



Introducción a la evaluación de escenarios climáticos en portafolios de inversión

Marco de análisis y herramientas



Introducción a la evaluación de escenarios climáticos en portafolios de inversión

Dirección: Mariana Rojas Laserna

Coordinación: Ximena Rojas Squella

Autores: Ximena Rugeles Vargas, Sebastián Mejía Aparicio, Carolina Dueñas, Silvy Ramos

Equipo de apoyo: Alejandro Salamanca, Javier Ramos, María Paula Rubio, Lorena Téllez Farfán, Valentina Guevara Arango y Julio Andrade

Gestor del área: Agustín Carrizosa

Comunicaciones: María del Pilar Torres Herrera

Diseño: Laura Giraldo Valencia

En nombre del área de finanzas climáticas de Transforma, queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a Juan Felipe Parra Rodas del área de Energía de Transforma por sus aportes en torno al entendimiento del funcionamiento de los sectores de gas y energía y su relación con la transición energética justa en Colombia. Asimismo, extendemos el reconocimiento a Frank Mora del área de Operaciones de Transforma por su apoyo respecto a la modelación de estados financieros y valoración de empresas.

La Iniciativa de Divulgación de Activos y Cambio Climático de Colombia (CCADI, por sus siglas en inglés) es financiada con el apoyo del Ministerio de Asuntos Exteriores, Mancomunidad y Desarrollo (FCDO por sus siglas en inglés) del Reino Unido, la Alianza para Transiciones Climáticas Aceleradas (UK PACT), y el International Climate Finance (ICF), y es implementada por el centro de pensamiento [Transforma](#).

Esta obra está licenciada bajo la Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Para ver una copia de esta licencia, visite el siguiente enlace: Creative Commons – Atribución 4.0 Internacional – CC BY 4.0 Esta licencia requiere que los reutilizadores den crédito al creador (Transforma). Esto permite a los reutilizadores distribuir, mezclar, adaptar y desarrollar el material en cualquier medio o formato. Transforma no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia. Atribución – Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de Transforma.

Descargo de responsabilidad

Este documento fue elaborado por Transforma a través del proyecto CCADI. Ha sido preparado únicamente como orientación general sobre el análisis de escenarios climáticos y no constituye un asesoramiento profesional financiero. La información contenida en este informe, ni ninguna parte del mismo, ni el hecho de su existencia o distribución, deben formar la base de, ni ser utilizada en relación con ningún contrato o decisión de inversión, ni constituye una recomendación con respecto a instrumentos financieros. Los ejercicios de autoevaluación de esta herramienta no deben ser tratados como un asesoramiento o recomendación en materia contable, legal, regulatoria, fiscal, de investigación, de inversión o de

otro tipo y no debe ser considerado como una representación de ningún aspecto que un posible inversionista debe evaluar al considerar una inversión. El documento tampoco constituye un asesoramiento regulatorio frente al cumplimiento de normativas. No se ofrece ninguna representación o garantía (expresa o implícita) en cuanto a la exactitud o integridad de la información contenida en esta publicación y, en la medida en que lo permita la ley, CCADI, TRANSFORMA, UK PACT, sus personas miembros, empleados/as y agentes no aceptan ni asumen ninguna responsabilidad o deber de diligencia por las consecuencias de que usted o cualquier otra persona actúe, o se abstenga de actuar, basándose en la información contenida en esta publicación o por cualquier decisión basada en ella. Para mayor información o apoyo detallado sobre la implementación de las recomendaciones entregadas, no dude en contactarnos a través de info@transforma.global

Cita: *Introducción a la evaluación de escenarios climáticos en portafolios de inversión*. 2025. Transforma

Índice

Introducción.....	5
Análisis de escenarios: herramienta clave en la evaluación de implicaciones estratégicas y financieras del cambio climático.....	7
Planeación en medio de la incertidumbre: el rol del análisis de escenarios.....	8
Objetivo y alcance del caso de estudio.....	10
Selección de los escenarios de cambio climático.....	14
Aproximación metodológica a la evaluación de escenarios climáticos en portafolios de inversión.....	20
Metodología de evaluación de bonos soberanos.....	21
Metodología de evaluación de acciones de sector real.....	24
Metodología de evaluación de portafolios de inversión.....	29
Resultados del análisis.....	31
Resultados generales y tendencias por sector.....	32
Petróleo: dependiente de la demanda y la evolución de precios.....	32
Cemento: altamente expuesto a gastos por emisiones y regulación de carbono.....	34
Gas: crecimiento moderado en escenarios climáticos ambiciosos.....	36
Energía: expansión impulsada por la transición y la demanda de energía baja en carbono.....	37
Bonos Colombia.....	40
Bonos Estados Unidos.....	42
Resultados agregados en portafolios de inversión.....	43
Conclusiones, recomendaciones y futuros pasos.....	48
Anexos.....	51
Anexo 1. Variables tomadas del NGFS empleadas en la modelación.....	51
Anexo 2. Variables históricas empleadas en la modelación.....	52
Índice de tablas.....	53
Índice de figuras.....	54
Referencias.....	55

1.

INTRODUCCIÓN



El cambio climático se ha convertido en una amenaza sistémica que va más allá de las implicaciones medioambientales, afectando la estabilidad y la sostenibilidad de los mercados financieros globales. En un entorno marcado por la necesidad de transiciones hacia economías bajas en carbono y la creciente frecuencia de eventos climáticos extremos, la capacidad para anticipar y mitigar estos riesgos es esencial para la solidez del sistema financiero. Evaluar los riesgos climáticos en modelos de negocio, activos y estrategias de inversión no solo ayuda a identificar vulnerabilidades, sino que también abre la puerta a oportunidades para reorientar los flujos de capital hacia sectores y proyectos más resilientes y sostenibles. En este contexto, comprender y gestionar los riesgos climáticos como riesgos financieros se vuelve fundamental para fortalecer la resiliencia institucional y contribuir a una transición ordenada hacia una economía sostenible.

Dado el impacto de estos riesgos en la estabilidad del sector financiero, surge la necesidad de contar con herramientas que permitan a las entidades realizar análisis de escenarios de cambio climático y fortalecer sus procesos de toma de decisiones en el largo plazo. Este documento es parte del trabajo de Transforma para guiar a los actores del sector financiero en la aproximación al desarrollo de un análisis cuantitativo de riesgos climáticos, específicamente en portafolios de inversión. La invitación es a comprender cómo cada entidad puede llevar a cabo un análisis de escenarios, explorando los supuestos de un escenario climático, su incorporación en un modelo financiero y la interpretación de los resultados en la gestión de portafolios. Si bien este ejercicio presenta una de las posibles metodologías para el análisis, reconociendo que existen diversas formas de abordarlo, se busca que las entidades financieras se apropien del ejercicio y lo adapten a su contexto, incorporándolo en sus procesos de toma de decisiones.

El análisis de escenarios climáticos es una herramienta utilizada por reguladores, inversionistas y entidades financieras para evaluar distintos posibles impactos en el valor de los portafolios bajo diferentes trayectorias de cambio climático y transición energética. Este documento busca que las instituciones financieras puedan replicar el ejercicio en sus propios portafolios, ajustando la metodología según sus necesidades. No se plantea una respuesta única o prescriptiva, sino un ejercicio que permite explorar la aplicabilidad del análisis en diferentes sectores y modelos de negocio. La invitación es a apropiarse de la metodología, adaptarla y utilizarla para fortalecer la integración del riesgo climático en los procesos de evaluación de riesgos y gestión de portafolios.

El documento está estructurado en varias secciones que recorren el proceso de análisis de escenarios aplicado a portafolios de inversión. En la Sección 2, se contextualiza el alcance del caso de estudio y se presentan los fundamentos de los escenarios climáticos. La Sección 3 describe la metodología propuesta, seguida de la Sección 4, en la que se exponen los resultados del análisis. Finalmente, se presentan conclusiones, recomendaciones y próximos pasos para impulsar la adopción de este tipo de ejercicios en instituciones financieras.

Como complemento a este documento, se incluye un archivo en [Excel](#) con el detalle de datos, cálculos y metodología aplicada en el desarrollo del caso de estudio. Este anexo permite a las entidades financieras replicar la metodología, adaptar los supuestos y explorar distintos escenarios según sus propias necesidades.

2.

ANÁLISIS DE ESCENARIOS: HERRAMIENTA CLAVE EN LA EVALUACIÓN DE IMPLICACIONES ESTRATÉGICAS Y FINANCIERAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO



Planeación en medio de la incertidumbre: el rol del análisis de escenarios

El análisis de escenarios es una herramienta estratégica ampliamente utilizada en la planificación empresarial, la formulación de políticas públicas y la gestión de riesgos. Se emplea para explorar posibles trayectorias futuras bajo diversas condiciones, incluyendo factores económicos, sociales, climáticos, regulatorios y tecnológicos. Su propósito no es predecir el futuro, sino evaluar distintos escenarios hipotéticos para comprender mejor los riesgos y oportunidades asociados.

Los escenarios climáticos son una herramienta fundamental para evaluar el impacto del cambio climático en empresas y economías. Estos escenarios, desarrollados principalmente por instituciones científicas, organismos internacionales y entidades especializadas, modelan posibles trayectorias futuras bajo distintos supuestos¹. Considerar factores como el contexto socioeconómico, la evolución tecnológica, la regulación climática y las trayectorias de emisiones de GEI y temperaturas, permite analizar implicaciones y tendencias futuras. Sin embargo, los escenarios por sí solos no determinan decisiones estratégicas; es necesario integrar sus resultados y supuestos en una modelación financiera o un análisis de riesgos y oportunidades para empresas, carteras o portafolios de inversión, de modo que aporten información relevante a la toma de decisiones y planificación estratégica.

En el contexto empresarial el análisis de escenarios permite identificar los principales factores de cambio y las trayectorias de desarrollo que una entidad puede monitorear para detectar tendencias emergentes y realizar ajustes oportunos. Esta capacidad de adaptación es clave para fortalecer la resiliencia empresarial y mejorar las respuestas ante distintos escenarios futuros. Por eso, es una herramienta indispensable para apoyar la toma de decisiones y evaluar la solidez de las estrategias empresariales en un mundo en constante cambio.

El desarrollo de ejercicios de análisis de escenarios puede hacerse bajo dos enfoques principales: el estático y el dinámico. El análisis estático mantiene las condiciones internas de una empresa, una cartera o un portafolio constantes (como sus emisiones de gases de efecto invernadero o su composición de activos) y evalúa cómo factores externos, como los precios del carbono o los cambios en la demanda, pueden afectar su desempeño financiero. Por su parte, el análisis dinámico asume que la empresa, cartera o portafolio ajustará su estrategia en respuesta al entorno climático, por ejemplo, reduciendo emisiones, invirtiendo en nuevas tecnologías o diversificando sus líneas de negocio.

En este estudio, se adopta un enfoque estático, pues permite evaluar con mayor precisión cómo ciertas condiciones externas pueden impactar a las empresas, carteras o portafolios sin introducir la complejidad adicional de cambios estratégicos internos. Este tipo de análisis es particularmente útil para cuantificar impactos específicos de políticas climáticas y regulaciones, proporcionando información clave para la toma de decisiones en la gestión de riesgos climáticos en el sector financiero. Sin embargo, es importante resaltar que el enfoque dinámico complementa al estático y ambos deben ser considerados por las organizaciones al desarrollar sus propios ejercicios de análisis de escenarios. El análisis estático funciona como un diagnóstico inicial, una fotografía de la situación actual de la empresa, cartera o portafolio, que permite evaluar los posibles impactos de factores externos bajo el supuesto de que no se realicen cambios estratégicos. En contraste, el enfoque dinámico se aplica cuando la empresa empieza a considerar ajustes en su estrategia, permitiendo

¹ Las empresas, gobiernos y organizaciones del sector financiero también pueden desarrollar sus propios escenarios basándose en modelos científicos preexistentes.

simular diferentes respuestas y evaluar cómo ciertas decisiones—como la reducción de emisiones, la adopción de nuevas tecnologías o la diversificación del negocio—podrían modificar su trayectoria futura. De esta manera, la combinación de ambos enfoques proporciona una visión más completa de los efectos del cambio climático y permite a las organizaciones anticiparse mejor a ellos mediante la toma de decisiones estratégicas.

Si bien el análisis de escenarios climáticos cuenta con múltiples ventajas, su desarrollo también enfrenta diversas limitaciones y desafíos que deben ser considerados al momento de su implementación. Uno de los principales retos es la incertidumbre en los modelos y estimaciones a largo plazo, ya que los escenarios dependen de múltiples supuestos y son representaciones parciales de diversos factores. Además, la disponibilidad y granularidad de los datos representa en algunos casos una barrera, pues, por un lado, existen retos para desescalar información de escenarios globales que capture de una forma más adecuada la realidad y condiciones específicas de regiones o países y, por el otro, hay información que no siempre es de fácil acceso.



Preparación para el desarrollo de análisis de escenarios

Antes de iniciar un ejercicio de análisis de escenarios, es necesario definir al menos tres elementos: el alcance del análisis, el horizonte temporal y los escenarios climáticos a utilizar.

1. Definir el alcance del análisis:

El análisis de escenarios debe delimitar qué parte de la entidad o portafolio será evaluada. Puede abarcar toda la organización, una línea de negocio, un tipo de activo o una región específica. Un primer ejercicio puede centrarse en áreas con mayor exposición a riesgos climáticos y, con el tiempo, expandir el alcance de la evaluación.

2. Determinar los horizontes temporales:

El análisis de escenarios requiere definir un horizonte temporal que determine hasta qué año se proyectarán los impactos y tendencias climáticas. La selección debe considerar:

- Los ciclos de planificación e inversión de la entidad, incluyendo la vida útil de activos.
- Los marcos de referencia internacionales, como 2030 y 2050, utilizados en políticas climáticas.

Los horizontes temporales en el análisis de escenarios suelen ser más largos que los utilizados en las proyecciones financieras y estratégicas típicas de una empresa. Esto se debe a que los efectos del cambio climático y las transiciones económicas ocurren en escalas de tiempo más amplias. Elegir horizontes temporales que coincidan con estos marcos permite comparar los resultados del análisis con objetivos y proyecciones ampliamente utilizados, facilitando su interpretación y aplicación en la toma de decisiones.

3. Seleccionar los escenarios de cambio climático a analizar

El análisis de escenarios debe considerar una diversidad suficiente de escenarios para evaluar distintos posibles impactos y trayectorias. Trabajar con un solo escenario limita la capacidad de explorar incertidumbres y tomar decisiones informadas. En cambio, utilizar múltiples escenarios permite evaluar cómo distintos factores pueden generar resultados contrastantes y mejorar la identificación de riesgos y oportunidades.

El análisis de escenarios debe incluir suficiente diversidad para explorar distintos supuestos sobre futuros inciertos y generar análisis del tipo "qué pasaría si". Evaluar un solo escenario limita la capacidad de capturar la

complejidad de posibles trayectorias y dificulta la toma de decisiones.

Algunas entidades comienzan el desarrollo de sus ejercicios con dos escenarios extremos, que representan trayectorias opuestas en términos de impactos climáticos y económicos. Aunque este enfoque simplifica el proceso, puede introducir sesgos al percibir un escenario como "bueno" y otro como "malo".

Para reflejar un rango más amplio de incertidumbre, las metodologías de análisis de escenarios recomiendan utilizar tres o cuatro escenarios. Esto permite diversificar las hipótesis sin hacer el proceso innecesariamente complejo².

Fuentes de escenarios

Las entidades pueden utilizar escenarios públicos, desarrollar sus propios escenarios o combinar ambas opciones.

- **Escenarios públicos:** Elaborados por organismos como la Red para el Enverdeamiento del Sistema Financiero (**NGFS**, por sus siglas en inglés), el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (**IPCC**, por sus siglas en inglés) o la Agencia Internacional de Energía (**IEA**, por sus siglas en inglés), son escenarios que modelan posibles trayectorias futuras bajo distintos supuestos. Por ejemplo, los escenarios del NGFS exploran cómo evolucionan las políticas climáticas, las emisiones, las temperaturas y los impactos de los riesgos físicos. El IPCC desarrolla escenarios sobre cambios climáticos globales y sus implicaciones físicas, mientras que la IEA se enfoca en la evolución del sistema energético y sus interacciones con el clima. El uso de los escenarios públicos facilita la comparación y permite aprovechar análisis ya desarrollados, proporcionando una base común para evaluar riesgos y oportunidades asociados al cambio climático.
- **Escenarios internos:** Algunas entidades generan sus propios escenarios adaptados a su contexto específico, lo que permite mayor personalización, pero requiere más recursos.
- **Combinación de fuentes:** Un enfoque intermedio es tomar escenarios públicos como referencia y ajustarlos según las necesidades de la entidad.

El uso de escenarios públicos tiene limitaciones, ya que suelen estar diseñados para análisis a nivel global o sectorial, lo que puede dificultar su aplicación directa a una entidad específica. La selección de escenarios debe considerar no sólo su origen, sino también su aplicabilidad en la toma de decisiones y su capacidad para capturar las incertidumbres más relevantes.

Objetivo y alcance del caso de estudio

Para ilustrar la aplicación del análisis de escenarios climáticos en la evaluación y gestión de riesgos del cambio climático, este documento desarrolla un caso de estudio sobre el impacto financiero de riesgos físicos y de transición en activos de renta fija y renta variable de un portafolio de inversión hipotético. El objetivo es **determinar posibles impactos en la valoración de acciones y bonos soberanos considerando seis escenarios climáticos modelados por el NGFS**, que estiman diferentes trayectorias en función de factores como la regulación, el avance tecnológico y la evolución de las emisiones. El período de análisis es 2025 - 2050, con una resolución temporal anual.

² Por ejemplo, el Consejo de Normas Internacionales de Sostenibilidad (ISSB, por sus siglas en inglés) sugiere, en la norma [NIIF S2](#) (Información a revelar relacionada con el clima - párrafo B22), que las entidades utilicen escenarios climáticos variados—incluyendo escenarios internacionales o regionales disponibles públicamente—y que cuenten con una base razonable y sustentable para su selección, considerando su exposición a riesgos físicos o de transición.

