





Os sistemas de comércio de emissões de carbono e o desempenho financeiro: uma análise bibliométrica

Emilio Cedrún-Vázquez ¹, Leticia Elizabeth Romero-García ^{2,3}, Omar Rojas-Altamirano ⁴, Norman Aguilar-Gallegos ^{5,3*}

¹Estudiante en el Doctorado en Ciencias Empresariales. Universidad Panamericana, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, México.

²Doctora en Ingeniería de Sistemas. Universidad Panamericana, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, México.

³Networks and Systems Thinking Research Group – NeST, Zapopan, México.

⁴Doctor en Matemáticas. Universidad Panamericana, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, México.

⁵Doctor en Problemas Económico Agroindustriales. Universidad Panamericana, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco, 45010, México. (*Autor correspondiente: naguilarg@up.edu.mx)

Histórico do Artigo: Submetido em: 20/02/2026 – Revisado em: 27/03/2026 – Aceito em: 03/04/2026

RESUMO

Este artigo expõe a pesquisa da evolução do conhecimento científico sobre os Sistemas de Comércio de Emissões de CO₂ (SCE) e sua relação com o desempenho financeiro das empresas. Uma base de dados com 644 documentos foi analisada com procedimentos bibliométricos: análise de desempenho e mapeamento da ciência. Quanto à primeira, os resultados demonstraram que o tema tem crescido e atraído mais interesse de pesquisa. No mapeamento, evidencia-se que a pesquisa sobre os SCE foi desenvolvida em diferentes eixos temáticos, sendo os SCE da UE e da China os mais estudados. Foram encontradas evidências da relação dos SCE com o desempenho financeiro, mas são necessárias mais contribuições empíricas. Conclui-se que o tema apresenta oportunidades de pesquisa e que ainda existe uma lacuna no estudo do desempenho financeiro das empresas e da efetividade dos SCE.

Palavras-Chaves: Sistema de comércio de emissões, Desempenho financeiro, Preço do carbono, Bibliometria, Análise de redes sociais.

Carbon emissions trading systems and financial performance: a bibliometric analysis

ABSTRACT

In this study, the evolution of scientific knowledge on emissions trading systems (ETS) for CO₂ and their relationship with the financial performance of firms is researched. A dataset of 644 documents was analysed with bibliometric procedures: performance analysis and science mapping. Regarding the former, results show that the topic has been growing and attracting more research interest. In the latter, it was revealed that research on ETS has developed along multiple thematic streams, where the EU ETS and China ETS are the most analysed. Evidence regarding the link between ETS and the firms' financial performance was found, but further empirical contributions are needed. It is concluded that the topic offers opportunities for research, and there remains a gap regarding the financial performance of firms and the effectiveness of the ETS.

Keywords: Emissions trading systems, Financial performance, Carbon price, Bibliometrics, Social network analysis.

Cedrún-Vázquez, E., Romero-García, L. E., Rojas-Altamirano, O., Aguilar-Gallegos, N. (2026). Os sistemas de comércio de emissões de carbono e o desempenho financeiro: uma análise bibliométrica. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.14, n.2, p.244-263.



Los sistemas de comercio de emisiones de carbono y el desempeño financiero: un análisis bibliométrico

RESUMEN

En este artículo se investiga la evolución del conocimiento científico de los Sistemas de Comercio de Emisiones de CO₂ (SCE) y su relación con el desempeño financiero de las empresas. Se analizó una base de datos con 644 documentos con procedimientos bibliométricos: análisis de desempeño y mapeo de la ciencia. En cuanto al primero, los resultados demostraron que el tema ha venido creciendo y atrayendo más el interés de investigación. En el segundo, se reveló que la investigación de los SCE se ha desarrollado en diferentes ejes temáticos, donde los SCE de la UE y de China son los más estudiados. Se encontró evidencia de la relación de los SCE con el desempeño financiero, pero se necesitan más contribuciones empíricas. Se concluye que el tema presenta oportunidades de investigación y que aún hay una brecha en el estudio del desempeño financiero de las empresas y la efectividad de los SCE.

Palabras clave: Sistema de comercio de emisiones, Desempeño financiero, Precio del carbono, Bibliometría, Análisis de redes sociales.

1. Introdução

Atualmente, se reconhece a urgência de descarbonizar a economia mundial para diminuir o rápido aumento da temperatura da Terra, pois este está atingindo níveis que colocam em risco os ecossistemas fundamentais para a vida humana. Assim, os Sistemas de Comércio de Emissões (SCE) de CO₂ constituem uma das políticas públicas com maior aceitação entre os países signatários do Acordo de Paris para combater as mudanças climáticas. Os SCE são instrumentos de política pública que operam por meio de um esquema de mercado de «*cap and trade*» que visa reduzir as emissões de CO₂ das unidades econômicas geradoras de Gases de Efeito Estufa (GEE), estabelecendo limites às atividades econômicas. Alguns elementos que constituem os SCE são o preço do carbono, a atribuição de licenças de emissão e os limites de emissão por indústria, entre outros (ICAP, 2021).

Os SCE se baseiam nas teorias econômicas de Pigou (1920) e Coase (2013) aplicadas por Crocker (1972), Baumol e Oates (1971), Montgomery (1972), T. Tietenberg (2010), T. H. Tietenberg (1973), entre outros, que foram utilizadas para controlar a poluição atmosférica dos Estados Unidos. Também, a referência prévia à aplicação de um instrumento de mercado com objetivo de melhorar o meio ambiente foi o Programa de comércio de licenças de dióxido de enxofre (SO₂) para o controle da chuva ácida nos Estados Unidos (Ferrall, 1991). Esse programa gerou aprendizado por meio da aplicação conjunta de políticas ambientais e econômicas (Stavins, 1998), é considerado a base para o comércio de emissões nos EUA (Burtraw et al., 2005).

Além disso, o alcance dos SCE abrange atividades econômicas que incluem 58% do PIB mundial, cobrindo 18% das emissões de GEE (ICAP, 2024). Dessa forma, o relatório do ICAP (2024) lista 36 SCE implementados e/ou regulamentados; sendo o principal, por seu alcance e nível de maturidade, foi implementado pela União Europeia, a partir de 1 de janeiro de 2005 (Diretiva 2003/87/CE), com vigência até 2030, estabelecendo as bases para o Protocolo de Quioto (Kruger & Pizer, 2004). Além disso, a Lei Europeia do Clima estabelece a urgência de reduzir as emissões de GEE (União Europeia, 2021). O SCE da China (China-ETS) também foi reconhecido, que começou a operar em 2021, porque é o maior em termos de emissões cobertas, aproximadamente 40% das emissões do país (ICAP, 2024).

A importância do tema segue no Acordo de Paris, COP21, de 2015, para descarbonizar a economia mundial; posteriormente, em 2016, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) apresentou a denominada *Guide to banking and Sustainability* (UNEP, 2016) e, no G20, foi criado o Grupo de Estudo sobre Finanças Verdes (GFSG pela sua sigla em inglês). Assim, na Cúpula do Clima de 2022, COP27, destaca-se o papel das políticas públicas e dos incentivos para reduzir as emissões das unidades econômicas com maior impacto na emissão de CO₂ para a atmosfera. Da mesma forma, na COP29, financiamento climático está entre os temas centrais e prioritários.

É assim que a transição em direção a uma economia de baixo carbono implicará que algumas indústrias

umentem a sua relevância na economia, enquanto outras deixarão de ser viáveis. Uma mudança sistêmica desse tipo pode ter repercussões importantes na estabilidade dos sistemas financeiros, com movimentos acelerados na avaliação de ativos e incumprimentos no pagamento de dívida (Semieniuk et al., 2021). Embora no contexto internacional, os compromissos nacionais de redução das emissões de gases de efeito estufa sejam fundamentais para enfrentar um problema de caráter global, é necessário analisar de forma particular os geradores dessas emissões, que são as unidades econômicas; principalmente quando se fala de seus efeitos no desempenho financeiro das empresas (López-Manuel et al., 2023). Ainda mais porque foi indicado que há pouco conhecimento sobre a relação entre o desempenho ambiental e o desempenho financeiro das empresas (Lee et al., 2015; Park et al., 2024). Entretanto, as empresas precisam avaliar a sua capacidade de inovação e desenvolvimento tecnológico (Pinkse & Kolk, 2010) para ter acesso a ferramentas tecnológicas e financeiras que lhes permitam dinamizar os seus modelos de negócio, modernizar os seus sistemas produtivos e melhorar as suas estratégias de negócio em relação às alterações climáticas (Aggarwal & Dow, 2012), por exemplo, inovações ecológicas empresariais (He et al., 2024) ou as patentes ambientais (Deng et al., 2024).

