

Clustering de bonos verdes, sociales, sostenibles y sustainability-linked bonds (2014-2023)

Clustering of Green, Social, Sustainability, and Sustainability-Linked Bonds (2014–2023)

Dominique Garrido-Araya¹

Michelle Diaz Gula²

Alejandra Espinosa Vera³

RESUMEN

Los bonos verdes, sociales, sostenibles y sustainability-linked bonds se han consolidado como mecanismos relevantes para canalizar recursos hacia proyectos con beneficios ambientales y sociales. No obstante, gran parte de la literatura empírica se ha concentrado en el crecimiento del mercado, la credibilidad de las emisiones y el análisis de pricing, mientras que existe menor evidencia sobre su heterogeneidad estructural a escala global. El objetivo de esta investigación es analizar el ecosistema del financiamiento sostenible mediante la clasificación, a través de técnicas de clustering, de bonos verdes, sociales, sostenibles y sustainability-linked bonds emitidos entre 2014 y 2023. El estudio parte de una base pública de 2.546 registros y construye una muestra analítica de 2.340 observaciones, cuyo año se deriva del campo Latest External Review Report. Sobre esta muestra se realizó un análisis descriptivo y una segmentación no supervisada mediante K-means, aplicada a variables cuantitativas transformadas y estandarizadas. Los resultados evidencian el predominio de los bonos verdes en frecuencia y monto agregado, una marcada concentración geográfica y sectorial, y la existencia de tres segmentos diferenciados por escala y recurrencia de emisión: uno de pequeña escala y baja recurrencia, otro de gran escala y alta recurrencia, y un tercero de escala intermedia con recurrencia moderada. El estudio aporta una lectura estructural y reproducible del mercado de instrumentos de deuda sostenible, que puede servir de base para futuras investigaciones sobre spreads, credibilidad de revisiones externas y desempeño financiero.

Palabras clave: bonos verdes, bonos sociales, bonos sostenibles, sustainability-linked bonds, finanzas sostenibles, clustering, segmentación de mercado.

1 Escuela de Auditoría, Universidad de Valparaíso. dominique.garrido@uv.cl

2 Escuela de Auditoría, Universidad de Valparaíso. michelle.diaz@estudiantes.uv.cl

3 Escuela de Auditoría, Universidad de Valparaíso. alejandra.espinosa@estudiantes.uv.cl

ABSTRACT

Green, social, sustainability, and sustainability-linked bonds have become relevant mechanisms for channeling capital toward projects with environmental and social benefits. However, much of the empirical literature has focused on market growth, issuance credibility, and pricing, while less evidence is available on the structural heterogeneity of the global market. The aim of this study is to analyze the sustainable finance ecosystem by classifying green, social, sustainability, and sustainability-linked bonds issued between 2014 and 2023 through clustering techniques. The study starts from a public database of 2,546 records and builds an analytical sample of 2,340 observations, for which the year variable is derived from the Latest External Review Report field. Based on this sample, a descriptive analysis and an unsupervised segmentation using K-means were performed on transformed and standardized quantitative variables. The results show the predominance of green bonds in both frequency and aggregate amount, a marked geographic and sectoral concentration, and three distinct segments differentiated by issuance scale and recurrence: small-scale and low-recurrence issuances, large-scale and high-recurrence issuances, and intermediate-scale issuances with moderate recurrence. This study provides a structural and reproducible reading of the sustainable debt market that may serve as a basis for future research on spreads, external review credibility, and financial performance.

Keywords: green bonds, social bonds, sustainability bonds, sustainability-linked bonds, sustainable finance, clustering, market segmentation.

Recepción: 19/11/2025. Aprobación: 12/01/2026.

INTRODUCCIÓN

El mercado de bonos verdes, sociales y sostenibles ha experimentado una expansión sostenida durante la última década, consolidándose como una de las expresiones más relevantes del financiamiento sostenible en los mercados de deuda. Estos instrumentos permiten vincular la captación de recursos con proyectos o actividades que persiguen beneficios ambientales, sociales o ambos, bajo criterios de asignación, seguimiento y reporte del uso de los fondos, lo que ha favorecido su posicionamiento como mecanismos de canalización de capital hacia objetivos de sostenibilidad (International Capital Market Association [ICMA], 2021a, 2021b, 2021c; Maltais & Nykvist, 2021).