El análisis individual de los activos se consolida en una evaluación agregada de portafolios de inversión para ejemplificar cómo evolucionaría la valoración de portafolios con distintos perfiles de riesgo (conservador, moderado y arriesgado). Los activos evaluados son los siguientes³:

- **Renta fija:** Bonos gubernamentales con vencimiento a 10 años emitidos por Colombia y Estados Unidos.
- **Renta variable:** Acciones de empresas de sectores sensibles a la transición climática y la descarbonización, como petróleo, gas, energía y cemento.

El estudio permite analizar cómo los riesgos físicos y de transición del cambio climático se transmiten a través de canales macroeconómicos (impactos en la economía agregada, tasas de interés, comercio internacional) y microeconómicos (afectación individual de empresas, costos de adaptación, cambios en la demanda).

El proceso de análisis sigue tres etapas principales:

- **Cálculo de precios teóricos por activo:** Para activos de renta fija se estiman rendimientos al vencimiento a partir de variables macroeconómicas ajustadas por cambio climático mediante un modelo de regresión lineal múltiple. Con estos rendimientos, se calculan los precios para bonos de Colombia y Estados Unidos en cada escenario climático y año.

Para activos de renta variable se modelan estados financieros de empresas tipo en sectores expuestos a la transición climática y se aplican modelos de descuento de flujos como una aproximación al valor intrínseco de las acciones en cada escenario climático y año.

- **Estimación de variaciones porcentuales de los precios teóricos por activo:** Se determinan cambios anuales en los precios para facilitar la comparabilidad de las valoraciones entre activos y consolidar los resultados a nivel de portafolio en cada escenario climático y año.
- **Cálculo de resultados por portafolio:** Las variaciones porcentuales anuales de cada activo se ponderan según su participación en portafolios hipotéticos, permitiendo analizar tendencias y posibles impactos diferenciados para perfiles de riesgo conservador, moderado y arriesgado.

³ La selección de activos para este análisis responde a su relevancia en el mercado de capitales colombiano y su exposición directa a los riesgos y oportunidades asociados con el cambio climático. En renta fija, se priorizaron los bonos soberanos colombianos debido a su papel central en la estructura del mercado financiero, su preponderancia en portafolios de inversionistas institucionales y su sensibilidad a cambios macroeconómicos vinculados a la política climática y económica. Los bonos de Estados Unidos, aunque no son representativos en portafolios institucionales en Colombia, se consideran el activo libre de riesgo a nivel global; su inclusión permite evaluar diferencias en la respuesta del mercado a riesgos climáticos en economías con distintos niveles de desarrollo y estructura fiscal.

Por su parte, en renta variable se seleccionaron instrumentos de sectores que cotizan en el mercado de capitales colombiano y tienen una alta sensibilidad a la transición hacia una economía baja en carbono. Estas industrias enfrentan desafíos y oportunidades relacionados con cambios regulatorios, evolución de la demanda y necesidad de adaptación tecnológica. La transición climática puede impactar sus ingresos, costos, estrategias de inversión y valoraciones de mercado, lo que hace esencial evaluar sus perspectivas bajo distintos escenarios climáticos.

En cuanto a otros activos, como bonos corporativos, fondos cotizados o instrumentos estructurados, su exclusión responde a la menor disponibilidad de datos homogéneos y a la dificultad de establecer relaciones claras entre escenarios climáticos y su valoración.

Si bien el análisis se centra en un conjunto específico de activos, en portafolios de inversión reales existe exposición a una gama más amplia de tipo de activos y sectores no considerados en este ejercicio. Para reflejar esta situación, los portafolios hipotéticos evaluados incorporan una participación en un grupo clasificado como "otros". Aunque los efectos de los riesgos climáticos pueden verse suavizados en el análisis agregado de portafolio al incluir este grupo de activos, uno de los objetivos del ejercicio es demostrar que es posible avanzar en el análisis de escenarios climáticos incluso sin contar con condiciones ideales.

La figura 1 presenta un esquema conceptual del proceso, en el que se detallan las principales etapas y su interacción dentro del análisis. En las siguientes secciones se desarrolla la metodología y los resultados obtenidos en cada una de esas etapas.

Figura 1. Esquema del proceso de análisis de escenarios en portafolios de inversión

Escenarios de cambio climático

- Modelación de diferentes futuros posibles de cambio climático
- Simulan interacciones entre múltiples variables
- Desarrollados por diferentes proveedores:



Escenarios NGFS *

- Consideran el contexto socioeconómico, la evolución tecnológica, la regulación climática, y las trayectorias de emisiones y temperaturas.
- Proveen información de **variables económicas y sectoriales ajustadas por cambio climático** en distintos escenarios y regiones.

Canales de transmisión de los riesgos climáticos

Riesgos del cambio climático

Físicos y de transición

Canal macroeconómico

- Impactos agregados en la economía.
- Impactos en el comercio internacional, los ingresos fiscales, la producción, las tasas de interés y los tipos de cambio

Canal microeconómico

- Afectación individual de agentes en la economía
- Empresas**
- Daños a la propiedad e interrupción del negocio
 - Nuevos gastos de capital
 - Cambio de demanda y costos



Análisis de escenarios en portafolios de inversión: Evaluación de impacto financiero del cambio climático en activos de renta fija y renta variable usando escenarios climáticos

Período de análisis: 2025- 2050
6 escenarios climáticos analizados. Fuente: NGFS

1

Cálculo de precios teóricos por activo

Estimación de rendimientos y cálculo de precios de bonos soberanos

- Bono Colombiano
- Bono Estados Unidos

Modelación econométrica de rendimientos y valoración

Modelo de regresión lineal múltiple para estimación de rendimientos al vencimiento a partir de **variables macroeconómicas ajustadas por cambio climático (NGFS)**. Cálculo de precios partir del rendimiento estimado.

Resultado

Precios teóricos ajustados por cambio climático para cada bono, escenario climático y año.

Valoración de empresas tipo por sector

- Petróleo
- Gas
- Cemento
- Energía

Modelación financiera y descuento de flujos

Modelación de estado de resultados y balance general de empresa tipo, a partir de **variables económicas y sectoriales ajustadas por cambio climático (NGFS)**. Descuento de flujos para valorar la empresa.

Resultado

Precios de acciones hipotéticas ajustados por cambio climático, para cada empresa, escenario climático y año.

2

Estimación de variaciones porcentuales de precios teóricos por activo

Cálculo de variaciones porcentuales de bonos soberanos

Cálculo de retornos

Cálculo de variaciones en precios anuales obtenidos a partir del rendimiento al vencimiento.

Resultado

Cambios anuales de precios, para cada bono, escenario climático y año.

Cálculo de variaciones porcentuales de acciones de empresas tipo

Cálculo de retornos

Cálculo de variaciones en precios anuales obtenidos a partir de las valoraciones de las empresas

Resultado

Cambios anuales de precios, para cada acción, escenario climático y año.

3

Cálculo de resultados por portafolio

Estimación de la valoración de portafolios de inversión según perfil de riesgo

- Conservador
- Moderado
- Arriesgado

Cálculo de variaciones anuales por portafolio

Ponderación de cambios anuales por activo según su participación en cada portafolio de inversión. A partir de esos cambios se estima la evolución en la valoración.

Resultado:

Valoración de portafolios de inversión hipotéticos para cada escenario climático y año.

* Para el análisis desarrollado por CCADI, se utilizaron variables de los escenarios climáticos modelados por NGFS

Selección de los escenarios de cambio climático

Fuentes de escenarios climáticos

El desarrollo de un ejercicio de análisis de escenarios climáticos, aplicado a la evaluación de estrategias empresariales o de portafolios de inversión, requiere la identificación y selección de los escenarios apropiados, considerando factores como supuestos, parámetros de entrada, modelos, horizontes temporales, datos resultantes y narrativas. Además, es necesario considerar el objetivo y alcance del análisis, el tipo de negocio o de inversión a evaluar y los recursos técnicos disponibles.

A nivel global, existen diversos proveedores de escenarios climáticos, cada uno con enfoques y metodologías diferenciadas. Entre los principales desarrolladores se encuentran el **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** (IPCC, por sus siglas en inglés), la **Agencia Internacional de Energía** (IEA, por sus siglas en inglés) y la **Red para el Enverdeamiento del Sistema Financiero** (NGFS, por sus siglas en inglés). La tabla 1 resume las diferencias más relevantes entre estos tres proveedores en términos de modelos utilizados y cobertura de riesgos de transición, físicos y macroeconómicos:

Tabla 1. Principales proveedores de escenarios climáticos

Proveedor	Público objetivo	Modelos usados	Trayectorias de transición	Riesgos físicos	Trayectorias macroeconómicas
IPCC	Comunidad académica	- Modelos integrados de evaluación basados en procesos (Process-based IAMs) - Modelos climáticos	Sí	Sí	No
IEA	Responsables de políticas	Modelo del sistema energético	Sí	No	No
NGFS	Sector financiero	- Modelos integrados de evaluación basados en procesos (Process-based IAMs) - Modelos climáticos - Modelos macroeconómicos	Sí	Sí	Sí

Fuente: Monasterolo et al. (2023). Traducción propia

Por otra parte, existen otras fuentes relevantes que una organización puede considerar según sus necesidades específicas. En el contexto colombiano, el **Ministerio de Minas y Energía** ha desarrollado escenarios en el marco de la **Hoja de Ruta de Transición Energética Justa**, enfocados en la caracterización y modelado de la transición energética del país. Asimismo, entidades del sector financiero como **S&P Global**, **Moody's**, **MSCI** y **BlackRock** ofrecen evaluaciones de riesgo climático adaptadas al sector financiero a través del desarrollo de metodologías específicas.

Dado este panorama, cada organización debe evaluar qué proveedor y qué escenario se ajustan mejor a sus necesidades y objetivos específicos, ya que esta elección influirá directamente en los resultados de sus análisis y en las respuestas estratégicas adoptadas a partir del análisis de escenarios.

Contextualización sobre modelos y escenarios climáticos NGFS

Para llevar a cabo el análisis descrito en este documento, los escenarios climáticos seleccionados fueron los definidos por el NGFS, considerando cuatro aspectos principales:

- Relevancia para el sector financiero

NGFS es una coalición de bancos centrales y supervisores financieros cuyo principal público objetivo es la comunidad financiera. Sus investigaciones, recomendaciones e iniciativas buscan contribuir al desarrollo de la gestión de riesgos climáticos y a la movilización de financiamiento para la transición hacia una economía sostenible.

Los escenarios climáticos desarrollados por esta red están diseñados específicamente para apoyar a las instituciones financieras en la evaluación y gestión de riesgos relacionados con el clima.

- Incorporación de trayectorias macroeconómicas en la modelación climática

A diferencia de otros proveedores de escenarios climáticos, los del NGFS incluyen trayectorias macroeconómicas detalladas. Esto es particularmente relevante para el análisis de activos financieros y portafolios de inversión, ya que permite evaluar el impacto de los riesgos climáticos no solo desde una perspectiva científica del cambio climático, sino también en términos de variables económicas como el PIB, la inflación y las tasas de interés.

- Metodología robusta y transparente

Los escenarios de NGFS son desarrollados en colaboración con instituciones líderes en modelación climática y económica⁴, garantizando así su rigor científico y su aplicabilidad a análisis financieros.

- Comparabilidad y alineación regulatoria

Cada vez más entidades financieras y supervisores a nivel mundial utilizan los escenarios del NGFS para sus ejercicios de evaluación de riesgos y oportunidades del clima, así como en la divulgación de información relacionada. Esto facilita la comparación entre entidades, permite el seguimiento de resultados en el tiempo y ayuda a anticipar potenciales disposiciones regulatorias.

A continuación se describen de manera general los modelos y escenarios del NGFS y se especifican algunas consideraciones para su uso en el ejercicio descrito en el presente documento.

⁴ Los escenarios del NGFS fueron elaborados por el Grupo de Trabajo sobre Diseño y Análisis de Escenarios del NGFS en colaboración con un consorcio académico compuesto por el Instituto de Potsdam para la Investigación del Impacto Climático (PIK), el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), la Universidad de Maryland (UMD), Climate Analytics (CA), el Instituto Federal Suizo de Tecnología en Zúrich (ETHZ) y el Instituto Nacional de Investigación Económica y Social (NIESR).

Modelos de NGFS

El desarrollo de escenarios climáticos se basa en un conjunto de modelos económicos que establecen relaciones entre una variedad de datos sobre riesgos físicos, riesgos de transición e impactos económicos, desde una perspectiva global y local. De esta manera, la información generada está definida según el modelo, la región geográfica, el tiempo y el escenario climático.

Los modelos utilizados por NGFS para generar los escenarios climáticos se pueden clasificar en tres categorías principales (NGFS, 2024):

- Modelos de riesgo físico: incluyen aquellos considerados en la iniciativa ISIMIP (*The Inter-sectoral impact model intercomparison project*)⁵ y el modelo CLIMADA (*CLIMate ADAPtation*)⁶, y, en general, modelan los riesgos físicos a través de proyecciones de temperatura que reflejan distintos escenarios de calentamiento global.
- Modelos de riesgo de transición: comprenden Modelos de Evaluación Integrada (IAMs, por sus siglas en inglés), específicamente *REMIND-MagPIE*, *GCAM* y *MESSAGEix-GLOBIOM*, los cuales estiman el impacto de diferentes políticas en sectores clave, emisiones y uso del suelo a nivel global. Para obtener datos más detallados por país y regiones, a los IAMs se les aplican técnicas de reducción de escala⁷.
- Modelo macroeconómico: se trata específicamente del modelo *NiGEM* (una versión específicamente adaptada para generar los escenarios del NGFS), que permite evaluar cómo los riesgos físicos y de transición afectan variables macrofinancieras.

Para desarrollar el ejercicio planteado en este documento se seleccionaron específicamente dos modelos: *GCAM* y *NiGEM*, considerando que el primero es el único que provee información específica de variables sectoriales (ajustadas únicamente por riesgos de transición) para Colombia y el segundo incorpora efectos de riesgos físicos agudos y riesgos de transición en variables macroeconómicas modeladas para América Latina (*NiGEM* no tiene modelaciones específicas para Colombia, pero incluye al país en los resultados de la región). En la tabla 2 se detallan algunas consideraciones sobre estos dos modelos. No obstante, para mayor información el lector puede revisar la [documentación completa del NGFS](#).

⁵ ISIMIP (*The Inter-sectoral impact model intercomparison project*) es una iniciativa internacional de modelación que evalúa los impactos del cambio climático en múltiples sectores (como la agricultura, recursos hídricos, la biodiversidad y la energía) y escalas espaciales. Para mayor información el lector puede consultar la [página web oficial](#).

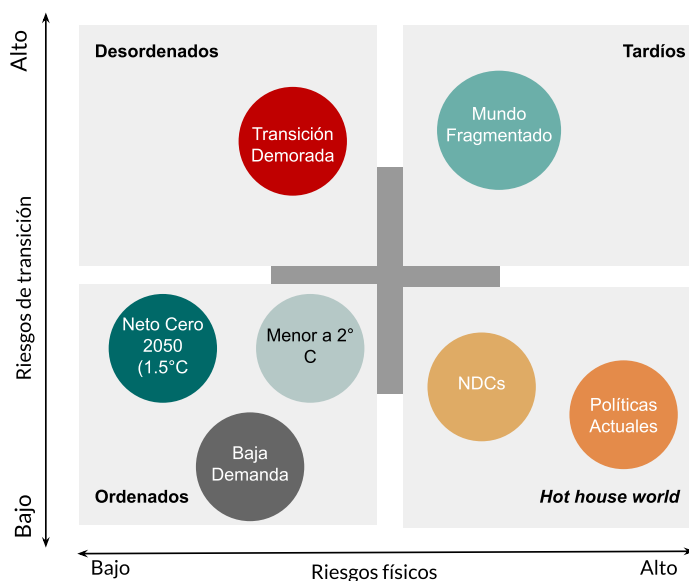
⁶ CLIMADA (*CLIMate ADAPtation*) es un modelo de código abierto, desarrollado por el Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zúrich (ETH Zúrich), que calcula daños por catástrofes naturales y daños evitados gracias a medidas de adaptación al cambio climático). Para mayor información el lector puede consultar la [página web oficial](#).

⁷ En el contexto de modelos climáticos, las técnicas de reducción de escala (*downscaling*) permiten derivar información a escala local / regional a partir de datos de modelos climáticos globales de menor resolución.

Tabla 2. Modelos económicos del NGFS utilizados en el caso de estudio

	Modelos	
	GCAM (Global Climate Analysis Model)	NiGEM (The National Institute Global Econometric Model)
Desarrollador	Pacific Northwest National Laboratory	National Institute of Economic and Social Research
Descripción	Modelo microeconómico que busca simular el comportamiento de los sectores de: energía, agricultura y uso de la tierra, y agua, a nivel global. Incluye diversos parámetros y supuestos, entre éstos los asociados a los riesgos de transición del cambio climático. El modelo obtiene como resultados los precios y las cantidades de energía, bienes agrícolas, entre otros, para cada uno de los escenarios climáticos y regiones geográficas definidas.	Modelo macroeconómico diseñado para simular el comportamiento de variables macroeconómicas como el PIB, la inflación, la tasa de intervención, entre otras, a nivel global, con diferenciación por países / regiones geográficas y escenarios climáticos. NiGEM se alimenta de la información del modelo microeconómico REMIND-MAGPIE (Regional Model of Investment and Development - Model of Agricultural Production and its Impacts on the Environment), así como de otras fuentes de datos.
Riesgos climáticos	Únicamente considera los impactos de los riesgos de transición derivados del precio al carbono ⁸ , cambio tecnológico, y captura y almacenamiento de carbono.	Contempla los impactos de los riesgos de transición derivados del precio al carbono, cambio tecnológico, y captura y almacenamiento de carbono, y, para algunas variables (como el PIB y la inflación), considera los efectos de los riesgos físicos agudos desencadenados por inundaciones, sequías, olas de calor y ciclones.
División geográfica	32 países/regiones. Colombia cuenta con información detallada	52 países/regiones. Colombia está incluido en la región de América Latina, que excluye a Brasil, Argentina, Chile y México (al contar con datos para cada uno de estos países).
Fuente	NGFS Phase 5 Scenario Explorer	NGFS Phase 5 Scenario Explorer

Figura 2. Escenarios climáticos NGFS (versión V). Fuente: NGFS



⁸ El precio al carbono engloba distintas regulaciones que buscan que los responsables de emisiones de GEI paguen un precio por las toneladas de CO₂e que generan, entre estas el impuesto a los combustibles fósiles o el sistema de comercio de emisiones.

