

CUADERNOS DE ECONOMÍA

ISSN 0121-4772



Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Economía
Sede Bogotá



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ASESORES EXTERNOS

COMITÉ CIENTÍFICO

Ernesto Cárdenas

Pontificia Universidad Javeriana-Cali

José Félix Cataño

Universidad de los Andes

Philippe De Lombaerde

NEOMA Business School y UNU-CRIS

Edith Klimovsky

Universidad Autónoma Metropolitana de México

José Manuel Menudo

Universidad Pablo de Olavide

Gabriel Misas

Universidad Nacional de Colombia

Mauricio Pérez Salazar

Universidad Externado de Colombia

Fábio Waltenberg

Universidade Federal Fluminense de Rio de Janeiro

EQUIPO EDITORIAL

Daniela Cárdenas

Karen Tatiana Rodríguez

Maria Paula Moreno

Estudiante auxiliar

Proceditor Ltda.

Corrección de estilo, armada electrónica,
finalización de arte, impresión y acabados
Tel. 757 9200, Bogotá D. C.

Gabriela Bautista Rodríguez

Fotografía de la cubierta

Indexación, resúmenes o referencias en

SCOPUS

Thomson Reuters Web of Science

(antiguo ISI)-SciELO Citation Index

ESCI (Emerging Sources Citation Index) - Clarivate Analytics

EBSCO

Publindex - Categoría B - Colciencias

SciELO Social Sciences - Brasil

RePEc - Research Papers in Economics

SSRN - Social Sciences Research Network

EconLit - Journal of Economic Literature

IBSS - International Bibliography of the Social Sciences

PAIS International - CSA Public Affairs Information Service

CLASE - Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades

Latindex - Sistema regional de información en línea

HLAS - Handbook of Latin American Studies

DOAJ - Directory of Open Access Journals

CAPEP - Portal Brasileiro de Informação Científica

CIBERA - Biblioteca Virtual Iberoamericana España / Portugal

DIALNET - Hemeroteca Virtual

Ulrich's Directory

DOTEC - Documentos Técnicos en Economía - Colombia

LatAm-Studies - Estudios Latinoamericanos

Redalyc

Universidad Nacional de Colombia

Carrera 30 No. 45-03, Edificio 310, primer piso

Correo electrónico: revcuaco_bog@unal.edu.co

Página web: www.ceconomia.unal.edu.co

Teléfono: (571)3165000 ext. 12308, AA. 055051, Bogotá D. C., Colombia

Cuadernos de Economía Vol. 42 No. 90 - 2023

El material de esta revista puede ser reproducido citando la fuente.
El contenido de los artículos es responsabilidad de sus autores y no
compromete de ninguna manera a la Escuela de Economía, ni a la
Facultad de Ciencias Económicas, ni a la Universidad Nacional de
Colombia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Rectora

Dolly Montoya Castaño

Vicerrector Sede Bogotá

Jaime Franky Rodríguez

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

Decana

Juanita Villaveces

ESCUELA DE ECONOMÍA

Directora

Nancy Milena Hoyos Gómez

CENTRO DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO - CID

Karoll Gómez

DOCTORADO Y MAESTRÍA EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y PROGRAMA CURRICULAR DE ECONOMÍA

Coordinadora

Olga Lucía Manrique

CUADERNOS DE ECONOMÍA

EDITOR

Gonzalo Cóbbita

Universidad Nacional de Colombia

CONSEJO EDITORIAL

Juan Carlos Córdoba

Iowa State University

Liliana Chicaiza

Universidad Nacional de Colombia

Paula Herrera Idárraga

Pontificia Universidad Javeriana

Juan Miguel Gallego

Universidad del Rosario

Mario García

Universidad Nacional de Colombia

Iván Hernández

Universidad de Ibagué

Iván Montoya

Universidad Nacional de Colombia, Medellín

Juan Carlos Moreno Brid

Universidad Nacional Autónoma de México

Manuel Muñoz

Universidad Nacional de Colombia

Ömer Özak

Southern Methodist University

Marla Ripoll

Universidad de Pittsburgh

Juanita Villaveces

Universidad Nacional de Colombia

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia.

Usted es libre de:

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:

- **Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante. Si utiliza parte o la totalidad de esta investigación tiene que especificar la fuente.
- **No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
- **Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Los derechos derivados de usos legítimos u otras limitaciones reconocidas por la ley no se ven afectados por lo anterior.



El contenido de los artículos y reseñas publicadas es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista u opinión de la Escuela de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas o de la Universidad Nacional de Colombia.

The content of all published articles and reviews does not reflect the official opinion of the Faculty of Economic Sciences at the School of Economics, or those of the Universidad Nacional de Colombia. Responsibility for the information and views expressed in the articles and reviews lies entirely with the author(s).

GREENIUM EN COLOMBIA: ESTUDIO DE CASO DEL MERCADO DE BONOS VERDES A PARTIR DE UN MODELO ESTRUCTURAL DE DOS FACTORES

Javier Rozo Bonilla
Alejandra Sánchez Vásquez

Rozo Bonilla, J., & Sánchez Vásquez, A. (2023). *Greenium en Colombia: estudio de caso del mercado de bonos verdes a partir de un modelo estructural de dos factores*. *Revista Cuadernos de Economía*, 42(90), 517-548.

Esta investigación tuvo cuatro propósitos: primero, determinar el valor de variables ambientales y de mercado no observables del primer bono soberano verde emitido por el gobierno colombiano a finales de septiembre del 2021; segundo, establecer el valor teórico del llamado *Greenium* para Colombia; tercero, analizar la sensibilidad del *Greenium* en Colombia frente a diferentes parámetros del modelo empleado para identificar mecanismos idóneos de política fiscal y mone-

J. Rozo Bonilla
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, rozobonillajavier@gmail.com

A. Sánchez Vásquez
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, asanchezva@unal.edu.co

Sugerencia de citación: Rozo Bonilla, J., & Sánchez Vásquez, A. (2023). *Greenium en Colombia: estudio de caso del mercado de bonos verdes a partir de un modelo estructural de dos factores*. *Revista Cuadernos de Economía*, 42(90), 517-548. <https://doi.org/10.15446/cuadernos.v42n90.105211>

Este artículo fue recibido el 10 de octubre de 2022, ajustado el 9 de junio de 2023 y su publicación aprobada el 21 de junio de 2023.

taria; y cuarto, desarrollar un procedimiento que permite el análisis de los requerimientos de financiamiento necesarios para llegar a la sostenibilidad ambiental en Colombia, mediante el uso de teoría financiera y ciencias ambientales.

Palabras clave: *Greenium*; modelo estructural de dos factores; finanzas del clima; bonos verdes.

JEL: O16, Q5.

Rozo Bonilla, J., & Sánchez Vásquez, A. (2023). Greenium in Colombia: Case study of the green bond market based on a two-factor structural model. *Revista Cuadernos de Economía*, 42(90), 517-548.

This research has four purposes: first, to gauge the value of non-observed variables that capture environmental and market effects of the first green public bond issued by the Colombian government in September 2021; second, to measure the theoretical value of the so-called Greenium of that bond; third, to understand how the Greenium behaves after the model's parameters were modified and to identify which could be used in either monetary or fiscal policy; fourth, as a methodological contribution, whereby financial and environmental economics theory were combined to evaluate the financial requirements that might be necessary to achieve environmental sustainability in Colombia.

Keywords: Greenium; two-factor structural model; climate finance; green bonds.

JEL: O16, Q5.

INTRODUCCIÓN

La temperatura global se ha incrementado un valor promedio de 1,1 °C respecto a niveles preindustriales (1880-1900), sus consecuencias se reflejan en desastres naturales, cambio en los patrones climáticos y ecosistemas afectados. Ante estas circunstancias, el Acuerdo de París firmado en el 2015 conminó a diferentes países a limitar dicho incremento a 1,5 °C. A pesar de las buenas intenciones, el mundo se encuentra en camino de aumentos del orden de 2,1 °C, lo que resultaría catastrófico e irreversible (World Wide Fund for Nature, 2022).

En este contexto, la emisión de bonos verdes constituye un mecanismo de apalancamiento financiero para solventar las exigencias de la transición climática. Este instrumento de deuda tiene prácticamente las mismas características de cualquier otro bono que se transa en el mercado de valores, no obstante, su principal diferencia radica en que los recursos financieros obtenidos a partir de su emisión deben ser estrictamente dirigidos a inversiones que propendan por superar el cambio climático o la recuperación de ecosistemas. Otra característica clave de este instrumento consiste en que las inversiones que apalanca están sujetas a procesos de evaluación y monitoreo.

En términos financieros, uno de los principales beneficios del uso de esta herramienta radica en la prima potencial (comúnmente denominada *Greenium*) a la que estaría sujeta su tasa de rendimiento. Cuando el bono verde muestra una menor tasa respecto a un bono convencional con las mismas características (sin la etiqueta de ser “verde”) se dirá que el bono verde muestra un *Greenium* positivo (Ando *et al.*, 2022). Esta situación implicaría condiciones favorables para el emisor del bono verde, ya que reduciría sus costos de financiamiento, mientras que el inversionista recibiría una tasa relativamente menor a la que pudo haber obtenido mediante la compra de un bono convencional con características similares.

Aunque no hay unanimidad teórica respecto al *Greenium*, estudios como el de Zerbib (2019) identificaron significancia estadística en su ocurrencia. Por su parte, Barclays (2015) mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios identificó *Greenium* en el mercado secundario, mientras que Gianfrate y Peri (2019) empleando el mismo método encontraron *Greenium* en el mercado primario.

¿Por qué resultaría de interés financiero y ambiental analizar el *Greenium*? La respuesta a esta pregunta se vislumbra a partir de las consideraciones del profesor Moisés Wasserman (2021)¹, quien argumenta que para aumentar el uso de energías alternativas renovables será necesario aumentar la minería a unos niveles que podrían amenazar el medioambiente y la biodiversidad. Dicho incremento consiste en los requerimientos de metales como litio, cobre, cobalto, níquel y tántalo que, según la Agencia Internacional de la Energía, sería menester multiplicar por seis para llegar a la meta ambiental esperada en 2050. En este sentido, será esen-

¹ Químico, doctor en Bioquímica de la Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel. Profesor titular de la Universidad Nacional de Colombia. Rector de la misma institución en el periodo 2006-2012.

cial identificar mecanismos idóneos para optimizar los costos de financiamiento asociados al apalancamiento de proyectos verdes y no verdes.