En este contexto, los bonos verdes se orientan a proyectos con impacto ambiental positivo, los bonos sociales financian iniciativas con objetivos sociales y los bonos sostenibles combinan ambas dimensiones. A su vez, el ecosistema ha incorporado también los sustainability-linked bonds, cuya estructura difiere de los instrumentos tradicionales de uso de fondos, ya que su diseño se vincula al cumplimiento de metas de sostenibilidad previamente definidas por el emisor (ICMA, 2023). Esta diversidad muestra que el mercado de deuda sostenible no constituye una categoría homogénea, sino un espacio donde convergen distintos tipos de instrumentos, finalidades, emisores y esquemas de validación.

La consolidación de este mercado ha estado acompañada por el desarrollo de principios y marcos de referencia orientados a fortalecer su credibilidad y comparabilidad. Los lineamientos promovidos por la ICMA han contribuido a estandarizar aspectos como el uso de los fondos, la evaluación y selección de proyectos, la gestión de los recursos y la divulgación de información. En paralelo, el Reglamento (UE) 2023/2631 representa un avance relevante al establecer un marco formal para los bonos verdes europeos y exigencias de divulgación para emisiones comercializadas como ambientalmente sostenibles y para sustainability-linked bonds (ICMA, 2021a, 2021b, 2021c; Regulation (EU) 2023/2631, 2023). Sin embargo, la existencia de principios y etiquetas no elimina por sí sola los problemas de heterogeneidad, comparabilidad y calidad informativa entre emisiones.

La literatura ha abordado este fenómeno desde distintas perspectivas. Una parte importante de la evidencia se ha concentrado en el análisis del pricing de los bonos verdes, la existencia de diferenciales de rendimiento frente a bonos convencionales comparables y el papel de la certificación o revisión externa en la credibilidad de la etiqueta sostenible (Ehlers & Packer, 2017; Dorfleitner et al., 2022; Zerbib, 2019). Otra línea ha examinado el efecto de la emisión de bonos verdes sobre las firmas emisoras, mostrando que estos instrumentos pueden funcionar como señales de compromiso ambiental y generar efectos favorables en la percepción del mercado bajo determinadas condiciones (Tang & Zhang, 2020; Flammer, 2021). En términos más amplios, se ha planteado además que los bonos verdes pueden cumplir un rol relevante en el avance de agendas de sostenibilidad, aunque dicho aporte depende de la calidad de los marcos de emisión, de la credibilidad del instrumento y del contexto institucional en que se desarrollan (Maltais & Nykvist, 2021).

No obstante, aunque esta literatura ha sido útil para comprender la dimensión financiera y reputacional de estos instrumentos, existe todavía espacio para estudios orientados a caracterizar empíricamente la estructura interna del mercado de bonos verdes, sociales y sostenibles. En efecto, este mercado no constituye un bloque homogéneo, sino un ecosistema en el que coexisten emisiones de distinta escala, sectores económicos diversos, localizaciones geográficas heterogéneas y niveles variables de estandarización y revisión externa. Desde esta perspectiva, una lectura sustentada únicamente en estadísticas agregadas o en análisis de pricing resulta insuficiente para comprender cómo se organiza internamente este mercado y qué perfiles de emisión predominan en él. Esta brecha resulta especialmente relevante si se considera que la credibilidad de las emisiones sostenibles depende también de mecanismos de certificación y revisión externa que contribuyen a reducir asimetrías informativas entre emisores e inversionistas (Ehlers & Packer, 2017; Dorfleitner et al., 2022).