Escenarios climáticos

En la versión V (noviembre 2024) de los escenarios climáticos de largo plazo del NGFS, existen siete escenarios de referencia que se agrupan en cuatro categorías según su nivel de riesgo físico y de transición (figura 2). La descripción de las narrativas por escenario y categoría se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción de escenarios climáticos NGFS

Categoría	Escenario climático	Descripción
Escenarios ordenados Caracterizados por tener políticas climáticas ambiciosas que inician en los primeros años y se hacen más estrictas gradualmente, logrando minimizar los riesgos de transición y físicos	Neto cero 2050	Presenta regulaciones estrictas e innovación tecnológica permitiendo limitar la temperatura a 1,5°C y alcanzando emisiones netas de CO ₂ alrededor de 2050.
	Baja demanda	Plantea una transición ordenada impulsada por una reducción en la demanda de energía que se alinea con mantener la temperatura por debajo de 1,5°C.
	Menor a 2°C	Las políticas climáticas aumentan en exigencia gradualmente, algunos países alcanzan sus objetivos neto cero parcialmente, y la temperatura no sobrepasa los 2°C con una probabilidad media.
Escenarios desordenados La transición climática se retarda o es divergente entre países y sectores, implicando bajos riesgos físicos pero altos riesgos de transición debido a que, por ejemplo, el precio al carbono debe incrementar rápidamente y drásticamente	Transición demorada	Se mantienen las políticas actuales hasta 2030, año en que se implementan políticas climáticas de manera no anticipada y disruptiva. A final de siglo se limita la temperatura a 2°C.
Escenarios hot house world Los esfuerzos globales son insuficientes para mitigar el calentamiento global causando que los riesgos físicos sean altos y los riesgos de transición bajos	Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDCs)	Se basa en las contribuciones nacionales del Acuerdo de París de 2015 actualizadas a marzo de 2024. Asume que se cumplen los compromisos de reducción de emisiones a pesar de que aún no están implementadas todas las políticas para alcanzarlos.
	Políticas actuales	No presenta cambios en las políticas climáticas actuales, por lo que presenta mayor exposición a impactos físicos del cambio climático.
Escenarios tardíos La transición a una economía baja en carbono es retardada y desincronizada entre países, resultando en altos riesgos físicos y de transición	Mundo fragmentado	Contempla una transición retardada y desigual entre países, creando altos riesgos físicos y de transición. Los países con metas de neto cero las cumplen parcialmente y los otros siguen una trayectoria de políticas actuales.

Las narrativas de los escenarios climáticos desarrollados por el NGFS están basadas en las siguientes características (Monasterolo, et al, 2023):

- Nivel de ambición política, establecida en términos de objetivos de temperatura: metas más estrictas contribuyen a la mitigación del cambio climático, pero, generan mayores desafíos de transición, mientras que objetivos menos exigentes aumentan los riesgos físicos.
- Rapidez en la implementación de las políticas: retrasos en la acción climática reducen el margen de maniobra para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incrementando tanto los riesgos de transición como los físicos.
- Coordinación de políticas entre países y sectores: mayor divergencia en enfoques regulatorios y precios del carbono acentúa los impactos de la transición.

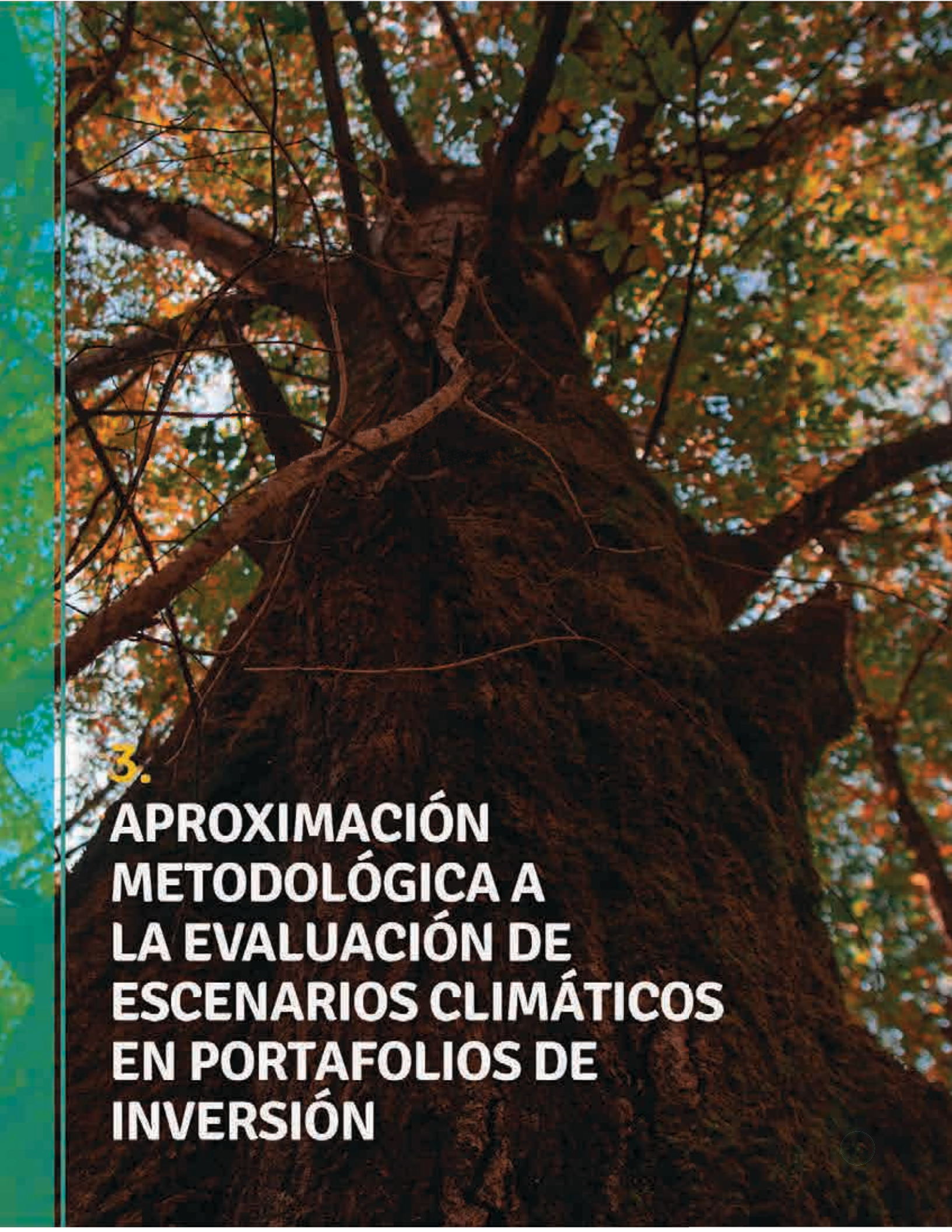
- Ritmo del cambio tecnológico: una evolución tecnológica acelerada facilita el cumplimiento de objetivos climáticos, sin embargo puede generar disrupciones económicas importantes.
- Despliegue de tecnologías de captura y remoción de carbono: si bien estas tecnologías podrían contribuir a mitigar los riesgos de transición al reducir la necesidad de recortes drásticos en las emisiones actuales, su viabilidad para alcanzar niveles significativos de emisiones negativas sigue siendo ampliamente cuestionada. Las dudas se centran principalmente en la capacidad real de estas tecnologías para remover, en la práctica, volúmenes suficientes de emisiones como para generar un balance neto negativo.

De acuerdo con las anteriores características es posible mapear los riesgos físicos y de transición por cada escenario climático, como se ilustra en la tabla 4:

Tabla 4. Riesgos físicos y de transición por escenario climático

Riesgo bajo		Riesgo moderado	Riesgo alto			
		Riesgo físico	Riesgo de transición			
Categoría	Escenario	Temperatura a final de siglo (promedio de los modelos)	Reacción política	Cambio tecnológico	Remoción CO2	Variación regional de políticas
Escenarios ordenados	Baja demanda	1,1°C (1,6°C)	Inmediata	Rápido	Uso medio	Media
	Neto cero 2050	1,4°C (1,7°C)	Inmediata	Rápido	Uso medio-alto	Media
	Menor a 2°C	1,8°C (1,8°C)	Inmediata y suave	Moderado	Uso medio	Baja
Escenarios desordenados	Transición demorada	1,7°C (1,8°C)	Retardada	Lento/rápido	Uso medio	Alta
Hot house world	Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDCs)	2,3°C (2,3°C)	NDCs	Lento	Uso bajo	Media
	Políticas actuales	3,0°C (3,0°C)	Ninguna-políticas actuales	Lento	Uso bajo	Baja
Escenarios tardíos	Mundo fragmentado	2,4°C (2,4°C)	Retardada y fragmentada	Lento/fragmentado	Uso medio-bajo	Alta

Finalmente, se hace énfasis en dos aspectos clave: i) el horizonte temporal de los escenarios se extiende hasta 2100; sin embargo, las estimaciones del modelo NiGEM solo llegan hasta 2050, y ii) aunque no se menciona explícitamente, la principal política para reducir las emisiones y limitar el aumento en la temperatura es el precio al carbono, cuyo incremento es más pronunciado en los escenarios de mayor ambición y varía en el tiempo según el escenario.



3.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA A LA EVALUACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS EN PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN



El análisis desarrollado tiene como objetivo evaluar, de manera prospectiva, el **impacto de riesgos derivados del cambio climático en la valoración de los activos de renta fija y renta variable de un portafolio hipotético** bajo distintos escenarios climáticos, considerando como periodo de análisis 2025 - 2050 y una resolución temporal anual.

Metodológicamente, la evaluación se llevó a cabo de forma individual para activos de renta fija (bonos soberanos) y renta variable (acciones de los sectores cemento, petróleo, gas y energía), para luego consolidar los resultados en un análisis de los efectos en un portafolio de inversión. La metodología empleada es la misma en todos los escenarios climáticos, diferenciándose únicamente en los supuestos y datos de entrada (variables NGFS).

En términos generales, como se expuso en el [alcance del caso de estudio](#), el ejercicio se desarrolló en tres etapas principales:

1. Cálculo de precios teóricos por activo: para los activos individuales se calcularon flujos de caja futuros, que luego fueron descontados para obtener un valor presente en cada momento del tiempo. Para propósitos de este ejercicio, **los precios calculados se entienden como aproximaciones teóricas del valor intrínseco de los activos** y no consideran dinámicas de oferta y demanda en los mercados financieros.
2. Estimación de variaciones porcentuales de los precios teóricos por activo: a partir de los precios obtenidos en la etapa 1, se **determinaron variaciones anuales**. El cálculo de estos cambios porcentuales busca facilitar la comparabilidad de las valoraciones de los activos y consolidar los resultados, sin embargo, no representan rentabilidades efectivas de inversiones.
3. Consolidación de resultados por portafolio: Las variaciones porcentuales anuales de cada activo se ponderan según su participación en portafolios hipotéticos y **se evalúan tendencias y posibles impactos diferenciados para perfiles de riesgo conservador, moderado y arriesgado**.

En los siguientes apartados se detallan las consideraciones metodológicas para cada tipo de activo (explicando el detalle de las etapas 1 y 2) y la forma en que se integran los resultados a nivel de portafolios de inversión (etapa 3). Igualmente, se exponen los principales supuestos y limitaciones en la evaluación de cada activo y portafolio.

Metodología de evaluación de bonos soberanos

El análisis de bonos soberanos tiene como objetivo determinar, en cada escenario climático, **cómo cambiaría el precio de un bono en el tiempo**, asumiendo que sus condiciones faciales se mantienen constantes.

Con este propósito, primero se estimaron los rendimientos al vencimiento (en inglés *yield to maturity* - YTM)⁹ ajustados por cambio climático para un bono de 10 años de Colombia y otro de Estados Unidos. Esos rendimientos se utilizaron como insumo para calcular los precios en cada momento del tiempo.

⁹ El rendimiento al vencimiento (YTM) es la rentabilidad total que un inversionista obtendría si conserva el bono hasta su fecha de vencimiento, asumiendo que todos los pagos se reciben en los plazos programados y se reinvierten a la misma tasa (YTM).

Estimación de rendimientos al vencimiento (YTM)

El cálculo de rendimientos al vencimiento para el año t y el escenario climático x (YTM_{tx}) se realizó a través de un modelo de regresión lineal múltiple. El modelo captura la relación entre distintas variables macroeconómicas (detalladas en la tabla 5) y el rendimiento del bono, a partir de información histórica¹⁰, para luego incorporar los valores futuros de esas variables ajustados por cambio climático. De esta manera, se estima la evolución futura de los rendimientos al vencimiento (YTM), asumiendo que la relación histórica entre las variables se mantiene en el tiempo.

Tabla 5. Variables independientes por modelo

	Colombia	Estados Unidos
Modelo	$Y_t = \beta_0 + \beta_1 * y_{t-1} + \beta_2 * X1_t + \beta_3 * X2_t + \beta_n * Xn_t + u_t$	
Variables independientes	YTM del año anterior Crecimiento del PIB Tasa de política monetaria Expectativa de inflación a 1 año ¹¹ Año 2020	YTM del año anterior Crecimiento del PIB Tasa de política monetaria Inflación Expectativa de inflación a 9 años Año 2009

Todas las variables macroeconómicas ajustadas por cambio climático (modelo NGFS: [NiGEM \(REMIND-MagPIE\)](#)), empleadas para predecir el YTM, incorporan efectos de riesgos de transición, pero solo el *Crecimiento del PIB* y la *Inflación* contemplan riesgos físicos agudos (ver [Anexo 1](#)). La variable *YTM del año anterior* ayuda a capturar el efecto de inercia sobre el YTM del año analizado; mientras que las variables *Año 2020* y *Año 2009* sirven para controlar el efecto de años atípicos, específicamente en relación con la pandemia del COVID 19 y la recesión financiera, respectivamente.

Valoración del bono (cálculo del precio teórico)

El precio teórico del bono en cada momento del período de análisis (P_t) se calculó descontando sus flujos de caja futuros (FC) a una tasa de descuento correspondiente al rendimiento al vencimiento (en inglés *yield to maturity* - YTM) del bono en el año t y en el escenario climático x (YTM_{tx}):

$$P_t = \sum_{i=1}^n \frac{FC}{(1+YTM_{tx})^i}$$

Los flujos de caja (FC) se determinaron a partir de las condiciones faciales del bono (detalladas en la tabla 6), que se mantienen a lo largo del tiempo y son iguales en todos los escenarios climáticos.

¹⁰ El [anexo 2](#) detalla las fuentes de la información histórica de las variables empleadas en la modelación.

¹¹ A partir de la información histórica de la *Inflación* se asume que las *Expectativas de inflación* equivalen a las inflaciones del futuro traídas al presente.

Tabla 6. Características faciales de los bonos valorados

	Colombia	Estados Unidos
Tipo de bono	Bullet - Tasa fija	Bullet - Tasa fija
Tasa cupón	7%	4.25%
Periodicidad de pago	Anual	Semestral
Plazo al vencimiento	10 años	10 años

Estimación de variaciones porcentuales anuales

A partir de los precios obtenidos para cada bono, año del período de evaluación y escenario climático, se calculan variaciones anuales, que son ponderadas posteriormente en distintos portafolios según la participación de cada activo.

Supuestos y limitaciones

- El precio de un bono calculado a partir del rendimiento al vencimiento (YTM) representa su valor teórico bajo el supuesto de que se mantiene hasta el vencimiento y que los pagos de cupón se reinvierten a la misma tasa.
- El ejercicio de valoración asume que en cada momento del tiempo el portafolio mantiene una posición en un bono soberano con un plazo constante de 10 años al vencimiento. Esto implica que no se modela la evolución de un mismo bono en el tiempo (con un vencimiento decreciente), sino que en cada período se valora un bono nuevo con características equivalentes.
- El análisis se centra en la valoración de bonos a 10 años y no captura dinámicas de la curva de rendimientos en otros vencimientos. No se modela explícitamente cómo cambios en la pendiente o forma de la curva podrían afectar las tasas de interés a diferentes plazos, aunque estos cambios pueden influir en el rendimiento de los bonos a 10 años utilizados en el modelo.
- Se verificó que el modelo econométrico cumpliera con los supuestos fundamentales para garantizar la validez de los resultados. Sin embargo, existen algunas limitaciones. En primer lugar, la posible omisión de factores macroeconómicos que pueden influir en los rendimientos (por ejemplo, la tasa de cambio). En segundo lugar, la suposición de estabilidad en la relación entre las variables podría no mantenerse en escenarios de alta volatilidad o cambios en la estructura de tasas de interés. Por último, la calidad y disponibilidad de datos históricos, así como de la incertidumbre inherente a la modelación de variables en el largo plazo, también representan restricciones para el análisis.
- En lo concerniente a los riesgos físicos, es importante tener en cuenta que sus efectos están subvalorados en la modelación de rendimientos al vencimiento de los bonos. Ninguna de las variables de NGFS utilizadas en el ejercicio captura impactos por riesgos físicos crónicos y solo la variable *Inflación* y *Crecimiento del PIB* contemplan las afectaciones por riesgos físicos agudos.

- Las variables del NGFS utilizadas en el modelo econométrico para determinar los rendimientos de los bonos de Colombia están modeladas para la región de América Latina¹² y no se cuenta con datos específicos para Colombia. Por esa razón, para el modelo econométrico se asume que las variables macroeconómicas de Colombia seguirán el comportamiento futuro modelado por NGFS para las de América Latina.