Como aporte al conocimiento de los bonos verdes soberanos y con el ánimo de buscar mecanismos que contribuyan a la sostenibilidad ambiental, la presente investigación consiste en estimar el valor de las variables no observables que determinan el *Greenium* en Colombia a partir de la serie de precios del primer bono soberano verde del país. Con base en estas estimaciones se analiza la sensibilidad de algunas variables de carácter macroeconómico para determinar diferentes valores de *Greenium* y en consecuencia, escenarios de financiamiento favorables para el país. Finalmente, se hace uso de estos insumos para describir un marco analítico que permite alinear la modelación del precio de un bono verde con los algoritmos que se emplean para establecer criterios de sostenibilidad desde el enfoque de Dasgupta (2021).

MERCADO DE BONOS VERDES

En el mercado colombiano la primera inscripción de bonos verdes en el Registro Nacional de Valores y Emisores (RNVE) ocurrió en el año 2016 mediante una emisión realizada por el banco Bancolombia con destino al segundo mercado² por un valor de \$ 350 000 000 000. De esta manera, entre los años 2016 y 2021 se inscribieron tres emisiones individuales de bonos verdes por valor de \$ 875 000 000 000, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1.
Inscripción de emisiones individuales en el Registro Nacional de Valores y Emisores

Fecha inscripción en el RNVE	Tipo de valor	Entidad	Mercado destino	Monto (pesos/\$)
7/07/2021	Bonos verdes	Industria Ambiental	Segundo mercado	75 000 000 000,00
19/04/2017	Bonos verdes	Banco Davivienda	Segundo mercado	450 000 000 000,00
25/11/2016	Bonos verdes	Bancolombia	Segundo mercado	350 000 000 000,00

Fuente: elaboración propia con datos de la Superintendencia Financiera de Colombia (2022).

En el RNVE se han inscrito nueve programas de emisión y colocación entre los años 2017 y 2021 por un valor total de \$ 24 420 000 000 000, cuya descripción se ilustra en la tabla 2. Resulta pertinente aclarar que estos programas de colocación que dise-

² En el mercado de valores colombiano el segundo mercado hace referencia a los requisitos de participación, en la que únicamente los inversionistas profesionales pueden negociar valores (Superintendencia Financiera de Colombia, 2022).

ñan las empresas están sujetos a un reglamento de emisión y colocación en el cual se incluyen diferentes tipos de valores como bonos ordinarios, bonos subordinados, papeles comerciales, bonos sociales, bonos sostenibles, bonos naranja, entre otros.

Tabla 2.
Bonos inscritos que pertenecen a programas de emisión y colocación

Fecha inscripción en el RNVE	Tipo de valor	Entidad	Mercado destino	Monto (pesos/\$)
12/07/2017	Bonos verdes	Bancóldex	Mercado principal	3 000 000 000 000,00
8/05/2018	Bonos verdes	Bancolombia	Mercado principal	3 000 000 000 000,00
15/06/2018	Bonos verdes	Celsia Colombia, antes Empresa de Energía del Pacífico	Segundo mercado	210 000 000 000,00
25/06/2018	Bonos verdes	Interconexión Eléctrica	Mercado principal	6 300 000 000 000,00
26/06/2018	Bonos verdes	Celsia Colombia, antes Empresa de Energía del Pacífico	Segundo mercado	210 000 000 000,00
24/03/2020	Bonos verdes	Banco de Bogotá	Mercado principa	5 000 000 000 000,00
23/09/2020	Bonos verdes	Patrimonio Estrategias Inmobiliarias	Mercado principal	1 500 000 000 000,00
25/11/2021	Bonos verdes	Banco Finandina	Mercado principal	2 200 000 000 000,00
19/11/2020	Bonos verdes	Bancóldex	Mercado principal	3 000 000 000 000,00

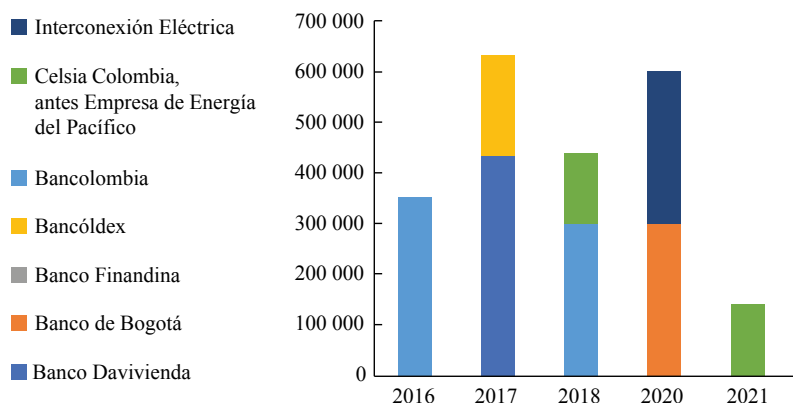
Fuente: elaboración propia con datos de la Superintendencia Financiera de Colombia (2022).

En el mercado bursátil, desde 2016 se han realizado diez colocaciones por valor total de \$ 2 290 000 000 000. Como se ilustra en la figura 1, el sector bancario ha sido el principal usuario de este tipo de instrumentos financieros.

Como se observa en la figura 1, prácticamente todas las emisiones de bonos verdes en Colombia han sido llevadas a cabo por el sector privado, en particular bancos comerciales, cuya prevalencia de entidades financieras no es ajena al contexto global. Actualmente, las emisiones públicas (incluida la deuda soberana) representan cerca de un tercio del mercado global, en donde Estados Unidos ha sido el mayor emisor con 176 billones de dólares, seguido por China con 108 billones de dólares y Francia con 91 billones de dólares (Doronzó *et al.*, 2021).

Figura 1.

Colocación de bonos verdes entre 2016 y 2022 (millones de pesos)



Fuente: elaboración propia con datos de la Superintendencia Financiera de Colombia (2022).

En cuanto a las emisiones de deuda pública en Colombia, a principios de marzo del 2021 se publica el *Marco de referencia de bonos verdes soberanos de Colombia* (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2021), documento indispensable para hacer la primera emisión soberana en la historia del país, la cual es el objeto de estudio de la presente investigación. Este marco de referencia constituye una estrategia para obtener y canalizar recursos necesarios para hacer inversiones y gastos verdes de la nación, así como para atender a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)³.

Los antecedentes de esta primera emisión partieron de la consolidación del Sistema Nacional de Cambio Climático (Sisclima), el Plan de Desarrollo 2014-2018 y el Acuerdo 01 del 13 de abril de 2016 del Comisión Intersectorial de Cambio Climático, en donde le correspondió al Comité de Gestión Financiera formular y orientar la implementación de la Estrategia Nacional de Financiamiento Climático. Esta estrategia tuvo como propósito identificar caminos que permitan movilizar recursos para alcanzar las políticas de cambio climático en el país (Comité de Gestión Financiera del Sisclima, 2017).

A pesar de que en los registros de Refinitiv Eikon (base de datos sobre bonos verdes) se identifica que la primera emisión de un bono soberano data del año 2016 a cargo del gobierno polaco, seguido de Francia en el 2017, se podría decir que

³ Entre los requisitos para que un gasto sea clasificado como gasto verde elegible está cumplir con las metas trazadas por los ODS del país, entre ellos: ODS 6 (agua limpia y saneamiento), ODS 7 (energía asequible y no contaminante), ODS 9 (industria, innovación e infraestructura), ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), ODS 12 (producción y consumo responsable), ODS 13 (acción por el clima), ODS 14 (vida submarina) y ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres) (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2021).

Colombia no presenta un rezago en sus emisiones soberanas frente a la tendencia mundial. La mayoría de emisiones globales se concentraron en el 2021 a cargo de economías avanzadas, principalmente países europeos (Ando *et al.*, 2022).

Se puede advertir entonces, que el rezago de Colombia frente a países que realizaron emisiones en años anteriores no responde directamente a sus características macroeconómicas. Un ejemplo ilustrativo de esto es el caso de Alemania, país que a pesar de las grandes diferencias con Colombia en materia económica registra su primera emisión en el 2020, caso contrario a Nigeria, cuya primera emisión data del año 2017.

MODELO ESTRUCTURAL DE DOS FACTORES

El modelo empleado es expuesto en “Corporate green bonds: understanding the greenium in a two-factor structural model” (Agliardi y Agliardi, 2021), cuyo aporte principal consiste en brindar un marco de análisis estocástico-matemático para comprender las dinámicas y los factores determinantes de los bonos verdes corporativos. Este modelo incluye dos fuentes de incertidumbre para calcular su precio, estas son: el nivel de ingresos de la firma emisora y la efectividad que puedan llegar a tener los proyectos verdes financiados mediante la emisión de deuda.

Precio del bono verde

El precio del bono verde se expresa de la manera como se muestra en la ecuación (1).

$$G(X, Y) = \frac{g}{r} + \hat{G}(Y^*(X), Y) \quad (1)$$

En donde el primer término corresponde al precio de un bono a perpetuidad corporativo, mientras que el segundo se refiere al valor que los tenedores recibirían por el valor de la firma ante un evento de quiebra menos costos de bancarrota.

- Y : ingresos de la firma
- X : parámetro que captura la incertidumbre respecto a la efectividad de inversiones en proyectos verdes
- Y^* : valor de Y en un umbral de quiebra

$\hat{G}$ se define de la forma como se observa en la ecuación (2).

$$\hat{G} = (1 - \alpha) \left[\frac{1 - \tau}{r - \mu} - P_g \right] Y^* \left(\frac{Y}{Y^*} \right)^{\beta_1} - \frac{g}{r} \left(\frac{Y}{Y^*} \right)^{\beta_2} \quad (2)$$

Donde

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{\mu}{\Sigma_-^2} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\Sigma_-^2} \right)^2 + \frac{2(r - (sz)^2)}{\Sigma_-^2}}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} - \frac{\mu - \rho\sigma sz}{\Sigma_-^2} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu - \rho\sigma sz}{\Sigma_-^2}\right)^2 + \frac{2r}{\Sigma_-^2}}$$
$$\Sigma_-^2 = \sigma^2 + (sz)^2 - 2\rho\sigma sz$$

Las ecuaciones (1) y (2) representan el precio del bono verde. En los capítulos sucesivos se explicará el alcance de cada una de las variables que componen el modelo cuyos parámetros se describen en la tabla 3.

