaptation to Climate Change", NBER Working Paper Series, núm. w25221, Cambridge: National Bureau of Economic Research, disponible en: https://doi.org/10.3386/w25221

-- Grosse-Steffen, C. (2021). "Is Inflation Targeting the Right Monetary Policy Strategy, Facing Climate Risks?", documento presentado en: Green Finance Conference, Banque de France, enero.

-- Heal, G.; Park, J. (2015). "Goldilocks Economies? Temperature Stress and the Direct Impacts of Climate Change", NBER Working Paper Series, núm. WP 21119, National Bureau of Economic Research.

-- Hernández de Cos, P. (2021). "What Will Be the Impact of Climate Transition on Monetary Policy", documento presentado en: Central Bank Summer Meetings, Banco de España, junio.

-- Hsiang, S.; Kopp, R.; Jina, A.; Rising, J.; Delgado, M.; Mohan, S.; Rasmussen, D.; Muir-Wood, R.; Wilson, P.; Oppenheimer, M.; Larsen, K.; Houser, T. (2017). "Estimating Economic Damage from Climate Change in the United States", Science, vol. 356, núm. 6345, pp. 1362-1369, disponible en: https://doi.org/10.1126/science.aal4369

-- Huppmann, D.; Gidden, M.; Fricko, O.; Kolp, P.; Orthofer, C.; Pimmer, M.; Kushin, N.; Vinca, A.; Mastrucci, A.; Riahi, K.; Krey, V. (2019). "The MESSAGEix Integrated Assessment Model and the ix modeling platform (ixmp): An Open Framework for Integrated and Cross-Cutting

Analysis of Energy, Climate, the Environment, and Sustainable Development", Environmental Modelling & Software, vol. 112, pp. 143-156, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.11.012

-- Huxham, M.; Anwar, M.; Nelson, D. (2019). "Understanding the Impact of a Low Carbon Transition on South Africa", Energy Finance Report, Climate Policy Initiative.

-- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA (2017). Tercera comunicación nacional de Colombia a La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023731/TCNCC_COLOMBIA_CMNUCC_2017_2.pdf

-- IEA (2019). World Energy Outlook 2019, International Energy Agency.

-- International Monetary Fund (2020). "Mitigating Climate Change", en World Economic Outlook: A long and difficult ascent, octubre, capítulo 3, Washington D.C.: International Monetary Fund.

-- International Monetary Fund (2019). "How to Mitigate Climate Change", en Fiscal Monitor, Washington D. C.: International Monetary Fund.

-- International Monetary Fund (2017). "The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: How Can Low-Income Countries Cope?", en World Economic Outlook, octubre, capítulo 3, Washington D. C.: International Monetary Fund

-- Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). "Climate Change 2021: The Physical Science Basis", en: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S. L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M. I.; Huang, M.; Leitzell, K.; Lonnoy, E.; Matthews, J. B. R; Maycock, T. K; Waterfield, T.; Yelekçi, O.; Yu, R.; Zhou, B. (eds.), Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, Cambridge University Press, disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Citation.pdf

-- Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). "Summary for Policymakers", en: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P. H.; Pörtner, O.; Roberts, D.; Skea, J.; Shukla, P. R.; Pirani, A.; Moufouma-Okia, W.; Péan, C.; Pidcock, R.; Connors, S.; Matthews, J. B. R.; Chen, Y.; Zhou, X.; Gomis, M. I.; Lonnoy, E.; Maycock, T.; Tignor, M.; Waterfield, T. (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, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, Geneva: World Meteorological Organization, p. 32, disponible en: https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/

-- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). "Global and Sectoral Aspects", en IPCC (ed.), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, parte A, primera edición, Nueva York: Cambridge University Press.

-- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). "Climate Change 2014: Synthesis

Report", Geneva: IPCC, p. 151, disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

-- Kahn, M. E.; Mohaddes, K.; Ng, R. N.; Pesaran, M. H.; Raissi, M.; Yang, J. C. (2019). "Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis", NBER Working Paper Series, núm. w26167, Cambridge: National Bureau of Economic Research, disponible en: https://doi.org/10.3386/w26167

-- Kalkuhl, M.; Wenz, L. (2020). "The Impact of Climate Conditions on Economic Production. Evidence from a Global Panel of Regions", Journal of Environmental Economics and Management, vol. 103, núm. 102360, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102360

-- Kjellstrom, T.; Maître, N.; Saget, C.; Otto, M.; Karimova, T. (2019). Working on a Warmer Planet: The Impact of Heat Stress on Labour Productivity and Decent Work, primera edición, Geneva: International Labour Office (ILO), disponible en: https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_711919/lang--en/index.htm

-- Kling, G.; Lo, Y.; Murinde, V.; Volz, U. (2018). "Climate Vulnerability and the Cost of Debt", SOAS Centre for Global Finance Working Paper Series, núm. 12/2018, University of London.

-- Kober, T.; Summerton, P.; Pollitt, H.; Chewpreecha, U.; Ren, X.; Wills, W.; Octaviano, C.; McFarland, J.; Beach, R.; Cai, Y.; Calderon, S.; Fisher-Vanden, K.; Rodríguez, A. M. L. (2016). "Macroeconomic Impacts of Climate Change Mitigation in Latin America: A Cross-Model Comparison", Energy Economics, vol. 56, pp. 625-636, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.002

-- Kompas, T.; Pham, V. H.; Che, T. N. (2018). "The Effects of Climate Change on GDP by Country and the Global Economic Gains from Complying with the Paris Climate Accord", Earth's Future, vol. 6, núm. 8, pp. 1153-1173, disponible en: https://doi.org/10.1029/2018EF000922

-- Krogstrup, S.; W. Oman (2019), "Macroeconomic and Financial Policies for Climate Change Mitigation: A Review of the Literature", Working Paper, núm. WP/19/185, International Monetary Fund.