En este marco, las técnicas de clustering constituyen una herramienta pertinente para identificar agrupaciones de emisiones con características similares y, con ello, aportar una lectura estructural del mercado. A diferencia de una descripción exclusivamente narrativa o de comparaciones aisladas por tipo de bono, la segmentación no supervisada permite reconocer patrones latentes dentro de una base de datos amplia y heterogénea, facilitando la identificación de tipologías empíricas según atributos observables. Esta aproximación resulta especialmente útil en

un mercado donde convergen múltiples tipos de instrumentos, industrias, montos emitidos y localizaciones geográficas, lo que dificulta una interpretación integrada a partir de estadísticas descriptivas simples.

En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es analizar el ecosistema del financiamiento sostenible mediante la clasificación, a través de técnicas de clustering, de los bonos verdes, sociales, sostenibles y sustainability-linked bonds en el período 2014-2023. En particular, se busca identificar grupos de emisiones con características similares según tipo de bono, monto emitido, sector industrial y localización geográfica, con el fin de aportar una caracterización empírica de la heterogeneidad del mercado. Bajo este enfoque, el estudio no pretende estimar primas, rendimientos ni efectos causales sobre desempeño financiero, sino describir y segmentar la estructura del mercado a partir de patrones observables en una base de datos pública de emisiones sostenibles. De este modo, el aporte del trabajo radica en complementar la literatura existente con una lectura tipológica del mercado, desplazando el foco desde el análisis exclusivo de precios o certificaciones hacia la identificación de perfiles de emisión y concentraciones estructurales dentro del ecosistema de bonos sostenibles.

METODOLOGÍA, MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio adopta un enfoque cuantitativo de alcance exploratorio-descriptivo. El material empírico corresponde al dataset público Global Sustainable Bonds Data (Kaggle, 2024), compuesto por 2.546 registros. Cada observación contiene información sobre emisor, localización, sector, tipo de bono, cantidad de bonos por tipo, monto emitido y referencias a revisión externa.

Para construir la muestra analítica se transformó el campo Amount issued (USD bn.) a formato numérico y se derivó el año a partir del campo Latest External Review Report. Posteriormente se filtraron los registros con año entre 2014 y 2023. Este procedimiento produjo una muestra final de 2.340 observaciones. En consecuencia, la dimensión temporal utilizada en el estudio debe interpretarse como una aproximación basada en el último reporte de revisión externa disponible y no como la fecha contractual de emisión primaria.

La estrategia analítica se desarrolló en tres etapas. Primero, se elaboró una caracterización descriptiva del mercado por año, tipo de bono, país y sector. Segundo, se aplicó una transformación $\log(1+x)$ a las variables Amount issued y Bonds per type, seguida de estandarización z-score. Tercero, se estimó un modelo K-means con inicialización aleatoria controlada, `random_state = 42` y `n_init = 20`. La selección de k se apoyó en el método del codo. Para evitar que una representación dispersa de variables categóricas dominara el agrupamiento, la segmentación se construyó sobre variables cuantitativas transformadas y las variables geográficas, sectoriales y de tipo de bono se utilizaron posteriormente para perfilar e interpretar los segmentos resultantes.

Esta decisión metodológica fortalece la reproducibilidad del ejercicio y permite que la interpretación de los clústeres se base en diferencias de escala y recurrencia, complementadas luego con la composición sectorial, geográfica y tipológica de cada grupo.

Tabla 1

Registros y montos por año y tipo de bono (muestra analítica 2014-2023).