Tabla 3.
Descripción parámetros del modelo

Parámetro	Tipo de variable
r	Tasa libre de riesgo
σ	Varianza del proceso estocástico Y_t
μ	Tasa de los retornos estimados
α	Costo de bancarrota
τ	Tasa de impuesto corporativa
g	Tasa cupón del bono verde
Do	Daño por unidad de producción
δ	Nivel de efectividad en las políticas ambientales adoptadas
s	Varianza del proceso estocástico x_t
ρ	Coefficiente de correlación de los procesos de Wiener W_t y $\tilde{W}_t$
p	Reducción proporcional del ingreso t

Fuente: elaboración propia a partir de Agliardi y Agliardi (2021).

Modelamiento de los ingresos de la firma emisora del bono verde

Para determinar las expresiones (1) y (2) se asume una firma con todos los activos que requiere para su funcionamiento, la cual genera una cantidad incierta de ingresos Y antes de intereses e impuestos. Su dinámica es descrita por la ecuación estocástica (3).

$$dY_t = \mu Y_t dt + \sigma Y_t dW_t \tag{3}$$

Donde W_t es un proceso de Wiener estándar respecto a la filtración $\{I_t\}_{t \geq 0}$. El tamaño de Y_t es determinado por el nivel de producción de la firma (entre mayor producción mayores ingresos), que está sujeta a los choques de demanda de los productos que produce.

El proceso de producción genera externalidades negativas al medioambiente, ya sea porque en esta se emplean tecnologías contaminantes o porque sus productos no cumplen completamente con los estándares ambientales estipulados.

En la lógica del modelo se asume que la firma elige realizar inversiones en aspectos ambientales con el propósito de maximizar el valor de mercado de su capital. Sea Y_t el nivel de la variable Y en el momento que es óptima la emisión del bono, y sea Y^* el umbral de quiebra, esto es, la compañía quiebra cuando y caiga por debajo de Y^* .

Se deben satisfacer los siguientes criterios para la modelación de un bono verde:

- La totalidad del ingreso bruto derivada de la emisión del bono deberá destinarse estrictamente a proyectos verdes.
- Reportes, monitoreo y contabilidad serán requeridos para atribuirle la categoría “verde” al bono.

El primer criterio se modela a partir del supuesto de que el monto de inversión requerido para desarrollar proyectos ambientales es igual al valor del bono, y se añade un costo fijo K que representa los costos adicionales relacionados con el segundo aspecto.

Nivel de ingreso óptimo

Con el objetivo de resolver (1) y (2) se determinan los valores de Y^* y Y_p , de tal manera que el valor del bono verde satisfaga la condición $Y_t > Y^*$. Los niveles de ingreso de la firma al momento de emitir el bono deben ser superiores al umbral de ingreso en el que la firma entra en proceso de quiebra.

Para lograr el objetivo anterior, se emplean referentes de finanzas corporativas. El valor de capital de la firma después de la inversión verde está representado por $V(X, Y)$. El proceso estocástico X_t representa la incertidumbre respecto a la efectividad de las inversiones en proyectos verdes adoptada o los errores de evaluación respecto al impacto derivado de dichos proyectos.

El factor aleatorio ya descrito es modelado por medio de un proceso estocástico que fluctúa alrededor de 1, esto es:

$$X_t = 1 + s\tilde{W}_t \quad (4)$$

Con $S > 0$ y $\tilde{W}_t$, otro proceso de Wiener tal que $E[dW_t d\tilde{W}_t] = \rho dt$ $V(X, Y)$ se calcula mediante la maximización del valor esperado de los flujos de caja descontados de los ingresos netos, esto es:

$$V(X, Y) = \sup_{t^*} E \left[\int_0^{t^*} e^{-rt} [(Y_t - g)(1 - \tau) - pD_g X_t Y_t] dt \right] \quad (5)$$

Donde t^* corresponde a un tiempo de parada respecto a la filtración $\{I_t\}_{t \geq 0}$, $X_0 = X$, $Y_0 = Y$. En este caso t^* expresa el momento de quiebra, o el primer momento en el cual el capital de la firma cae a 0.

La ecuación (5) está conformada por:

- D denota el daño ambiental por unidad de producción. Se asume que los ingresos de la firma se reducen debido a la internalización de dichos daños a través de la política medioambiental. De esta manera, p denota la reducción proporcional del ingreso de la firma. Este supuesto es consistente con evidencia que muestra el decrecimiento promedio del valor de mercado de una firma que omitió regulaciones ambientales y cuyo decrecimiento es proporcional al valor de la penalización a la que fue sujeta (Karpoff *et al.*, 2005).
- El parámetro $g > 0$ denota la intensidad de la inversión en tecnología verde y δ consiste en un parámetro positivo que representa la efectividad del plan de mitigación de daños ambientales. Se asume que la inversión en proyectos verdes permite reducir el daño inicial D_0 mediante el factor $e^{-\delta g}$.
- τ denota la tasa de impuesto corporativo, y g el cupón del bono verde.

De acuerdo con los parámetros mencionados, después de que una empresa opte por inversiones que mejoren el medioambiente, sus ingresos netos se reducirán en una menor proporción bajo la expresión $pD_g X_t Y_t$, en donde $D_g = e^{-\delta g} D_0$.

La interpretación de este término de penalización requiere que X_t preserve un valor positivo en el tiempo, lo cual se garantizaría mediante una evolución estocástica determinada por un movimiento browniano geométrico. Sin embargo, en lo sucesivo, S será un número pequeño, de manera que los dos procesos estocásticos (Y_t, X_t) pueden ser (casi seguramente) poco diferenciados y las descripciones sucesivas se circunscriben a valores positivos de X , lo que cubre la mayoría de situaciones que se pueden observar en la práctica.

De esta manera, se asume que dicha penalidad actúa con un signo negativo en Y . Como consecuencia, para valores negativos del parámetro de correlación, ρ , los ingresos de la firma y el factor de riesgo medioambiental tienden a moverse en la misma dirección, esto es, habría una relación directa entre el negocio principal de la firma y la tecnología o inversión verde financiada por la emisión del bono verde. En el caso de que el parámetro de correlación sea positivo, ocurriría la situación contraria.

Para efectos de estructuración de este modelo se asume que la firma financia su política ambiental o política verde mediante la emisión de un bono verde a perpetuidad con cupón continuo. Este supuesto podría resultar fuerte, no obstante, no es restrictivo ya que la prima del bono no se ve impactada significativamente por la maduración del mismo (Zerbib, 2019).

Al tener presente que el objetivo consiste en derivar una expresión para el precio del bono verde, se parte de calcular el valor del capital que determina el umbral

de quiebra Y^* , y el valor óptimo Y_t para la emisión del bono. El umbral de quiebra, Y^* , es endógeno y óptimamente seleccionado por los accionistas a partir de la maximización del valor del capital de la firma. Cuando los ingresos caen al nivel Y^* , la firma se declara en quiebra y los acreedores de la deuda toman posesión y obtienen los activos no apalancados netos que cubren los costos de bancarrota. Por otra parte, si los ingresos llegan a un valor de Y_t entonces la firma realiza la inversión en proyectos medioambientales financiada mediante el bono verde.

Problema de valores de frontera

A partir de la ecuación (5) se formula el siguiente problema de valores de frontera:

$$\psi V + [Y_t - g](1 - \tau) - pD_g X_t Y_t = 0 \quad (6)$$

En donde sus condiciones de frontera son las siguientes:

$$V(X_t, Y^*(X)) = 0, \partial_Y V(X_t, Y^*(X)) = 0, \partial_X V(X_t, Y^*(X)) = 0, \\ \lim_{Y \rightarrow \infty} \frac{V(X_t, Y_t)}{Y_t} \leq \infty \text{ para cualquier } X_t > 0 \quad (7)$$

El operador diferencial, ψ , está definido como:

$$\psi = \frac{\sigma^2}{2} Y^2 \partial_Y^2 + \mu Y \partial_Y - r + \frac{s^2}{2} \partial_X^2 + \rho \sigma s Y \partial_{XY}^2 \quad (8)$$

En este caso $Y^*(X)$ representa el límite entre la región en la que se continúa operando y aquella en donde la firma se declara en quiebra. Las primeras tres condiciones planteadas en la ecuación (7) corresponden a las condiciones de frontera necesarias para la optimización al momento de quiebra, mientras que la cuarta condición limita la sobrevaloración del capital de la firma.

Una solución particular para (6) se encuentra en la metodología empleada por Adkins y Paxson (2011) para modelos estocásticos de dos factores, la cual toma esta forma:

$$V_p(X, Y) = Z_g Y - \frac{g(1 - \tau)}{r} - P_g XY \quad (9)$$

Donde $P_g = \frac{pD_g}{r - \mu}$ y $Z_g = \frac{1 - \tau - \rho \sigma s P_g}{r - \mu}$

Así, se formula la solución general de (6) como $A(X)Y^\beta + V_p(X, Y)$.

Desafortunadamente, esta propuesta solo permite obtener una solución aproximada y este tipo de dificultad es recurrente en la mayoría de problemas con incertidumbre de dos factores (Agliardi y Agliardi, 2021). La solución que brinda este método es adecuada si X es cercano a 1.

A partir de las ecuaciones planteadas anteriormente se llega a los siguientes resultados:

$$Y^* = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{g(1-\tau)}{r[\Omega(X)]} \text{ así como } A(X) = \frac{1}{-\beta} \left[\frac{\beta}{\beta - 1} \frac{g(1-\tau)}{r} \right]^{1-\beta} \Omega(X)^\beta \quad (10)$$

En donde

$$\Omega(X) = Z_g - P_g X$$

y

$$\beta = \frac{\left[\frac{\sigma^2 + (sz)^2}{2} - \mu - \sqrt{\left(\frac{\sigma^2 + (sz)^2}{2} - \mu \right)^2 + 2r(\sigma^2 + (sz)^2 - 2\rho\sigma sz)} \right]}{(\sigma^2 + (sz)^2 - 2\rho\sigma sz)}$$

$$\text{Con } z = \frac{P_g}{\Omega(1)}$$

Se asume que tanto los parámetros como X tienen valores tales que $\Omega(X) > 0$, y $Y^* > 0$, es decir, el evento de quiebra es posible.