-- Lagarde, C. (2021). "Climate Change and Central Banking", documento presentado en: ILF Conference on Green Banking and Green Central Bank, Frankfurt am Main, enero, disponible en: https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2021/html/ecb.sp210125~f87e826ca5.en.html

-- Lane, P. R.; Milesi-Ferretti, G. M. (2002). "Long-Term Capital Movements", en Bernanke, B. S.; Rogoff, K. (eds.), NBER Macroeconomics Annual 2001, vol. 16, Massachusetts: MIT Press.

-- Lee, J.; Milesi-Ferretti, G. M.; Ostry, J.; Prati, A.; Ricci, L. A. (2008). "Exchange Rate Assessments: CGER Methodologies", Occasional Paper, núm. 261, International Monetary Fund.

-- Leimbach, M.; Bauer, N.; Baumstark, L.; Edenhofer, O. (2010). "Mitigation Costs in a Globalized World: Climate Policy Analysis with REMIND-R", Environmental Modeling &

Assessment, vol. 15, núm. 5, pp. 155-173, disponible en: https://doi.org/10.1007/s10666-009-9204-8

-- Liu, W.; McKibbin, W. J.; Morris, A. C.; Wilcoxen, P. J. (2020). "Global Economic and Environmental Outcomes of the Paris Agreement", Energy Economics, vol. 90, núm. 104838, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104838

-- López, E.; Rodríguez, N.; Vargas, H. (2017). "La estrategia de inflación objetivo en Colombia", en Uribe, J. D. (ed.), Historia del Banco de la República, 1923-2015, pp. 465-539, Bogotá: Banco de la República.

-- López, E.; Montes, E.; Garavito, A.; Collazos, M. (2013). "La economía petrolera en Colombia (parte II). Relaciones intersectoriales e importancia en la economía nacional", Borradores de Economía, núm. 748, Banco de la República.

-- Malucci, E. (2020). "Natural Disasters, Climate Change, and Sovereign Risk", International Finance Discussion Papers, núm. 1291, Board of Governors of the Federal Reserve System.

-- Makarov, I.; Chen, H.; Paltsev, S. (2020). "Impacts of Climate Change Policies Worldwide on the Russian Economy", Climate policy, vol. 20, núm. 10, pp. 1242-1256.

-- Martínez, C. I. G.; Ramos, S. N. (2020). "Cambio climático y sistema financiero: una necesaria mirada al futuro", Papeles de Economía Española, núm. 163, pp. 130-204.

-- Mattoo, A.; Subramanian, A.; Van der Mensbrugghe, D.; He, J. (2012). "Can Global De-Carbonization Inhibit Developing Country Industrialization?", The World Bank Economic Review, vol. 26, núm. 2, pp. 296-319.

-- McGettigan, M. D.; Moriyama, M. K.; Ntsama, J. F. N. N.; Painchaud, M. F.; Qu, M. H.; Steinberg, M. C. (2013). "Monetary Policy in Emerging Markets: Taming the Cycle", IMF Working Papers, mayo, International Monetary Fund, disponible en: https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Monetary-Policy-in-Emerging-Markets-Taming-the-Cycle-40504 .

-- McGlade, C.; Ekins, P. (2015). "The Geographical Distribution of Fossil Fuels Unused when Limiting Global Warming to 2 °C", Nature, vol. 517, núm. 7533, pp. 187-190.

-- McKibbin, W. J.; Morris, A. C.; Wilcoxen, P. J.; Panton, A. J. (2017). "Climate Change and Monetary Policy: Dealing with Disruption", Climate and Energy Economics Discussion Paper, Brookings Institute, noviembre, disponible en: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/12/es_20171201_climatechangeandmonetarypolicy.pdf

-- Melo, L. A.; Ramos, J. E.; Parrado, L. M.; Zarate, H. (2016). "Bonanzas y crisis de la actividad petrolera y su efecto sobre la economía colombiana", Borradores de Economía, núm. 961, Banco de la República.

-- Melo-Velandia, L. F; Orozco-Vanegas, C.; Parra-Amado, D. (2021). "Extreme Weather Events and High Colombian Food Prices: A non-Stationary Extreme Value Approach" (mimeo), Banco

de la República.

-- Mirza, M. M. Q. (2003). "Climate Change and Extreme Weather Events: Can Developing Countries Adapt?", Climate policy, vol. 3, núm. 3, pp. 233-248.

-- Moral-Benito, E.; Viani, F. (2017). "An Anatomy of the Spanish Current Account Adjustment: the Role of Permanent and Transitory Factors", Working Papers, núm. 1737, Banco de España.

-- Mukherjee, K.; Ouattara, B. (2021). "Climate and Monetary Policy: do Temperature Shocks Lead to Inflationary Pressures?", Climatic Change, vol. 167, núm. 32, disponible en: https://doi.org/10.1007/s10584-021-03149-2

-- Nazlioglu, S.; Gormus, A.; Soytas, U. (2019). " Prices and Monetary Policy in Emerging Markets: Structural Shifts in Causal Linkages", Emerging Markets Finance and Trade, vol. 55, núm. 1, pp. 105-117.