No entanto, da perspectiva das empresas em particular, isso se traduz no risco de transição de carbono, o qual reflete uma taxa incerta de ajuste para a neutralidade de carbono. Por sua vez, os investidores ficam expostos nos próximos anos ao risco da transição e os mercados de valores olham para o futuro, de forma que é natural questionar-se em que medida esse risco de transição se reflete nos rendimentos das ações (Bolton & Kacperczyk, 2023).

Isso faz mais sentido quando se considera o custo das externalidades (Coase, 2013). O referido problema reside na diferença entre custos sociais e privados, pois a forma como esses custos são distribuídos costuma ser injusta. Aplicado às externalidades causadas pelas emissões GEE -custo social-, a lei teria que obrigar as unidades econômicas a cobrir esse custo pelos impactos nas regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas. A análise de custo-benefício estabeleceria a quantidade ideal de diminuição das emissões de gases de efeito estufa no ponto em que esse custo social fosse igual ao aumento (Pearce, 2003). Além disso, porque foi mencionado que as regulamentações ambientais não necessariamente tornam as empresas menos competitivas (Porter, 1991). Pelo contrário, foi explicado que as regulamentações ambientais, que obrigam as empresas a atualizar a sua tecnologia, não apenas reduzirão a poluição, mas também melhorarão a qualidade e reduzirão os custos, tornando-se uma fonte potencial de vantagens competitivas (Porter & Kramer, 2006). Esses conceitos continuam válidos e evoluíram para outros modelos integrais; como o *Environmental, Social, and Governance* (ESG) ou o *Corporate Social Responsibility* (CSR) que demonstraram um bom desempenho financeiro (Tarmuji et al., 2016; Tsang et al., 2023).

Neste contexto, se reconhece a necessidade de analisar a trajetória e o alcance do conhecimento científico em torno dos SCE e então identificar propostas e/ou ferramentas que permitam avaliar se esse mecanismo gera incentivos econômicos e financeiros suficientes e oportunos para as empresas investirem em inovação e tecnologia e, por conseguinte, transitar para uma economia de baixo carbono; pois foi enfatizado (Naranjo Tuesta et al., 2021) que é necessário estudar mais profundamente as relações entre a rentabilidade das empresas e as políticas para reduzir as suas emissões de carbono.

O acima exposto destaca a importância de desenvolver um estudo bibliométrico sobre o tema para buscar evidências a esse respeito. Portanto, o objetivo deste artigo é revelar o acúmulo de conhecimento científico relacionado aos sistemas de comércio de emissões (SCE), bem como sua estrutura conceitual, por meio de uma análise de desempenho e mapeamento da ciência, próprios de uma pesquisa bibliométrica. Com o desenvolvimento desta pesquisa, também se busca evidências da relação entre o desempenho financeiro das empresas e a sua participação nos SCE. Assim, este artigo contribuiria para a identificação de lacunas de conhecimento entre os incentivos econômicos, os desafios e os riscos enfrentados pelas unidades econômicas participantes dos SCE, na transição em direção a uma economia neutra em carbono.

2. Materiais e Métodos

2.1 Definição dos termos de busca

A metodologia utilizada, conhecida como Análise Bibliométrica, é definida por Broadus (1987) como o “estudo quantitativo de unidades físicas publicadas, ou de unidades bibliográficas, de seus sub-rogados”. Para a utilização dos métodos bibliométricos, foi integrada uma coleção de 644 artigos, indexados no Scopus, através da definição de 17 termos relacionados com o comércio de emissões de carbono e a sua ligação com o desempenho financeiro das empresas; além disso, foram incorporadas as siglas «EU-ETS» e «China-ETS» para garantir a inclusão das publicações desses sistemas. A cadeia de pesquisa final foi utilizada nos campos título, resumo e palavras-chave, ficando configurada da seguinte forma:

```
TITLE-ABS-KEY("carbon emission* trading" OR "carbon cap and trade" OR "EU ETS" OR "China ETS") AND (TITLE-ABS-KEY("financial performance" OR "financial cost of carbon" OR "climate finance" OR "corporate carbon emission*") OR TITLE-ABS-KEY("cost of capital" OR "cost of debt" OR "stock returns" OR "return on equity" OR "return on assets" OR "capital expenditure" OR "enterprise value" OR "firm value" OR "carbon transition risk" OR "carbon price"))
```

Quanto aos critérios de inclusão e exclusão, não se considerou estabelecer qualquer limite no período de publicação com a intenção de ter uma perspectiva ampla do tema. No caso do tipo de documento, foram retidos aqueles classificados como *article* e *review* no Scopus. Por último, quanto ao idioma, foram consideradas apenas as publicações em inglês e espanhol. Os dados, considerando o exposto acima, foram baixados em 10 de junho de 2025.

2.2 Limpeza dos dados

Para fornecer uma perspectiva mais confiável e precisa da análise bibliométrica, procedeu-se com a limpeza dos dados das variáveis: nomes dos autores, palavras-chave dos autores, países e fontes das publicações. Essas variáveis foram escolhidas devido ao próprio objetivo deste artigo. Na maioria desses casos, foi considerada a recomendação de Romero-García et al. (2026), na qual se indica a necessidade de homogeneizar e limpar, pelo menos, cinco aspectos: homônimas e sinônimas nos nomes dos autores e, no caso das palavras-chave: singular e plural, abreviações, erros ortográficos, sinónimos e variações entre o inglês britânico e o americano.

Com base no exposto, por exemplo, na base original havia 1809 palavras-chave de autor, após a limpeza ficaram 1559 (13,8% a menos). Essa diminuição se deve a que várias palavras-chave se referiam ao mesmo; por exemplo, foram encontrados treze termos diferentes para se referir a «EU ETS». No caso dos autores, na base original, foram identificados 1363 nomes curtos de autores, 1805 nomes longos e 1791 ScopusID e, após o processo de limpeza, todos os campos foram homologados para 1791 nomes únicos (31,4% a mais com base nos nomes curtos). Esse aumento foi devido principalmente à participação de autores chineses na coleção; assim, por exemplo, verificou-se que o nome curto «ZHANG Y» tinha 16 variantes em nomes longos e 17 ScopusID diferentes. Esses processos de limpeza, revisão, homogeneização e outros foram realizados no RStudio com bibliotecas do tipo *stringr*, *tidyr* e *dplyr*, basicamente utilizando técnicas de mineração de texto (Silge & Robinson, 2017).

2.3 Análise bibliométrica

Para a análise bibliométrica, foram utilizadas as duas principais ferramentas indicadas por Donthu et al. (2021): a análise de desempenho e o mapeamento da ciência. Portanto, foram aplicados os indicadores de desempenho para enquadrar e dimensionar a informação científica publicada. Depois, através do mapeamento

da ciência, juntamente com o uso da abordagem da teoria de redes (Aguilar-Gallegos et al., 2017; Borgatti et al., 2013), foram formadas diferentes redes derivadas da análise de co-palavras. Essa última foi realizada com as palavras-chave do autor. Especificamente, a análise de desempenho foi trabalhada no pacote Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017) no RStudio e o mapeamento científico no VOSViewer (van Eck & Waltman, 2010) e os gráficos de redes no Gephi (Bastian et al., 2009).