En el caso especial donde $S = 0$ (daño determinístico) se obtendría una solución exacta dada por:

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\mu}{\sigma^2} \right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} \text{ así como } Y^* = \frac{\beta}{\beta - 1} \frac{g(1-\tau) \left(1 - \frac{\mu}{r} \right)}{(1-\tau - P_g(r-\mu))} \quad (11)$$

En este caso el valor del capital toma la forma de la ecuación (12).

$$V(Y) = \left[\frac{1-\tau}{r-\mu} - P_g \right] Y - \frac{g(1-\tau)}{r} + \frac{g(1-\tau)}{r(1-\beta)} \left(\frac{Y}{Y^*} \right)^\beta \quad (12)$$

De esta manera, a nivel general y con valores de correlación negativos, el efecto es similar a un crecimiento de la volatilidad (proceso de Wiener del proceso Y) que resulta en un incremento del valor del capital.

Además, este efecto está correlacionado positivamente con los parámetros de riesgo, S y σ , y con el valor absoluto del parámetro de correlación ρ .

En lo sucesivo se considera una solución aproximada donde $\Omega(X)$ es reemplazado por $\Omega(1)$ y por conveniencia en la notación el valor correspondiente de β será denotado por $\bar{\beta}$. Este modo de resolver el modelo de dos factores descarta proyectos verdes de alto riesgo.

Sea $Y_l(X)$ el nivel de Y al cual es óptimo emitir el bono verde e invertir en tecnología verde. Se asume que los inversionistas eligen el umbral de inversión Y_l para maximizar el valor de la firma. Para simplificar la notación $Y_l(I)$ se denotará mediante Y_l . El valor previo del capital es de la forma:

$$\left[\frac{1-\tau}{r-\mu} - P_0 \right] Y + \hat{A} Y^{\beta_+}, \text{ con } \beta_+ > 0$$

Donde el término $\hat{A} Y^{\beta_+}$ representa la opción de inversión. En este caso β_+ sería la solución positiva de:

$$\frac{\sigma^2}{2} \beta(\beta-1) + \mu\beta - r = 0$$

Al unir los valores *ex ante* - *ex post* y sus derivadas en el punto Y_p , el umbral de inversión y la constante $\hat{A}$ pueden ser determinados. Se añade un costo K , el cual representa costos agregados (monitoreo, reporte, contabilidad adicional) en los que incurre la empresa, previo a la emisión del bono verde. En particular, Y_l se obtiene resolviendo la ecuación (13).

$$\frac{g(1-\tau)}{r} \left\{ \frac{\beta_+ - \bar{\beta}}{\beta_+ - 1} \left(\frac{Y_l}{Y^*} \right)^{\bar{\beta}} + \beta_+ \right\} + (1 - \beta_+) \left[P_0 - P_g \left(1 + \frac{\rho\sigma}{r-\mu} \right) \right] Y_l + \beta_+ K = 0 \quad (13)$$

Pasos finales para determinar el valor del bono verde

Como se mencionó en la sección “Nivel de ingreso óptimo”, el modelo se restringirá a situaciones en las que $Y_l > Y^*$, es decir, los eventos en donde los ingresos de la firma son superiores al umbral de quiebra. Posterior al cálculo de Y^* es posible calcular el valor del bono verde, G . Este será emitido en el momento de inversión Y_p . Si el nivel de la variable Y está por encima del umbral Y^* entonces $G(Y)$ satisface la ecuación (14).

$$\Psi G + g = 0 \quad (14)$$

En donde Ψ ha sido definido en (8) y g representa el cupón continuo contractual.

Una solución trivial de (14) sería $G(Y) = \frac{g}{r}$, la cual representa el valor de un bono a perpetuidad. Se requiere hallar una solución que contemple el valor de recuperación (de los acreedores) en el caso de que la firma quiebre. De esta manera, en el momento de quiebra los propietarios de los bonos emitidos recibirán el valor de la compañía (evaluado en Y^*) menos los costos de quiebra que corresponden a la fracción α ($0 \leq \alpha \leq 1$) del valor de la empresa.

De esta manera, el valor del bono verde se expresa mediante la ecuación (1), en donde:

$$\hat{G}(Y^*, Y^*) = (1 - \alpha) \left[\frac{1-\tau}{r-\mu} - P_g \right] Y^* - \frac{g}{r}$$

Mientras que el primer término de $\hat{G}(Y^*, Y^*)$ representa el valor que los inversionistas (acreedores del bono verde) recibirían ante el evento de que la empresa que emite el bono quiebre.

MODELACIÓN DEL *GREENIUM* Y
CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS
PARA EL CASO COLOMBIANO

El propósito de esta sección es estimar el valor de los siguientes parámetros para Colombia: δ , variable que pondera la efectividad de las inversiones del Estado en medioambiente; p , proporción a la cual se reduce el “ingreso de la nación” por efecto de los daños que la producción agregada ocasiona sobre el medioambiente; S , varianza del proceso estocástico X_t ; y ρ , parámetro de correlación entre los procesos de Wiener $\tilde{W}_t$ y W_t .

El sentido de identificar estos valores consiste en contar con una medida de aspectos medioambientales concernientes al financiamiento climático (con los que en la actualidad no se cuenta), así como calcular el respectivo *Greenium*. Posteriormente se analizará la sensibilidad de algunos parámetros y en este sentido, determinar las posibilidades de la política fiscal y monetaria para atender los requerimientos de financiamiento que permitan lograr las metas medioambientales a las que el país se ha comprometido.

Dada la relevancia de la primera emisión de un bono verde por parte del gobierno colombiano (en términos de su nivel de recaudo así como de la acuciante necesidad de inversiones en medioambiente), se tomaron observaciones de sus precios diarios entre el 30 de septiembre del 2021 y el 25 de marzo del 2022, para completar un total de 92 observaciones (datos disponibles en Bloomberg), cuyo código ISIN es COL17CT03797. Para el análisis de sensibilidad se tomarán como base los parámetros “calibrados”, para luego establecer cómo a través de políticas públicas se podría modificar aquellos que lleguen a generar mejores resultados desde el punto de vista ambiental y de sostenibilidad.

En la tabla 4 se explica el valor obtenido de los parámetros empleados, los cuales en algunos casos fue necesario calcular y en otros corresponden a variables macroeconómicas o de mercado obtenidas en fuentes de información de acceso público.

Tabla 4.
Parámetros y valores empleados

Parámetro	Valor (%)	Tipo de variable
r	7,1	Tasa libre de riesgo
σ	7,7	Varianza del proceso estocástico Y_t
μ	0,02261	Tasa de los retornos estimados
α	17,5	Costo de bancarrota
τ	25	Tasa de impuesto corporativa
g	7	Tasa cupón del bono verde
Do	55,86	Daño por unidad de producción

Descripción de parámetros empleados

A continuación, se describe y explica el procedimiento para determinar cada uno de los parámetros que indica la tabla 4.

Tasa libre de riesgo

Corresponde a la tasa de los TES cero cupón a 364 días emitidos a finales del 2021 (Banco de la República, 2022a). De acuerdo con los datos disponibles del Banco de la República, durante septiembre y diciembre del 2021 la tasa de interés de estos títulos incrementó de valores cercanos a 4 % a valores cercanos a 8 %. Al considerar este rápido crecimiento se tomaron valores a finales de septiembre e inicios de diciembre.

Varianza del proceso estocástico Y_t

Al tener en cuenta que el modelo empleado se enfoca principalmente en bonos verdes corporativos, se toman como referencia estudios de mercado financiero en los que las variables macroeconómicas locales y globales tienen relación con el comportamiento del índice accionario colombiano COLCAP, en donde se identifica que la producción real del país es directamente proporcional al valor del índice (Acevedo *et al.*, 2017).

Este aspecto resulta de gran relevancia en tanto que la presente investigación analiza el *Greenium* en Colombia y en consecuencia, se utilizan datos del primer bono soberano verde en lugar de hacer uso de precios de bonos corporativos. Se tomó el índice COLCAP ya que este corresponde al índice de capitalización que refleja las variaciones de los precios de las acciones más líquidas de la Bolsa de Valores de Colombia, donde la participación de cada acción en el índice está determinada por el correspondiente valor de la capitalización bursátil ajustada (Banco de la República, 2022b).

Así, la serie de precios del índice COLCAP captura lo que para el modelo sería el comportamiento bursátil de una compañía. En este caso se busca capturar dicho comportamiento a partir de un índice que agregue las mayores empresas del país, cuya producción (Y_t) funcionaría como una aproximación de la producción nacional, la cual genera afectaciones al medioambiente.

Al partir de esta premisa se procedió a realizar la calibración de los parámetros μ y σ según un modelo GARCH (1,1) de la forma:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

En donde

$$\alpha_0 > 0, \alpha_1 \geq 0, \beta_1 \geq 0 \text{ y } \alpha_1 + \beta_1 < 1$$

Allí se considera la serie de tiempo y_t tal que

$$y_t = \mu + a_t \text{ y } a_t = \sigma_t \varepsilon_t$$

Para ejecutar este análisis se toma como referencia el desarrollo de este modelo planteado por Tsay (2022), en donde μ es una constante, a_t representa choques de mercado, σ_t es la volatilidad y $\varepsilon_t \sim N(0,1)$.

Para efectuar la estimación de los parámetros del modelo se empleó la serie retornos del índice COLCAP entre enero del 2008 y marzo del 2022 que se muestra en la figura 2. Este procedimiento se ejecutó con herramientas computacionales que permitieron encontrar el mínimo de una función multivariable no lineal restringida, que para este caso correspondió al logaritmo de la función de verosimilitud condicional de un modelo GARCH (1,1). Bajo el supuesto de normalidad (Bollerslev, 1986), la función de verosimilitud condicional de un modelo GARCH (1,1) es:

$$L(\theta) = \prod_{t=1}^T \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_t^2(\theta)}} e^{-\frac{a_t^2(\theta)}{2\sigma_t^2(\theta)}}$$

Donde $\theta = [\alpha_0, \alpha_1, \beta_1]$

Como resultado del proceso de estimación se evidenciaron los siguientes valores de los parámetros del modelo:

$$\alpha_0 = 0,0004; \alpha_1 = 0,0523; \beta_1 = 0,8850$$

A partir de estos parámetros se obtuvieron los valores de la varianza estimada para toda la serie de tiempo, entre los cuales se utilizó el rango marzo del 2020⁴-finales marzo del 2022 para calcular su media.