-- Network for Greening the Financial Sector (2021a). Climate scenarios for central banks and supervisors [en línea], junio, disponible en: https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2021/08/27/ngfs_climate_scenarios_phase2_june2021.pdf

-- Network for Greening the Financial Sector (2021b). NGFS Climate Scenarios Database: Technical Documentation V2.2 [en línea], junio, disponible en: https://www.ngfs.net/sites/default/files/ngfs_climate_scenarios_technical_documentation_phase2_june2021.pdf

-- Network for Greening the Financial Sector (2021c). Adapting Central Bank Operations to a Hotter World - Reviewing Some Options [en línea], NGFS Secretariat / Banque de France, documento consultado en abril 2021, disponible en: https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2021/06/17/ngfs_monetary_policy_operations_final.pdf

-- Network for Greening the Financial Sector (2020a). The Macroeconomic and Financial Stability Impacts of Climate Change - Research Priorities [en línea], NGFS Secretariat / Banque de France, junio, disponible en: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_research_priorities_final.pdf

-- Network for Greening the Financial Sector (2020b). Guide to Climate Scenarios Analysis for Central Banks and Supervisors [en línea], junio, disponible en: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_guide_scenario_analysis_final.pdf

-- Network for Greening the Financial Sector (2020c). NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors [en línea], junio, disponible en: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/820184_ngfs_scenarios_final_version_v6.pdf

-- Network for Greening the Financial Sector (2020d). Climate Change and Monetary Policy: Initial Takeaways, [en línea], junio, disponible en: https://www.ngfs.net/en/climate-change-and-monetary-policy-initial-takeaways

-- Network for Greening the Financial Sector (2019a). A Call for Action: Climate Change as a Source of Financial Risk [en línea], abril, First Comprehensive Report, disponible en: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_first_comprehensive_report_-_17042019_0.pdf

-- Network for Greening the Financial Sector (2019b). Macroeconomic and Financial Stability Implications of Climate Change: Technical Supplement, [en línea], NGFS Secretariat / Banque de France, julio, disponible en: http://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs-report-technical-supplement_final_v2.pdf

-- Nordhaus, W. D.; Moffat, A. (2017). "A Survey of Global Impacts of Climate Change: Replication, Survey Methods, and a Statistical Analysis", NBER Working Paper Series, núm. 23646, Cambridge: National Bureau of Economic Research, disponible en: https://doi.org/10.3386/w23646

-- Ocampo, J. A.; Ojeda-Joya, J. (2021). "Supply Shocks and Monetary Policy Responses in Emerging Economies", documento presentado en: XXVI Meeting of the Central Bank Researchers Network, CEMLA.

-- Oei, P.; Mendelevitch, R. (2019). "Prospects for Steam Coal Exporters in the Era of Climate Policies: a Case Study of Colombia", Climate Policy, vol. 19, núm. 1, pp. 73-91.

-- Ojeda-Joya, J. (2022). "A Counterfactual Analysis of the Effects of Climate Change on the Natural Interest Rate", Working Paper, núm. HEIDWP10-2022, Ginebra: Graduate Institute of International and Development Studies, International Economics Department.

-- Ojeda-Joya, J. (2019). "Episodios de deterioro de la cuenta corriente en Colombia: factores externos, cíclicos y estructurales", Borradores de Economía, núm. 1061, Banco de la República.

-- Ojeda-Joya, J.; Torres, J. (2012). "Posición externa de largo plazo y tipo de cambio real de equilibrio en Colombia", Borradores de Economía, núm. 745, Banco de la República.

-- Oliveira, J.; Pereda, P. (2020). "The Impact of Climate Change on Internal Migration in Brazil", Journal of Environmental Economics and Management, vol. 103, núm. 102340, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102340

-- Panton, A. (2020). "Climate Hysteresis and Monetary Policy", CAMA Working Papers, núm. 76/2020, Centre for Applied Macroeconomic Analysis, Crawford School of Public Policy, The Australian National University.

-- Park, J. Y. (1992). "Canonical Cointegrating Regressions", Econometrica: Journal of the Econometric Society, vol. 60, núm. 1, pp. 119-143.

-- Phillips, P. C. B.; Hansen, B.E. (1990). "Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes", Review of Economic Studies, vol. 57, núm. 1, pp. 99-125.

-- Phillips, S.; Catão, L.; Ricci, L.; Bems, R.; Das, M.; Di Giovanni, J.; Unsal, D. F.; Castillo, M. Lee, J.; Rodriguez, J, Vargas, M. (2013). "The External Balance Assessment (EBA) Methodology", IMF Working Papers, núm. 13/272, International Monetary Fund.

-- Ramírez, M.; Collazos, M.; García, J.; Hahn, L.; Melo, L.; Montenegro, A.; Montes, E.; Lancheros, P.; Toro, J.; Zárate, H. (2021). "La inversión en infraestructura de transporte y la economía colombiana", Ensayos sobre Política Económica (ESPE), núm. 99, Banco de la República.

-- 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.; Crespo, J.; KC, S.; Leimbach, M.; Jiang, L.; Kram, T.; Rao, S.; Emmerling, J.; Ebi, K.; Hasegawa, T.; Havlík, P.; Humpenöder, F.; Silva, L.; Smith, S.; Stehfest, E.; Bosetti, V.; Eom, J.; Gernaat, D.; Masui, T.; Rogelj, J.; Strefler, J.; Drouet, L.; Krey, V.; Luderer, G.; Harmsen, M.; Takahashi, K.; Baumstark, L.; Doelman, J.; Kainuma, M.; Klimont, Z.; Marangoni, G.; Lotze-Campen, H.; Obersteiner, M.; Tabeau, A.; Tavoni, M. (2017). "The Shared Socioeconomic Pathways and their Energy, Land Use, and Greenhouse Gas Emissions Implications: An overview", Global Environmental Change, núm. 42, pp. 153-168, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009

-- Robalino, J.; Jimenez, J.; Chacón, A. (2015). "The Effect of Hydro-Meteorological Emergencies on Internal Migration", World Development, núm. 67, pp. 438-448, disponible en: https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.10.031

-- Romero, G.; Álvarez, A.; Calderón, S.; Ordóñez, D. (2015). "Impactos distributivos de un impuesto verde en Colombia", Archivos de Economía, núm. 439, Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Estudios Económicos, noviembre.