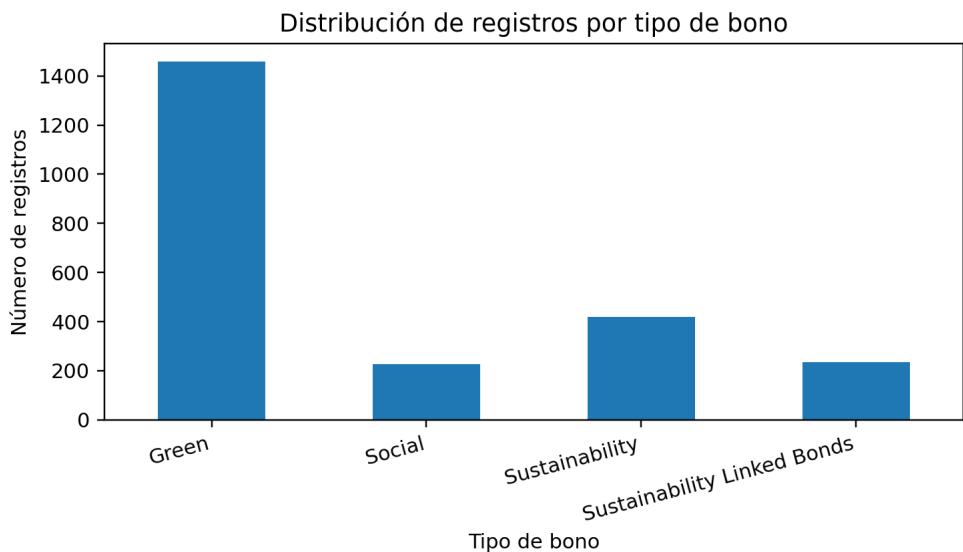
Año	Green	Social	Sustainability	Sustainability Linked Bonds	Total registros	Monto total (USD bn)
2014	2	0	0	0	2	8.85
2015	7	1	0	0	8	10.63
2016	15	1	0	0	16	7.10
2017	43	2	9	0	54	97.12
2018	79	5	12	0	96	84.50
2019	182	25	27	0	234	207.69
2020	252	48	64	14	378	843.03
2021	504	76	194	130	904	1006.36
2022	323	62	101	89	575	645.63
2023	51	6	13	3	73	62.08

Nota. El año se deriva del campo Latest External Review Report; por ello, la tabla representa la distribución temporal de las revisiones externas registradas en la base y no la cronología contractual exacta de emisión.

RESULTADOS

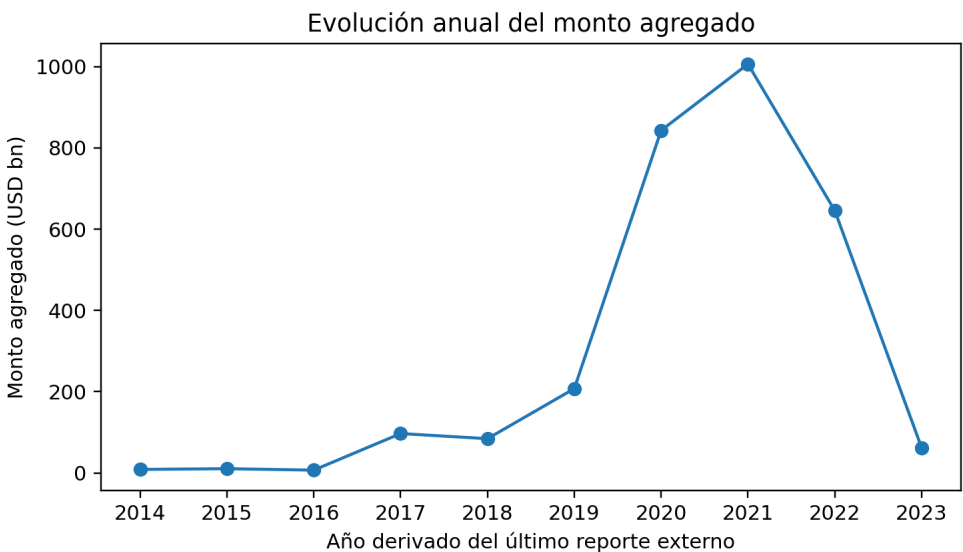
La muestra analítica quedó conformada por 2,340 registros. Los bonos verdes concentran 1,458 observaciones, seguidos por los bonos sostenibles (420), los sustainability-linked bonds (236) y los bonos sociales (226). En términos de monto agregado, también predomina la categoría green con USD 1806.49 bn, muy por encima de social (USD 582.00 bn), sustainability (USD 401.78 bn) y sustainability-linked bonds (USD 182.72 bn).

Figura 1
Distribución de registros por tipo de bono.



La evolución temporal evidencia una aceleración marcada desde 2019 y un máximo en 2021. Dado que el eje temporal se basa en la fecha del último reporte externo disponible, este patrón debe leerse como una dinámica de la información registrada en la base y no como una serie exacta de emisiones primarias. Aun así, la trayectoria permite observar la consolidación del mercado GSS y la posterior moderación en 2022 y 2023 dentro del conjunto disponible.