La figura 2 muestra la serie diaria del índice COLCAP desde el 15 de enero del 2008 hasta el 29 de marzo del 2022.

Tasa de los retornos estimados

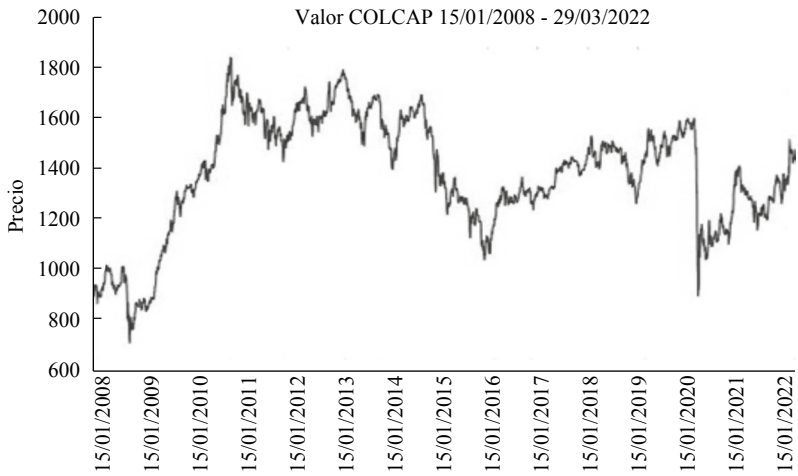
Corresponde al cambio porcentual de los precios del índice COLCAP empleados para el cálculo de σ . Así como se hizo para la varianza, en este caso se tomó la media de los retornos a partir de marzo del 2020 hasta finales de marzo del 2022.

Costo de bancarrota

De acuerdo con el marco de análisis propuesto por Altman y Hotchkiss (2006) –estudio de los costos directos e indirectos bajo procesos de bancarrota similares al caso colombiano–, sus ponderaciones resultan una buena aproximación para dar un valor a este parámetro.

⁴ Fecha en la cual la Organización Mundial de la Salud decretó la pandemia de coronavirus cuyos efectos se empezaron a sentir en el mercado de valores.

Figura 2.
Valores índice COLCAP



Fuente: elaborada propia con base en los datos sobre mercado accionario del Banco de la República (2022b).

Tasa de impuesto corporativa

Se emplearon las estimaciones de la multinacional holandesa TMT Group (2022), que presta servicios profesionales en temas de contabilidad, impuestos, pagos de nómina y recursos humanos.

Tasa cupón del bono verde

Tasa correspondiente al cupón estipulado en el bono verde soberano con código ISIN COL17CT03797 (tabla A1 del anexo).

Daño por unidad de producción

Relaciona la pérdida de capital natural planteado por Dasgupta (2021), cuyos datos se toman del Inclusive Wealth Report (Managi y Kumar, 2018).

Calibración de datos

Después de haber obtenido los parámetros descritos en el acápite anterior, se procede a la estimación de las variables “ambientales” no observables: δ , S , ρ , p .

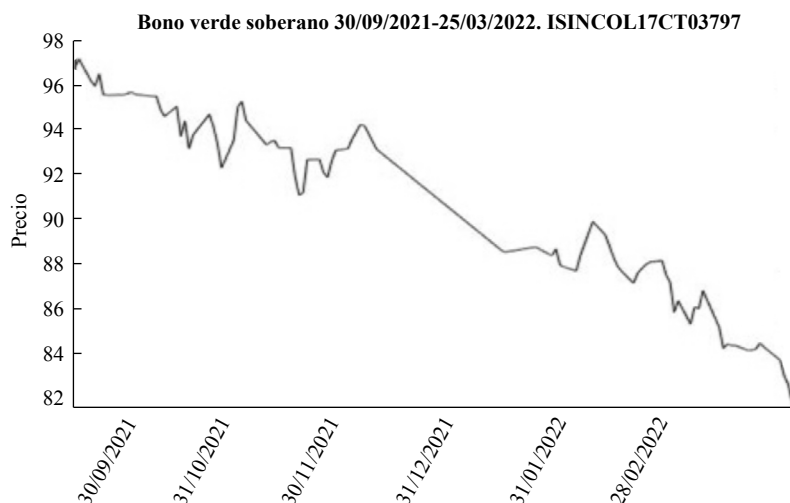
Para el cálculo, se tomó la serie de precios del bono verde soberano con código ISIN COL17CT03797, fecha de expedición 29 de septiembre del 2021 y fecha de maduración 26 de marzo del 2031, cuyo rango de valores diarios inicia el 30 de septiembre del 2021 y termina el 26 de marzo del 2022 (figura 3). Para esti-

mar valores de los parámetros en mención, se identificaron aquellos que permitieran minimizar la raíz de la desviación cuadrática media de la diferencia entre el valor del bono calculado a partir del modelo (valor teórico) y los valores observados en el mercado. Para la estimación de los procesos estocásticos y_t y x_t se utilizaron simulaciones de Montecarlo, en donde se asume que el precio de los activos sigue una distribución log-normal, y de esta manera se empleó el proceso estocástico discretizado de la siguiente forma:

$$S(t+1) = S(t)e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)dt + \sigma\sqrt{\Delta t}\varepsilon(t+1)}$$

Figura 3.

Precios bono verde soberano - Colombia



Fuente: elaboración propia con datos de la plataforma Bloomberg.

Respecto a la distribución del precio del activo en cuestión –bono financiero–, se brinda la siguiente explicación: de acuerdo con Hull (2015) el proceso estocástico, que por lo general se asume para los precios de mercado, es un movimiento browniano geométrico. En este proceso los retornos del propietario del activo en pequeños periodos de tiempo se distribuyen normal y para periodos que no se sobreponen, estos son independientes. Así, el valor del precio de un activo en un periodo futuro tiene una distribución log-normal (Hull, 2015). Igualmente, en el modelo Black-Scholes-Merton el logaritmo natural de los precios de mercado del precio de un activo se distribuye normal y en ese sentido dicho precio sigue una distribución log-normal (Björk, 2009). De nuevo, por tratarse del modelamiento directo de los precios de bonos cuya estructura corresponde a un crecimiento exponencial de la tasa *forward* o en su defecto a un valor esperado de

la exponencial de la tasa corta, el modelo en cuestión debe tener una estructura correspondiente a la dinámica de una expresión logarítmica.

El desarrollo computacional de la calibración se realizó mediante el paquete Matlab, para lo cual fue necesario formular funciones, efectuar simulaciones y emplear opciones de optimización. Como se podrá observar, fue necesario diseñar una función para el modelo matemático empleado, así como otra para calcular la diferencia entre el precio teórico del bono y el observado en el mercado. Finalmente, se ejecuta el proceso de optimización en el cual se calculará el valor de los parámetros buscados de tal manera que se minimice la raíz del error cuadrático medio.

Como resultado del procedimiento descrito se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.
Parámetros simulados - Colombia

Parámetro	Valor	Descripción
δ	0,4787	Nivel de efectividad en las políticas ambientales adoptadas
S	0,0593	Varianza del proceso estocástico x_t
σ	0,7141	Coeficiente de correlación de los procesos de Wiener W_t y $\tilde{W}_t$
p	0,7239	Reducción proporcional del ingreso y_t

Fuente: elaboración propia.

Análisis de resultados obtenidos

A partir de la calibración de los datos el *Greenium* (teórico) obtenido fue de 5,98 puntos básicos (para una tasa libre de riesgo de 4,77 % identificada a finales de septiembre del 2021) y de 7,13 puntos básicos (para una tasa libre de riesgo de 7,15 % identificada a inicios del 2021), lo cual resulta ligeramente inferior al valor identificado en el mercado, donde

[...] la tasa de interés de corte de la subasta fue de 7,556 %, un nivel que es también ligeramente inferior al de las transacciones del TES convencional con vencimiento en 2031 (7,630 %), con una diferencia de siete puntos básicos, que es conocida como *Greenium* (*La República*, 29 de septiembre del 2021).

En cuanto al coeficiente de correlación estimado (σ), se puede advertir que es relativamente alto y tiene signo positivo. De acuerdo con la especificación del modelo, una correlación negativa representa situaciones en donde la firma gana un beneficio directo por la adopción de una tecnología verde, mientras que valores positivos de correlación apuntan a casos donde los proyectos verdes no tienen un impacto positivo inmediato sobre los ingresos de la compañía. La correlación negativa se asocia a firmas cuya productividad incrementa mediante la adopción de tecnologías verdes, mientras que la correlación positiva se asocia a firmas cuya actividad no está alineada con sistemas productivos medioambientalmente sostenibles.

Si bien en este caso se realizó la modelación para un bono soberano y no corporativo, el valor estimado de este parámetro llega a ser consistente con las condiciones productivas actuales del país, cuyas exportaciones se derivan sobre todo de productos minero-energéticos.

Respecto al resto de parámetros, se pueden hacer consideraciones similares, en tanto que sus valores reflejan aspectos de la economía colombiana. De esta manera, el parámetro δ tiene un valor relativamente pequeño, lo cual puede dar cuenta de las inversiones que se han hecho en la actualidad en aspectos ambientales que, si bien no son nulas, están lejos de ser suficientes. El parámetro S es particularmente pequeño, esto se atribuye al hecho de emplear deuda soberana cuyas inversiones verdes están adscritas a lineamientos de política pública vigentes. Por último, el parámetro p , que denota un egreso de la firma (proporcional a su nivel de ingreso) debido a la omisión de regulación ambiental, es particularmente alto para Colombia, lo cual podría estar relacionado con una “medida” de pérdida en su capacidad productiva por efecto de los daños medioambientales causados por el progresivo deterioro de los recursos naturales.

En el mercado primario, Doronzo *et al.* (2021) identificaron *Greenium* positivo en 9 de 38 observaciones para una muestra de diez países (principalmente europeos), entre los cuales se destacan Alemania (0,4 puntos básicos), Chile (1,2 puntos básicos) e Indonesia (1 punto básico).