Metodología de evaluación de acciones de sector real

De manera similar al análisis de bonos soberanos, la evaluación de activos de renta variable en los sectores de cemento, petróleo, gas y energía tiene como propósito determinar, en cada escenario climático, **cambios en los precios de las acciones a lo largo del tiempo derivados de riesgos del cambio climático**.

Para ello, en cada escenario, se realizó la modelación financiera de los principales rubros del balance general y del estado de resultados de una empresa tipo por cada sector, utilizando variables económicas ajustadas por cambio climático (calculadas por NGFS), para luego estimar su valor intrínseco mediante una aproximación del método de valoración de flujos de caja descontados (DCF, por sus siglas en inglés). El comportamiento de la valoración intrínseca de la empresa tipo se asume en este ejercicio como una aproximación de la evolución del precio de cada acción.

Información financiera de las empresas tipo

Las empresas tipo, descritas en la tabla 7, son compañías hipotéticas que reflejan el comportamiento financiero promedio de cada sector. Para desarrollar el presente análisis se construyeron estados financieros para cada una de ellas tomando como referencia la información financiera, los reportes de gestión y divulgaciones de información climática de diversas compañías que operan en Colombia. Siempre que fue posible, se utilizaron estados financieros separados para excluir el comportamiento de filiales de otros sectores o países y, cuando la información lo permitió, se eliminaron ingresos y costos ajenos a los del sector definido.

Tabla 7. Descripción de empresas tipo

Empresa tipo	Descripción
Petróleo	Exploración, explotación, refinación, transporte y almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos y sus derivados
Cemento	Producción y comercialización de cemento y concreto
Gas	Distribución y comercialización de gas natural
Energía	Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía

Variables económicas y sectoriales ajustadas por cambio climático (NGFS)

Para analizar las empresas tipo se definieron, en primer lugar, los rubros financieros que pueden verse afectados por riesgos derivados del cambio climático. Dependiendo del tipo de riesgo (físico agudo o de transición) el impacto financiero se recoge a través de la modelación de ingresos, costos / gastos

¹² De acuerdo con la desagregación geográfica del modelo NiGEM, América Latina no incluye a Brasil, Chile, Argentina ni México. Estos países se modelan como zonas geográficas independientes.

y/o activos utilizando variables del NGFS ajustadas por cambio climático. La tabla 8 ilustra algunos ejemplos de la relación entre riesgo climático, impacto financiero y variable NGFS:

Tabla 8. Ejemplos de impactos de riesgos climáticos a nivel financiero de una empresa

Riesgo	Impacto Financiero	Variables NGFS ajustadas por cambio climático para evaluación de impacto
Transición - Regulatorio Aumento en el precio del carbono y otros costos asociados a las emisiones de GEI	Aumento de costos / Gastos	Costos regulatorios y de cumplimiento (p. ej., monitoreo de emisiones, fijación de precios del carbono)
Transición - Mercado y tecnológico Sustitución de productos y servicios existentes por opciones con menores emisiones – Cambio en el comportamiento del consumidor	Reducción de Ingresos	Demanda del consumidor y del mercado (p. ej., consumo de petróleo)
Físico - Agudo Eventos climáticos extremos como huracanes, inundaciones o incendios que generan disminución de la actividad económica por pérdidas y daños en infraestructura, operaciones y cadenas de suministro.	Reducción de ingresos y/o deterioro de activos	PIB e inflación variables macroeconómicas que reflejan interrupciones productivas, daños a infraestructura y presión inflacionaria

Las variables económicas ajustadas por cambio climático utilizadas en la modelación financiera son calculadas por el NGFS para cada uno de los escenarios seleccionados y bajo los modelos expuestos en el apartado [Selección de los escenarios de cambio climático](#).

En general, las variables que reflejan información sectorial (i.e. precios y demanda de commodities, inversión) consideran únicamente los efectos de los riesgos de transición. En el caso de variables macroeconómicas (i.e. inflación), la modelación climática contempla tanto efectos de riesgos de transición como de riesgos físicos agudos.

En cuanto a los ajustes realizados a la información suministrada por NGFS, es importante destacar dos aspectos. Primero, algunas variables cuentan con datos anuales para todo el periodo de modelación, mientras que otras solo disponen de valores reportados en intervalos de 5 años. Por esa razón, para estas últimas, se realizaron interpolaciones asumiendo un comportamiento homogéneo en los años intermedios. En segundo lugar, las variables de precios, definidas en dólares americanos (USD) y a precios constantes, se convirtieron a pesos colombianos (COP) y luego a precios corrientes.

Por último, en relación con el periodo de análisis, para el sector real se mantuvo la misma definición de bonos soberanos: 2025 a 2050. Sin embargo, es necesario aclarar que los datos de las variables del NGFS empleadas en el ejercicio contemplan información desde el año 2020 hasta 2100, puesto que, como se explica más adelante, se realizan proyecciones de flujos para un periodo de 50 años en cada momento del tiempo.

El [anexo 1](#) detalla las variables utilizadas en la modelación de cada sector, el modelo económico NGFS bajo el que son definidas y el tipo de riesgos climáticos (físicos o de transición) que consideran.

Modelación

El análisis de cada empresa tipo se desarrolló en dos fases. En la primera, para cada escenario climático se modelaron los estados financieros (balance general y estado de resultados) desde 2025 a 2100 y, en la segunda, en cada año del periodo de evaluación (2025 - 2050) se valoraron las empresas a través de una aproximación al método de flujos de caja descontados (DCF, por sus siglas en inglés).

Para la modelación de los estados financieros, se identificaron los principales rubros que pueden ser directamente afectados por variables económicas y sectoriales calculadas por NGFS. Los demás rubros se determinaron en función de los ingresos operacionales mediante distintas razones financieras.

La tabla 9 presenta la metodología utilizada para modelar cada rubro financiero por sector, especificando cómo se incorporan los efectos de los riesgos de transición y de riesgos físicos agudos.

Tabla 9. Modelación de rubros de los estados financieros a partir de variables ajustadas por cambio climático

	Riesgo de transición	Riesgo de transición y físico agudo		
	Petróleo	Cemento	Gas	Energía
Ingresos operacionales	Ingresos operacionales (t) = Ingresos operacionales (t-1) * Variación consumo crudo (t) * Variación precio crudo (t)	Ingresos operacionales (t) = Ingresos operacionales (t-1) * Variación producción cemento (t) * Inflación (t)	Ingresos operacionales (t) = Ingresos operacionales (t-1) * Variación producción commodity (t) * Variación precio commodity (t)	
Costo	Costo (t) = Costo (t-1) * Variación consumo crudo (t) * Inflación (t)	Costo (t) = [Costo (t-1) - Impuesto al carbono (t-1)] * Variación producción cemento (t) * Inflación (t) + Impuesto al carbono (t)	Costo (t) = Costo (t-1) * Variación producción gas natural (t) * Inflación (t)	Costo (t) = [Costo (t-1) - Impuesto al carbono (t-1)] * Variación producción electricidad (t) * Inflación (t) + Impuesto al carbono (t)
Gastos operacionales	Gastos operacionales (t) = [Gastos operacionales (t-1) - Cupos emisiones (t-1)] * Variación producción commodity (t) * Inflación (t) + Cupos emisiones (t)			
Gastos financieros	Gastos financieros (t) = Pasivos no corrientes (t-1) * Tasa de interés de largo plazo (t)			
Activos no corrientes	Activos no corrientes (t) = Activos no corrientes (t-1) + [Delta PP&E (t) * Variación inversión crudo (t)]	Activos no corrientes (t) = Activos no corrientes (t-1) + [Delta PP&E (t) * Variación producción commodity (t)]		Activos no corrientes (t) = Activos no corrientes (t-1) + [Delta PP&E (t) * Variación inversión electricidad (t)]
Pasivos corrientes	Pasivos corrientes (t) = Ingreso operacional (t) / Rotación pasivos corrientes (t=0) + Recaudo impuesto al carbono (t)			

En lo concerniente a la valoración de las empresas tipo, se realizó una aproximación a la metodología de flujos de caja descontados. Así, para cada año de análisis en el período definido (2025 - 2050), se estimaron los flujos de los siguientes 50 años y se descontaron a una tasa fija (costo promedio ponderado de capital)¹³.

Específicamente, la valoración se realizó de la siguiente manera:

¹³ Un componente importante de la metodología de flujos de caja descontados es el **valor terminal**, que corresponde a la estimación del valor de la empresa más allá del período de proyección. Para el presente ejercicio este valor se omite en la valoración, teniendo en cuenta que: i) no se cuenta con información adicional a las modelaciones realizadas por NGFS hasta 2100 y, en ese sentido, estimar el crecimiento de una empresa en cada escenario climático después de esa fecha es un ejercicio de incertidumbre extrema; y ii) el efecto de este valor en el cálculo final, dada la amplitud del período de proyección, es poco representativo (por ejemplo, usando una tasa de crecimiento del 3% para la empresa tipo del sector energía en 2050, el valor terminal representa entre 1,19% y 1,68% de la valoración según el escenario).

$$Valor\ empresa_{t=0} = \sum_{t=1}^{50} \frac{Flujo\ libre\ de\ efectivo_t}{(1 + Costo\ medio\ ponderado\ de\ capital)^t}$$

Donde,

$$Flujo\ libre\ de\ efectivo_t = Utilidad\ neta_t + Depreciación_t - Gastos\ de\ capital_t - \Delta Capital\ de\ trabajo\ neto_t$$

$$Gastos\ de\ capital_t = Depreciación_t + \Delta Activos\ fijos_t$$

$$\Delta Activos\ fijos_t = Activos\ fijos_t - Activos\ fijos_{t-1}$$

$$Capital\ de\ trabajo\ neto_t = Activos\ corrientes_t - Pasivos\ corrientes_t$$

$$\Delta Capital\ de\ trabajo\ neto_t = Capital\ de\ trabajo\ neto_t - Capital\ de\ trabajo\ neto_{t-1}$$

Simplificando la fórmula de *Flujo libre de efectivo* se tiene que:

$$Flujo\ libre\ de\ efectivo_t = Utilidad\ neta_t - \Delta Activos\ fijos_t - \Delta Capital\ de\ trabajo\ neto_t$$

El comportamiento de la valoración intrínseca de la empresa tipo se asume en este ejercicio como una aproximación de la evolución del precio de cada acción, asumiendo que el número de acciones en circulación se mantiene constante.

Estimación de variaciones porcentuales anuales

A partir de los precios obtenidos para cada acción, año del período de evaluación y escenario climático, se calculan variaciones anuales, que son ponderadas posteriormente en distintos portafolios según la participación de cada activo.

Supuestos y limitaciones

Todo ejercicio de modelación financiera se basa en supuestos clave y conlleva ciertas limitaciones. El análisis realizado para las empresas tipo no es la excepción, y resulta importante considerar los supuestos subyacentes y sus implicaciones descritos a continuación:

- La valoración obtenida para cada empresa tipo se basa en la proyección de sus flujos de caja futuros descontados a una tasa fija (costo promedio ponderado de capital). Se trata de un valor teórico, cuyas variaciones no necesariamente reflejan la dinámica de oferta y demanda en el mercado.
- Para efectos de este ejercicio, los cambios en la valoración teórica de cada empresa tipo se utilizan como una aproximación de las variaciones en el precio de acciones hipotéticas (se asume que el número de acciones se mantiene constante).
- El costo promedio ponderado de capital, utilizado como tasa de descuento de los flujos futuros, se mantiene fijo a lo largo del tiempo. Su valor es una aproximación del costo observado en empresas colombianas de cada sector evaluado.

- Como se mencionó en la [sección 2](#), el enfoque adoptado para este análisis es *estático*. En el caso de las empresas tipo, esto implica asumir que sus condiciones internas actuales (i.e: factores de emisión GEI e inversión en tecnología) se mantienen constantes a lo largo del período de modelación. En otras palabras, el ejercicio busca determinar cómo evolucionaría la empresa en distintos escenarios climáticos si las condiciones externas varían (i.e. demanda, precios, impuesto al carbono), pero la empresa no ajusta su estrategia en respuesta a esos cambios.

Es importante destacar que llevar el análisis de escenarios a un nivel más avanzado requiere evolucionar este enfoque e incorporar la evaluación de los cambios estratégicos que la empresa debería implementar para adaptarse a las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático.

- En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las empresas, se asume que evolucionan exclusivamente con la producción / consumo del bien de cada uno de los sectores, garantizando que el respectivo factor de emisión se mantiene constante. En esa medida, no se consideran las metas de reducción de emisiones que las empresas hayan asumido o planeen asumir, ni las inversiones en tecnologías bajas en emisiones.
- En lo concerniente a los riesgos físicos, es importante tener en cuenta que sus efectos están subvalorados en la modelación de los estados financieros y por consiguiente en la valoración de las empresas tipo. Ninguna de las variables de NGFS utilizadas en el ejercicio captura impactos por riesgos físicos crónicos y solo la variable *Inflación* contempla las afectaciones por riesgos físicos agudos.
- Las variables *Tasa de interés de largo plazo* e *Inflación* del NGFS, utilizadas en la proyección de los estados financieros de las empresas tipo, están estimadas para la región de América Latina y no se cuenta con datos específicos para Colombia. Por esa razón, en la modelación financiera se asume que dichas variables en Colombia seguirán el comportamiento futuro modelado por NGFS para las de América Latina.
- Para la modelación de costos y recaudo por el impuesto al carbono se tomó como guía lo establecido en la [Ley 2277 de 2022 Título IV Capítulo I](#) de Colombia para comprender cómo aplicarlo en cada sector. El precio del impuesto es una variable modelada por NGFS en cada escenario.

De otra parte, se asume la implementación en Colombia de un *Sistema de Comercio de Emisiones* (ETS), cuyos supuestos y alcance dentro del modelo se establecieron con base en la información del [Proyecto de decreto](#) para la reglamentación del *Programa Nacional de Cupos Transables de Emisión de Gases de Efecto Invernadero – PNCTE* publicado el 3 de septiembre de 2024. A la fecha de publicación del presente documento el diseño del PNCTE se encuentra en desarrollo.

La tabla 10 describe las principales consideraciones en relación al impuesto al carbono y al PNCTE.

Tabla 10. Supuestos y consideraciones del impuesto al carbono y del PNCTE

			Petróleo	Cemento	Energía	Gas
Impuesto al carbono			La cifra de recaudo actual crece con el consumo de crudo y el precio al carbono	La cifra del pago actual crece con la producción de cemento y el precio al carbono	La cifra del pago actual crece con la producción de electricidad y el precio al carbono	No se considera
PNCTE	Gradualidad implementación	Alcance 1 y 2 GEI	2026 - 2030: Neto cero 2050, menor a 2°C y NDCs 2031 - 2035: Transición retardada y mundo fragmentado			2028 - 2030: Neto cero 2050, menor a 2°C y NDCs 2033 - 2035: Transición retardada y mundo fragmentado
		Alcance 3 GEI				2030 - 2032: Neto cero 2050, menor a 2°C y NDCs 2035 - 2037: Transición retardada y mundo fragmentado
	Precio del cupo		El precio del cupo en 2024 es el mismo del precio al carbono de Colombia (\$25,799,56) y crece con la inflación a través del tiempo en cada escenario climático. En la práctica, el precio del cupo varía según el comportamiento del mercado, sin embargo en este ejercicio se tiene como supuesto que como mínimo debería ser igual al impuesto al carbono.			
	Descuento impuesto al carbono		Si el sector recauda o paga el impuesto al carbono, esté se descuenta del pago realizado por los cupos adquiridos a través del PNCTE.			

Metodología de evaluación de portafolios de inversión

El propósito general del ejercicio realizado es evaluar cómo un portafolio de inversiones hipotético podría verse afectado por riesgos derivados del cambio climático en distintos escenarios.

Por ello, a partir de los resultados de valoración (precios teóricos) de los activos individuales y con el fin de hacerlos comparables en el análisis agregado de portafolio, se calcularon variaciones porcentuales anuales. A partir de ellas se obtienen cambios anuales por portafolio que permiten analizar cómo evolucionaría su valoración a lo largo del tiempo.

A continuación, se describe la aproximación metodológica utilizada para la definición de los portafolios de inversión, así como la estimación de su valoración en cada escenario climático.

Portafolios de inversión

Para analizar los impactos del cambio climático a nivel de portafolios de inversión, se definieron tres tipos de portafolio diferenciados según su perfil de riesgo: conservador, moderado y arriesgado.

En cuanto al tipo de activo, cada portafolio incluye posiciones en renta fija, renta variable (que únicamente considera acciones) y en una categoría denominada "otros", que agrupa activos no contemplados dentro del alcance del análisis de cambio climático. En lo referente a los activos individuales, la asignación a bonos soberanos de Colombia y Estados Unidos se aproxima a la composición de portafolios de pensiones obligatorias en Colombia, mientras que la participación en

acciones de los sectores cemento, petróleo, gas y energía refleja la composición del índice MSCI COLCAP vigente en marzo de 2025. Adicionalmente, dentro de las categorías de renta fija y renta variable, se incluye una participación en un activo denominado *otros*.