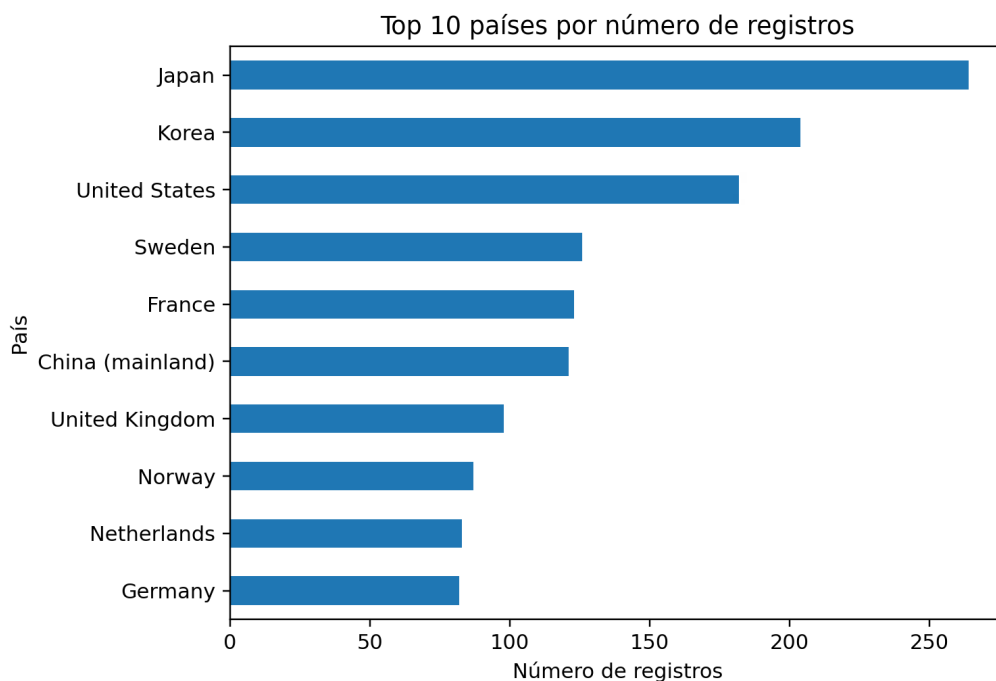
Figura 2
Evolución anual del monto agregado según año derivado del último reporte externo.



La dimensión geográfica muestra una concentración importante. Japón, Corea y Estados Unidos lideran el número de registros, seguidos por Suecia, Francia y China continental. Este patrón sugiere que, aun cuando el mercado es global, la actividad observable se concentra en un conjunto acotado de jurisdicciones con mayor profundidad institucional o mayor adopción de marcos de financiamiento sostenible.