-- Romero, J. V.; Saldarriaga-Naranjo, S. (2021). "Weather Shocks and Inflation Expectations in semi-structural models" (mimeo).

-- Sadiku, L.; Fetahi-Vehapi, M.; Sadiku, M.; Berisha, N. (2015). "The Persistence and Determinants of Current Account Deficit of FYROM: An Empirical Analysis", Procedia Economics and Finance, vol. 33, pp. 90-102.

-- Saikkonen, P. (1992). "Estimation and Testing of Cointegrated Systems by an Autoregressive Approximation", Econometric Theory, vol. 8, núm. 1, pp. 1-27.

-- Sala, E. (2020). Now or never for saving our natural world. Project Syndicate, March 9, disponible en: https://www.project-syndicate.org/commentary/global-deal-nature-biodiversity-by-enric-sala-2020-03.

-- Sarno, L.; Tsiakas, I.; Ulloa, B. (2016). "What Drives International Portfolio Flows?", Journal of International Money and Finance, vol. 60, pp. 53-72.

-- Schnabel, I. (2020). "When Markets Fail - the Need for Collective Action in Tackling Climate Change", documento presentado en: European Sustainable Finance Summit, Frankfurt am Main, septiembre.

-- Schnabel, I. (2021), "From Market Neutrality to Market Efficiency", documento presentado en: ECB DG-Research Symposium: Climate Change, Financial Markets and Green Growth, Frankfurt am Main, junio.

-- Schweikert, A.; Chinowky, P.; Espinet, X.; Michael, T. (2014). "Climate Change and Infrastructure Impacts: Comparing the Impact on Roads in Ten Countries Through 2100", Procedia Engineering, vol. 78, pp. 306-316.

-- Sever, C.; Pérez-Archila, M. (2021). "Climate-Related Stress Testing: Transition Risk in Colombia", IMF Working Paper, núm. 2021/261, International Monetary Fund.

-- Sorin, B.; Pilasluck, C. (2015). "The Impact of European Union's Newly-Adopted Environmental Standards on its Trading Partners", Studies in Business and Economic, vol. 10, núm. 3, pp. 5-15.

-- Steiner, A.; Aguilar, G.; Bomba, K.; Bonilla, J. P.; Campbell, A.; Echeverria, R.; Gandhi, R.; Hedegaard, C.; Holdorf, D.; Ishii, N.; Quinn, K.; Ruter, B.; Sunga, I.; Sukhdev, P.; Verghese, S.; Voegele, J.; Winters, P.; Campbell, B.; Dinesh, D.; Huyer, S.; Jarvis, A.; Loboguerrero-Rodriguez, A. M.; Millan, A.; Thornton, P.; Wollenberg, L.; Zebiak, S. (2020). "Actions to Transform Food Systems under Climate Change", Wageningen: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).

-- Stern, N. (2013). "The Structure of Economic Modeling of the Potential Impacts of Climate Change: Grafting Gross Underestimation of Risk onto Already Narrow Science Models", Journal of Economic Literature, vol. 51, núm. 3, pp. 838-59.

-- Stern, N. (2007). The Economics of Climate Change: The Stern Review, Cambridge: Cambridge University Press.

-- Svensson, L. E. O. (2010). "Inflation Targeting", en Friedman, B.; Woodford, M. (eds.), Handbook of Monetary Economics, vol. 3a, pp. 1237-1295.

-- Szewczyk, W.; Feyen, L.; Ciscar, J. C.; Matei, A.; Mulholland, E.; Soria, M. (2020). "Economic Analysis of Selected Climate Impacts", EUR 30199 EN, núm. JRC120452, Luxembourg: Office of the European Union, disponible en: https://doi:10.2760/845605

-- Thornton, J.; Vasilakis, C. (2016). "Does Inflation Targeting Reduce Sovereign Risk? Further evidence", Fin ance Research Letters, núm. 18, pp. 237-241.

-- Tol, R. (2018). "The Economic Impacts of Climate Change", Review of Environmental Economics and Policy, vol. 12, núm. 1, disponible en: https://doi.org/10.1093/reep/rex027

-- Tol, R. S. (2009). "The Economic Effects of Climate Change", Journal of Economic Perspectives, vol. 23, núm. 2, pp. 29-51, disponible en: https://doi.org/10.1257/jep.23.2.29

-- Yoi, R. S. (2014). "Correction and Update: The Economic Effects of Climate Change", Journal of Economic Perspectives, vol 28, núm. 2, pp. 221-226, disponible en: https://doi.org/10.1257/jep.28.2.221

-- Toro, J.; Garavito, A.; López, D. C.; Montes, E. (2015). "El choque petrolero y sus implicaciones en la economía colombiana", Borradores de Economía, núm. 906, Banco de la República.

-- United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). Adoption of the Paris Agreement [en línea], UNFCCC/CP/2015/L.9/Rev.1., disponible en: https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf

-- Vegh C.; Morano, L.; Friedheim, D.; Rojas, D. (2017). "Between a Rock and a Hard Place: The Monetary Policy Dilemma in Latin America and then Caribbean", LAC Semiannual Report, octubre, World Bank: Washington, D. C., disponible en: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1217-0

-- Villar, L. (2017), "Jota Uribe: artífice de la estrategia de inflación objetivo y la política monetaria contracíclica en Colombia", en Meisel, A.; Ramírez, M. T. (eds.), Tres banqueros centrales, Banco de la República.

-- Villeroy de Galhau, F. (2019). "The Role of Banking in a Sustainable Global Economy", documento presentado en: World Conference of Banking Institutes: Londres, septiembre.