Tabla 11. Composición de portafolios de inversión según perfil de riesgo

Tipo Activo	Sector	Conservador		Moderado		Arriesgado	
		% Tipo Activo	% Sector	% Tipo Activo	% Sector	% Tipo Activo	% Sector
Renta fija	Soberanos EEUU	79%	4.74%	39%	2.34%	25%	1.50%
	Soberanos Colombia		69.00%		34.00%		22.00%
	Otros		5.26%		2.66%		1.50%
Renta variable	Cemento	19%	1.18%	42%	2.62%	54%	3.37%
	Petróleo		2.09%		4.62%		5.94%
	Gas		0.21%		0.46%		0.59%
	Energía		3.67%		8.12%		10.44%
	Otros		11.85%		26.18%		33.66%
Otros	Otros	2%		19%		21%	
Total		100%		100%		100%	

Cálculo de variaciones anuales ponderadas y estimación de la evolución de la valoración

La evaluación de impactos del cambio climático en portafolios de inversión consiste en ponderar el cambio porcentual anual de cada activo (R_i) según su participación en el portafolio (w_i), con el fin de obtener una variación anual del portafolio (R_p) en cada momento del periodo de análisis:

$$R_p = \sum_{i=1}^n w_i \cdot R_i$$

A partir de las variaciones por portafolio es posible estimar cómo evolucionaría su valoración a lo largo del tiempo, asumiendo como valor inicial 1.000 millones COP. De esta manera, en cada año del periodo evaluado la valoración ($V_{p,t}$) se calcula como:

$$V_{p,t} = V_{p,t-1} \cdot (1 + R_p)$$

Supuestos y limitaciones

- La composición de los portafolios según su perfil de riesgo es hipotética y no representa estrategias de inversión específicas. El ejercicio realizado no constituye una asesoría financiera ni busca establecer recomendaciones para la toma de decisiones de inversión.
- La categoría *Otros* busca agrupar posiciones en tipos de activos y sectores que no fueron evaluados en el análisis por cambio climático. Para considerar su comportamiento en el retorno del portafolio se asume que crecerá en línea con el comportamiento del PIB en un escenario que no considera ningún efecto por riesgos de cambio climático¹⁴.

¹⁴ Esta información también es modelada por NGFS bajo un escenario denominado *baseline*, en el que se asume que no hay riesgos físicos ni de transición. Así, se cuenta con datos de crecimiento anual del PIB para el periodo de evaluación.

A person with long, dark, curly hair, wearing a light-colored long-sleeved shirt and dark pants, stands with their back to the camera on a large, grey rock. They are looking out over a dense, lush green forest. The scene is bathed in warm, golden light, suggesting late afternoon or early morning. The forest is composed of various types of trees, with some foliage appearing bright yellow-green. A vertical green bar is visible on the left side of the image.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Esta sección presenta los resultados del análisis desarrollado bajo la metodología expuesta para cada tipo de activo y portafolio. Como se mencionó anteriormente, el objetivo del ejercicio es evaluar cada activo de forma individual para luego integrar los hallazgos en una visión consolidada de portafolio de inversión.

Para facilitar la comunicación de los resultados, se destacan las tendencias generales en la valoración de los activos, agrupando los escenarios con dinámicas similares y analizando de manera individual aquellos con características particulares. Esas tendencias se respaldan con la descripción de perspectivas en el comportamiento de los principales factores que determinan la valoración de las empresas tipo y los rendimientos al vencimiento (YTM) de bonos soberanos.

En cuanto a la consolidación de resultados a nivel de portafolio, se analizan brevemente las tendencias en la valoración de portafolios diferenciados según su perfil de riesgo (conservador, moderado, arriesgado). Finalmente, se proponen algunas reflexiones sobre la utilidad de los resultados obtenidos y el papel del análisis de escenarios en la gestión de portafolios de inversión.

Resultados generales y tendencias por sector

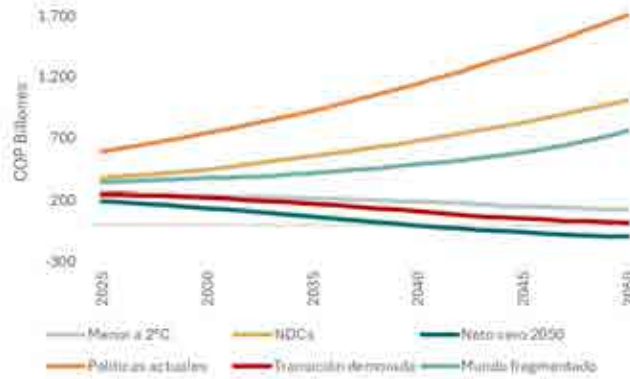
Petróleo: dependiente de la demanda y la evolución de precios

En términos de perspectivas para el sector, las estimaciones de los escenarios del NGFS indican que para no superar un aumento de 2°C en la temperatura global, la producción y el uso de petróleo debería eliminarse progresivamente hacia 2050. El alto impacto de este bien en las emisiones de GEI se debe a su alto grado de integración en la economía global, especialmente en los sectores de transporte y petroquímico. Se estima, por ejemplo, que aproximadamente la mitad de la demanda mundial de crudo proviene del consumo de combustibles para vehículos de carretera (Iniciativa Financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [UNEP FI], 2025).

Este nivel de dependencia plantea un desafío considerable, ya que la transición energética requiere el desarrollo de alternativas viables en cada sector. Aunque la adopción de vehículos eléctricos ha avanzado, aún persisten retos en segmentos como el transporte aéreo, marítimo y de carga. En el ámbito petroquímico, la reducción del uso de petróleo implica la implementación de nuevos procesos productivos basados en materiales alternativos, lo que demanda inversiones significativas en tecnología, investigación y desarrollo. Adicionalmente, más de 100 países son exportadores de crudo (UNEP FI, 2025), por lo que la transición también supone una transformación estructural de sus economías, incluyendo la diversificación de sus fuentes de ingresos y la reconfiguración de sus matrices exportadoras. En el caso de Colombia, los ingresos provenientes del petróleo representan aproximadamente el 3,4 % del PIB (World Bank Open Data, 2025), lo que resalta la relevancia de esta industria para la economía nacional y la necesidad de una estrategia de transición bien planificada.

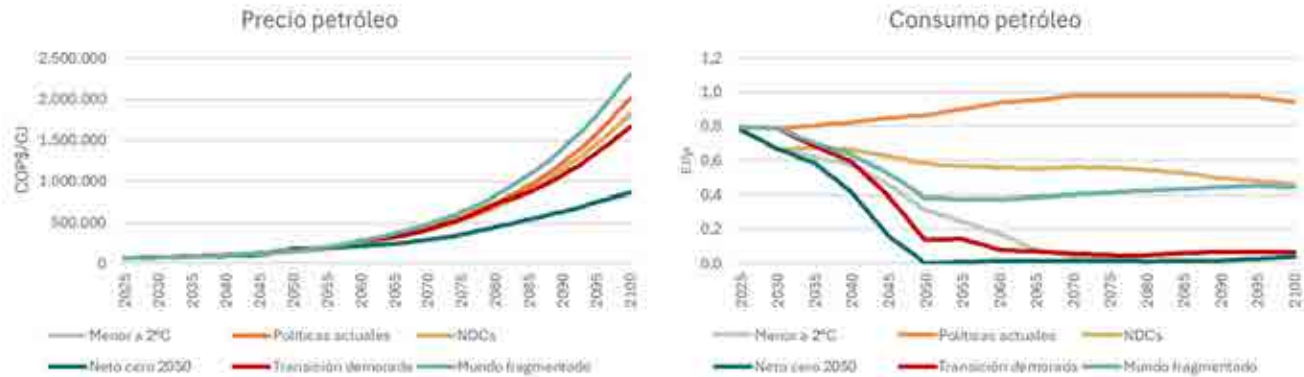
El panorama anterior incide en la valoración de la empresa tipo de petróleo, al estar determinada, principalmente, por la dinámica del consumo y el precio del petróleo en cada escenario. En general, **en los escenarios ordenados y desordenados se evidenciarían caídas en la valoración debido a la menor demanda de petróleo, mientras que aquellos con una demanda sostenida favorecerían un crecimiento en el valor de la empresa** (figura 3).

Figura 3. Evolución de la valoración de la empresa tipo de petróleo según escenario climático



Por el lado de las perspectivas positivas, los **escenarios menos restrictivos en términos de acción climática (*Políticas actuales*, *NDCs* y *Mundo fragmentado*) estiman precios en aumento y consumo sostenido** (figura 4), que se traducen en utilidades netas crecientes a un nivel exponencial (por ejemplo, en *Políticas actuales* los ingresos crecerían 39 veces entre 2025 y 2100, aunque el consumo de crudo solo lo haría un 19% en el mismo período, siendo el efecto de un aumento de precios más relevante en este caso). De esta manera, la valoración de la empresa mantendría una tendencia positiva.

Figura 4. Consumo y precio del petróleo según escenario climático. Fuente: NGFS



Por su parte, **los escenarios ordenados (*Neto cero 2050* y *Menor a 2°C*)**, que implican una reacción política inmediata y cambios drásticos en la economía, plantearían unos desafíos relevantes para el sector ante la **caída rápida del consumo con casi una total eliminación hacia 2050 en el escenario *Neto cero 2050*** (figura 4). Aunque el precio del petróleo mantiene una tendencia positiva (con una tasa de crecimiento mucho menor a la de los demás escenarios), ese aumento no compensa la fuerte caída en las ventas, ocasionando una menor generación de flujo de caja y, por ende, una valoración decreciente.

El escenario *Transición demorada* plantea un comportamiento intermedio entre los dos grupos mencionados anteriormente. Hasta 2040, aproximadamente, es un escenario que se asemeja a *Mundo fragmentado* en términos de precio y consumo, sin embargo, a partir de esa fecha la demanda se reduciría de manera acelerada, casi al mismo ritmo que en *Neto cero 2050*. Por lo anterior, la valoración

de la empresa podría mantenerse relativamente estable en el corto plazo, pero con un riesgo de disminución a medida que la transición a una economía baja en carbono se acelere.

Petróleo - Futuros climáticos posibles:

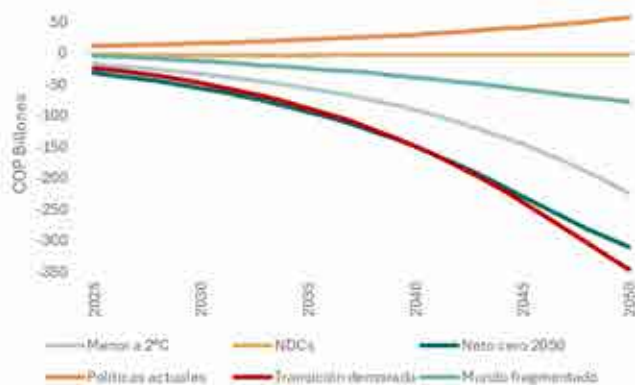
- En los escenarios *ordenados* y *desordenados* se debería migrar hacia modelos de negocio bajos en emisiones a raíz de la caída en la demanda de petróleo a 2050
- En los escenarios *Hot house world* y *tardíos* el tenue crecimiento de la demanda debería ser compensado con la diversificación de fuentes de ingresos y la optimización de costos

Cemento: altamente expuesto a gastos por emisiones y regulación de carbono

La industria de cemento se caracteriza por su alta intensidad de emisiones de GEI, derivada principalmente del proceso tradicional de producción. Este proceso requiere de temperaturas elevadas en los hornos para la fabricación del *clinker*, principal componente del cemento. La energía utilizada para alimentar estos hornos proviene tanto de la electricidad como de combustibles fósiles, lo que genera una cantidad importante de emisiones. Por eso, es necesario que la industria avance en su descarbonización mediante la adopción de fuentes de energía renovables, como el hidrógeno verde, y explorar oportunidades en materiales sostenibles, como el bio-concreto.

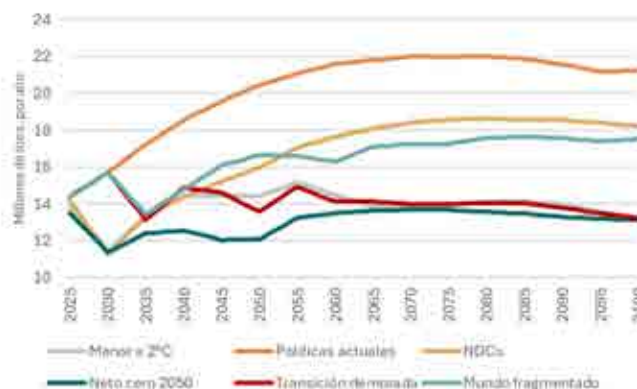
Los resultados de la valoración de la empresa tipo muestran que, **dada su alta intensidad de emisiones de GEI, la industria es altamente vulnerable a los riesgos de transición del cambio climático por su exposición al impuesto al carbono**: en cinco escenarios analizados las valoraciones de la empresa se reducirían desde 2025 hasta 2050, siendo el escenario de *Políticas actuales* la excepción (figura 5).

Figura 5. Evolución de la valoración de la empresa tipo de cemento según escenario climático



A pesar de que los ingresos de la industria de cemento aumentarían en todos los escenarios entre 2025 y 2100, como resultado de una producción que sería creciente o se mantendría constante (figura 6), el impuesto al carbono tendría un impacto sustancial en las utilidades netas debido a la alta intensidad de emisiones de la industria, al punto de que a 2035 éstas podrían llegar a ser negativas en todos los escenarios (figura 7), sin contar *Políticas actuales* (en el que se asume que el precio al carbono cero).

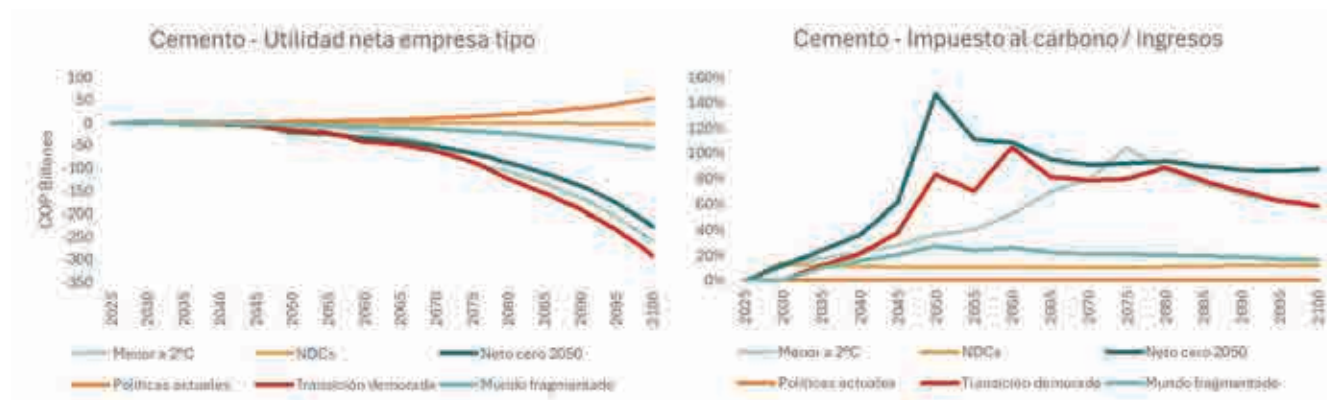
Figura 6. Producción de cemento según escenario climático. Fuente: NGFS



En la valoración de la empresa tipo se asume que el impuesto al carbono se aplica, principalmente, por el uso de carbón como fuente de energía para la operación de los hornos y los procesos productivos. Según la regulación colombiana vigente¹⁵, a partir de 2025 el sector comenzaría a pagar el 25% de la tarifa del impuesto al carbono, con un incremento gradual hasta alcanzar el 100% en 2028.

El impacto del impuesto podría ser relevante en la mayoría de los escenarios. Por ejemplo, en promedio, entre 2025 y 2100, su costo representaría el 10,9% y 78,1% de los ingresos en los escenarios *NDCs* y *Neto cero 2050*, respectivamente, teniendo como referencia que el margen neto de la empresa tipo de cemento en el año base del análisis (2024) es de 4,27% (figura 7).

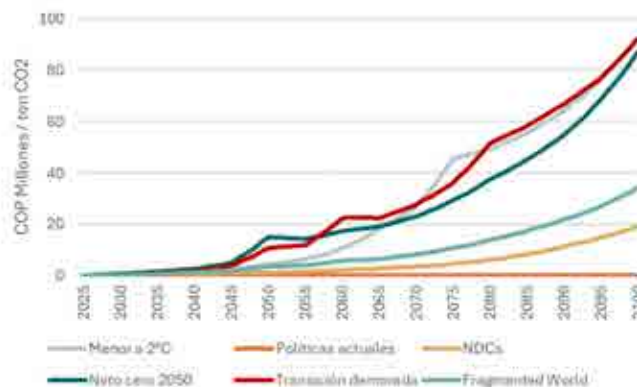
Figura 7. Utilidad neta e impuesto al carbono sobre ingresos de empresa tipo de cemento según escenario climático



Los escenarios *ordenados* y *desordenados* (*Neto cero 2050*, *Menor a 2°C* y *Transición demorada*) se verían afectados por los niveles de impuesto al carbono más altos (figura 8), ocasionando que los impactos en valoración sean inversamente proporcionales para tales escenarios (figura 7).

¹⁵ Ley 2277 de 2022, "Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria para la igualdad y la justicia social y se dictan otras disposiciones", Artículo 48 (Impuesto Nacional al Carbono).

Figura 8. Precio al carbono según escenario climático. Fuente NGFS



Cemento - Futuros climáticos posibles:

- En todos los escenarios analizados, excepto *Políticas actuales*, la vulnerabilidad del sector frente al impuesto al carbono en el corto plazo plantearía la urgencia de descarbonizar las operaciones reemplazando energías fósiles por renovables o desarrollando productos más sostenibles
- En *Políticas actuales* el crecimiento de la producción hasta 2065 mantendría las operaciones y resultados financieros de las empresas estables sin necesidad de acciones adicionales

Gas: crecimiento moderado en escenarios climáticos ambiciosos

La coyuntura nacional en torno al gas natural plantea un dilema. Aunque no es un combustible compatible con escenarios climáticos que buscan limitar el calentamiento global por debajo de 2°C —debido a que su impacto en las emisiones de GEI ha sido subestimado, especialmente por las fugas de metano durante su producción (UNEP FI, 2025)—, su papel en la confiabilidad de la matriz energética frente a fenómenos de El Niño, la dependencia de importaciones y la necesidad de una transición energética justa dificultan una salida rápida del gas natural de la economía colombiana en el corto plazo. Como alternativa para acelerar este proceso, el hidrógeno verde se perfila como un posible sustituto. Sin embargo, su adopción requiere un aumento significativo en inversión para desarrollo e investigación, así como la implementación de políticas públicas que impulsen su integración en los sectores económicos que actualmente dependen del gas natural.

Ante este panorama, **los escenarios que incorporan algún grado de ambición climática experimentarían un crecimiento modesto en la valoración de la empresa tipo, a diferencia del escenario *Políticas actuales*, en el que la falta de políticas climáticas impulsaría altas tasas de crecimiento** (figura 9).