2.4 Análise sobre o desempenho financeiro e as finanças verdes

Conforme mencionado, esta pesquisa também busca evidências sobre a relação entre o desempenho financeiro das empresas e os SCE, uma vez que se trata de um tema que precisa ser estudado mais a fundo (Naranjo Tuesta et al., 2021). Assim, com base na coleção geral, foi definido um conjunto de cinco termos associados ao conceito de *green finance* (ver seção 3.3. para mais detalhes), os quais foram denominados *financial terms* (*carbon finance, climate finance, corporate financial performance, green finance, sustainable finance*). Verificou-se que estes se tornam cruciais para promover o crescimento econômico sustentável (Fu et al., 2023) e, com isso, compreender a relação entre as estratégias de mitigação de emissões, adaptação às mudanças climáticas e esquemas financeiros ambientais. Com base nesses critérios, identificou-se um subconjunto de 25 documentos da coleção original que utilizavam os *financial terms*. Esses 25 textos foram analisados em profundidade, permitindo identificar as principais evidências relacionadas à relação entre o desempenho financeiro das empresas e sua participação nos SCE. Basicamente, isso representou uma revisão sistemática temática da literatura contida na coleção original.

3. Resultados e Discussão

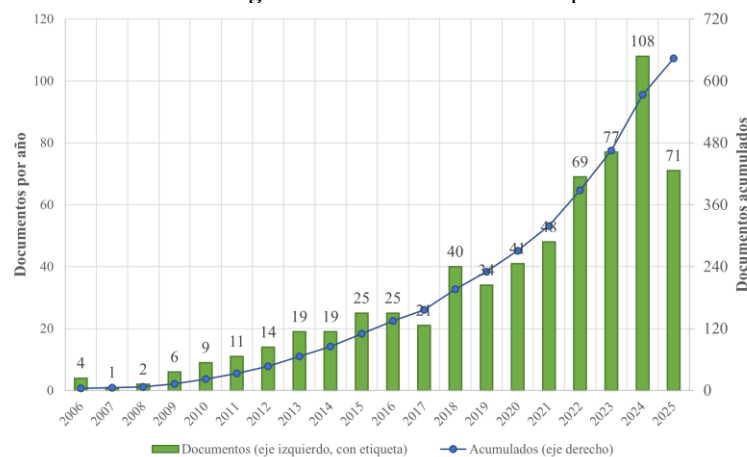
Esta seção está dividida em três blocos: primeiro, analisa-se o desempenho através da produção científica; em seguida, apresenta-se o mapeamento da ciência através da análise de co-palavras; por último, os artigos identificados com uma perspectiva financeira em torno dos SCE são sintetizados.

3.1 Análise de desempenho

3.1.1. Produção científica

Em relação à produção científica, verificou-se que o tema tem crescido (Figura 1), com uma tendência positiva e um crescimento anual de 30,66%, o que permitiu que, em quase 20 anos (2006-2025), a produção passasse de quatro documentos em 2006 para um total acumulado de 644 em 2025.

Figura 1 – Produção científica anual
Figure 1 – Annual scientific output

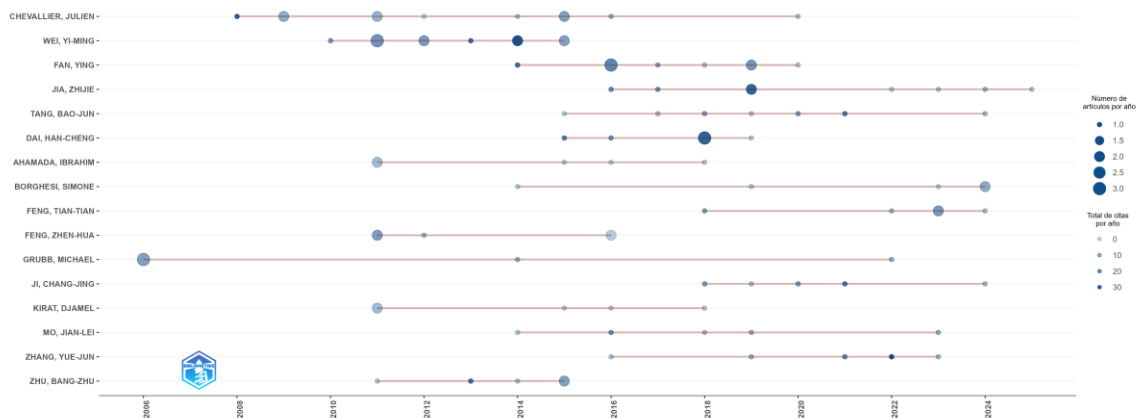


A referida produção revela que, em média, foram publicados 32,2 documentos por ano. A constatação é reforçada pelo fato de o primeiro SCE ter entrado em vigor na UE a partir de 2005, o que explica que a partir de 2006 tenha começado a publicação de artigos de pesquisa. Observa-se, ainda, uma relação positiva interessante entre a produção e a entrada em funcionamento do SCE da China em 2021.

3.1.2. Produção em nível dos autores

Quanto aos autores relacionados com a produção dos 644 documentos, 1791 autores diferentes foram identificados, com uma média de 3,34 autores por artigo, sendo apenas 51 documentos (7,9%) produzidos por um único autor. Na Figura 2, foram filtrados os autores mais produtivos, com o recorte de terem pelo menos 5 documentos publicados.

Figura 2 – Autores mais citados e dinâmica de produção
Figure 2 – More cited authors and output dynamics



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados do Bibliometrix (2025)
Source: Prepared by the authors based on the results of Bibliometrix (2025)

Foram encontrados 16 autores com essa característica, existindo dois autores cuja produção chega a onze documentos, enquanto outros dez participaram em cinco. Outro dado interessante é que vários desses autores abordam a temática há mais de dez anos e alguns publicaram até três documentos por ano. Por último, vários destes participaram em alguns dos documentos mais citados; por exemplo, Chevallier, é coautor do segundo artigo mais citado da coleção (ver seção seguinte).

3.1.3. Produção em nível de países

Verificou-se que a coleção, com base nos autores de correspondência, foi gerada em 47 países; no entanto, os oito primeiros países, com mais de dez documentos, concentram 71,9% das publicações. A China predomina com 328 artigos (50,9% do total); em segundo lugar está a Alemanha, mas apenas com 34 documentos (5,3%); depois, a França com 31 (4,8%); Reino Unido com 21 (3,3%); Espanha com 17 (2,6%); Austrália e Coreia, ambas com 11 (1,7%); e Itália com 10 (1,6%). No entanto, cabe mencionar que houve 62 documentos (9,6% da coleção) em que esse dado não foi indicado. Além disso, os resultados mostraram que 1 em cada 4 documentos foi publicado em colaboração em nível nacional, pois 149 dos 644 documentos (23,1%) foram assinados por autores de vários países; neste caso, a China gerou 18,9% da sua produção com outros países.

3.1.4. Documentos mais citados

No que diz respeito ao número de citações acumuladas até o momento pelos documentos analisados, verificou-se que, em média, as citações por artigo são de 35,2 em toda a coleção. Por sua vez, os dez artigos mais citados são apresentados na Tabela 1 e acumulam 3870 citações, o equivalente a 17,1% do total de citações.

Tabela 1 – Os 10 artigos mais citados da coleção (TC: total de citações, TCY: citações por ano)
Table 1 – Top 10 most cited articles in the collection (TC: total citations, TCY: citations per year)

Posição	Citação	Título	TC	TCY
1	Hua et al. (2011)	Managing carbon footprints in inventory management.	681	45.4
2	Alberola et al. (2008)	Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005-2007.	502	27.9
3	L. Liu et al. (2015)	China's carbon-emissions trading: overview, challenges and future.	437	39.7
4	K. Wang e Wei (2014)	China's regional industrial energy efficiency and carbon emissions abatement costs.	362	30.2
5	Clarkson et al. (2015)	The valuation relevance of greenhouse gas emissions under the European Union carbon emissions trading scheme.	332	30.2
6	Zhu e Wei (2013)	Carbon price forecasting with a novel hybrid arima and least squares support vector machines methodology.	323	24.8
7	Narassimhan et al. (2018)	Carbon pricing in practice: a review of existing emissions trading systems.	313	39.1
8	Zakeri et al. (2015)	Carbon pricing versus emissions trading: a supply chain planning perspective.	313	28.5
9	Cui et al. (2014)	How will the emissions trading scheme save cost for achieving China's 2020 carbon intensity reduction target?	304	25.3
10	Koch et al. (2014)	Causes of the EU ETS price drop: recession, cdm, renewable policies or a bit of everything? new evidence.	303	25.3