-- Waldinger, M. (2015). "The Effects of Climate Change on Internal and International Migration: Implications for Developing Countries", Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper, núm. 217, mayo.

-- Wayne, G. P. (2014). Representative Concentration Pathways, Skeptical science, pp. 24, disponible en: https://skepticalscience.com/docs/RCP_Guide.pdf

-- Wang, Q.; Wu, N. (2012). "Long-run Covariance and its Applications in Cointegration Regression", The Stata Journal, vol. 12, núm. 3, pp. 515-542.

-- World Bank (2018). "Poverty and Shared Prosperity 2018: Piecing Together the Poverty Puzzle". International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank disponible en: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30418/9781464813306.pdf?sequence=34&isAllowed=y

-- World Bank (2019). Using Carbon Tax Revenues, Partnership for Market Readiness Technical Note, núm. 16, agosto, Wahington D. C.: World Bank.

-- WTO - World Trade Organization (2009). "Trade and Climate Chang: A report by the United Nations Environment Programme and the World Trade Organization", Suiza: WTO Secretariat.

-- Zander, K. K.; Botzen, W. J.; Oppermann, E.; Kjellstrom, T.; Garnett, S. T. (2015). "Heat Stress Causes Substantial Labour Productivity Loss in Australia", Nature climate change, vol. 5,. núm 7, pp. 647-651.

— Zhang, T.; Deschenes, O.; Meng, K. C.; Zhang, J. (2017). "Temperature Effects on Productivity and Factor Reallocation: Evidence from a Half Million Chinese Manufacturing Plants", NBER Working Paper, núm. 2399, National Bureau of Economic Research.

Notas

[1] De acuerdo con cifras de Naciones Unidas, la población mundial en 1950 se estimaba en 2.600 millones de personas, 5.000 millones en 1987, 6.000 millones en 1999 y 7.875 millones en 2019 (datos recuperados el 15/05/2020; fuentes: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf y https://www.unfpa.org/data/world-population-dashboard).

[2] World Bank (2018). https://datos.bancomundial.org/indicator/SI.POV.DDAY. https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/19/decline-of-global-extreme-poverty-continues-but-has-slowed-world-bank

[3] Recuperado el 29/09/2020 y el 25/10/2021; fuentes: Población: https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?locations=CO; PIB (UMN a precios constantes): https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KN?locations=CO; Pobreza extrema (a COP 1,90 por día, 2011 PPA, %): https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KN?locations=CO y https://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.DDAY?locations=CO&view=chart

[4] Véase Sala (2020).

[5] La distribución geográfica de las emisiones ha sido estimada por Bárcena et al. (2020: 34; basada en Gütschow et al., 2016), así: Asia del Este y Pacífico, 38,3 %; Europa y Asia Central, 16,8 %; Norteamérica, 14,5 %; Latinoamérica y el Caribe, 8,3 %; Asia del Sur, 7,5 %; Oriente Medio y África del Norte, 7,4 %, y África Subsahariana, 7,2 %.

[6] Shared socioeconomic pathways, o trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP): sendas de largo plazo de población, tecnología, productividad y medioambiente consistentes con distintas narrativas de desarrollo.

[7] Las cantidades de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar ha aumentado.

[8] NGFS (2021a) estima que aumentos de 2° C respecto a las condiciones preindustriales podrían quintuplicar la exposición a todo tipo de desastres naturales. La productividad laboral global podría reducirse hasta en un 12 % en un mundo 3° C más caliente, tres veces más que si el calentamiento se limitara a 1,5° C.

[9] La neutralidad se puede obtener bien sea reduciendo las emisiones brutas de dióxido de carbono, o bien equilibrándolas con una cantidad equivalente retirada de la atmósfera, plantando árboles (o previniendo deforestación) o mediante procesos industriales de captura del carbono en la fuente. Desde la óptica específica de un país, también existen mecanismos de "créditos de carbono" mediante los cuales un país emisor le paga una compensación a otros por capturar y almacenar el dióxido de carbono.

[10] Aunque las precipitaciones se incrementarían en la región andina.

[11] Sin embargo, existen también estudios en los que, en lugar de suponer una senda temporal de temperatura específica, se evalúa el efecto en la actividad económica de un aumento de temperatura determinado (véase el Cuadro 3).

[12] En el estudio de Tol (2018) se estima un impacto menor (1,4 %), pero en un escenario con menores RACC.

[13] Entre los sectores más afectados estarían el agropecuario, la generación de energía, el transporte, la infraestructura, entre otros. Algunas actividades beneficiadas serían las relacionadas con energías renovables no convencionales, la producción de vehículos eléctricos o las nuevas tecnologías.

[14] Ya existe evidencia de fenómenos migratorios inducidos por los RACC, tanto a nivel intranacional (Oliveira y Pereda, 2020; Robalino et al., 2015; Waldinger, 2015) como internacional (Burzynski et al., 2019; Benveniste et al., 2020).

[15] El ciclo del carbono describe el proceso en el cual los átomos de carbono viajan continuamente de la atmósfera hacia la tierra y océanos, y luego de vuelta a la atmósfera en forma de dióxido de carbono a través de diferentes procesos, entre los cuales se encuentra la quema de combustibles fósiles (más información en: https://oceanservice.noaa.gov/facts/carbon-cycle.html).

[16] En esta subsección se trabaja con el promedio de los impactos estimados por los modelos GCAM 5.3, MESSAGEix-GLOBIOM 1.1 y REMIND 2.1 - MAgPIE 4.2. El modelo NiGEM no se utiliza aquí debido a que no tiene proyecciones específicas para Colombia; no obstante, en la sección 2 de este documento se utilizan algunas de sus proyecciones de variables económicas internacionales. Para una descripción de estos modelos véase el Recuadro 1 y más detalles en NGFS (2021b).