En lo que se refiere a estudios comparativos de bonos verdes soberanos entre economías avanzadas y emergentes la investigación de Ando *et al.* (2022) estima *Greenium* de 49,3 puntos básicos (emisiones en USD) y 12,5 puntos básicos (emisiones en euros) para países con economías emergentes, mientras que para economías avanzadas varió entre 5 y 6 puntos básicos. Para el caso de Alemania calculan un *Greenium* entre 2 y 5 puntos básicos, lo que resulta muy interesante dado que entre los países europeos es el único que realizó emisión de bonos gemelos, así como ocurrió en Colombia.

De acuerdo con las referencias en cita, se puede deducir que las diferencias de *Greenium* no responden directamente al nivel de desarrollo de la economía para la cual se esté calculando. A diferencia de dichas investigaciones, esta aborda el *Greenium* desde un referente teórico que explica su comportamiento a partir de variables macroeconómicas y parámetros no observables.

En mercado secundario se han identificado niveles de *Greenium* entre – 22 puntos básicos (España o Francia) y 10 puntos básicos (Países Bajos) (Grzegorzcyk y Wolff, 2022). Si bien esta investigación se enfoca en el mercado primario, constituye una base para diseñar modelos teóricos que expliquen el comportamiento del *Greenium* en el mercado secundario.

Simulación del *Greenium*

En esta sección se hará un análisis comparativo del *Greenium* para posibles valores de algunos parámetros. El propósito es examinar el comportamiento del

Greenium frente a parámetros que potencialmente estarían sujetos a cambios mediante el uso de política fiscal o monetaria. Entre mayores sean los niveles de *Greenium* mejores serán las posibilidades de financiamiento para iniciativas de cambio climático y biodiversidad. Metodológicamente se partió de los valores estimados de los parámetros, los cuales se incrementaron o disminuyeron en proporciones que permitieran brindar evidencia de su nivel de impacto sobre el *Greenium*.

Como ya se mencionó, el *Greenium* corresponde a la diferencia entre la tasa de un bono convencional y la correspondiente al bono verde. Como lo sugiere Agliardi y Agliardi (2021) para el cálculo de la tasa del bono convencional se toma $D_g = D_o$ y $s = 0$.

Tabla 6.
Simulación, parámetros s y σ

Valores de <i>Greenium</i> (bps) frente al parámetro de riesgo s y el parámetro de correlación σ (positivo y negativo)			
s	0,0593	0,08	0,1
$\sigma = 0,7141$	7,1303	7,1262	7,08
$\sigma = -0,7141$	7,1042	7,1094	7,185

Fuente: elaboración propia.

La tabla 6 muestra el comportamiento del *Greenium* ante incrementos en el parámetro de incertidumbre inherente a proyectos verdes, en donde se mantienen estáticos el resto de los parámetros estimados, excepto el coeficiente de correlación, σ , que toma el valor estimado y su negativo. Los resultados obtenidos son consistentes con los de Agliardi y Agliardi (2021), ya que ante aumentos del parámetro s , el *Greenium* decrece bajo una correlación positiva y ocurre el efecto inverso con valores de correlación negativos. Los resultados se pueden interpretar como la pérdida de credibilidad crediticia frente a la percepción de riesgo ante el escenario de una correlación positiva, esto es, firmas cuya actividad económica no está directamente relacionada con proyectos verdes. Para el caso que aborda el presente documento se evidencia que en efecto ocurre una reducción relativamente pequeña, lo que se podría atribuir al hecho de que se trata de deuda soberana, que tendría un respaldo institucional que compensa la percepción de riesgo. Respecto a los valores en el escenario de una correlación negativa, resulta interesante observar que incrementar el parámetro de incertidumbre es una potencial oportunidad, esto ocurriría siempre y cuando la estructura productiva del país sea menos dependiente de recursos minero-energéticos.

La tabla 7 revela el comportamiento del *Greenium* ante el decrecimiento del parámetro de correlación con el resto de parámetros constantes. En este caso el comportamiento difiere de los resultados de Agliardi y Agliardi (2021), para quienes el comportamiento del *Greenium* tiene una relación inversa frente a los incrementos

Tabla 7.
Simulación, parámetro de correlación

Sensibilidad del <i>Greenium</i> (bps) frente a incrementos del parámetro de correlación σ				
σ	0,7141	0,5	0,01	-0,5
<i>Greenium</i> (bps)	7,1303	7,1277	7,1121	7,1028

Fuente: elaboración propia.

de correlación. Este efecto resulta llamativo en tanto que sugiere que una política que lleve al país por una senda productiva basada en industrias amigables con el medioambiente requerirá del ajuste de otras variables para lograr un efecto favorable sobre el comportamiento del *Greenium*.

Tabla 8.
Simulación, impuesto corporativo

Sensibilidad del <i>Greenium</i> (bps) frente a incrementos del parámetro tasa de impuesto corporativo τ				
τ	0,355	0,488	0,498	0,5
<i>Greenium</i> (bps)	7,11	13,37	41,95	54,51

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.
Simulación, tasa libre de riesgo

Sensibilidad del <i>Greenium</i> (bps) frente a incrementos del parámetro tasa libre de riesgo r				
r	0,071	0,08	0,09	0,1
<i>Greenium</i> (bps)	7,1303	9,0402	11,42	14,08

Fuente: elaboración propia.

Por último, las tablas 8 y 9 muestran los parámetros para los cuales el *Greenium* tiene cambios más grandes, es decir, serían los parámetros de mayor sensibilidad. Este resultado es pertinente para efectos de la formulación de política monetaria y fiscal, en tanto que son variables cuyo ajuste responde directamente a las decisiones que las entidades correspondientes tomen para modificar su comportamiento. En particular, el Banco de la República tiene la competencia de modificar tasas de interés, así como las tasas impositivas son modificadas mediante leyes y decretos.

PERSPECTIVA FINANCIERA DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

Posterior a la identificación de los parámetros del bono verde soberano descrito en la sección anterior, surge la inquietud sobre la graduación de un nivel óptimo de

Greenium, en razón de las necesidades actuales del país para generar la inversión suficiente que permita atender problemas ambientales. Para abordar esta inquietud se partió de los planteamientos del famoso economista de la Universidad de Cambridge, Partha Dasgupta (2021), quien tiene en cuenta los servicios ecosistémicos que brinda la naturaleza para explicar procesos de demanda y oferta observados en la economía mundial.

La importancia de establecer una relación simbiótica entre los mecanismos de producción actuales y los servicios ecosistémicos radica en que el bienestar humano depende de estos últimos, los cuales se materializan en abastecimiento (por ejemplo: agua, alimento, fibras), regulación ecosistémica (como regulación del clima y la erosión, calidad del aire), cultura (recreación, turismo) y soporte de vida (como producción de oxígeno, ciclo de nutrientes y agua) (Sánchez, 2021).

Aquí se buscará hacer uso de la modelación de bonos verdes descrita anteriormente, con el fin de obtener niveles óptimos de *Greenium* bajo el referente teórico planteado por Dasgupta (2021) que lleven a la sostenibilidad ambiental, entendida como la igualdad entre la oferta y la demanda de productos y servicios ecosistémicos. Para conseguir este objetivo se empleará la ecuación de impacto propuesta por dicho autor, como herramienta para la calibración de parámetros.

Ecuación de impacto

De acuerdo con Dasgupta (2021), en el largo plazo la demanda agregada de la economía a nivel global (por unidad de tiempo) debe ser igual a la habilidad de la biósfera para proveer bienes y servicios ecosistémicos. Esto constituye un requisito para alcanzar los ODS (Agenda 2030) ya que, si se contamina a una tasa mayor respecto a la capacidad del planeta para realizar procesos ecológicos de regeneración, no será posible una sostenibilidad efectiva.

La capacidad de la biósfera para proveer bienes y servicios ecosistémicos ha sido considerablemente inferior a la demanda de los mismos por parte de la actividad humana. Bajo la estructura de producción actual no solo se ha superado la capacidad de compensación de servicios ecosistémicos, sino que esta se ha diezmado como resultado de la degradación ambiental. Ante este contexto la ecuación de impacto toma absoluta relevancia, en tanto que formula teóricamente la relación entre oferta y demanda de servicios ecosistémicos que permiten una sostenibilidad ambiental efectiva.

A continuación, se ilustra la ecuación de impacto:

$$\frac{N_y}{\alpha_X} + \frac{N_y}{\alpha_Z} \equiv \frac{N_y}{\alpha} = G(S) \quad (15)$$

$G(S)$ corresponde a la demanda en donde:

G denota la tasa a la cual la biósfera se regenera

S denota el total de activos actuales de la biósfera

$\frac{Ny}{\alpha}$ corresponde a la oferta en donde:

N denota la población humana

y denota la actividad económica per cápita

a denota la eficiencia a la cual los bienes y servicios de la biósfera son convertidos en activos productivos

Enseguida se replicará el ejercicio planteado en *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review* (Dasgupta, 2021) para el caso colombiano. Es a partir de este ejercicio que se describirán las posibilidades de unificar el modelo descrito en la sección “Modelo estructural de dos factores” con el referente de sostenibilidad propuesto a partir de la ecuación de impacto. El propósito final es obtener un marco de análisis que facilite determinar niveles de endeudamiento óptimo bajo criterios de sostenibilidad ambiental⁵.

Metas ambientales y *Greenium* óptimo en Colombia

En este segmento se determinará el valor de algunos parámetros empleados en el modelo base (modelo estocástico de dos factores), con el propósito de identificar niveles óptimos de *Greenium* en Colombia. En este sentido, se busca identificar el *spread* de bonos verdes soberanos que permita generar una transición ambiental enfocada en la sostenibilidad. Metodológicamente se replicará el ejercicio propuesto en *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review* (Dasgupta, 2021).

Para el desarrollo del ejercicio se emplearán las siguientes ecuaciones derivadas de la ecuación de impacto:

$$g\left(\frac{Ny}{G}\right) = g(Ny) - g(\alpha) - g(G)$$

$$g(\alpha) = g(Ny) - g\left(\frac{Ny}{G}\right) - g(G)$$
(16)

En donde $g(a)$ representa la tasa de crecimiento de la eficiencia a la cual los bienes y servicios de la biósfera son convertidos en activos productivos.

En la tabla 10 se describen los parámetros estimados que son requeridos para obtener el valor de $g(a)$ que se busca calcular.