El principal determinante en la valoración de la empresa es el comportamiento de sus utilidades, las cuales reflejarían la evolución esperada de la producción y el precio del gas bajo cada escenario. Mientras que los escenarios más ambiciosos en términos de acción climática plantearían reducciones importantes e inmediatas en la producción de gas, en *Políticas actuales* y *NDCs* (escenarios *Hot house world*) su rol en la matriz energética seguiría siendo determinante y, por ende, su producción presentaría las mayores tasas de crecimiento (figura 10).

Figura 9. Evolución de la valoración de la empresa tipo de gas según escenario climático

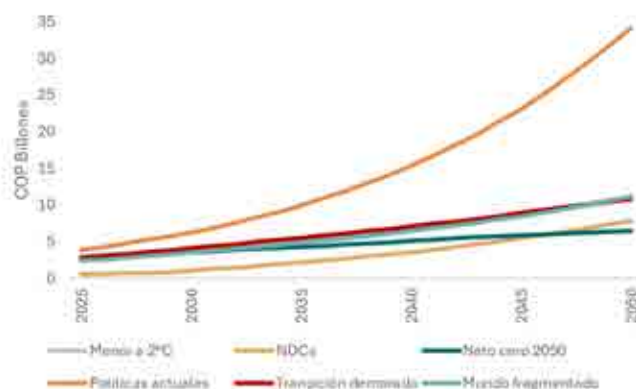
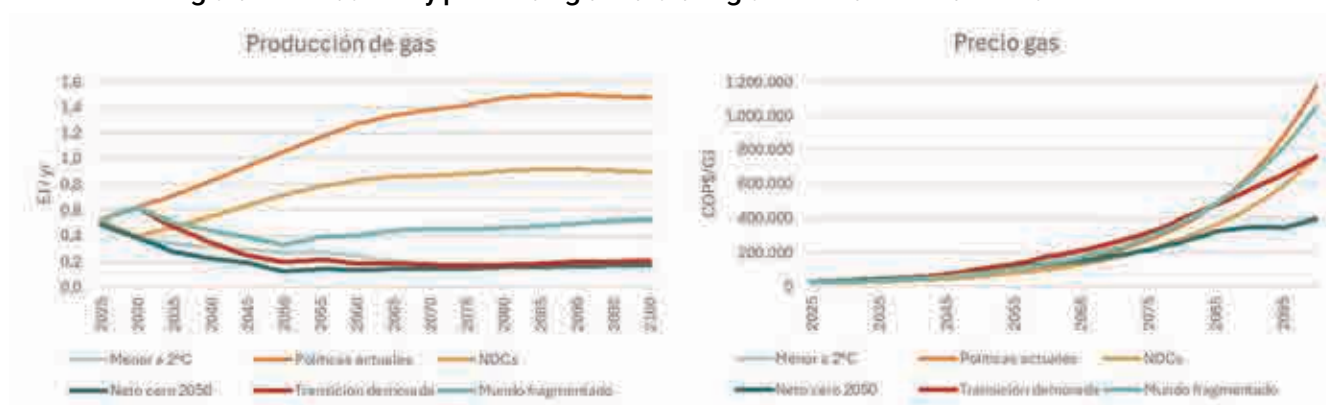


Figura 10. Producción y precio del gas natural según escenario climático. Fuente: NGFS



En relación con el precio del gas natural (figura 10), se observarían, en general, comportamientos crecientes en los distintos escenarios climáticos. Aunque su precio está influenciado por los niveles de producción, también incorpora el impacto del precio al carbono. Por ejemplo, para 2050 los escenarios *Neto cero 2050* y *Transición demorada* registrarían los precios más altos del gas natural, pues el incremento en el precio del carbono se trasladaría al precio del combustible, desincentivando su demanda y producción.

Gas - Futuros climáticos posibles:

- En los escenarios *Ordenados*, *Desordenados* y *Tardíos* la reducción en la producción implicaría un ajuste en la estrategia diversificando sus líneas de negocio hacia alternativas más sostenibles
- En NDCs la caída y estancamiento en la producción hasta 2037, con posterior recuperación, también supondría la diversificación del negocio
- En *Políticas actuales* los incrementos en la producción ayudarían a mantener estable las operaciones y los resultados financieros en el largo plazo

Energía: expansión impulsada por la transición y la demanda de energía baja en carbono

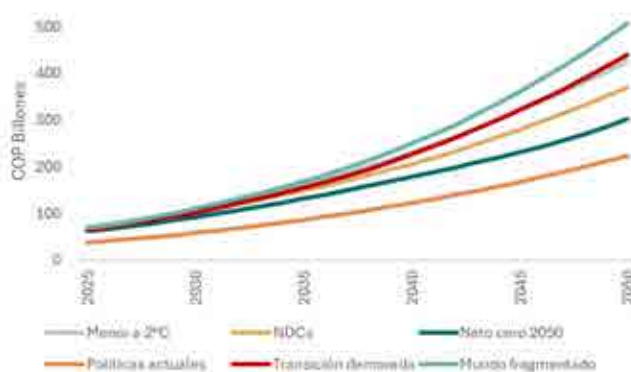
Las empresas de energía presentarían un crecimiento acelerado en la mayoría de escenarios climáticos, con un mayor dinamismo en aquellos con políticas climáticas de ambición media o alta, mientras que el escenario *Políticas actuales* reflejaría un crecimiento más moderado (figura 11). Estos

resultados son consistentes con el papel que las energías renovables pueden cumplir como sustitutas de los combustibles fósiles, cuya participación en la matriz energética se reduciría en cuanto se transite a economías bajas en carbono según el escenario y su ambición climática. En consecuencia, el sector energético se expandiría para suplir las necesidades energéticas en sectores como el de transporte o el industrial.

Actualmente, aproximadamente el [30%](#) de la matriz energética de Colombia proviene de fuentes no renovables (Sinergox, 2025). Aunque este porcentaje puede parecer moderado, en un país cuya principal fuente de generación es la hidroeléctrica, dicha proporción representa una contribución considerable a las emisiones de GEI, lo que convierte al subsector de *Producción de electricidad y calor como actividad principal energía* en un emisor de GEI importante dentro de los sectores de industria y energía¹⁶ y, por consiguiente, asumiría el precio al carbono por el consumo de combustibles fósiles utilizados en la generación de energía, de acuerdo con las metas de cada escenario climático.

Si bien este análisis tiene un enfoque estático y no considera la descarbonización del sector energético en Colombia, es fundamental avanzar hacia una transición energética justa que garantice la seguridad energética. Para ello se deben dismantelar las plantas térmicas de carbón de manera gradual y posteriormente las de gas. Considerando que el fenómeno de *El Niño* afecta negativamente la generación hidroeléctrica —la principal fuente de energía en Colombia— (IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2021), lo que a su vez incrementa la producción en plantas térmicas, el dismantelamiento de las plantas térmicas a carbón debe venir apalancado por un aumento importante en la inversión en energías renovables. Se estima que para garantizar el suministro de energía en un escenario de salida de las plantas térmicas a carbón, se necesitaría un 60% adicional de potencia solar respecto a la que se tiene previsto instalar (77% adicional para garantizar la energía firme) ([Observatorio de Transición energética Justa de Transforma](#)). En el mediano plazo, también se podría evaluar la factibilidad y adopción de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono teniendo en cuenta que actualmente no están disponibles, ni tampoco las capacidades técnicas para implementarlas.

Figura 11. Evolución de la valoración de la empresa tipo de energía según escenario climático

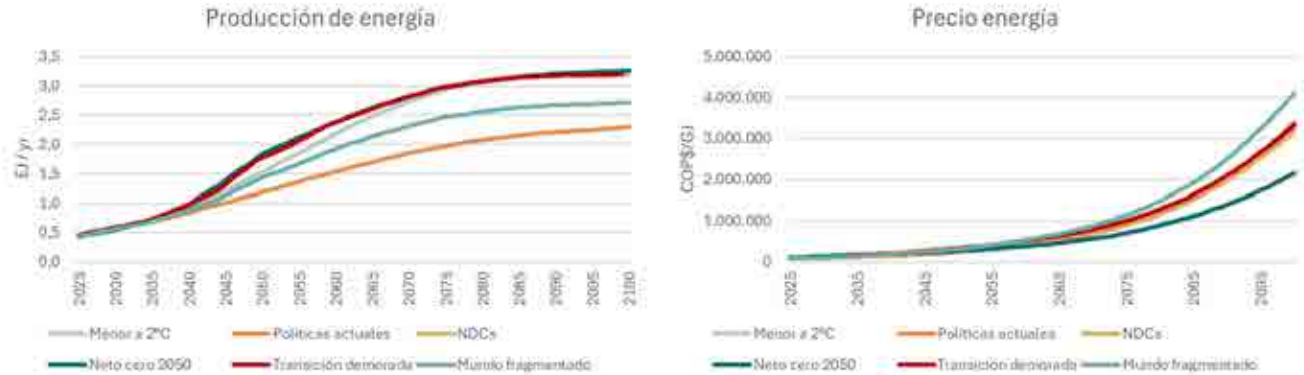


La valorización de la empresa tipo del sector energía en todos los escenarios climáticos se sustenta en el incremento tanto de la producción como del precio de la energía eléctrica (figura 12). Contrasta el

¹⁶ Según el Primer informe bienal de transparencia BTR1 de Colombia, en 2021 el subsector de *Producción de electricidad y calor como actividad principal energía* representó el 3,10 % del total de emisiones versus el 1,43% de los subsectores unidos de "refinación de petróleo" y "petróleo" (2024).

hecho de que los escenarios *ordenados* y *desordenados* presentarían una mayor producción de energía respecto a los escenarios de *Hot house world*, sugiriendo una mayor penetración de las energías renovables y una menor dependencia de energías fósiles para el funcionamiento de otros sectores económicos.

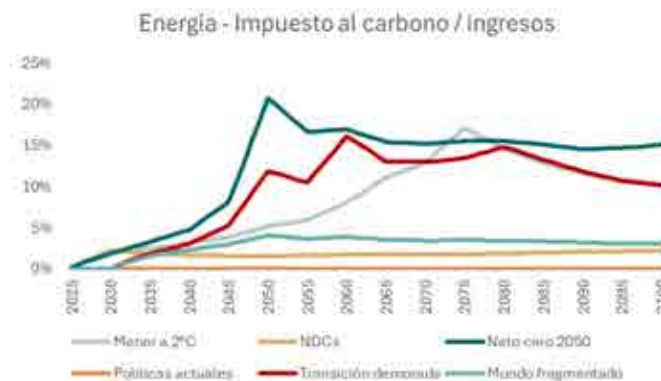
Figura 12. Producción y precio de la energía según escenario climático. Fuente: NGFS



El alza en los precios de la energía no solo impulsa la valorización del sector, sino que también tiene un impacto directo sobre los consumidores. En este sentido, resulta relevante considerar que, si bien en el escenario *Neto cero 2050* los precios de la energía serían superiores a los de *Políticas actuales* hasta 2055, a partir de ese año y hasta 2100 se estima que serían más bajos. Esto sugiere que una transición ordenada podría generar inicialmente un mayor costo energético, pero en el largo plazo contribuiría a reducir la presión sobre los consumidores, la inflación y el dinamismo económico.

Al mantener ciertas condiciones constantes a lo largo de la modelación, como la matriz energética y los factores de emisión (en línea con el enfoque de análisis adoptado para este ejercicio), los escenarios *ordenados* y *desordenados* terminarían viéndose más afectados por el impuesto al carbono (figura 13), al ser escenarios que contemplan precios al carbono más elevados (figura 8). Por ejemplo, en el escenario *Mundo fragmentado*, el costo del impuesto al carbono representaría el 4 % y 3 % de los ingresos en 2050 y 2100, respectivamente, mientras que en el escenario *Neto cero 2050* alcanzaría el 20 % y 15 % en esos mismos años. Esta diferencia repercute en valoraciones más bajas para las empresas en escenarios con políticas climáticas más estrictas.

Figura 13. Impuesto al carbono sobre ingresos de empresa tipo de energía según escenario climático



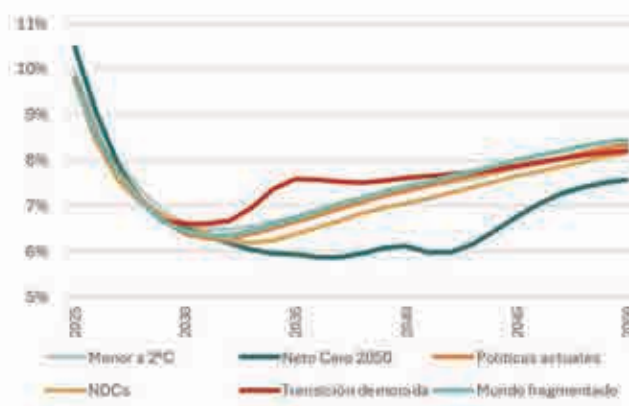
Energía - Futuros climáticos posibles:

- En todos los escenarios el crecimiento notable del sector favorecería la estabilidad de las operaciones y los resultados financieros
- Sin embargo, en los escenarios que contemplan un precio al carbono positivo habría oportunidad de minimizar estos costos y gastos a través del desmantelamiento gradual de plantas térmicas y aumentando la inversión en plantas de energía renovable

Bonos Colombia

La evolución del rendimiento al vencimiento (YTM) del bono soberano de 10 años de Colombia (figura 14), según la modelación realizada, depende del comportamiento de la inflación, la tasa de política monetaria y el crecimiento del PIB. En general, todos los escenarios climáticos mostrarían una caída en los rendimientos hasta aproximadamente 2030, reflejando que en los primeros años las condiciones macroeconómicas seguirían dominadas por factores tradicionales sin mayores disrupciones asociadas a la transición climática o efectos de los riesgos físicos agudos. A partir de 2030, la tendencia empezaría a revertirse gradualmente con diferencias en magnitud y velocidad según el escenario climático considerado.

Figura 14. Evolución del rendimiento al vencimiento (YTM) del bono de 10 años de Colombia según escenario climático



Al analizar la relación entre las variables modeladas (figura 15), se observaría que los escenarios con mayores rendimientos (YTM) tienden a evidenciar niveles de inflación elevados, lo que implicaría una política monetaria más restrictiva (tasas de intervención más altas), así como un menor crecimiento del PIB¹⁷. **Este entorno de incertidumbre y mayor percepción de riesgo es el reflejo de una transición**

¹⁷ La relación identificada entre las variables modeladas guarda consistencia con lo que sucede en general en la valoración de bonos soberanos, independientemente de si existe cambio climático o no. Un incremento en el rendimiento al vencimiento (YTM) usualmente indica una mayor percepción de riesgo, derivada de situaciones como:

i) Aumento del riesgo país: inversionistas que perciben que la situación fiscal, política o económica de un país ha empeorado, exigirán mayores rendimientos para compensar su riesgo de crédito.

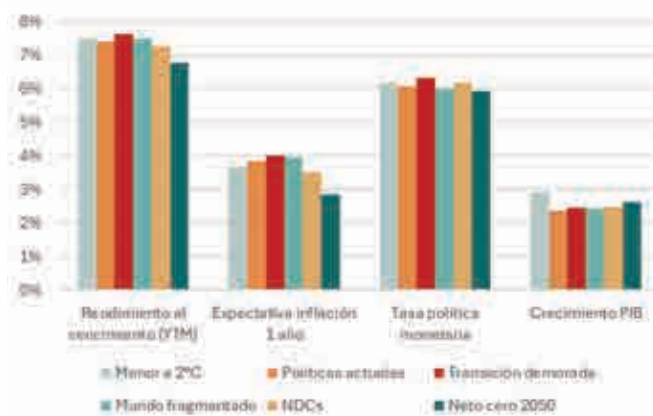
ii) Incremento de tasas de política monetaria: con tasas de interés más altas los nuevos bonos emitidos ofrecerán rendimientos mayores, ocasionando una pérdida de atractivo por los bonos existentes y, en consecuencia, demanda de rendimientos más altos.

iii) Mayor inflación esperada: si los inversionistas creen que la inflación futura será mayor, exigirán rendimientos superiores para compensar la pérdida de poder adquisitivo.

caótica y dilatada (escenarios climáticos desordenados y tardíos), **que generaría presiones financieras similares a las de un mundo sin acción climática efectiva** (escenarios *hot house world*).

Por el contrario, los **escenarios ordenados tienden a reflejar rendimientos menores (YTM) como consecuencia, principalmente, de tasas de inflación y de intervención más bajas** (figura 15). Esto podría deberse a un esquema de políticas más estructurado frente a la transición, situación que generaría confianza por parte de los inversionistas.