[17] Los supuestos de los escenarios de NGFS aplican a todos los países sin excepción, incluyendo la mitigación ordenada, así como la transición demorada.

[18] En el periodo 2070 a 2100, para las proyecciones de población también se usan las del SSP2 para Colombia. Cabe decir que las proyecciones de los SSP están disponibles por lustros. Para convertirlas en anuales, se utilizaron splines cúbicos hermitianos, que ofrecen la ventaja de suavizar no solo los niveles sino las tasas de crecimiento de las series.

[19] Los cálculos presentados incluyen estimaciones sobre los efectos de los RACC sobre la demanda global de carbón y petróleo y su impacto en Colombia, de acuerdo con los

supuestos incluidos en cada uno de los escenarios estudiados por el NGFS.

---

[20] Estos intervalos de confianza se elaboran reemplazando las estimaciones medias de impacto de cada uno de los modelos por las estimaciones en los percentiles 5 y 95 de impacto para cada uno de los modelos.

[21] Por ejemplo, la senda del PIB contrafactual sin cambio climático termina creciendo 1,1 % en promedio anual en la década de 2090-2100, mientras que la senda media del escenario sin políticas adicionales de mitigación crece en promedio un 0,9 %. Esto quiere decir que el cambio climático reduciría en casi una quinta parte la tasa de crecimiento.

[22] En casos en que las estimaciones de los impactos fueran puntuales para un año específico (2100 o el año en el que se alcance un aumento de temperatura dado) se construyen sendas de impactos anuales con splines cúbicos hermitianos.

[23] Una buena proporción de las medidas dirigidas a contener los efectos del cambio climático se concentra en disminuir el consumo y la producción de combustibles fósiles, la principal fuente de gases de efecto invernadero (IEA, 2019). De acuerdo con McGlade y Ekins (2015), para que el aumento en la temperatura global hacia 2050 no exceda los 2 °C, se requiere que un tercio de las reservas de petróleo, la mitad de las reservas de gas y 80 % de las reservas de carbón no sean extraídas y explotadas comercialmente hasta ese entonces. Por tanto, no resulta sorprendente que entre 1998 y 2017 se hayan implementado globalmente 1.302 iniciativas dirigidas a limitar la producción de este tipo de bienes, la mayoría en economías avanzadas (Gaulin y Le Billon, 2020).

[24] Kling et al. (2018) miden la vulnerabilidad climática de un país con un índice que pondera las pérdidas humanas y económicas anuales asociadas con desastres climáticos ocurridos entre 1997-2016.

[25] El potencial exportador del país en este sector es atribuible principalmente a las ventas de petróleo y sus derivados, los cuales contribuyeron con 70 % del total durante el periodo.

[26] Este superávit en la cuenta petrolera se presentó como resultado de términos de intercambio favorables antes del desplome de los precios del petróleo en 2014. Ello permitió amortiguar episodios de déficit corriente en otros sectores económicos, derivados de expansiones en la demanda interna y el pago de rentas a empresas extranjeras (Toro et al., 2015).

[27] La inclusión de variables endógenas en las estimaciones requeriría de un modelo de equilibrio general en el cual la economía colombiana se ajusta a choques permanentes como los descritos en esta sección. No obstante, los modelos de equilibrio general con variables macroeconómicas usados en las proyecciones del NGFS no se extienden a Colombia, aspecto que impide realizar este ejercicio.

[28] El Anexo 2 resume la literatura consultada para identificar algunos de los determinantes del balance corriente, precisando los estudios que analizan los factores descritos en el Cuadro 1, e indicando el efecto encontrado sobre la variable de interés.

---

[29] Cuando se presenta este problema, los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios exhiben una distribución asintótica no gausiana, sesgada y asimétrica, lo que invalida los resultados de las estimaciones (Wang y Wu, 2012). Mínimos cuadrados totalmente modificados no constituyen la única alternativa para la estimación de relaciones de cointegración de largo plazo, ya que este procedimiento puede realizarse mediante mínimos cuadrados dinámicos (Saikkonen, 1992) y una regresión de cointegración canónica (Park, 1992). Sin embargo, se escogió la primera porque exhibió el mejor ajuste con respecto a la serie observada para el balance corriente durante el periodo muestral. Los resultados obtenidos mediante los otros métodos de estimación pueden ser consultados en Agudelo, Granger y Sánchez (2022).

[30] El Anexo 3 muestra los resultados de las pruebas de raíz unitaria para los determinantes del balance corriente utilizando la prueba de Dickey-Fuller aumentada. Las series con más de una raíz unitaria y, por ende, diferenciadas, fueron la deuda pública, el logaritmo del PIB per cápita, la expectativa de vida al nacer y la población en dependencia mayor a 65 años.

[31] El NGFS cuenta con tres modelos de este tipo: GCAM, MESSAGEix-GLOBIOM y REMIND-MAgPIE. Las sendas para las variables macroeconómicas se generan combinando información de estos modelos con un modelo macroeconómico global (NiGEM) que incorpora el intercambio comercial e integra mercados de capitales. Los modelos MESSAGEix-GLOBIOM y REMIND-MAgPIE favorecen el análisis macroeconómico porque permiten cambios endógenos en las variables macroeconómicas (e.g.: precios, consumo, PIB, entre otras). Para facilitar la presentación de resultados, solo se exponen aquellos asociados con el modelo REMIND-MAgPIE. Sin embargo, las conclusiones no varían cuando se utiliza el modelo MESSAGEix-GLOBIOM (Agudelo, Granger y Sánchez, 2022).

[32] El Anexo 4 muestra la trayectoria esperada entre 2021 y 2050 para los determinantes del balance corriente.