⁵ Respecto a los cálculos desarrollados en esta sección se tomó como base el diseño del precio del bono, y posteriormente se reemplazaron los parámetros de interés.

Tabla 10.
Valor de parámetros de la ecuación de impacto para el caso colombiano

Variables de la ecuación de impacto	Tipo de variable	Tasa de crecimiento (%)
$g\left(\frac{Ny}{\alpha}{G}\right)$	Huella ecológica global	1,6
$g(Ny)$	PIB	3,9
$g(G)$	Capital natural	– 0,2

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describe cada una de las variables que indica la tabla 10.

Huella ecológica global

Este cálculo se realizó en concordancia con las mediciones de huella ecológica ($\frac{Ny}{\alpha}$) y biocapacidad (G) para Colombia, entre 1970 y el 2018 (figura 5). De esta manera se tomó la tasa de crecimiento porcentual para el periodo mencionado anteriormente. Los valores empleados son reportados en términos de hectáreas globales (ponderación anual de una hectárea biológicamente productiva).

De acuerdo con los datos obtenidos de la Global Footprint Network (2022) para Colombia la huella ecológica aumentó de 47 173 335,55 en 1970 a 92 202 000,94 en el 2018, mientras que la biocapacidad pasó de 183 591 999,1 a 170 788 487,06 durante el mismo periodo, los valores corresponden a hectáreas globales. A partir de estos datos se obtuvo la tasa requerida, es decir $[Ny/\alpha]/G$, la cual aumentó de 0,257 a 0,54 durante el periodo de referencia, que a su vez corresponde a una tasa de crecimiento promedio anual de 1,6 %.

Tasa de crecimiento PIB de Colombia

PIB a precios constantes (base 2015) de Colombia en dólares (World Bank, 2022), tomado del Banco Mundial entre 1970 y el 2018 (figura 4). De esta manera, se tomó la tasa de crecimiento porcentual para el periodo ya citado.

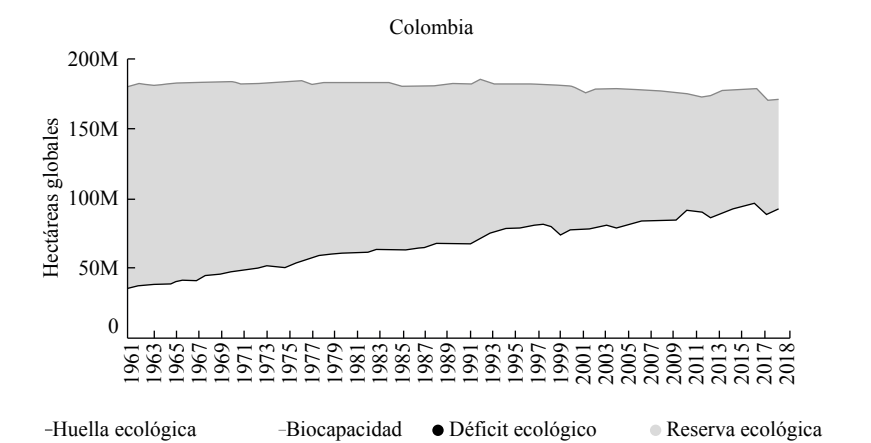
Capital natural

Para el cálculo del capital natural se tomaron las cifras del Inclusive Wealth Report (Managi y Kumar, 2018). Este reporte toma el rango de tiempo entre 1990 y el 2014, y brinda cifras en términos de cambio porcentual, por lo que fue necesario calcular las correspondientes tasas de crecimiento.

Para ponderar el valor de la tasa de crecimiento del capital natural de Colombia se hizo uso de las tasas de crecimiento poblacional y del capital natural.

El parámetro N_y es medido como el PIB a precios constantes entre 1970 y el 2018 (base 2015 en dólares), lo cual constituye una aproximación a dicho parámetro. Por otra parte, a partir de los datos obtenidos del Inclusive Wealth Report (Managi y Kumar, 2018) el incremento porcentual entre los años 1990 y el 2014 del capital natural per cápita fue de 6,1 %, mientras que el incremento porcentual de la población durante ese mismo periodo fue de 1,4 %. Al tomar ambas medidas en conjunto y medir su tasa anual del incremento se deduce que el valor del capital natural declinó a una tasa anual de $-0,2\%$. Se asumirá que G es proporcional a S , y en este sentido G también declinó a una tasa anual de $0,2\%$.

Figura 4.
Huella ecológica y biocapacidad (hectáreas globales) de Colombia entre 1961 y 2018



Fuente: Global Footprint Network (2022).

Las tasas de cambio anual ya presentadas para los parámetros N_y , G , y $[N_y / \text{Alpha}] / G$ permiten calcular el valor del parámetro $g(\alpha)$, que registra una tasa anual de crecimiento de $2,5\%$ durante el periodo 1992-2014.

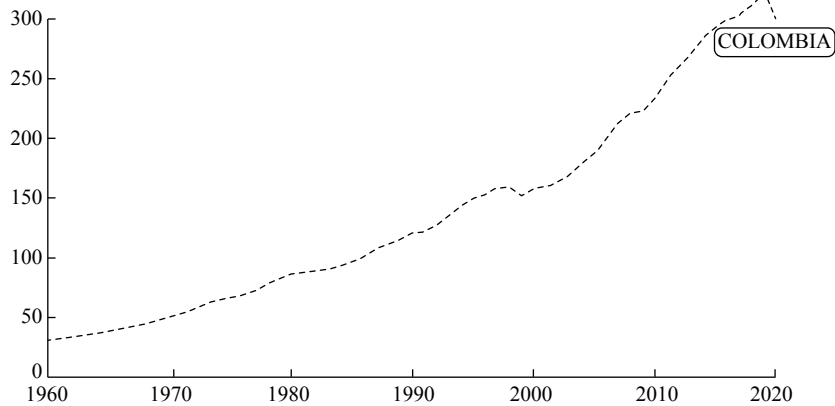
$$g(\alpha) = 3,9\% - 1,6\% + 0,2\% = 2,5\%$$

En el caso que se pretenda alcanzar la sostenibilidad ambiental en un término de diez años que corresponde al periodo estimado de la Agenda 2030 de los ODS, el valor de este parámetro se ajustaría de la siguiente forma:

$$g(\alpha) = 3,9\% + 7,2\% + 0,2\% = 11,3\%$$

En línea con los resultados obtenidos, se identifica una gran diferencia entre el comportamiento histórico del parámetro α y el requerido para llegar a la sostenibilidad ambiental, en tanto que implicaría pasar de una tasa anual del 2,5 % al 11,3 %.

Figura 5.
PIB Colombia (precios constantes 2015 en dólares)



Fuente: The World Bank (2022).

De acuerdo con Dasgupta (2021), las finanzas desempeñan un rol estratégico para apoyar el cambio a la sostenibilidad ambiental. Los mecanismos propuestos consisten en: reducir el apalancamiento financiero a inversiones que generan impactos adversos sobre la biósfera (consiste en reducir el parámetro γ de la ecuación de impacto); identificar inversiones en tecnologías que puedan mejorar nuestro uso de la biósfera (implica incrementar el parámetro α de la ecuación de impacto) o dirigir inversiones tal que mejoren directamente activos naturales (aumentar directamente el parámetro S de la ecuación de impacto).

El alcance de este documento no pretende realizar una alineación directa entre los mecanismos propuestos anteriormente y los parámetros del modelo empleado, sin embargo, el ejercicio desarrollado permite dilucidar de forma aproximada los retos en términos de estructuración de deuda para atender las necesidades medioambientales del país. La tasa $g(\alpha)$ a un valor de 11,3 % requeriría elevados niveles de endeudamiento. De esta manera se procedió a transmitir el efecto de este incremento entre los parámetros τ (tasa de impuesto corporativo) y S (parámetro que mediría choques de mercado) para identificar sus efectos sobre el *Greenium*. Se eligieron estas dos variables en tanto que serían aquellas que de manera directa se verían afectadas ante un cambio tan grande. Para estimar un efecto conjunto, se calculó un incremento porcentual de 5,56 % en un rango de tiempo de diez años, a los parámetros ya citados. En la tabla 11 se muestran los valores de los parámetros ajustados y el valor del *Greenium*.

Tabla 11.

Valor de los parámetros del modelo base después de ajuste de requerimientos ambientales calculados

Parámetros de modelo: valores calculados – valores ajustados (se asume un periodo de diez para ejecutar los cambios ambientales requeridos)		
Parámetro	Valor	Valores ajustados
r	7,15 %	7,15 %
μ	0,02261 %	0,02261 %
σ	7,7 %	7,7 %
α	17,5 %	17,5 %
τ	25 %	43,11 %
g	7 %	7 %
Do	55,86 %	55,86 %
δ	0,4787	0,4787
s	0,0593	0,1022
σ	0,7141	0,7141
p	0,7239	0,7239
Valor <i>Greenium</i> ajustado (PB) = 172,18		

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El modelo que se aplicó aquí mostró una buena bondad de ajuste, cuyas estimaciones resultan coherentes con el contexto de la economía colombiana. Se planteó un marco de análisis para determinar niveles requeridos de *Greenium* que permitiera llegar a la sostenibilidad ambiental, según la ecuación de impacto planteada por Dasgupta (2021). De acuerdo con los resultados, se identificó que el ajuste de parámetros requerido para llegar a la meta de sostenibilidad en un periodo de diez años requeriría niveles de *Greenium* inviables, lo cual implica una descarbonización que no podrá ser inmediata.

Este estudio permite avanzar en la articulación entre la teoría financiera y las ciencias ambientales para optimizar mecanismos de apalancamiento financiero y alcanzar la sostenibilidad ambiental. En particular se parte de un modelo estructural de dos factores cuyas variables estocásticas ayudaron a conectar modelos de sostenibilidad ambiental que emplean ecuaciones diferenciales.

Los resultados obtenidos brindan herramientas pertinentes para la gestión de política fiscal y monetaria en temas de sostenibilidad ambiental. Principalmente aportan un marco de referencia al cual se debe enfocar la política pública al definir la sostenibilidad ambiental como meta principal a la que se podría llegar por medio

de instrumentos financieros, en particular bonos verdes soberanos. Por lo tanto, se recomienda revisar el comportamiento macroeconómico del país para identificar si el estatus actual de las variables analizadas responde a las condiciones óptimas para llegar a la sostenibilidad ambiental, así como evaluar posibilidades de mejores condiciones económicas.