Figura 15. Comportamiento promedio (25 años) de variables analizadas para el bono de Colombia según escenario climático



En los resultados obtenidos destaca la evolución divergente del rendimiento (YTM) en los escenarios **Transición demorada** y **Neto Cero 2050**. En el primero, se evidenciaría un **crecimiento acelerado en el rendimiento entre 2030 y 2035 como resultado de la ausencia de políticas suficientemente ambiciosas**, situación que ocasionaría incertidumbre en los mercados y reflejaría la desconfianza en un contexto de transición desordenada y posibles ajustes abruptos. NGFS advierte que la ausencia de medidas tempranas aumentaría las primas de riesgo, la volatilidad financiera y el deterioro de la percepción del riesgo soberano (NGFS, 2019). Además, este escenario enfrentaría mayor inflación debido, posiblemente, a un ajuste energético y productivo más costoso, lo que impactaría el crecimiento económico y exigiría una respuesta monetaria más agresiva. **En la segunda mitad del período, la percepción de riesgo puede aliviarse si se logra acelerar la transición, sin embargo, el rendimiento (YTM) demandado en 2050 (8.21%) sería superior al del escenario Neto cero 2050.**

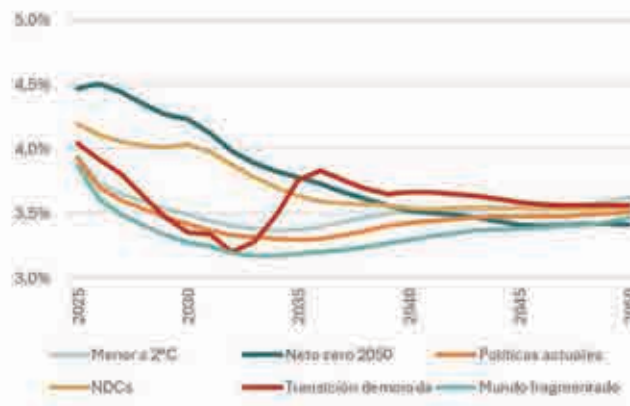
En contraste, el escenario ordenado **Neto cero 2050** destacaría por presentar **el rendimiento (YTM) más bajo en comparación con los demás escenarios analizados** y alcanzaría un 7.57% en 2050. Este rendimiento inferior sugiere una **menor percepción de riesgo macroeconómico y financiero, lo que podría explicarse por una transición ordenada hacia una economía descarbonizada y menos impactos por riesgos físicos**, minimizando la volatilidad y las disrupciones económicas. En términos de inflación, el escenario mostraría un comportamiento más moderado, con un promedio de 25 años de 2.83% y una estimación del 4.68% para 2050, la más baja entre todos los escenarios evaluados, sugiriendo que, como señala NGFS, un ajuste gradual en la economía evitaría alzas descontroladas en los costos de energía y bienes esenciales (NGFS, 2019). El crecimiento promedio del PIB en los 25 años sería 2.61%, lo que representaría un desempeño económico superior en comparación con otros escenarios y sugiere que una transición climática bien planificada y anticipada podría impulsar la

inversión en sectores estratégicos, fomentar la innovación tecnológica y reducir los costos asociados a eventos climáticos extremos.

Bonos Estados Unidos

El comportamiento del rendimiento al vencimiento (YTM) del bono soberano de 10 años de Estados Unidos (figura 16), según la modelación realizada, estaría principalmente determinado por la evolución de la tasa de política monetaria. Al igual que en el bono colombiano, todos los escenarios climáticos reflejarían, en general, una caída en los rendimientos a lo largo del período de evaluación, con una reducción más pronunciada en el corto plazo (2025 - 2030). Para el período 2040 - 2050 el rendimiento al vencimiento (YTM) tendería a estabilizarse en todos los escenarios, posiblemente debido a una menor incertidumbre y a un entorno económico más controlado.

Figura 16. Evolución del rendimiento al vencimiento (YTM) del bono de 10 años de Estados Unidos según escenario climático



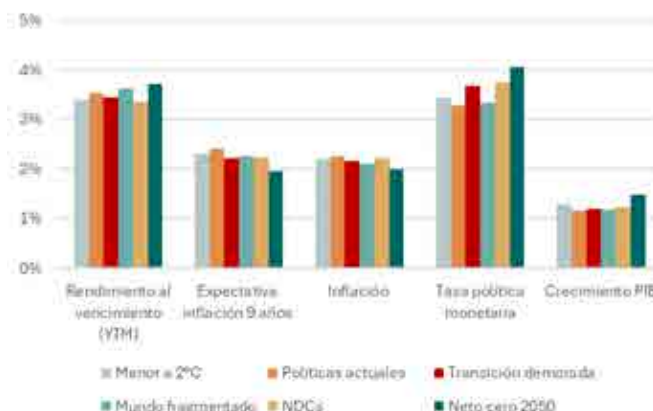
En el escenario con la transición climática más agresiva y anticipada (*Neto cero 2050*), la tasa de política monetaria promedio sería la más elevada en comparación con los demás escenarios, impulsando también rendimientos al vencimiento más altos (figura 17). Esto sugiere que una transición temprana y ordenada requeriría una política monetaria más restrictiva que permita controlar expectativas y contener posibles efectos inflacionarios y ajustes económicos derivados de una rápida transformación productiva. En contraste, en escenarios con transiciones desordenadas o tardías (*Transición demorada* o *Mundo fragmentado*), la tasa de política monetaria sería, en promedio, más baja, lo que resultaría en un rendimiento (YTM) más moderado y estable, aunque en un entorno de menor crecimiento económico y persistentes riesgos de inacción climática.

Mientras que *Neto Cero 2050* presentaría un ajuste temprano con tasas de política monetaria elevadas y menor inflación a largo plazo, *Transición Demorada* mostraría un aumento abrupto del rendimiento (YTM) en el mediano plazo (2032 - 2037), reflejando los efectos de un cambio de política tardío que generaría disrupciones macroeconómicas y volatilidad en los mercados financieros. En este último caso, tanto la inflación como la expectativa de inflación serían relativamente más altas, lo que llevaría a una respuesta monetaria agresiva en el futuro, impactando los rendimientos de los bonos.

Finalmente, los escenarios *Hot house world* presentarían las menores disrupciones en términos de la transición climática, lo que se traduciría en rendimientos (YTM) más bajos en el corto y mediano plazo,

debido a la percepción de un menor riesgo relativo. No obstante, en el largo plazo, la insuficiente acción climática podría aumentar los riesgos de desajustes económicos y generar efectos adversos en la estabilidad financiera.

Figura 17. Comportamiento promedio (25 años) de variables analizadas para el bono de Estados Unidos según escenario climático



Resultados agregados en portafolios de inversión

La evaluación de los efectos de riesgos del cambio climático en portafolios de inversión se realizó a través de la agregación de los resultados individuales de los activos analizados previamente. Para ello, en cada escenario climático, se calcularon variaciones porcentuales anuales de los precios teóricos estimados para cada activo, las cuales se ponderaron según la composición de portafolios hipotéticos (conservador, moderado y arriesgado) para obtener la evolución de su valoración¹⁸. Así, se asume que los tres portafolios analizados parten del mismo valor inicial de 1.000 millones COP, y su evolución se determina aplicando los cambios porcentuales anuales ponderados para cada portafolio y escenario climático.

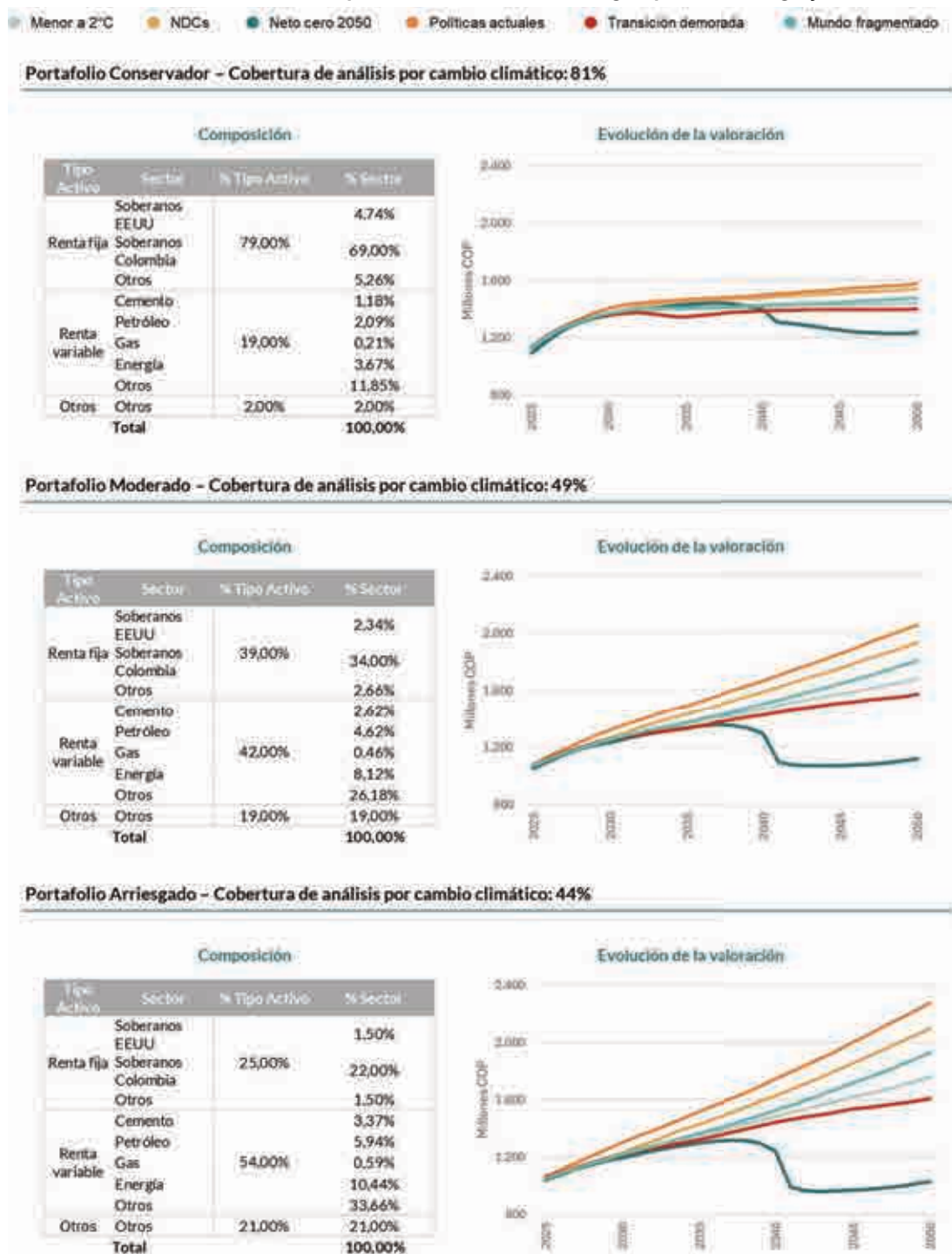
Los resultados de la valoración, presentados en la figura 18, revelan tendencias de crecimiento o disminución más pronunciadas a medida que la participación de los activos de renta variable se vuelve preponderante dentro del portafolio. Dado que la distribución de cada activo dentro de su tipo de activo es proporcional en los tres portafolios (es decir, una acción de una empresa tipo del sector cementero tiene la misma participación relativa dentro de la asignación a renta variable, independientemente del perfil de riesgo del portafolio), las diferencias entre escenarios climáticos siguen patrones similares en los tres portafolios.

En otras palabras, las dinámicas observadas en los resultados no se deben a diferencias en la composición de los portafolios, sino únicamente al efecto que los escenarios climáticos tienen sobre la valoración individual de los activos. Así, por ejemplo, el escenario *Neto cero 2050* presentaría las mayores desvalorizaciones en el largo plazo en los tres portafolios (considerando que los sectores de

¹⁸ El análisis de las variaciones porcentuales en la valoración de los activos tiene un propósito exclusivamente académico. Los precios calculados son aproximaciones teóricas al valor intrínseco de los activos y no consideran dinámicas de oferta y demanda en los mercados financieros. Por ello, **los cambios porcentuales calculados por activo y portafolio no representan rentabilidades efectivas de inversiones, pues no incorporan factores como precios de compra y venta, cupones, intereses o dividendos.**

cemento y petróleo se verían significativamente afectados, en relación a otros activos, por el impuesto al carbono y la reducción del consumo, respectivamente), mientras que el escenario de *Políticas actuales* muestra las mayores tendencias de crecimiento en todos los casos.

Figura 18. Evolución de la valoración de portafolios de inversión según perfil de riesgo y escenario climático



Sobre estas tendencias, es importante enfatizar dos mensajes:

- En la práctica, la distribución de activos dentro de cada tipo de activo puede variar entre los distintos perfiles de riesgo, lo que podría modificar la sensibilidad de cada portafolio a los escenarios climáticos. No obstante, **en este ejercicio se ha asumido una distribución equivalente para aislar el impacto del cambio climático en la valoración de los activos, evitando introducir complejidades adicionales derivadas de diferencias en la composición de los portafolios.**
- El análisis de escenarios climáticos se realizó sobre un conjunto específico de activos, que no contempla la totalidad de posibles inversiones dentro de un portafolio. En la práctica, los inversionistas mantienen posiciones en activos o sectores no evaluados en este ejercicio, lo que podría suavizar los efectos del cambio climático sobre la valoración del portafolio debido a la participación de sectores/activos clasificados como "otros", que no incorporan explícitamente los impactos climáticos en su valoración. Si bien esta no es la situación ideal, **el propósito del ejercicio es demostrar que, a pesar de las barreras existentes** -falta de datos, complejidad técnica, dificultad en la comprensión del impacto del cambio climático a nivel financiero, entre otras- **es posible desarrollar este tipo de análisis usando la información y herramientas disponibles. A medida que se disponga de más datos y metodologías más sofisticadas, estos ejercicios pueden ser refinados progresivamente, fortaleciendo así la capacidad del sector financiero para integrar consideraciones climáticas en la toma de decisiones de inversión. y, de manera progresiva, buscar robustecer las metodologías y los resultados.**

¿Para qué sirven los resultados del análisis de escenarios en la gestión de portafolios?

El análisis de escenarios desarrollado en este documento tiene como objetivo orientar a inversionistas e instituciones financieras sobre cómo pueden llevar a cabo un ejercicio similar en sus portafolios. Sin embargo, cada inversionista es responsable de realizar su propio análisis y evaluar las condiciones de rentabilidad y riesgo de sus inversiones.

En el caso específico del análisis de impactos financieros derivados del cambio climático, es importante recalcar que los escenarios climáticos dependen de múltiples supuestos y son representaciones parciales de diversos factores, por lo que no buscan ofrecer precisiones numéricas. Su interpretación en la gestión de portafolios debe hacerse dentro de un marco más amplio de análisis financiero, de riesgo y estratégico.

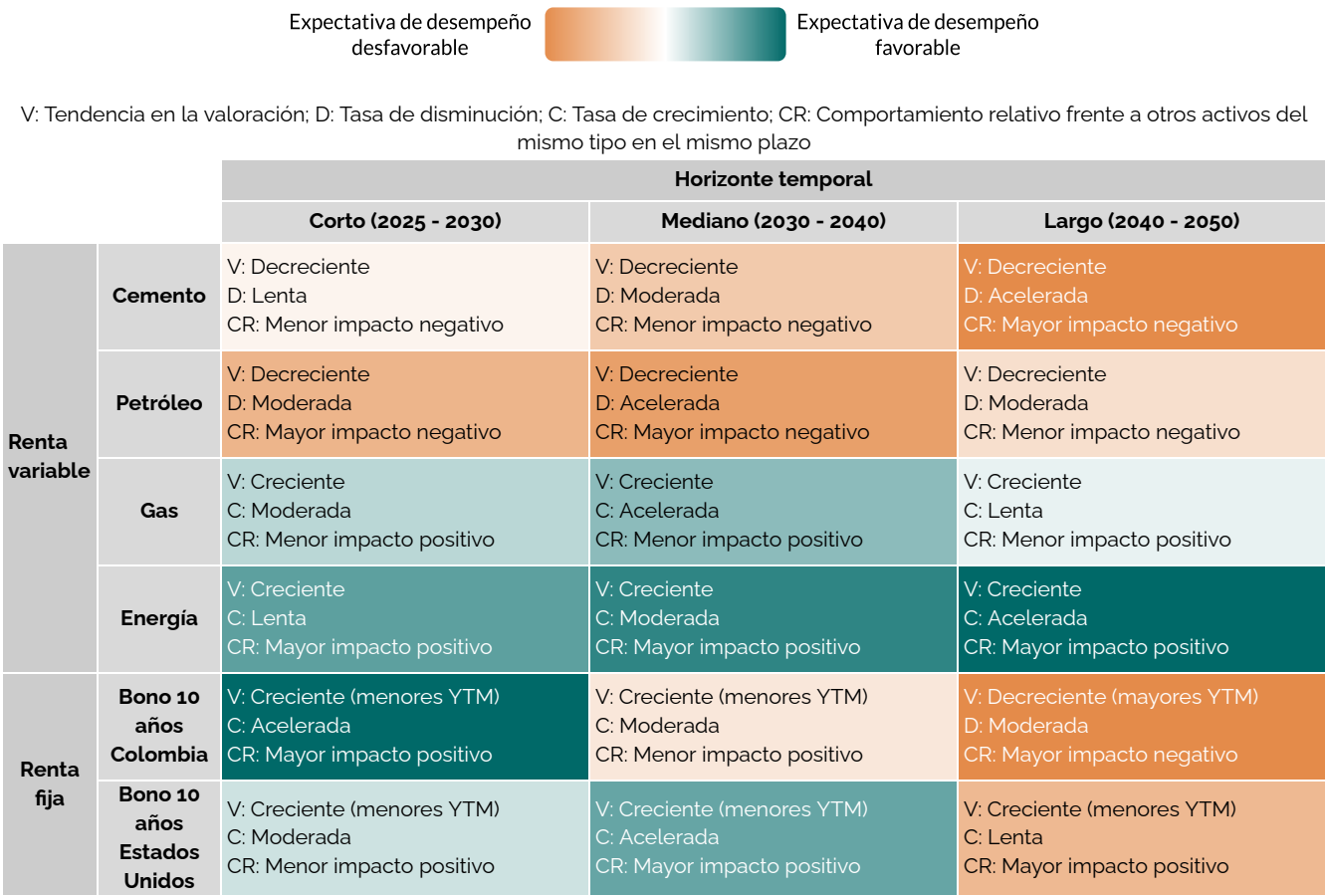
Las decisiones de inversión y gestión de riesgos bajo consideraciones de cambio climático dependen, como mínimo, de tres factores principales: el perfil de riesgo del inversionista, su horizonte de inversión y el o los escenarios climáticos con los que sus expectativas estén más alineadas. Por ello, es primordial que cada inversionista realice sus propios análisis y evalúe estos elementos al determinar los impactos potenciales del cambio climático en términos de riesgo y retorno en su portafolio.

Para ilustrar cómo los resultados obtenidos en un análisis de escenarios pueden orientar la toma de decisiones de inversión y gestión de riesgos, a continuación, se presentan ejemplos sobre cómo un inversionista podría ajustar la composición de su portafolio en función de las tendencias de valoración de los activos identificadas en dos de los seis escenarios climáticos analizados. Esto no significa que

los demás escenarios no sean relevantes ni que los seleccionados (*Neto Cero 2050* y *Políticas Actuales*) tengan mayor importancia, simplemente se busca ejemplificar qué pasaría en escenarios extremos de la acción climática.