[33] De acuerdo con los resultados reportados en la sección 1, la continuidad de las políticas de mitigación actuales conllevaría a una pérdida esperada equivalente al 7,8 % del PIB hacia 2100. Esta pérdida sería del 2,0 % en el escenario de cero emisiones netas a 2050.

[34] El FA fue creado para atender programas de reconstrucción, recuperación y reactivación de algunas zonas del país que se vieron afectadas por la ola invernal de ese momento. En el Plan Nacional de Desarrollo aprobado en 2015 se le facultó para ejecutar proyectos de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático.

[35] La UNGR tiene como principal objetivo la dirección y coordinación de la gestión del riesgo de desastres. Con sus recursos también se atienden diversos proyectos relacionados con obras civiles de emergencia y de infraestructura, proyectos de agua y saneamiento básico.

[36] Esta información de regalías se presenta en forma agregada porque no se dispone de segregación por producto o por región geográfica.

[37] El gas natural también se grava cuando se utiliza para la refinación de petróleo y la industria petroquímica; y el gas licuado de petróleo (GPL), cuando se emplea para usos industriales.

[38] En Colombia también se aplica el impuesto nacional a la gasolina y al ACPM, y la sobretasa a los combustibles.

[39] Más información de esta cumbre en https://www.climateambitionsummit2020.org/es.php

[40] Dada la gran importancia de las regalías por petróleo y carbón para los gobiernos subnacionales, es previsible que sus finanzas se verían afectadas en direcciones similares a las que aquí se indican para el GNC. Sin embargo, los ejercicios que aquí se presentan están acotados al GNC por consideraciones de disponibilidad de información y alcance.

[41] El estudio del Banco Central de Francia (2020), presentado en el Recuadro 3, utiliza un horizonte de treinta años (de 2020 a 2050) para evaluar los impactos de una política climática de transición sobre variables económicas y financieras, mientras que el del Banco Central de Alemania (2021) define uno de diez años (2021-2030). Por su parte, el estudio para Colombia presentado en esta sección (Banco Mundial, 2021) analiza el impacto en una ventana de diez y sesenta años (de 2020 a 2030 y de 2020 a 2080, en su orden).

[42] En el Recuadro 3 se presenta una revisión de trabajos publicados por algunos bancos centrales en donde se analiza la exposición de los sistemas financieros de cada jurisdicción a los RACC. Algunos de ellos cuantifican los efectos de estos riesgos.

[43] Una prueba de sensibilidad, también conocida con los términos de prueba de estrés o de resistencia, es un análisis realizado en escenarios hipotéticos diseñados para determinar si los intermediarios financieros poseen la suficiente resiliencia en términos de rentabilidad y solvencia, entre otras, para soportar un choque económico negativo.

[44] Para definir una variable asociada a riesgo de inundaciones, los autores identifican las zonas geográficas más vulnerables utilizando los mapas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), que incluyen las áreas que se inundaron durante los episodios de La Niña de 1988-1989, 1999-2000 y 2010-2012, y combinan estos datos en el nivel municipal para crear un indicador de susceptibilidad a las inundaciones.

[45] Čihák (2014) aplica esta metodología a datos de balances generales y estados de pérdidas y ganancias de los bancos para determinar el efecto de perturbaciones sobre su solvencia y rentabilidad.

[46] Este modelo proporciona estimaciones del impacto en el PIB y en el empleo por sector económico, a partir de escenarios con sendas diferentes del precio del carbono y no considera ningún cambio tecnológico en las simulaciones, por lo cual puede sobrestimar los impactos económicos cuando la economía tiene tiempo para ajustarse.

[47] Para mayor detalle véase Gamba et al. (2017).

[48] Para mayor detalle véase Gamba et al. (2017).

[49] El ejercicio se enfoca en los efectos de diferentes escenarios de cambio climático sobre los establecimientos de crédito y no sobre otros agentes del sistema financiero como, por ejemplo, las aseguradoras. Lo anterior se debe, en primer lugar, a que se emplea una

tecnología desarrollada por el Banco de la República exclusivamente para ejercicios de sensibilidad de establecimientos de crédito; en segundo lugar, a que ejercicios relevantes para otras clases de entidades financieras requerirían información granular de sus exposiciones a potenciales impactos del clima, con la cual no se cuenta actualmente, a diferencia del caso de los establecimientos de crédito.

[50] Estas proyecciones del PIB son tomadas del Gráfico 1 de la sección 1 de este documento. Debido a que el objetivo de esta subsección es realizar un ejercicio de estrés, se considera la parte inferior del intervalo de confianza al 95 % de estas proyecciones.

[51] Por lo anterior, no se consideran efectos sobre valoración de colateral o activos varados (stranded assets) a los que se ha referido la literatura sobre los efectos del cambio climático.

[52] El ICR es una medida de riesgo de crédito que se calcula como la razón entre la cartera calificada diferente de A y la cartera total.

[53] Se toman los balances con corte a esta fecha, debido a los fuertes impactos que tuvo la pandemia del Covid-19 sobre el crecimiento económico durante 2020.

[54] En investigaciones futuras se podrían desarrollar y emplear metodologías que utilicen información más granular para evaluar el efecto de los RACC sobre el sistema financiero colombiano.

[55] El escenario central de este ejercicio supone que el PIB continúa creciendo a la misma tasa observada en 2019.

[56] Los activos varados o abandonados (stranded assets) son aquellos que han sufrido amortizaciones o desvalorizaciones por factores tales como la innovación y la transformación.

[57] En el caso colombiano, este régimen empezó a ser adoptado gradualmente a partir de 1999 (Banco de la República, Informe al Congreso de julio de 2000: 11; López et al., 2017) y se consolidó en la siguiente década (Svensson, 2010; Villar, 2017).