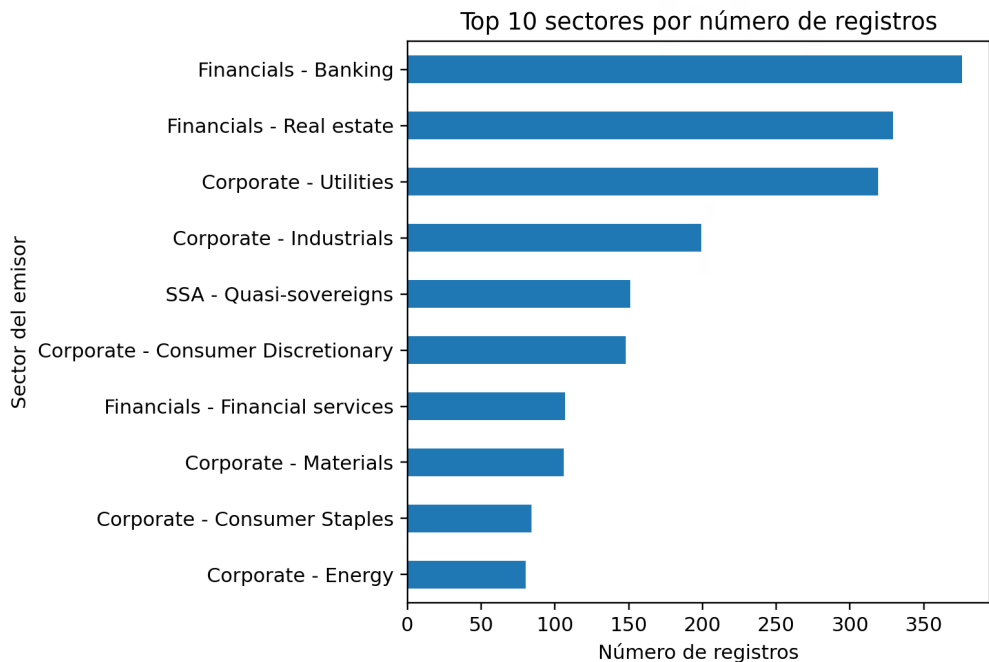
Figura 3

Top 10 países por número de registros.



La estructura sectorial también es concentrada. Predominan Financials - Banking, Financials - Real estate y Corporate - Utilities, lo que indica un papel central de intermediarios financieros, emisores inmobiliarios y utilities en la difusión de estos instrumentos. Esta composición es relevante porque sugiere que la expansión del mercado no depende de un único perfil emisor, sino de la combinación entre financiamiento de infraestructura, intermediación financiera y canalización de recursos a sectores intensivos en inversión.

Figura 4
Top 10 sectores del emisor por número de registros.



La selección de $k = 3$ se apoya en el método del codo. A partir de ese valor, la reducción marginal de la inercia continúa, pero con menor ganancia relativa, lo que favorece una solución parsimoniosa e interpretable para el propósito descriptivo del estudio.

Figura 5
Método del codo para la selección del número de clústeres.

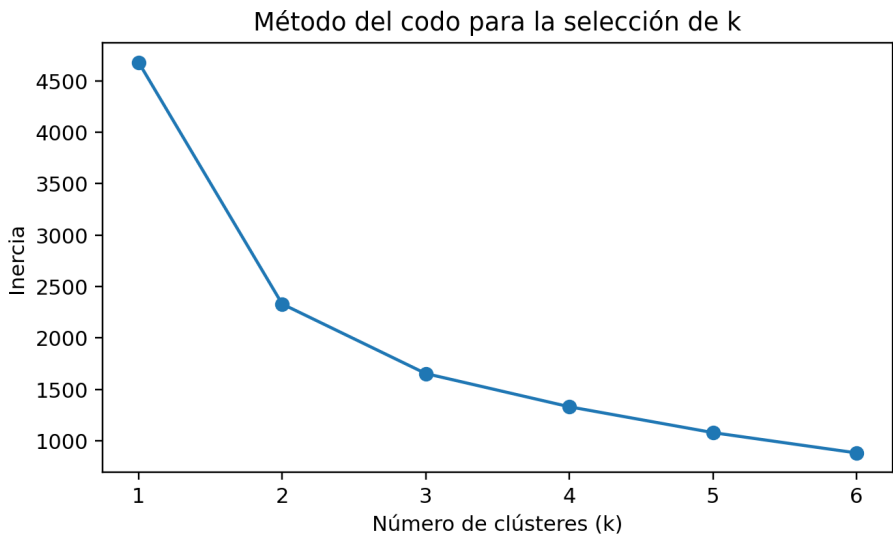
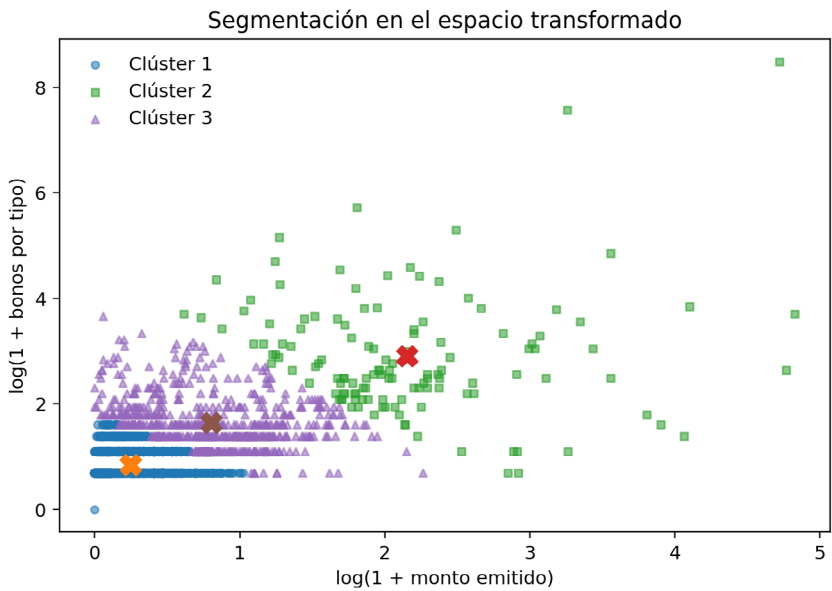