Este análisis hipotético se basa en las tendencias identificadas en la valoración de cada activo (creciente o decreciente), la velocidad de los cambios (lenta, moderada, acelerada) y el mayor o menor impacto que podría tener una inversión en un activo respecto a otro de su mismo tipo (renta fija o renta variable) en el mismo horizonte temporal. A partir de estos elementos, los activos se califican de manera cualitativa en una escala entre “Expectativa de desempeño favorable” y “Expectativa de desempeño desfavorable”, considerando tres horizontes temporales: corto, mediano y largo plazo. Los resultados de esta clasificación se presentan en la figura 19 para el escenario *Neto Cero 2050* y en la figura 20 para *Políticas actuales*.

Figura 19. Tendencias en la valoración individual de activos analizados por cambio climático en el escenario *Neto cero 2050*, considerando diferentes horizontes temporales



Bajo un enfoque ilustrativo, si las expectativas de un inversionista están más alineadas con el escenario *Neto Cero 2050*, podría considerar sobreponderar activos con expectativas de desempeño favorables, como las acciones del sector energético (bajo un horizonte de inversión de mediano y largo plazo) o los bonos soberanos (en el corto y mediano plazo). A su vez, podría subponderar activos con expectativas menos favorables, como los del sector petrolero y cementero.

Si, por el contrario, un inversionista está más alineado con el escenario *Políticas actuales*, su decisión podría inclinarse hacia sobreponderar activos del sector petrolero, dada su potencial valorización en todos los horizontes temporales. Las inversiones en energía seguirían siendo atractivas, aunque no destacarían tanto como en el escenario *Neto Cero 2050*. En cuanto a los activos de renta fija, su comportamiento variaría según el horizonte temporal, por lo que un inversionista podría optar por sobreponderarlos en el corto plazo y subponderarlos en el largo plazo.

Figura 20. Tendencias en la valoración individual de activos analizados por cambio climático en el escenario *Políticas actuales*, considerando diferentes horizontes temporales



V: Tendencia en la valoración; D: Tasa de disminución; C: Tasa de crecimiento; CR: Comportamiento relativo frente a otros activos del mismo tipo en el mismo plazo

		Horizonte temporal		
		Corto (2025 - 2030)	Mediano (2030 - 2040)	Largo (2040 - 2050)
Renta variable	Cemento	V: Creciente C: Lenta CR: Impacto intermedio	V: Creciente C: Moderada CR: Impacto intermedio	V: Creciente C: Acelerada CR: Impacto intermedio
	Petróleo	V: Creciente C: Lenta CR: Mayor impacto positivo	V: Creciente C: Moderada CR: Mayor impacto positivo	V: Creciente C: Acelerada CR: Mayor impacto positivo
	Gas	V: Creciente C: Lenta CR: Menor impacto positivo	V: Creciente C: Moderada CR: Menor impacto positivo	V: Creciente C: Acelerada CR: Menor impacto positivo
	Energía	V: Creciente C: Lenta CR: Impacto intermedio	V: Creciente C: Moderada CR: Impacto intermedio	V: Creciente C: Acelerada CR: Impacto intermedio
Renta fija	Bono 10 años Colombia	V: Creciente (menores YTM) C: Acelerada CR: Mayor impacto positivo	V: Decreciente (menores YTM) C: Moderada CR: Mayor impacto negativo	V: Decreciente (mayores YTM) C: Lenta CR: Mayor impacto negativo
	Bono 10 años Estados Unidos	V: Creciente (menores YTM) C: Moderada CR: Impacto intermedio	V: Decreciente (mayores YTM) C: Lenta CR: Menor impacto negativo	V: Decreciente (mayores YTM) C: Lenta CR: Menor impacto negativo

Es necesario enfatizar que **las decisiones de inversión, como la sobreponderación o subponderación de activos, son responsabilidad exclusiva de cada inversionista**. Las tendencias y ejemplos presentados en este documento no constituyen recomendaciones de inversión, sino que buscan ilustrar posibles enfoques para integrar el análisis de escenarios climáticos en la gestión de portafolios.

Además, **la magnitud y dirección de estos ajustes dependerán del perfil de riesgo de cada inversionista**. Un inversionista con mayor tolerancia al riesgo podría realizar ajustes más agresivos en la composición de su portafolio, mientras que uno con un enfoque más conservador podría preferir cambios graduales o limitar su exposición a ciertos sectores. Asimismo, el horizonte de inversión y los objetivos específicos de cada inversionista serán determinantes en la forma en que incorpore los resultados del análisis de escenarios en su estrategia.

5.

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTUROS PASOS



El análisis de escenarios climáticos es una herramienta estratégica para la gestión de riesgos financieros en un contexto de transición global hacia una economía baja en carbono. Su valor no radica en predecir el futuro con exactitud, sino en comprender las implicaciones de distintos caminos posibles y anticipar sus impactos sobre los activos financieros. Los resultados del ejercicio desarrollado por CCADI evidencian que los riesgos climáticos –tanto físicos como de transición– pueden alterar en mayor o menor medida la valoración de activos y portafolios de inversión dependiendo del escenario climático que se considere. Para el sector financiero, esto implica la necesidad de integrar estos análisis en sus procesos de toma de decisiones y desarrollar estrategias más resilientes ante escenarios de incertidumbre.

Superando barreras: avanzar con lo que se tiene

El desarrollo de ejercicios de análisis de escenarios climáticos supone una serie de desafíos para instituciones financieras e inversionistas, incluyendo la disponibilidad de datos, la complejidad metodológica y la falta de experiencia en algunos casos. No obstante, estas barreras sólo pueden superarse mediante la práctica y la experimentación. Así como el análisis financiero tradicional ha evolucionado con el tiempo, la integración del cambio climático en la evaluación de inversiones también debe ser un proceso progresivo. Incluso con información parcial o incertidumbre en ciertas variables, es posible generar conclusiones valiosas que permitan tomar decisiones más informadas.

Este estudio demuestra que, aun con limitaciones en la cobertura de activos y sectores, los impactos del cambio climático pueden evaluarse de manera sistemática para mejorar la comprensión de los riesgos y oportunidades asociados. La clave está en fortalecer y refinar estos análisis a medida que se dispone de mejor información y herramientas más avanzadas.

Avanzar hacia un enfoque dinámico en la evaluación de escenarios

Mientras que el enfoque estático de evaluación de escenarios proporciona una base accesible para evaluar impactos bajo condiciones fijas, el enfoque dinámico permite capturar cómo los actores económicos se adaptan a los cambios y desafíos que plantean la transición climática y los eventos físicos extremos.

Desde Transforma, a través del proyecto CCADI, se hace énfasis en la importancia de que las empresas e instituciones financieras avancen en el desarrollo de ejercicios de análisis de escenarios bajo un enfoque dinámico, pues ofrece una visión más realista de los desafíos y oportunidades que plantea el cambio climático. El análisis detallado en este documento contempla un enfoque estático, que es un buen punto de partida para que las entidades se familiaricen con un posible abordaje metodológico y desarrollen capacidades antes de adoptar técnicas más sofisticadas.

Más allá de los datos: entender los impactos y prepararse para la transición

El desarrollo de ejercicios de análisis de escenarios climáticos debe ser un proceso continuo que aporte información relevante para la toma de decisiones y la planificación estratégica. Como cualquier otro ejercicio de modelación, se basa en múltiples supuestos y su principal característica es la incertidumbre. Por tanto, su propósito no es alcanzar una precisión absoluta en los datos, sino comprender las dinámicas que podrían afectar los mercados financieros bajo distintos futuros posibles. No se trata de predecir con exactitud qué ocurrirá en 2050, sino de evaluar qué implicaciones podría

tener cada trayectoria climática y cómo prepararse para responder de manera efectiva desde las decisiones de inversión.

En este sentido, el análisis de escenarios climáticos no solo contribuye a gestionar riesgos, sino que también permite identificar oportunidades estratégicas, adaptarse a nuevas regulaciones y aumentar la resiliencia en el largo plazo. La transición hacia una economía baja en carbono traerá consigo cambios estructurales en múltiples sectores, y los inversionistas que integren estas consideraciones en sus procesos de evaluación estarán mejor posicionados para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades emergentes.

Una oportunidad para el sector financiero

El mensaje es claro: el sector financiero en Colombia debe apropiarse del análisis de escenarios climáticos, explorarlos con mayor profundidad y convertirlos en una herramienta esencial para apoyar la toma de decisiones y gestionar los riesgos climáticos. Si bien el cambio climático y la transición a una economía baja en carbono suponen un entorno económico y financiero lleno de incertidumbre, plantean tanto desafíos como oportunidades para las empresas e inversionistas. Solo mediante la integración de estos ejercicios a nivel estratégico y financiero será posible avanzar hacia una economía más resiliente, con portafolios mejor preparados para enfrentar los cambios estructurales del mercado y capitalizar el crecimiento de sectores sostenibles.

Anexos

Anexo 1. Variables tomadas del NGFS empleadas en la modelación

	Riesgo de transición
	Riesgo de transición y físico agudo

Variable	Descripción	Modelo NGFS	Activo objeto de análisis
Inflación Latinoamérica	Inflación proyectada de Latinoamérica (no incluye México, Brasil, Argentina ni Chile)	NiGEM (REMIND-MAGPIE)	Todos, excepto soberanos Estados Unidos
PIB Latinoamérica	Producto Interno Bruto proyectado de Latinoamérica (no incluye México, Brasil, Argentina ni Chile)		Soberanos Colombia
Tasa de intervención Latinoamérica	Tasa de intervención proyectada de Latinoamérica (no incluye México, Brasil, Argentina ni Chile)		Todos, excepto soberanos Colombia y Estados Unidos
Tasa de interés de largo plazo Latinoamérica	Tasa de interés de largo plazo (10 años) proyectada para latinoamérica (no incluye México, Brasil, Argentina ni Chile)		Soberanos Estados Unidos
Inflación Estados Unidos	Inflación proyectada de Estados Unidos		
PIB Estados Unidos	Producto Interno Bruto proyectado de Estados Unidos		
Tasa de intervención Estados Unidos	Tasa de intervención proyectada de Estados Unidos		
Precio al carbono Colombia	Precio al carbono proyectado para Colombia que permite alcanzar los objetivos climáticos de cada escenario	GCAM	Petróleo, cemento y energía
Consumo de crudo Colombia	Proyección del consumo de crudo en Colombia		
Precio del crudo	Proyección del precio del crudo en el mercado regional o internacional.		Petróleo
Inversión para crudo Colombia	Proyección de la inversión para el sector de petróleo (upstream, midstream y downstream) en Colombia		
Producción de cemento Colombia	Proyección de la producción de cemento en Colombia		Cemento
Precio del gas natural Colombia	Proyección del precio del gas natural para consumidores de gran escala en Colombia, incluye el efecto del precio al carbono		Gas
Producción de gas natural Colombia	Proyección de la producción de gas natural en Colombia		
Precio de la electricidad Colombia	Proyección del precio de la electricidad para consumidores de gran escala en Colombia, incluye el efecto del precio al carbono		
Producción de electricidad Colombia	Proyección de la producción de electricidad en Colombia		Energía
Inversión para electricidad Colombia	Proyección de la inversión que recibirá el sector de energía en Colombia (generación, almacenamiento, transmisión y distribución)		

Anexo 2. Variables históricas empleadas en la modelación

Variable	Descripción	Fuente	Activo objeto de análisis
Tasa cero cupón a 10 años	Tasa cero cupón a 10 años de bonos en Colombia. Se toma como una aproximación del rendimiento al vencimiento del bono	Banco de la República - 2003-2024	Soberanos Colombia
Inflación Colombia	Inflación histórica de Colombia	Banco mundial y DANE- 2003-2024	
Crecimiento PIB Colombia	Crecimiento del producto Interno Bruto a precios constantes histórico de Colombia	Banco mundial - 2003-2023	
Tasa de intervención Colombia	Tasa de intervención histórica de Colombia	Banco de la República - 2003-2024	
Rendimiento bono 10 años Estados Unidos	Rendimiento histórico de los bonos soberanos a 10 años de Estados Unidos (bid yield).	Bloomberg - 1980-2024	Soberanos Estados Unidos
Inflación Estados Unidos	Inflación histórica de Estados Unidos	Banco mundial y U.S. Bureau of Labor Statistics - 1980-2024	
Crecimiento PIB Estados Unidos	Crecimiento del Producto Interno Bruto a precios constantes histórico de Estados Unidos	Banco mundial - 1980-2023	
Tasa de intervención Estados Unidos	Tasa de intervención histórica de Estados Unidos	Banco de la Reserva Federal de San Luis - 1980-2024	

Índice de tablas

Tabla 1. Principales proveedores de escenarios climáticos.....	13
Tabla 2. Modelos económicos del NGFS utilizados en el caso de estudio.....	16
Tabla 3. Descripción de escenarios climáticos NGFS.....	17
Tabla 4. Riesgos físicos y de transición por escenario climático.....	18
Tabla 5. Variables independientes por modelo.....	21
Tabla 6. Características faciales de los bonos valorados.....	22
Tabla 7. Descripción de empresas tipo.....	23
Tabla 8. Ejemplos de impactos de riesgos climáticos a nivel financiero de una empresa.....	24
Tabla 9. Modelación de rubros de los estados financieros a partir de variables ajustadas por cambio climático... 25	
Tabla 10. Supuestos y consideraciones del impuesto al carbono y del PNCTE.....	28
Tabla 11. Composición de portafolios de inversión según perfil de riesgo.....	29

Índice de figuras

Figura 1. Esquema del proceso de análisis de escenarios en portafolios de inversión.....	12
Figura 2. Escenarios climáticos NGFS (versión V). Fuente: NGFS.....	16
Figura 3. Evolución de la valoración de la empresa tipo de petróleo según escenario climático.....	32
Figura 4. Consumo y precio del petróleo según escenario climático. Fuente: NGFS.....	32
Figura 5. Evolución de la valoración de la empresa tipo de cemento según escenario climático.....	33
Figura 6. Producción de cemento según escenario climático. Fuente: NGFS.....	34
Figura 7. Utilidad neta e impuesto al carbono sobre ingresos de empresa tipo de cemento según escenario climático.....	34
Figura 8. Precio al carbono según escenario climático. Fuente NGFS.....	35
Figura 9. Evolución de la valoración de la empresa tipo de gas según escenario climático.....	36
Figura 10. Producción y precio del gas natural según escenario climático. Fuente: NGFS.....	36
Figura 11. Evolución de la valoración de la empresa tipo de energía según escenario climático.....	37
Figura 12. Producción y precio de la energía según escenario climático. Fuente: NGFS.....	38
Figura 13. Impuesto al carbono sobre ingresos de empresa tipo de energía según escenario climático.....	38
Figura 14. Evolución del rendimiento al vencimiento (YTM) del bono de 10 años de Colombia según escenario climático.....	39
Figura 15. Comportamiento promedio (25 años) de variables analizadas para el bono de Colombia según escenario climático.....	40
Figura 16. Evolución del rendimiento al vencimiento (YTM) del bono de 10 años de Estados Unidos según escenario climático.....	41
Figura 17. Comportamiento promedio (25 años) de variables analizadas para el bono de Estados Unidos según escenario climático.....	42
Figura 18. Evolución de la valoración de portafolios de inversión según perfil de riesgo y escenario climático.....	43
Figura 19. Tendencias en la valoración individual de activos analizados por cambio climático en el escenario Neto cero 2050, considerando diferentes horizontes temporales.....	45
Figura 20. Tendencias en la valoración individual de activos analizados por cambio climático en el escenario Políticas actuales, considerando diferentes horizontes temporales.....	46

Referencias

- IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2021). Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3%20-%20COLOMBIA.pdf>
- Ideam, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, Fundación Natura. (2024). Primer Informe Bienal de Transparencia de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/1.%20BTR1_Colombia.pdf
- Ley 2277 de 2022 - Gestor Normativo. (s/f). Gov.co. Recuperado el 19 de marzo de 2025, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=199883>
- Monasterolo, I., Nieto, M. J., & Schets, E. (2023). The good, the bad and the hot house world: conceptual underpinnings of the NGFS scenarios and suggestions for improvement. Banco de España. <https://www.bde.es/f/webbde/SES/Secciones/Publicaciones/PublicacionesSerias/Documentos/Ocasionales/23/Files/do2302e.pdf>
- Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS). NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors - Phase IV. (s/f). Recuperado el 19 de marzo de 2025, de <https://www.ngfs.net/en/publications-and-statistics/publications/ngfs-climate-scenarios-central-banks-and-supervisors-phase-iv>
- Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Financial System (NGFS) (2019). Un llamado a la acción. El cambio climático como fuente de riesgo financiero. https://www.ngfs.net/system/files/import/ngfs/medias/documents/reporte-de-la-ngfs-una-llamada-a-la-accion_es_290719_o.pdf
- Proyecto de Decreto "Por el cual se adiciona el Capítulo 14 al Título 9 de la Parte 2 del Libro II del Decreto 1076 de 2015 en lo relacionado con el programa nacional de cupos transables de emisión de gases de efecto invernadero (PNCTE) y se dictan otras disposiciones" -. (2024, septiembre 3). Gov.co. <https://www.minambiente.gov.co/consulta/proyecto-de-decreto-por-el-cual-se-adiciona-el-capitulo-14-al-titulo-9-de-la-parte-2-del-libro-ii-del-decreto-1076-de-2015-en-lo-relacionado-con-el-programa-nacional-de-cupos-transables-de-em/>
- Sinergox.(s.f.). Generación Real del SIN. XM Administradores del mercado eléctrico. Recuperado el 20 de marzo de 2025 de <https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/GeneracionSIN.aspx>
- United Nations Environment Programme (2024). A Practical Guide to 1.5°C Scenarios for Financial Users. Geneva. <https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2025/01/A-practical-guide-to-1.5C-scenarios-5.pdf>
- World Bank Open Data. Rentas del petróleo (% del PIB). Recuperado el 19 de marzo de 2025, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PETR.RT.ZS>