[58] La respuesta a choques de precios internacionales, como el petróleo u otras materias primas, difiere si proviene de la demanda u oferta de ese mercado. Asimismo, el efecto en el país receptor difiere dependiendo de si es exportador o importador neto (Adjemian y Darracq, 2008; Alba et al., 2013; Nazlioglu et al., 2019; Ocampo y Ojeda-Joya, 2021). En cualquier caso, el impacto de tales choques puede complicar la comunicación de la estrategia de política monetaria (Batten et al., 2016).

[59] Mukherjee y Ouattara (2021) encuentran, para un panel de países en desarrollo, que un aumento del 1 % en la temperatura conduce en promedio a un aumento de la inflación total del 2,7 % durante el siguiente año.

[60] Esta discusión es más compleja cuando los choques son más persistentes, situación en la cual la política monetaria tendría que adaptarse a un nuevo equilibrio dado por los cambios que se generen en el PIB potencial y en la tasa de interés natural.

[61] Por ejemplo, frente a un choque climático que produce una caída del PIB del 1,0 %, si la autoridad monetaria sigue el esquema de inflación objetivo, entonces, su caída sería menor a dicho valor en 0,11 pp (0,89 %). Algo similar ocurre con la inflación: si el choque iba a subir la inflación a un valor hipotético del 5,0 %, en dicho esquema monetario ese resultado sería inferior en promedio unos 0,67 pp, es decir, que en lugar de ser 5,0 %, ahora sería del 4,33 %.

[62] Los autores hacen referencia a aquellos países dentro de su estudio que implementaron reglas fiscales que podrían evitar la dominancia fiscal y atenuar el gasto público procíclico. En particular, evaluaron países con esquemas de inflación objetivo versus otros esquemas frente a un conjunto de tipos de reglas fiscales que tienen en cuenta variables indicativas (a nivel nacional) como la regla fiscal, el gasto, la regla de equilibrio presupuestario y la regla de endeudamiento; así como una regla fiscal local. Como resultado, encuentran que el gasto público tiende a ser más acomodaticio en el esquema de inflación objetivo.

[63] Este nexo entre clima, agricultura y precios de los alimentos es común en un buen número de países en vías de desarrollo debido a vulnerabilidades como la baja tecnificación y rezagos en infraestructura para mitigar el cambio climático (Mirza, 2003; Cashin et al., 2017; Cevik y Jalles, 2020; Tol, 2009 y Dell et al., 2014). De acuerdo con The Economist Intelligence Unit (en https://www.eiu.com/n/global-economy-will-be-3-percent-smaller-by-2050-due-to-lack-of-climate-resilience), los países en vías de desarrollo están más expuestos a las pérdidas ocasionadas por el cambio climático que los países desarrollados.

[64] El PIB nominal es una medida de producción a precios corrientes. En países como Estados Unidos, el PIB y el ingreso nacional nominal son conceptos muy similares. En economías pequeñas y abiertas, estas dos medidas divergen debido a los pagos de dividendos al capital extranjero.

[65] En el esquema de objetivo de ingreso nominal no se necesita estimar ninguna brecha y su meta es anunciada. Los autores presentan el siguiente ejemplo para mostrar las virtudes de dicha regla: supóngase que la tasa de crecimiento potencial es estimada por el banco central en 3 % por año y se desea mantener la inflación en 3 %. En ese escenario, la meta de ingreso nominal nacional sería la suma de los dos anteriores (6 %). Ahora suponga que hay un choque climático que afecte el PIB potencial en 0,5 % en el horizonte de pronóstico. Dado su objetivo nominal de 6 %, el PIB crecería 2,5 % mientras que la tasa de inflación podría ser del 3,5 %. Señalan que la discrepancia en la inflación en dichos casos es pequeña para determinar un desanclaje de los agentes y que, pese a ello, los mercados financieros van a mantener su credibilidad en el compromiso claro del banco central en la meta de ingreso nominal del 6 %.

[66] Mayor información sobre el NiGEM se puede encontrar en la página del "National Institute of Economic and Social Research": https://nimodel.niesr.ac.uk/

[67] Se utiliza el criterio de información bayesiano para dicha comparación, dado el número distinto de variables explicativas entre los dos modelos.

Le puede interesar

"Nonlinear Relationship between the Weather Phenomenon El Nino and Colombian Food Prices"
Abril-Salcedo, D.; Melo-Velandia, L. F.; Parra-Amado, D. (2020). Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, vol. 64, núm. 4, pp. 1059-1086.

"Climate Change: Policies to Manage its Macroeconomic and Financial Effects"
Bernal, J.; Ocampo, J. A. (2021). Background Paper, núm. 2-2020, UNDP Human Development Report.

"A Counterfactual Analysis of the Effects of Climate Change on the Natural Interest Rate"
Ojeda-Joya, J. (2022). Working Paper, núm. HEIDWP10-2022, Ginebra: Graduate Institute of International and Development Studies, International Economics Department.

"Evaluación económica de los compromisos de Colombia en el marco de COP21"
Álvarez-Espinosa, A. C.; Ordóñez, D. A.; Nieto, A.; Wills, W.; Romero, G.; Calderón, S. L.; Hernández, G.; Argüello, R.; Delgado-Cadena, R. (2017). Desarrollo y Sociedad, núm. 79, pp. 15-54.

SYSMO I : a systemic stress model for the colombian financial system
Gamba-Santamaría, Santiago; Jaulín-Méndez, Oscar Fernando; Lizarazo-Cuellar, Angélica María; Mendoza-Gutiérrez, Juan Carlos; Morales-Acevedo, Paola; Osorio-Rodríguez, Daniel Esteban; Yanquen, Eduardo
Documentos de trabajo. 2017
Borradores de Economía; No. 1028