Tabla 2
Perfiles descriptivos de los clústeres.

Segmento	Descripción	Registros	Monto promedio	Bonos por tipo prom.	País predominante	Sector predominante	Tipo predominante
Clúster 1	Pequeña escala y baja recurrencia	1574	0.31	1.40	Japan	Financials - Real estate	Green
Clúster 2	Gran escala y alta recurrencia	129	12.20	79.44	France	Financials - Banking	Green
Clúster 3	Escala intermedia y recurrencia moderada	637	1.44	4.96	Korea	Financials - Banking	Green

Los perfiles muestran tres segmentos bien diferenciados. El Clúster 1 corresponde a emisiones de pequeña escala y baja recurrencia; el Clúster 2 agrupa emisiones de gran escala y alta recurrencia, con predominio de emisores financieros y una composición más concentrada que los demás segmentos.; y el Clúster 3 representa una zona intermedia con recurrencia moderada y mayor mezcla entre banca, utilities e inmobiliario. En los tres casos predominan los bonos verdes, aunque el Clúster 2 exhibe una proporción relativamente mayor de bonos sociales y menor presencia de sustainability-linked bonds.

Figura 6
Segmentación en el espacio transformado de monto emitido y bonos por tipo.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados confirman que el mercado GSS no debe entenderse como un bloque homogéneo. Su estructura combina una amplia base de emisiones de menor escala con un subconjunto reducido de operaciones de gran tamaño y alta recurrencia. Esta heterogeneidad es importante porque afecta la comparación entre emisores y limita la utilidad de lecturas agregadas que no distinguen perfiles.

La concentración en bonos verdes es consistente con la literatura que describe una mayor madurez relativa de este segmento y una arquitectura institucional más consolidada en torno a taxonomías, certificación y revisiones externas. Al mismo tiempo, la mayor participación relativa de bonos sociales en el clúster de gran escala sugiere que ciertas emisiones de mayor volumen se apoyan en emisores con capacidad institucional más robusta, particularmente banca y entidades SSA.

Desde el punto de vista regulatorio, la relevancia de marcos como los principios de ICMA y el Reglamento (UE) 2023/2631 radica en que ayudan a ordenar un mercado que, según los resultados obtenidos, presenta gran diversidad de emisores, tamaños y finalidades. En ese contexto, la revisión externa no debe interpretarse como un elemento accesorio, sino como un mecanismo de señalización y credibilidad frente al riesgo de greenwashing o social washing.

El aporte del estudio es principalmente estructural. La segmentación propuesta no estima greenium, social premium ni desempeño financiero relativo, pero sí organiza el mercado en tipologías observables que pueden ser usadas posteriormente para análisis de spreads, eventos de emisión o calidad de aseguramiento. En ese sentido, la contribución es metodológicamente modesta pero empíricamente útil: ofrece una clasificación reproducible y una lectura comparativa del ecosistema GSS global.