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

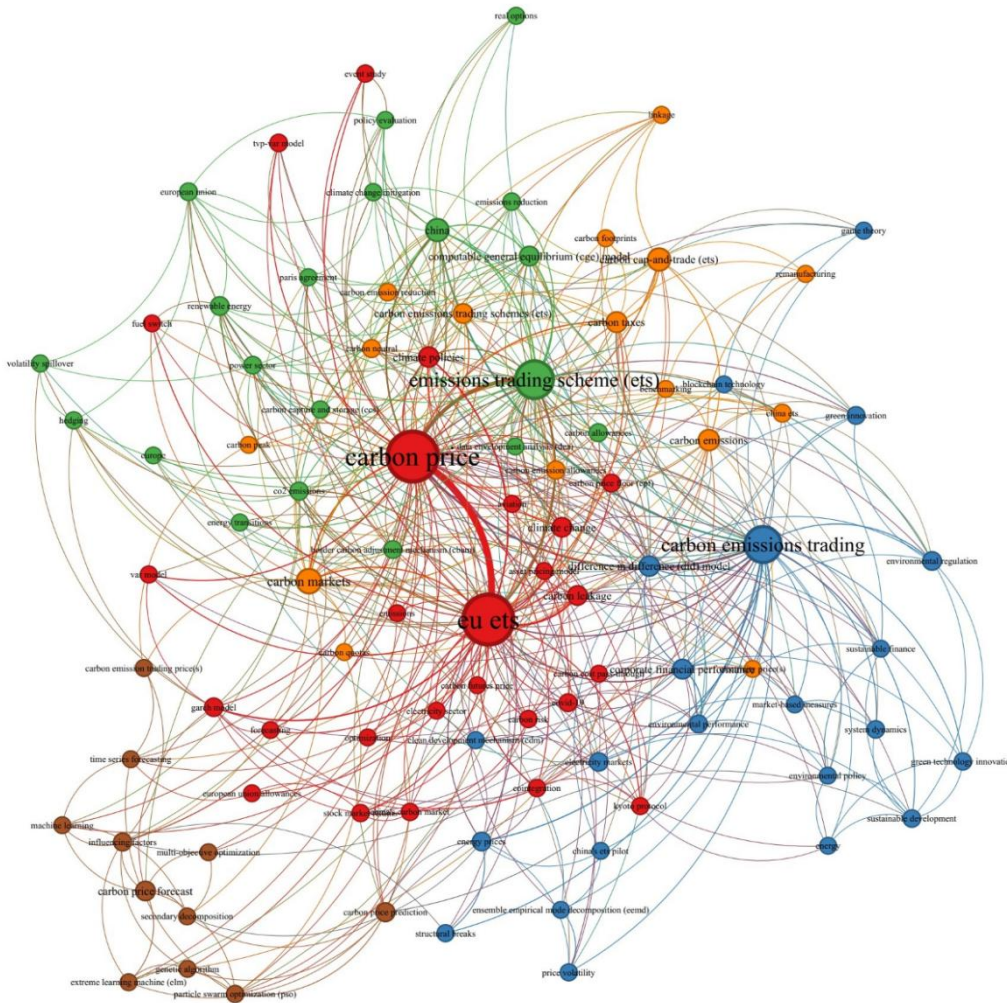
Source: Prepared by the authors (2025)

Em média, esses trabalhos foram citados 387 vezes, o que evidencia a sua importância em relação aos documentos de toda a coleção. De fato, esses artigos acumulam entre 25 e 45 citações por ano. É de se notar que os artigos mais citados são, na sua maioria (exceto um), dos primeiros 10 anos de produção científica sobre o tema (ver Figura 1), quando se começou: a gerar mais evidências sobre como as empresas administram a sua pegada e emissões de carbono (por exemplo, Hua et al., 2011); e a caracterizar a fixação dos preços do carbono (por exemplo, Alberola et al., 2008) e o papel da China no mercado de comércio de carbono (por exemplo, L. Liu et al., 2015; K. Wang & Wei, 2014), entre outros.

3.2 Mapeamento científico da estrutura conceitual

Para aprofundar o desenvolvimento do tema, foi realizada uma análise centrada nas relações de coocorrência das 1559 palavras-chave dos autores; com isso, revelar o que é denominado como eixos temáticos por meio do mapeamento da ciência, sendo utilizada a abordagem da análise de redes. A Figura 3 mostra o mapeamento considerando as palavras-chave que foram utilizadas pelo menos quatro vezes na coleção. Os resultados mostram uma rede formada por 95 termos e 532 vínculos entre eles. Foram encontradas cinco comunidades denominadas eixos temáticos nos quais se desenvolveu a pesquisa sobre os SCE. Também, revelou-se que cada um dos eixos tem um desenvolvimento e uma estrutura diferentes. A Tabela 2 mostra as principais características de cada um deles; além disso, estão incluídas as palavras-chave cuja recorrência de uso dentro da coleção foi superior a dez.

Figura 3 – Rede de coocorrência de palavras-chave de autores
Figure 3 – Co-occurrence network of the authors' keywords



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)
 Source: Prepared by the authors (2025)

Tabela 2 – Características dos eixos estratégicos (comunidades) associados à estrutura conceitual.**Table 2** – Characteristics of the identified strategic axes (network communities)

Conjunto	Tamanho	Vínculos	Palavras-chave (com uma frequência superior a dez)
1	26	66	eu ets (156), carbon price (156), climate polices (19), carbon leakage (16), climate change (16), garch model (11).
2	22	56	carbon emissions trading (93), difference in difference (did) model (19), corporate financial performance (17), energy prices (12), environmental regulation (12), electricity markets (11).
3	20	57	emissions trading scheme (ets) (100), china (31), computable general equilibrium (cge) model (17), renewable energy (12), co2 emissions (10).
4	16	34	carbon markets (40), carbon cap-and-trade (ets) (31), carbon emissions (12), carbon taxes (21), carbon emissions trading schemes (ets) (16), carbon emission allowances (10).
5	11	22	carbon price forecast (16), carbon price prediction (13).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Source: Prepared by the authors (2025)

Com base no exposto, na análise da estrutura reticular, é feita uma descrição das comunidades que representam os eixos temáticos e seu desenvolvimento. Assim, na **comunidade 1** observa-se principalmente a evolução do preço do carbono (*carbon price*) e o comércio de emissões da União Europeia (*eu ets*), que, por sua vez, está ligado às políticas climáticas (*climate polices*); por exemplo, os objetivos de política que têm sido buscados com os ETS e a definição dos preços do carbono (Verbruggen et al., 2019).

Por outro lado, na **comunidade 2** destaca-se o comércio de emissões de carbono (*carbon emissions trading*), o modelo de diferenças em diferenças, e de forma bastante interessante, a análise do desempenho financeiro corporativo se manifesta (*corporate financial performance*), entre outros; por exemplo, foi analisado, por meio de um desenho quase-experimental utilizando o método de diferenças nas diferenças, o efeito da participação das empresas no mercado de emissões de carbono e sua relação com o desempenho financeiro dessas empresas (S. Zhang & Gan, 2024).

Da mesma maneira, na **comunidade 3** foram apresentados os esquemas de comércio de emissões (*emissions trading scheme (ets)*) com uma forte ligação com a China; além de que há menção às energias renováveis (*renewable energy*) e às emissões de CO₂ (*co2 emissions*); por exemplo, em um estudo de caso sobre energia eólica na China, analisam o impacto do ETS sobre os investimentos em energias com baixas emissões de CO₂ (Mo et al., 2016); também foi analisado um ETS regional e se constatou que as empresas que impulsionam a inovação em energias renováveis e combustíveis fósseis apresentam melhores resultados (Jia & Takeuchi, 2024).

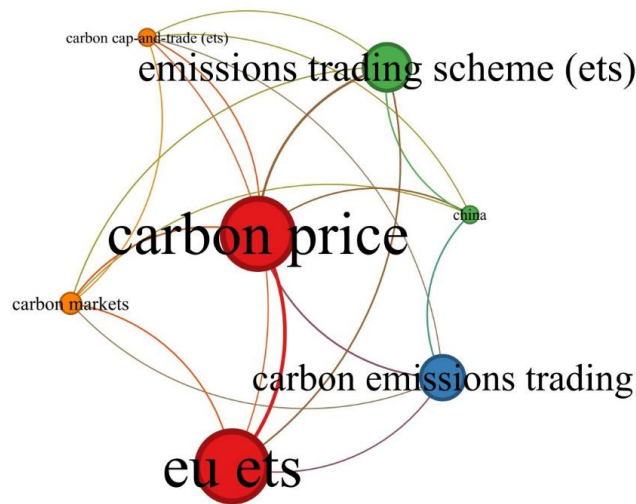
Na **comunidade 4** a maioria dos termos relacionados ao mercado, ao comércio e aos impostos sobre as emissões de carbono foi separada (i.e., *carbon markets*, *carbon cap-and-trade (ets)*, *carbon emissions*, *carbon taxes*), bem como dos direitos de emissão (*carbon emission allowances*); por exemplo, foram buscadas evidências para determinar se o preço do carbono realmente reduz as emissões, chegando a indicar que os impostos sobre o carbono funcionam melhor do que os sistemas de comércio de emissões (ETS) (Green, 2021); também foram desenvolvidos estudos específicos sobre o tema, por exemplo, para identificar se o mercado de carbono tem algum efeito sobre a eficiência energética das empresas da China (N. Zhang & Wang, 2024).

Por último, a **comunidade 5** esteve em perfeita sintonia com as previsões e projeções do preço do carbono (i.e., *carbon price forecast y*, *carbon price prediction*), em que são combinadas diferentes técnicas para sua previsão (Huang et al., 2021); incluindo, mais recentemente, modelos baseados em *machine learning*

(Chai et al., 2025).

Da mesma forma, verificou-se que nas três primeiras comunidades apareceram modelos associados às análises ou abordagens de estudo do tema, entre eles: *garch model* na **comunidade 1**, *difference in difference* na **comunidade 2** e o *computable general equilibrium (cge)* na **comunidade 3**. Por último, é interessante observar que os termos mais usados (mais de 30 vezes de recorrência), embora pertençam a comunidades diferentes, estão conectados entre si, representando, na verdade, as quatro primeiras comunidades (Figura 4).

Figura 4 – Rede das palavras-chave mais utilizadas na coleção (recorrência superior a 30)
Figure 4 – Network of the most used keywords in the collection (recurrence greater than 30)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)
Source: Prepared by the authors (2025)

Os resultados acima demonstram que o desenvolvimento temático em torno dos sistemas de comércio de emissões de carbono tem ocorrido em diferentes vertentes (Figura 3) e que estas apontam para diversos subtemas, áreas de interesse, abordagens analíticas, países e aspectos-chave relacionados com a temática principal. Adicionalmente, existe um conjunto de termos que estruturam os demais e que são fundamentais para o desenvolvimento de suas próprias comunidades (Figura 4).

3.3 Desempenho financeiro e finanças verdes, uma revisão focada

Como mencionado, a partir de 2016, tanto o G20 quanto o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUD) formalizaram iniciativas para desenvolver o quadro conceitual e impulsionar o desenvolvimento sustentável através da vinculação entre as finanças e o meio ambiente. A partir dessas iniciativas, foi desenvolvido o conceito de *finanças verdes (green finance)*, que se refere à ligação entre finanças, meio ambiente e investimento. As finanças verdes surgem como uma estratégia que abrange instrumentos para mitigar as emissões de GEE e se adaptar às mudanças climáticas, bem como diversos esquemas financeiros para lidar com problemas ambientais (Sharma et al., 2022). Reconhece-se que as finanças verdes podem ser cruciais para alcançar a neutralidade de carbono e promover o crescimento econômico sustentável (Fu et al., 2023).

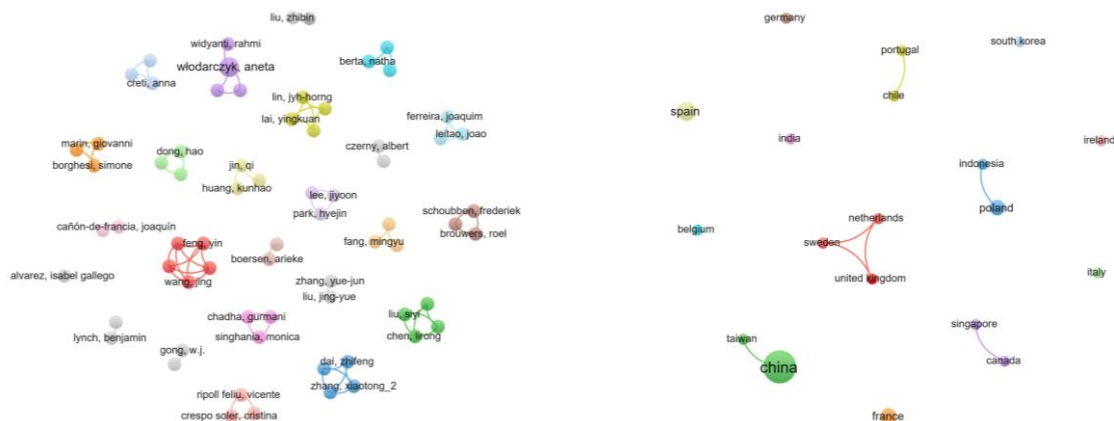
Logo, os termos que fazem parte desta conceituação, além do próprio *green finance*, são: *climate finance*, *carbon finance* e *sustainable finance*. Os três termos estão associados ao financiamento da transição para uma economia de baixo carbono e ao incentivo à redução das emissões por meio de mecanismos de

Na Figura 5, observa-se a rede formada pelos cinco termos. No conjunto, foram alcançados 79 termos (5,1% dos 1549 termos) e 91 ligações de coocorrência. Verificou-se que os cinco termos têm níveis diferentes de uso e coocorrência (Tabela 3 e Figura 5), sendo que o termo mais usado e posicionado com outros foi precisamente o de *corporate financial performance*, que foi usado em 17 documentos e está conectado com outros 53 termos; no entanto, este não está conectado com nenhum outro dos cinco termos. Por sua vez, os termos «*climate finance*», «*green finance*» e «*sustainable finance*» estão ligados entre si, mas foram usados em poucos documentos, embora estes últimos possam se ligar, em média, a outros 12 termos. Entre os outros termos que se posicionaram pelos cinco pesquisados, encontramos: «*carbon price*», «*eu ets*», «*sdgs*», «*artificial intelligence*», «*blockchain technology*» e «*scientometric*».

A partir dos cinco termos financeiros, foi integrado um subconjunto de documentos da coleção que, dentro das suas palavras-chave, utilizam algum deles, resultando em 25 artigos. Com isso, procedeu-se a uma análise da colaboração científica em dois níveis: autores (Figura 6a) e países (Figura 6b).

Figura 6 – Rede de colaboração científica ao nível do autor (a) e do país (b) da subcoleção associada aos cinco termos catalogados como termos financeiros (*financial terms*)

Figure 6 – Scientific collaboration network at the author (a) and country (b) level of the sub-collection associated with the five terms cataloged as financial terms



a. Em nível de autor (author level)

b. Em nível de país (country level)

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados do VOSViewer (2025)

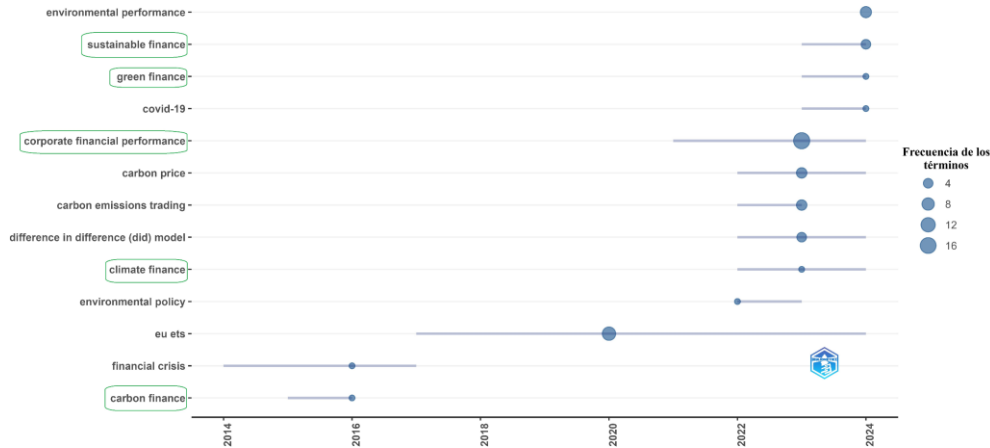
Source: Prepared by the authors based on the results of VOSViewer (2025)

Isso revelou que esse subconjunto da literatura se desenvolveu de forma fragmentada e que não existem grupos de pesquisa que estejam abordando esses termos de forma focada (autores = 69 com 24 subgrupos, países = 19 com 13 subgrupos). Esses resultados demonstram a necessidade de dar maior interesse a referidos termos para futuras pesquisas, o que está em linha com Singhania et al. (2024).

Considerando a subcoleção dos 25 artigos identificados, verificou-se que o primeiro documento a abordar um dos termos financeiros foi publicado em 2012 (Alvarez, 2012), ou seja, seis anos após o início dos estudos sobre os SCE. Neste artigo (Alvarez, 2012), analisa-se a variação das emissões de CO₂ de empresas internacionais (2006-2008) e avalia-se o seu impacto no desempenho financeiro (ROE e ROA) durante um período afetado pela crise financeira (2007-2010). Posteriormente, até ao ano de 2021, a produção foi escassa, acumulando apenas oito artigos dos 25; foi apenas no período de 2022 a 2025 que os outros 17 documentos foram publicados, o que demonstra o interesse que o tema está suscitando, mas que, como indicado, é necessário continuar a abordá-lo. De fato, a Figura 7 demonstra que quatro dos cinco *financial terms* foram

usados recentemente, enquanto que «carbon finance» foi usado há quase uma década e não tem sido abordado recentemente.

Figura 7 – Tendência dos termos mais usados na subcoleção de 25 documentos, incluindo os *financial terms*
Figure 7 – Trends in the most used terms in the sub-collection of 25 documents, including financial terms



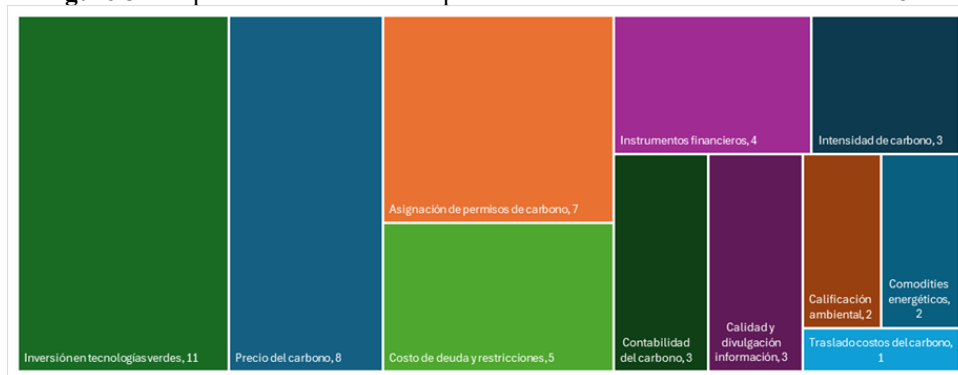
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados do Bibliometrix (2025)
Source: Prepared by the authors based on the results of Bibliometrix (2025)

Entre os 25 documentos mencionados, verificou-se que estes foram abordados em diferentes setores, entre eles: cinco pesquisas sobre a indústria elétrica [por exemplo, Boersen & Scholtens, 2014; X. Zhang et al., 2023], uma no setor de seguros (i.e., Li et al., 2023)] e o restante na indústria em geral, sem especificar setores. O desenvolvimento destas pesquisas foi realizado, na sua maioria, na União Europeia (12) e na China (9), Polônia (2), Coreia (1) e um estudo conjunto de empresas na UE, EUA, Canadá e Austrália (Alvarez, 2012).

As principais variáveis analisadas nestas pesquisas para estudar a ligação entre as emissões de carbono das indústrias participantes nos SCE e o seu desempenho econômico são apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Tópicos relacionados e analisados com o desempenho financeiro dentro da subcoleção de 25 documentos

Figure 8 – Topics linked to financial performance within the sub-collection of 25 documents



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)
Source: Prepared by the authors (2025)

Destaca-se o investimento em tecnologias verdes (por exemplo, Czerny & Letmathe, 2024; R. Wang et al., 2025), que também faz referência ao investimento em tecnologias de baixo carbono e inovação. Em relação ao impacto no custo do financiamento ou do crédito para essas empresas, verificou-se que foram analisados o risco, a disponibilidade e as restrições para acessar o crédito. Por exemplo, Ni et al. (2022) analisaram empresas públicas na China, no período de 2010 a 2016, e identificaram que a introdução do piloto China-ETS aumentou o custo da dívida das empresas, acentuando esse efeito naquelas com maior dependência de financiamento externo. Além disso, o aumento das restrições de financiamento influencia negativamente o desempenho das empresas (X. Zhang et al., 2023). Recentemente, Park et al. (2024) identificaram o efeito no desempenho financeiro das empresas públicas participantes, observando uma ligeira melhoria no seu desempenho, mas uma queda significativa no seu valor, afirmando que o ETS da Coreia não incentiva de maneira eficaz a redução das emissões das empresas, afetando negativamente o seu valor a longo prazo.

Dentro da subcoleção, entre as evidências mais contundentes sobre o tema, verificou-se que o custo das emissões de carbono tem um impacto negativo no desempenho financeiro das empresas, mas apenas se estas não forem capazes de transferir esses custos para os seus consumidores (Brouwers et al., 2018). Além disso, a proatividade na estratégia ambiental favorece uma relação positiva entre o investimento ambiental e o desempenho financeiro (Cañón-De-Francia & Garcés-Ayerbe, 2019). Os resultados mostram que o impacto varia de acordo com o setor, com efeitos negativos na indústria de metais não ferrosos e positivos na indústria energética.

Também, foram geradas evidências de como a contabilidade da gestão de carbono (*Carbon management accounting*: CMA) impacta o desempenho financeiro das empresas europeias (Naranjo Tuesta et al., 2021). Como já foi destacado, a produção científica da China tem sido abundante e, com isso, as próprias evidências. Assim, em 2019, foi analisado como a política de comércio de emissões de carbono afetou o desempenho financeiro de empresas em diferentes indústrias chinesas entre 2010 e 2017 (Y.-J. Zhang & Liu, 2019). Foi estudado, ainda, como o esquema de comércio de emissões (ETS) impacta os investimentos ambientais das empresas chinesas. Os resultados mostram que o ETS aumenta esses investimentos, especialmente em empresas com maior liquidez nos mercados de carbono, com maior pressão regulatória e menor capacidade de transferir os custos para os clientes (Chen et al., 2022). Igualmente, em 2023, foi estudado como a qualidade da divulgação de informações sobre carbono afeta o desempenho financeiro em empresas públicas do setor elétrico na China (Z. Liu & Zhu, 2023). Por sua vez, X. Zhang et al. (2023) determinaram que o lançamento do ETS na China teve efeitos negativos no desempenho financeiro das empresas de geração de energia.

Recentemente, foi pesquisada na União Europeia a influência do EU ETS no desempenho ambiental e financeiro das empresas, concluindo que uma menor intensidade de emissões melhora o desempenho financeiro (Flori et al., 2024). Em adição, Czerny & Letmathe (2024) afirmam que os investimentos em inovação e tecnologia levam tempo para que seus efeitos tenham impacto e melhorem, por exemplo, a produtividade. A este respeito, tem sido enfatizado os benefícios positivos no âmbito de desempenho das empresas, mas estes são de longo prazo e existem diferenças entre as mesmas (R. Wang et al., 2025). Inclusive, já há evidências de que os preços do carbono podem prever a priorização dos objetivos financeiros e também ambientais das empresas participantes (Eslahi et al., 2025); além disso, se vem incentivando a participação das empresas para reduzir as suas emissões (Lynch e O'Hagan-Luff, 2024).

4. Conclusões

A trajetória do conhecimento científico em torno dos Sistemas de Comércio de Emissões (SCE) foi analisada por meio de métodos bibliométricos. Também, foram identificados, de forma particular, os conceitos relativos ao desempenho financeiro das unidades econômicas que adotaram esses sistemas.

Foram utilizadas ferramentas próprias da análise de desempenho e do mapeamento científico. Em

relação à primeira, os resultados permitem concluir que o interesse pelo tema tem aumentado, o que se refletiu em três vertentes: maior produção, maior número de autores envolvidos e mais eixos temáticos desenvolvidos. Esse aumento está, além disso, associado a eventos internacionais, entre os quais a entrada em vigor, em 2005, do primeiro SCE na UE. Também em 2021, entra em funcionamento o SCE da China, que representa atualmente o mercado com maior volume de CO₂. Da mesma forma, ficou demonstrada a relevância da China em relação ao tema. Quanto ao mapeamento da ciência, a análise de co-palavras permitiu revelar uma estrutura com diferentes eixos temáticos, concluindo assim que os temas de maior interesse têm sido os SCE da União Europeia, o preço e os mercados de carbono e, juntamente com isso, as previsões desse preço, além do comércio de emissões de carbono, o papel da China em diferentes eixos, bem como o uso de diversos modelos ou métodos aplicados para abordar os tópicos anteriores.

Devido à relevância que atualmente se dá à relação entre indicadores financeiros e SCE, nesta pesquisa foram explorados com maior detalhe 25 artigos que continham termos associados ao tópico. Com os resultados encontrados nessa subcoleção, é possível concluir que a relação entre estas variáveis têm sido pouco abordada, mas que nos últimos anos tem atraído maior interesse. Nesse sentido, já existem evidências de que os SCE podem gerar impactos positivos, mas desde que sejam cumpridas certas características ou premissas, como as já mencionadas; de tal forma que também existem evidências de efeitos negativos. Assim, podemos afirmar que ainda não existem conclusões que possam ser generalizadas quanto ao impacto dos SCE no desempenho financeiro das empresas. Diante do exposto, existem implicações práticas que apontam para a necessidade de pesquisar mais profundamente o tema dos indicadores e do desempenho financeiro e, com isso, detectar as lacunas de conhecimento capazes de atrair a atenção de outros pesquisadores, dentre elas, os efeitos diferenciados de acordo com o setor, tamanho, região e antiguidade das empresas, o papel do governo e das políticas públicas; bem como, simplesmente, gerar mais literatura relacionada aos tópicos mencionados.

Além disso, com base nessa subcoleção e na importância dos indicadores financeiros, é possível observar que as unidades econômicas são as responsáveis por implementar as mudanças tecnológicas e realizar os investimentos de capital para diminuir os seus índices de emissões por unidade produzida, por isso é fundamental validar que os SCE estão gerando incentivos econômicos suficientes para alcançar a neutralidade climática em um futuro próximo.

5. Referências

Aggarwal, R., & Dow, S. (2012). Corporate governance and business strategies for climate change and environmental mitigation. **The European Journal of Finance**, 18(3–4), 311–331. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2011.579745>

Aguilar-Gallegos, N., Martínez-González, E. G., & Aguilar-Ávila, J. (2017). **Análisis de redes sociales: Conceptos clave y cálculo de indicadores**. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Serie: Metodologías y herramientas para la investigación, Volumen 5.

Alberola, E., Chevallier, J., & Cheze, B. (2008). Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005–2007. **Energy Policy**, 36, 787–797. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.10.029>

Alvarez, I. G. (2012). Impact of CO₂ emission variation on firm performance. **Business Strategy and the Environment**, 21(7), 435–454. <https://doi.org/10.1002/bse.1729>

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). **Gephi: An open source software for exploring and manipulating networks**. ICWSM.

Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1971). **The use of standards and prices for protection of the environment**. In P. Bohm & A. V. Kneese (Eds.), *The Economics of Environment* (pp. 53–65). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1007/978-1-349-01379-1_4

Boersen, A., & Scholtens, B. (2014). The relationship between European electricity markets and emission allowance futures prices in phase II of the EU (European Union) emission trading scheme. **Energy**, 74, 585–594. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.024>

Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2023). Global pricing of carbon-transition risk. **Journal of Finance**, 78(6), 3677–3754. <https://doi.org/10.1111/jofi.13272>

Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Johnson, J. C. (2013). **Analyzing social networks**. SAGE Publications Limited.

Broadus, R. N. (1987). Some notes on research in bibliometrics. **Journal of Education for Library and Information Science**, 28(2), 152–153. <https://doi.org/10.2307/40323625>

Brouwers, R., Schoubben, F., & Van Hulle, C. (2018). The influence of carbon cost pass through on the link between carbon emission and corporate financial performance in the context of the European Union Emission Trading Scheme. **Business Strategy and the Environment**, 27(8), 1422–1436. <https://doi.org/10.1002/bse.2193>

Burtraw, D., Evans, D. A., Krupnick, A., Palmer, K., & Toth, R. (2005). Economics of pollution trading for SO₂ and NO_x. **Annual Review of Environment and Resources**, 30, 253–289. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.081804.121028>

Cañón-De-Francia, J., & Garcés-Ayerbe, C. (2019). Factors and contingencies for the “It pays to be green hypothesis”. The European Union’s Emissions Trading System (EU ETS) and financial crisis as contexts. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 16(16), 2988. <https://doi.org/10.3390/ijerph16162988>

Chai, S., Zhang, Z., & Zhang, Z. (2025). Carbon price prediction for China’s ETS pilots using variational mode decomposition and optimized extreme learning machine. **Annals of Operations Research**, 345(2), 809–830. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04392-7>

Chen, L., Liu, S., Liu, X., & Wang, J. (2022). The carbon emissions trading scheme and corporate environmental investments: A quasi-natural experiment from China. **Emerging Markets Finance and Trade**, 58(9), 2670–2681. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2021.2009338>

Coase, R. H. (2013). The problem of social cost. **The Journal of Law and Economics**, 56(4), 837–877. <https://doi.org/10.1086/674872>

Crocker, T. D. (1972). On air pollution control instruments. **Loyola of Los Angeles Law Review**, 5(2), 280–

297. <https://digitalcommons.lmu.edu/llr/vol5/iss2/2/>

Czerny, A., & Letmathe, P. (2024). The productivity paradox in carbon-intensive companies: How eco-innovation affects corporate environmental and financial performance. **Business Strategy and the Environment**, 33(6), 5900–5919. <https://doi.org/10.1002/bse.3776>

Deng, Q., Huang, G., Li, D., & Yang, S. (2024). The impact of climate risk on corporate innovation: An international comparison. **Journal of Multinational Financial Management**, 75, 100870. <https://doi.org/10.1016/j.mulfin.2024.100870>

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Marc, W. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Eslahi, E., Creti, A., & Sanin, M. E. (2025). Signal received? Carbon price and financial–environmental performance prioritization in EU ETS firms. **International Review of Financial Analysis**, 105, 104348. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.104348>

European Union. (2021). **Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021. Establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')**. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj>

Ferrall, B. L. (1991). Will a market in sulfur dioxide work?: An evaluation of the acid deposition title of the Clean Air Act amendments of 1990. **Virginia Environmental Law Journal**, 11(2), 309–351. <http://www.jstor.org/stable/24782095>

Flori, A., Borghesi, S., & Marin, G. (2024). The environmental–financial performance nexus of EU ETS firms: A quantile regression approach. **Energy Economics**, 131, 107328. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107328>

Fu, C., Lu, L., & Pirabi, M. (2023). Advancing green finance: a review of sustainable development. **Digital Economy and Sustainable Development**, 1(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s44265-023-00020-3>

Green, J. F. (2021). Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses. **Environmental Research Letters**, 16(4), 043004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abdae9>

He, F., Hao, J., & Lucey, B. (2024). Effects of climate risk on corporate green innovation cycles. **Technological Forecasting and Social Change**, 205, 123447. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123447>

Hua, G., Cheng, T. C. E., & Wang, S. (2011). Managing carbon footprints in inventory management. **International Journal of Production Economics**, 132(2), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.03.024>

Huang, Y., Dai, X., Wang, Q., & Zhou, D. (2021). A hybrid model for carbon price forecasting using GARCH and long short-term memory network. **Applied Energy**, 285, 116485. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116485>

ICAP. (2021). **Comercio de emisiones en la práctica: manual sobre el diseño y la implementación de sistemas de comercio de emisiones (Segunda ed)**. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. https://icapcarbonaction.com/system/files/document/ets-handbook-2020_finalweb-spanish_0.pdf

ICAP. (2024). **Emissions trading worldwide: Status report 2024**. International Carbon Action Partnership (ICAP). <https://icapcarbonaction.com/en/publications/emissions-trading-worldwide-2024-icap-status-report>

Jia, X., & Takeuchi, K. (2024). Induced innovation in power generation technologies: Evidence from the Tokyo–Saitama Emissions Trading System. **Energy Economics**, 129, 107227. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107227>

Kruger, J., & Pizer, W. A. (2004). **The EU emissions trading directive: Opportunities and potential pitfalls**. Resources for the Future. <https://www.rff.org/publications/working-papers/the-eu-emissions-trading-directive-opportunities-and-potential-pitfalls/>

Lee, K.-H., Min, B., & Yook, K.-H. (2015). The impacts of carbon (CO₂) emissions and environmental research and development (R&D) investment on firm performance. **International Journal of Production Economics**, 167, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.018>

Li, X., Lu, T., Lin, J.-H., & Lai, Y. (2023). Assessing insurer green finance in response to manufacturing carbon emissions trading in a dragon-king environment: A capped barrier cap option approach. **Energy Economics**, 128, 107181. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107181>

Liu, L., Chen, C., Zhao, Y., & Zhao, E. (2015). China's carbon-emissions trading: Overview, challenges and future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 49, 254–266. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.076>

Liu, Z., & Zhu, Y. (2023). The impact of carbon information disclosure quality on the financial performance based on UNC combination weight and FA: evidence from public companies in China's electric power industry. **Environmental Science and Pollution Research**, 30(30), 75564–75580. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27772-x>

López-Manuel, L., Vázquez, X. H., & Sartal, A. (2023). Firm, industry, and country effects on CO₂ emissions levels. **Business Strategy and the Environment**, 32(6), 3965–3976. <https://doi.org/10.1002/bse.3348>

Lynch, B., & O'Hagan-Luff, M. (2024). Finally, it seems to be working—the evolving valuation effect of the European Union's emissions trading system. **European Journal of Finance**, 30(3), 229–248. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2023.2204195>

Mo, J.-L., Agnolucci, P., Jiang, M.-R., & Fan, Y. (2016). The impact of Chinese carbon emission trading scheme (ETS) on low carbon energy (LCE) investment. **Energy Policy**, 89, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.12.002>

Montgomery, W. D. (1972). Markets in licenses and efficient pollution control programs. **Journal of Economic Theory**, 5(3), 395–418. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(72\)90049-X](https://doi.org/10.1016/0022-0531(72)90049-X)

- Naranjo Tuesta, Y., Crespo Soler, C., & Ripoll Feliu, V. (2021). Carbon management accounting and financial performance: Evidence from the European Union emission trading system. **Business Strategy and the Environment**, 30(2), 1270–1282. <https://doi.org/10.1002/bse.2683>
- Ni, X., Jin, Q., & Huang, K. (2022). Environmental regulation and the cost of debt: Evidence from the carbon emission trading system pilot in China. **Finance Research Letters**, 49, 103134. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103134>
- Park, H., Khue, P. M., & Lee, J. (2024). The effects of carbon emissions trading on profitability and value: Evidence from Korean listed firms. **Journal of International Financial Management and Accounting**, 35(3), 760–799. <https://doi.org/10.1111/jifm.12211>
- Pearce, D. (2003). **The social cost of carbon and its policy implications**. Oxford Review of Economic Policy, 19(3), 362–384. <http://ideas.repec.org/a/oup/oxford/v19y2003i3p362-384.html>
- Pigou, A. C. (1920). Some problems of foreign exchange. **The Economic Journal**, 30(120), 460–472. <https://doi.org/10.2307/2222870>
- Pinkse, J., & Kolk, A. (2010). Challenges and trade-offs in corporate innovation for climate change. **Business Strategy and the Environment**, 19(4), 261–272. <https://doi.org/10.1002/bse.677>
- Porter, M. E. (1991). America's green strategy. **Scientific American**, 264(4), 168–168. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0491-168>
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2006). Strategy and society: The link between competitive advantage and corporate social responsibility. **Harvard Business Review**, 84(12), 1–13. <https://hbr.org/2006/12/strategy-and-society-the-link-between-competitive-advantage-and-corporate-social-responsibility>
- Romero-García, L. E., Aguilar-Gallegos, N., & Gallardo, Y. (2026). A bibliometric analysis of ethics in the scholarly and scientific research and publication: a gender perspective. **Journal of Academic Ethics**, 24(1), 26. <https://doi.org/10.1007/s10805-025-09698-w>
- Semieniuk, G., Campiglio, E., Mercure, J.-F., Volz, U., & Edwards, N. R. (2021). Low-carbon transition risks for finance. Wiley Interdisciplinary Reviews: **Climate Change**, 12(1), e678. <https://doi.org/10.1002/wcc.678>
- Silge, J., & Robinson, D. (2017). **Text mining with R. A tidy approach**. O'Reilly Media, Inc.
- Sharma, G. D., Verma, M., Shahbaz, M., Gupta, M., & Chopra, R. (2022). Transitioning green finance from theory to practice for renewable energy development. **Renewable Energy**, 195, 554–565. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.041>
- Singhania, M., Chadha, G., & Prasad, R. (2024). Sustainable finance research: Review and agenda. **International Journal of Finance and Economics**, 29(4), 4010–4045. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2854>
- Stavins, R. N. (1998). What can we learn from the grand policy experiment? Lessons from SO₂ allowance trading. **Journal of Economic Perspectives**, 12(3), 69–88. <https://doi.org/10.1257/jep.12.3.69>
- Tarmuji, I., Maelah, R., & Tarmuji, N. H. (2016). The impact of environmental, social and governance

practices (ESG) on economic performance: Evidence from ESG score. **International Journal of Trade, Economics and Finance**, 7(3), 67–74. <https://doi.org/10.18178/ijtef.2016.7.3.501>

Tietenberg, T. (2010). Cap-and-trade: The evolution of an economic idea. **Agricultural and Resource Economics Review**, 39(3), 359–367. <https://doi.org/10.1017/S106828050000736X>

Tietenberg, T. H. (1973). Specific taxes and the control of pollution: A general equilibrium analysis. **The Quarterly Journal of Economics**, 87(4), 503–522. <https://doi.org/10.2307/1882022>

Tsang, A., Frost, T., & Cao, H. (2023). Environmental, social, and governance (ESG) disclosure: A literature review. **The British Accounting Review**, 55(1), 101149. <https://doi.org/10.1016/j.bar.2022.101149>

UNEP. (2016). **Guide to banking and sustainability (Edition 2)**. United Nations Environment Programme (UNEP) Finance Initiative. <https://www.unepfi.org/industries/banking/guide-to-banking-and-sustainability-2/>

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

Verbruggen, A., Laes, E., & Woerdman, E. (2019). Anatomy of Emissions Trading Systems: What is the EU ETS? **Environmental Science and Policy**, 98, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.05.001>

Wang, K., & Wei, Y.-M. (2014). China's regional industrial energy efficiency and carbon emissions abatement costs. **Applied Energy**, 130, 617–631. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.010>

Wang, R., Zhang, H., Feng, Y., Wang, J., & Yang, T. (2025). A long-term and heterogeneous study on the impact of carbon emission trading policy on financial performance. **Carbon Management**, 16(1). <https://doi.org/10.1080/17583004.2025.2486627>

Zhang, N., & Wang, S. (2024). Can China's regional carbon market pilots improve power plants' energy efficiency? **Energy Economics**, 129, 107262. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107262>

Zhang, S., & Gan, H. (2024). Is carbon emission trading a green blessing or a curse for firm performance in China? A quasi-experiment design and exploring the spatial spillover effect. **Environmental Science and Pollution Research**, 31(46), 56736–56752. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28511-y>

Zhang, X., Zhang, Q., Dai, Z., & Zhang, X. (2023). The impact of carbon markets on the financial performance of power producers: Evidence based on China. **Energy Economics**, 127, 107119. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107119>

Zhang, Y.-J., & Liu, J.-Y. (2019). Does carbon emissions trading affect the financial performance of high energy-consuming firms in China? **Natural Hazards**, 95, 91–111. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3434-5>