Este estudio ofrece herramientas metodológicas y procedimientos prácticos para realizar análisis comparativos de bonos verdes soberanos, desde un enfoque teórico que permite cotejar variables de carácter financiero, económico y ambiental.

REFERENCIAS

1. Acevedo, M., Jiménez, L. M., & Castaño, N. E. (2017). Relación de causalidad de variables macroeconómicas locales y globales sobre el índice COLCAP. *Revista Espacios*, (38), 38-50.
2. Adkins, R., & Paxson, D. (2011). Renewing assets with uncertain revenues and operating costs. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, (46), 785-813.
3. Agliardi, E., & Agliardi, R. (2021). Corporate green bonds: understanding the greenium in a two-factor structural model. *Environmental and Resource Economics*, (80), 257-278.
4. Altman, E. I., & Hotchkiss, E. (2006). *Corporate Financial Distress and Bankruptcy. Predict and Avoid Bankruptcy, Analyze and Invest in Distressed Debt*. John Wiley & Sons, Inc.
5. Ando, S., Fu, C., Roch, F., & Wiriadinata, U. (2022). *Sovereign Climate Debt Instruments: An Overview of the Green and Catastrophe Bond Markets*. International Monetary Fund.
6. Banco de la República. (2022a, 22 de abril). TES. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/tes>
7. Banco de la República. (2022b, 22 de abril). Mercado accionario. <https://bit.ly/3vFXvaX>
8. Barclays. (2015). *The Cost of Being Green*. Barclays.
9. Björk, T. (2009). *Arbitrage Theory in Continuous Time*. Oxford University Press.
10. Blomberg. (2022). Títulos de tesorería ISIN COL17CT03797. [Imagen].
11. Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, (31), 307-327.
12. Comité de Gestión Financiera del Sisclima. (2017). *Estrategia nacional de financiamiento climático*. Sisclima.
13. Dasgupta, P. (2021). *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. HM Treasury.

14. Doronzo, R., Siracusa, V., & Antonelli, S. (2021). Green bonds: the sovereign issuers' perspective. *Markets, Infrastructures, Payment Systems*, (3), 1-42.
15. Fabozzi, F. J. (2013). *Bond Markets, Analysis and Strategies*. 8ª ed. Pearson.
16. Fundación EU-LAC. (2020). *El potencial de los mercados de bonos verdes en América Latina y el Caribe*. Fundación EU-LAC.
17. Gianfrate, G., & Peri, M. (2019). The green advantage: exploring the convenience of issuing green bonds. *Journal of Cleaner Production*, (219), 127-135.
18. Global Footprint Network. (2022, 15 de marzo). *Global Footprint Network*. <https://shorturl.at/hAEMO>
19. Gobierno de Colombia. (2022). *Taxonomía verde de Colombia*. Gobierno de Colombia.
20. Grzegorzczuk, M., & Wolff, G. (2022). *Greeniums in Sovereign Bond Markets*. Bruegel.
21. Guarín, A. (2021). *Métodos numéricos en finanzas*. Universidad Nacional de Colombia.
22. Hull, J. (2015). *Options, Futures, and other Derivatives*. Pearson Education.
23. Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2020). *Informe nacional de registro único ambiental manufacturero de Colombia*. Ideam.
24. Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2021). *Resultados del monitoreo deforestación: 1. año 2020; 2. Primer trimestre del año 2021*. Ideam.
25. Inter-American Development Bank. (2019). *Transforming Green Bond Markets*. Inter-American Development Bank.
26. Karpoff, J., Lott, J., & Wehrly, E. (2005). The reputational penalties for environmental violations: empirical evidence. *The Journal of Law & Economics*, (68), 653-675.
27. Kellison, S. G. (1991). *The Theory of Interest*. R. R. Donnelley & Sons Company.
28. La República. (2021, 30 de septiembre). Colombia, el primer país latino en emitir bonos verdes soberanos en moneda local. <https://bit.ly/3F6ZSbj>
29. La República. (2021, 29 de septiembre). Por primera vez, el Ministerio de Hacienda subastó TES verdes por \$750.000 millones. <https://shorturl.at/juIXZ>.
30. Managi, S., & Kumar, P. (2018). *Inclusive Wealth Report 2018 Measuring Progress Towards Sustainability*. Routledge.
31. McKinsey & Company. (2022). *The Net-Zero Transition. What it Would Cost, what it Could Bring*. McKinsey & Company.

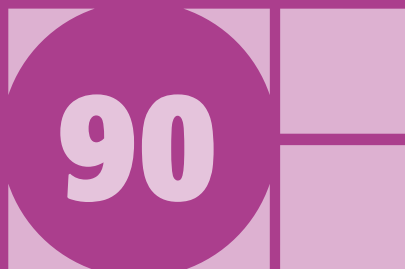
32. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2021). Boletín 65. Colombia culmina con éxito emisión de TES verdes en 2021. Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
33. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2021). *Marco de referencia de bonos verdes soberanos de Colombia*. Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
34. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022, 25 de abril). Los ODS en acción. <https://bit.ly/3MGDjwy>
35. Sánchez, J. A. (2021). *¿Por qué dependemos de la biodiversidad?* Universidad de los Andes.
36. Superintendencia Financiera de Colombia. (2020a). *Guía de bonos verdes*. SIC.
37. Superintendencia Financiera de Colombia. (2022b). Trámite: consultas específicas. Radicación 2022081423-003-000. SFC.
38. TMT Group. (2022, 30 de marzo). Servicios administrativos de impuestos en Colombia. <https://bit.ly/3OM3unv>
39. Tsay, R. (2022). *Analysis of Financial Time Series*. John Wiley & Sons, Inc.
40. Wasserman, M. (2021, 18 de noviembre). Costos del ‘costo cero’. *El Tiempo*, 1-4.
41. World Bank. (2018). *Green Bond Impact Report 2018*. World Bank.
42. World Bank. (2022, 30 de mayo). GDP (constant 2015 US\$) - Colombia. <https://bit.ly/3NHnw11>
43. World Wide Fund for Nature. (2022, 25 de abril). Actividades que amenazan la salud de los ríos. <https://bit.ly/3OLSQNY>
44. World Wide Fund for Nature. (2022, 25 de abril). The newest climate report looks grim. Here’s why we still have hope. <https://wwf.to/37U1LM5>
45. Yu, F. (2005). Accounting transparency and the term structure of credit spreads. *Journal of Financial Economics*, (75), 53-84.
46. Zerbib, O. D. (2019). The effect of pro-environmental preferences on bond prices: evidence from green bonds. *Journal of Banking & Finance*, (98), 39-60.

ANEXO

Tabla A1.
Referencia bono soberano - Colombia

Issuer Information				Identifiers	
Name	TITULOS DE TESORERIA			FIGI	BBG012R5QQJ7
Industry	Treasury (BCLASS)			ISIN	COL17CT03797
Security Information				ID Number	BR7105587
Mkt Iss	# DOMESTIC			Bond Ratings	
Ctry/Reg	CO	Currency	COP	DBRS	BBBL
Rank	Unsecured	Series	G	Issuance & Trading	
Coupon	7.000000	Type	Fixed		
Cpn Freq	Annual				
Day Cnt	NL/365	Iss Price	99.85100		
Maturity	03/26/2031			Amt Issued/Outstanding	
BULLET				COP	1,497,329,100.00 (M) /
Iss Yield	7.556			COP	1,497,329,100.00 (M)
Calc Type	(999)STREET CONVENTION			Min Piece/Increment	
Pricing Date	09/29/2021			500,000.00 / 100,000.00	
Interest Accrual Date	03/26/2021			Par Amount	100,000.00
1st Settle Date	09/29/2021			Book Runner	
1st Coupon Date	03/26/2022			Exchange	COLOMBIA

Fuente: Bloomberg (2022).



CUADERNOS DE ECONOMÍA

ISSN 0121-4772

ARTÍCULOS

ALEJANDRO MÁRQUEZ-VELÁZQUEZ	
Growth and the real exchange rate: The role of technology	403
ALVARO LALANNE	
Measuring upstreamness and downstreamness based on exports	429
KARLA FLORES-ZARUR Y WILLIAM OLVERA-LÓPEZ	
Una aplicación de juegos de señales para el análisis del intercambio de información en una cadena de suministro	465
NOEMI LEVY ORLIK	
La globalización de capital, las crisis del siglo XXI y el rezago de América Latina: ¿qué sigue?	487
JAVIER ROZO BONILLA Y ALEJANDRA SÁNCHEZ VÁSQUEZ	
<i>Greenium</i> en Colombia: estudio de caso del mercado de bonos verdes a partir de un modelo estructural de dos factores	517
GERMÁN SÁNCHEZ-PÉREZ, JORGE E. SÁENZ-CASTRO Y LUZ AYDÉE HIGUERA-CÁRDENAS	
Crecimiento multisectorial colombiano, 1975-2016	549
JOSÉ MAURICIO GIL LEÓN Y JHANCARLOS GUTIÉRREZ AYALA	
El comercio interindustrial e intraindustrial de un producto agrícola: una evaluación de la papa en Colombia, 1992-2019	573
OMAR CASTILLO NÚÑEZ	
La respuesta de la oferta de yuca al precio en los departamentos de Córdoba y Sucre, Colombia: una regresión cointegrante, 1976-2019	603
ELMER SÁNCHEZ DÁVILA	
The Peruvian mining boom and dutch disease. Empirical evidence from 2003 to 2020	629
FACUNDO BARRERA INSUA Y DEBORAH NOGUERA	
Determinantes salariales intersectoriales en la Argentina: un modelo de análisis para las dinámicas desiguales del capital y el trabajo	651
JOSÉ CARLOS ESPINOZA	
Crecimiento económico y alternancia política en México a nivel estatal	677
JONATHAN ANDREY BARRANDEY CHAVIRA	
La disminución de la participación del trabajo en el ingreso en México, 2004-2019	695
AMÉRICA IVONNE ZAMORA TORRES Y RENÉ AUGUSTO MARÍN-LEYVA	
Análisis econométrico de las aduanas en México: una estimación de Hausman-Taylor y Amemiya-MaCurdy	723

ISSN 0121-4772



9 770121 477005 9 0