El estudio analizó el ecosistema global de bonos verdes, sociales y sostenibles a partir de una muestra analítica de 2.340 registros entre 2014 y 2023. Los resultados muestran el predominio de los bonos verdes, una fuerte concentración geográfica y sectorial, y tres segmentos diferenciados por escala y recurrencia de emisión.

La principal utilidad de esta clasificación reside en que ordena la heterogeneidad del mercado y permite pasar desde una lectura meramente agregada a una interpretación por tipologías. Esto es especialmente relevante en un campo donde la discusión suele concentrarse en precios o credibilidad, pero donde la estructura misma del mercado también condiciona la comparación entre instrumentos.

Entre las limitaciones del estudio destaca que la temporalidad se construye a partir del último reporte de revisión externa y no de la fecha contractual de emisión, y que el clustering se basa en variables cuantitativas de escala y recurrencia, mientras que sector, geografía y tipo de bono se incorporan ex post para interpretación. Como línea futura, se propone integrar varia-

bles de rendimiento, tipo de revisión externa y fecha efectiva de emisión para estimar perfiles con mayor profundidad financiera.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allman, E., & Lock, B. (2024). External reviews and green bond credibility. *Journal of Climate Finance*, 7, 100036. <https://doi.org/10.1016/j.jclimf.2024.100036>
- Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G., & Wurgler, J. (2022). The pricing and ownership of U.S. green bonds. *Annual Review of Financial Economics*, 14, 415–437. <https://doi.org/10.1146/annurev-financial-111620-014802>
- Chen, X., & Long, W. (2023). To enhance the credibility of the green bond market through regulating GBERs: The case of China. *Laws*, 12(6), Article 91. <https://doi.org/10.3390/laws12060091>
- Dorfleitner, G., Utz, S., & Zhang, R. (2022). The pricing of green bonds: External reviews and the shades of green. *Review of Managerial Science*, 16(3), 797–834. <https://doi.org/10.1007/s11846-021-00458-9>
- Ehlers, T., & Packer, F. (2017). Green bond finance and certification. *BIS Quarterly Review*, September, 89–104.
- Fatica, S., & Panzica, R. (2021). Green bonds as a tool against climate change? *Business Strategy and the Environment*, 30(5), 2688–2701. <https://doi.org/10.1002/bse.2771>
- Flammer, C. (2021). Corporate green bonds. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 499–516. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>
- International Capital Market Association. (2021a). Green Bond Principles (June 2021). <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2021-updates/Green-Bond-Principles-June-2021-100621.pdf>
- International Capital Market Association. (2021b). Social Bond Principles (June 2021). <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2021-updates/Social-Bond-Principles-June-2021-140621.pdf>
- International Capital Market Association. (2021c). Sustainability Bond Guidelines (June 2021). <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2021-updates/Sustainability-Bond-Guidelines-June-2021-140621.pdf>
- International Capital Market Association. (2023). Sustainability-Linked Bond Principles (June 2023). <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2023-updates/Sustainability-Linked-Bond-Principles-June-2023-220623.pdf>
- Maltais, A., & Nykvist, B. (2021). Understanding the role of green bonds in advancing sustainability. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 11(3), 233–252. <https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1724864>
- Regulation (EU) 2023/2631 of the European Parliament and of the Council of 22 November 2023 on European Green Bonds and optional disclosures for bonds marketed as environmentally sustainable and for sustainability-linked bonds. (2023). Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2631/oj>
- Simeth, N. (2022). The value of external reviews in the secondary green bond market. *Finance*

- Research Letters, 46, 102306. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102306>
- Tang, D. Y., & Zhang, Y. (2020). Do shareholders benefit from green bonds? *Journal of Corporate Finance*, 61, Article 101427. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2018.12.001>
- Torricelli, C., & Pellati, E. (2023). Social bonds and the social premium. *Journal of Economics and Finance*, 47(3), 600–619. <https://doi.org/10.1007/s12197-023-09620-3>
- Zerbib, O. D. (2019). The effect of pro-environmental preferences on bond prices: Evidence from green bonds. *Journal of Banking & Finance*, 98, 39–60. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2018.10.012>



Esta obra está bajo una licencia de
Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional