

Debates sobre Innovación

DsL

LALICS 2023

Comité Editorial

Gabriela Dutrénit

Selva Olmedo

José Miguel Natera

Arturo Torres

José Luis Sampedro

Diana Suárez

Jeffrey Orozco

Editores

Gabriela Dutrénit

Selva Olmedo

José Miguel Natera

Martín Puchet

**Este número especial
forma parte de las
memorias presentadas en
las actividades de la
Red LALICS 2023.
Asunción, Paraguay.*

Debates sobre
Innovación



DsI

Vol.8 Número 1

ISSN: 2594-0937



DEBATES SOBRE INNOVACIÓN. Volumen 8, Número 1, junio-agosto 2024. Es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Producción Económica. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Del. Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México. Teléfonos 54837200, ext.7279. Página electrónica de la revista <http://economiaeinovacionuamx.org/secciones/debates-sobre-innovacion> y dirección electrónica: megct@correo.xoc.uam.mx Editor Responsable: Dra. Gabriela Dutrénit Bielous, Coordinadora de la Maestría en Economía, Gestión y Políticas de Innovación.

Gabriela Dutrénit Bielous, Departamento de Producción Económica, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Del. Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México. Fecha de última modificación: diciembre de 2019. Tamaño del archivo: 36.5 MB

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

TECNOLOGIAS DE ENERGIA LIMPA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Ádria de Arruda Moura Freire.

Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Economia. Niterói/RJ, Brasil. E-mail: adria_amf@id.uff.br

Caetano Montenegro Mascarenhas.

Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Economia. Niterói/RJ, Brasil. E-mail: cmmascarenhas@id.uff.br

Faíque Ribeiro Lima.

Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Economia. Porto Alegre/RS, Brasil. E-mail: faique.ribeiro@gmail.com

Resumen

Los últimos años traen consigo cuestiones que impactan en el futuro del planeta, como el cambio climático. En este sentido, la búsqueda de la transición energética se ha convertido en un objetivo crucial en la lucha contra el calentamiento global, que requiere esfuerzos en varios frentes. Sin embargo, lograr este objetivo es un desafío complejo y multifacético, que implica la colaboración de diferentes actores, el desarrollo de nuevas tecnologías y la adopción de modelos de negocio innovadores. En este contexto, la implementación de nuevas tecnologías es fundamental para el éxito de la transición. El presente trabajo tiene como objetivo general evaluar características de la producción científica, a nivel mundial, relacionada con tecnologías que hacen uso de energías limpias. Las principales conclusiones contenidas aquí son que las tecnologías de energía limpia son un tema cada vez más relevante e investigado en el campo de la energía y el medio ambiente, con énfasis en China y Estados Unidos a la cabeza de este proceso. Además, la financiación estatal es fundamental en las primeras etapas de la innovación.

Palabras clave: *Innovación; Energía limpia; Transición energética*

Abstract

Recent years bring with them issues that impact the future of the planet, such as climate change. In this sense, the quest for energy transition has become a crucial objective in the fight against global warming, requiring efforts on several fronts. However, achieving this goal is a complex and multifaceted challenge, which involves the collaboration of different actors, the development of new technologies and the adoption of innovative business models. In this context, the implementation of new technologies is essential for the success of the transition. The present work has the general objective of evaluating characteristics of scientific production, at a global level, related to technologies that make use of clean energy. The main conclusions contained here are that clean energy technologies are an increasingly relevant and researched topic in the field of energy and the environment, with emphasis on China and the USA in the lead of this process. In addition, state funding is essential in the early stages of innovation.

Keywords: *Innovation; Clean energy; Energy transition*

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e ambientais resultantes das ações antrópicas constituem uma ameaça real à continuidade do desenvolvimento, não apenas econômico, mas também humano, sendo um dos principais desafios a serem enfrentados na atualidade, em âmbito global. O Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta para a gravidade da situação, onde o aquecimento de 1,5° C a 2° C pode ser ultrapassado nas próximas décadas se não houver uma redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (IPCC, 2021).

A situação se torna ainda mais complexa na medida em que se tem a noção de que o crescimento econômico tem por consequência o aumento nas emissões de GEE. Assim, para que as reduções necessárias para enfrentar os desafios do aquecimento global ocorram, devem ser almejadas mudanças em toda a estrutura socioeconômica, incluindo instituições, comportamento individual, mudanças técnicas e estruturais e aquisição de conhecimento (ROMÁN; LINNÉR; MICKWITZ, 2012; MICKWITZ et al., 2021).

Para o ano de 2021, a International Energy Agency (IEA) (2022, pg. 11) indicou que: “CO2 emissions from energy combustion and industrial process accounted for close to 89% of energy sector greenhouse gas emissions in 2021”. Para o mesmo ano, a British Petroleum (2022) indicava que 82% do consumo de energia primária foi de origem fóssil.

Esse cenário coloca a transição energética como um dos objetivos imprescindíveis a serem alcançados para controlar o aquecimento global. Porém o desafio é grande e complexo, envolvendo a coordenação de vários atores, desenvolvimento de novas tecnologias e novos modelos de negócios (BLAZQUEZ; FUENTES; MANZANO, 2020). Portanto, pode-se afirmar que novas tecnologias serão fundamentais para o sucesso da transição.

Levando em conta que as inovações tecnológicas surgem mediante um processo de geração de ideias para novos produtos ou processos de produção, orientando seu desenvolvimento desde o laboratório até sua difusão no mercado e que para cada fase de desenvolvimento existem riscos – financeiros, técnicos e/ou mercadológicos, e eles são influenciados por fatores sociais e políticos -, uma transição energética visando emissões líquidas zero requer uma mudança radical tanto na direção quanto na escala da inovação energética (IEA, 2020).

OBJETIVOS

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar características da produção científica, em nível global, relacionadas a tecnologias que fazem uso de energia limpa. Para isso buscou-se: i) identificar as principais trajetórias de inovação/desenvolvimento tecnológico que vêm sendo incorporadas no contexto de energias limpas e transição; ii) conceituar e caracterizar os aspectos principais das tecnologias de energias limpas e transição; iii) realizar um levantamento bibliométrico;

iv) Avaliar a concentração e dispersão geográfica dessas tecnologias, de modo a analisar o nível da “produção” de conhecimento científico novo.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente artigo justifica-se dada a importância do estímulo à inserção de energias limpas na atual conjuntura econômica mundial, de modo que políticas de apoio a energias renováveis devem ser incentivadas, tanto em nível de países como em nível de empresas. O estímulo à pesquisa e desenvolvimento nessa área pode aumentar a eficiência energética e reduzir custos, melhorando a competitividade e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Portanto, se torna essencial a realização de esforços que contribuam com o avanço na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de energia limpa, a fim de superar os desafios técnicos, econômicos e regulatórios existentes e acelerar a adoção dessas tecnologias. A análise bibliométrica da produção científica em tecnologias de energia limpa pode auxiliar na identificação de tendências e ajudar a identificar o posicionamento dos países, contribuindo para a reflexão sobre o direcionamento e esforço de pesquisa em áreas prioritárias.

O presente artigo se estrutura da seguinte forma: além dessa introdução, a próxima seção contém o referencial teórico utilizado para a elaboração desta pesquisa; a seção seguinte contém a análise bibliométrica propriamente dita; em seguida, há as considerações finais; e, por fim, têm-se as referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TECNOLOGIAS DE ENERGIA LIMPA

A inovação em energia limpa refere-se ao desenvolvimento de novas tecnologias, que se utilizam de fontes de energia limpas, como energia solar, eólica, hidrelétrica e geotérmica. O principal objetivo da inovação em energia limpa é promover a transição para um sistema de energia sustentável de baixo carbono, que reduza as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo, assim, para a contenção das mudanças climáticas (IEA, 2020; ZEPF, 2020).

Alguns exemplos de inovação em energia limpa incluem: tecnologias de armazenamento de energia - ajudam a armazenar energia de fontes renováveis, como energia solar e eólica, para uso quando necessário. Isso pode ajudar a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e aumentar a confiabilidade dos sistemas de energia renovável; redes inteligentes (smart grids) – faz uso de sensores avançados, redes de comunicação e sistemas de controle para gerenciar a distribuição de eletricidade de forma mais eficiente e eficaz. Isso pode ajudar a reduzir o desperdício e aumentar o uso de fontes de energia renováveis; captura e armazenamento de carbono - captura as emissões de dióxido de carbono das usinas e as armazena no subsolo, evitando que entrem na atmosfera e contribuam para as mudanças climáticas; solar fotovoltaica – auxiliam na redução do custo da energia solar e aumentam sua eficiência. Isso inclui novos materiais, processos de fabricação e designs (IEA, 2022).

Nos dias atuais a inovação em energia limpa vem se tornando fator fundamental para a transição para um sistema de energia sustentável de baixo carbono. Nesse sentido, o investimento de governos, empresas e instituições de pesquisa se faz necessário para ajudar a acelerar o ritmo da mudança e atingir as metas climáticas globais.

2.2 ESTADO E INOVAÇÕES

As escolhas sobre tecnologia são feitas em um ambiente em constante dinamismo à medida que empresas, consumidores, políticas, tecnologias concorrentes, infraestrutura e normas sociais mudam. Assim, as tecnologias podem se tornar mais atraentes para os usuários por vários motivos. Isso inclui mudanças em tecnologias relacionadas, comportamento do consumidor, política e, às vezes, uma mudança nas informações disponíveis para os usuários (IEA, 2020).

A respeito das inovações relacionadas com tecnologias de energia limpa, em seus estágios iniciais, seu desenvolvimento dificilmente aconteceria de forma natural através de forças de mercado. Em parte por causa da infraestrutura de energia incorporada, mas também por causa de uma falha dos mercados em valorizar a sustentabilidade ou punir o desperdício e a poluição. Uma das possíveis razões para isso é que há um problema de externalidade, onde os indivíduos não consideram os benefícios sociais do uso de tecnologias limpas, o que faz com que o investimento das empresas seja modesto nesse ramo. Assim, políticas de longo prazo se fazem essenciais para apaziguar esses fatores (PORTER; LINDE, 1995; POPP, 2010; LAMPERTI et al., 2019; MAZZUCATO, 2014, 2015a, 2021).

Sob a ótica da inovação como grande impulsionadora do desenvolvimento, pode-se dar ênfase ao papel do Estado, que surge como um parceiro fundamental do setor privado, geralmente mais disposto a assumir riscos que as empresas privadas não assumem, demonstrando mais paciência e menos expectativas em relação aos retornos futuros, com uma visão que vai além de lucros, mas também compreende a busca por externalidades positivas que beneficiem a sociedade como um todo (YU, 2001; MAZZUCATO, 2014, 2021; MAZZUCATO; MCPHERSON, 2019). Mazzucato (2021)

aponta que o investimento público no estágio inicial e de alto risco de áreas como nanotecnologia, biotecnologia e tecnologia verde se constituiu fator fundamental para a proliferação de pequenas empresas iniciantes, as quais puderam, posteriormente, ser ampliadas.

De acordo com Edquist (1997), em razão da complexidade do processo de inovação, as firmas raramente inovam de forma isolada, havendo, geralmente, interação com outras organizações na busca por ganho, desenvolvimento e troca de conhecimentos, informações, entre outros recursos. O conhecimento seria, nessa perspectiva, um ativo-chave, sendo o aprendizado o processo mais relevante, pois não seria necessário inovar se já houvesse conhecimento prévio de como gerar novos produtos e processos (LUNDVALL, 2010).

Desse modo, é o processo de aprendizado que gera e integra conhecimento especializado, tornando possível a inovação, que por sua vez, deve ser entendida como resultado desse processo de aprendizado interativo entre firmas e seu ambiente (LUNDVALL, 2010). O aprendizado pode levar a reduções de custos, maior proficiência na operação da tecnologia, bem como transformações institucionais necessárias para apoiar a introdução e difusão de novas tecnologias (MALERBA, 1992).

Existem, portanto, diferenças significativas entre países em relação ao contexto em que as inovações são desenvolvidas, no modo como os atores interagem e no uso de conhecimento com objetivos econômicos. Sendo propriamente essas diferenças que caracterizam a diversidade de seus Sistemas Nacionais de Inovação¹ (SNI). Nesse caso, cada SNI deve ser entendido de acordo com suas idiossincrasias e sua inserção no contexto internacional, a fim de avaliar a estratégia mais adequada para seu desenvolvimento (SZAPIRO; MATOS; CASSIOLATO, 2021).

Gadelha (2001, p. 767) destaca o papel do Estado para o desenvolvimento do processo de inovação, definindo política de inovação como: “[...] o foco da intervenção pública na dinâmica de inovações da indústria, visando promover transformações qualitativas na estrutura produtiva e o desenvolvimento das economias nacionais”. Nesse sentido, o apoio estatal para as tecnologias de energias limpas se faz necessário até que seja superada a vantagem dos custos das tecnologias existentes, o que, em alguns casos, pode levar dezenas de anos. Além disso, é necessário que haja uma mudança gradual das instituições e das tecnologias de produção e consumo já existentes para o atendimento dos novos objetivos (FREEMAN; SOETE, 2008; POPP, 2010; MAZZUCATO, 2014, 2015a).

3 DISCUSSÃO E RESULTADOS

3.1 DADOS E METODOLOGIA

A inovação e o avanço tecnológico têm uma relação profunda com a ciência básica, há setores em que essa conexão é mais intensa, como o setor farmacêutico, químico e de eletrônicos e elétricos, no qual faz-se necessário inversões elevadas em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Como mostrado em “Pasteur's quadrante: basic

¹ A abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) entende o processo inovativo como gradual e cumulativo, ou seja, dependente das inovações ocorridas no passado, sendo marcado por interações entre ciência, tecnologia, aprendizado, produção, políticas e demanda, além de mecanismos de *feedback*. Destarte, a inovação se apresenta como produto da combinação de possibilidades e componentes preexistentes, refletindo a reorganização de conhecimentos de diferentes formas, podendo ser descrita como um fenômeno *path dependent* (SZAPIRO; MATOS; CASSIOLATO, 2021). Assim, um Sistema Nacional de Inovação seria uma rede de instituições dos setores público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias (FREEMAN, 1987).

science and technological innovation”, por Donald E. Stokes (1997), a pesquisa científica tem um papel fundamental nas inovações seja ela: básica pura, como é o caso o modelo da estrutura atômica de Niels Bohr em que não se visava uma aplicação imediata; inspirada no uso, como foram os casos de Louis Pasteur no século XIX; e a pesquisa puramente aplicada, como foi o caso das invenções de Thomas Edison.

Com o intuito de captar as características gerais das publicações científicas em nível mundial nas tecnologias relacionadas a energias renováveis e transição, utilizou-se a análise bibliométrica a partir da base Scopus. A escolha deveu-se ao fato de tal base ter forte cobertura sobre as revistas de ciência e tecnologia; maior abrangência internacional das publicações do que a Web of Science (WoS); e, por possuir a maior parte de seu conteúdo externo aos EUA, captando assim mais idiomas para além do inglês.

Esses dados corroboram para a apresentação de um conjunto de índices que possibilitam a avaliação da produtividade, tendências de pesquisas e tecnológicas e relações de financiamento da ciência, o que propicia o estabelecimento de diversas análises qualitativas a partir do cenário captado (MARICATO, 2010). Além disso, possibilitam uma análise sobre como os países estão integrados nessas novas redes, ao mesmo tempo em que ajudam a identificar padrões emergentes, favorecendo a ponderação sobre quais áreas de pesquisa devem ser focadas e com que esforços.

3.2 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Para a seleção de palavras-chave, o critério utilizado foram termos listados pela IEA (2022) como sendo tecnologias de energia limpa. A tabela a seguir sintetiza os termos pesquisados, assim como o total de publicações encontradas para cada termo.

Tabela 1 - Palavras-chave e número de publicações

PALAVRAS-CHAVE	TOTAL DE PUBLICAÇÕES
Agriculture AND “energy efficiency”	2.683
Air AND “energy efficiency”	26.708
Bioenergy	38.338
Building AND “energy efficiency”	39.122
“Building energy efficiency”	2.813
“Carbon capture and storage”	7.939
“Clean Energy Technologies”	1.222

e-Mobility	1.606
“Energy efficiency”	259.528
“Energy storage”	182.166
Grid	591199
Grid AND “energy efficiency”	11.796
“Smart Grid”	48.590
Hydrogen AND “fuel cells”	41.433
Industry AND “energy efficiency”	23.493
“Industry energy efficiency”	92
Marine AND “energy efficiency”	1.711
Nuclear AND energy	263.146
Rail AND “energy efficiency”	1.097
“Renewable energy”	192.637
“Solar energy”	139.353
“Vehicle fuel efficiency”	312
“Wind energy”	47.021

Fonte: *Scopus*. Elaboração própria.

Pode-se concluir que as tecnologias de energia limpa são um tema cada vez mais relevante e pesquisado no campo da energia e meio ambiente. Como apresentado na Tabela 2, nos últimos 20 anos as publicações envolvendo essas palavras-chave aumentaram em mais de 12 vezes, com destaque para: Smart Grid; Carbon Capture and Storage; e-Mobility; e a combinação agriculture e energy efficiency. Isso sugere que as tecnologias de energia limpa estão avançando em diferentes áreas e abordando questões específicas relacionadas à sustentabilidade e eficiência energética.

O aumento de artigos utilizando o termo conceitual *smart grid*, por exemplo, implica que as redes elétricas inteligentes estão se tornando cada vez mais importantes para gerenciar a distribuição de energia elétrica de maneira mais eficiente, confiável e sustentável. Já em relação à tecnologia *Carbon Capture and Storage* pode-se inferir que a redução das emissões de gases de efeito estufa está se tornando uma prioridade, sendo a captura e armazenamento de carbono uma tecnologia em desenvolvimento para atingir esse objetivo. Também é possível destacar a crescente preocupação com o desenvolvimento de tecnologias agrícolas mais sustentáveis.

As publicações se focalizaram em três campos de estudo - Environmental Science, Engineering e Energy, evidenciando a significativa presença de pesquisas aplicadas e a

participação da interdisciplinaridade, especialmente nas áreas de Environmental Science e Energy. Ademais, destaca-se a área de Engineering, que representa as disciplinas acadêmicas mais intimamente ligadas à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias.

Tabela 2 - Resumo dos resultados da pesquisa bibliométrica para os últimos 20 anos

Palavra-Chaves	2003	2022	Total entre 2003 e 2022:	Aumento das Publicações (%)	Participação (2002):	Participação 2003 – 2022 (%):	Principais áreas de publicação	Países líderes
"smart grid"	0*	4520	47804	225900%	6,42%	7,36%	Engineering,	China
"carbon capture and storage"	8	759	7699	9388%	1,08%	1,19%	Environmental Science,	United Kingdom
"e-Mobility"	3	236	1519	7767%	0,33%	0,23%	Engineering,	Germany
"agriculture" AND "energy efficiency"	4	291	2478	7175%	0,41%	0,38%	Environmental Science,	India
"grid" AND "energy efficiency"	38	1180	11396	3005%	1,67%	1,75%	Engineering,	China
"clean energy technologies"	6	177	1138	2850%	0,25%	0,18%	Energy,	United States
"renewable energy"	1126	24892	180874	2111%	35,33%	27,85%	Energy,	China
"rail" AND "energy efficiency"	7	97	1002	1286%	0,14%	0,15%	Engineering,	China
"building" AND "energy efficiency"	264	3442	36755	1204%	4,89%	5,66%	Engineering,	United States
"energy efficiency"	1991	23795	240812	1095%	33,77%	37,08%	Engineering,	China
"bioenergy"	373	3376	35034	805%	4,79%	5,39%	Environmental Science,	United States
"industry" AND "energy efficiency"	268	2057	21334	668%	2,92%	3,28%	Engineering,	China
"air" AND "energy efficiency"	332	2277	23894	586%	3,23%	3,68%	Engineering,	China
"vehicle fuel efficiency"	2	10	278	400%	0,01%	0,04%	Engineering,	United States
"hydrogen" AND "fuel cells"	894	3346	37443	274%	4,75%	5,77%	Energy,	United States

Fonte: *Scopus*. Elaboração própria.

Tabela 3 - Números de publicações que contêm os termos conceituais representativos por país

Agriculture AND “energy efficiency”			Air AND “energy efficiency”			Bioenergy		
India	376	14,01%	China	5544	20,76%	United States	11249	29,34%
China	366	13,64%	United States	4877	18,26%	China	5139	13,40%
United States	357	13,31%	United Kingdom	1548	5,80%	United Kingdom	2801	7,31%
Italy	156	5,81%	India	1375	5,15%	Germany	2479	6,47%
Spain	115	4,29%	Italy	1159	4,34%	India	2479	6,47%
Building AND “energy efficiency”			“Carbon capture and storage”			“Clean Energy Technologies”		
United States	6.842	17,49%	United Kingdom	1.508	18,99%	United States	341	27,91%
China	5.201	13,29%	United States	1.435	18,08%	China	315	25,78%
Italy	3.006	7,68%	China	1.010	12,72%	United Kingdom	75	6,14%
United Kingdom	2.882	7,37%	Germany	593	7,47%	India	73	5,97%
Germany	1.749	4,47%	Australia	472	5,95%	Australia	65	5,32%
e-Mobility			“Energy efficiency”			“Energy storage”		
Germany	589	36,67%	China	56.304	21,69%	China	63.831	35,04%
Italy	190	11,83%	United States	45.789	17,64%	United States	30.482	16,73%
India	113	7,04%	India	21.573	8,31%	India	14.018	7,70%
United Kingdom	98	6,10%	United Kingdom	14.676	5,65%	Germany	8.450	4,64%
United States	95	5,92%	Germany	13.359	5,15%	United Kingdom	8.248	4,53%

Grid			Grid AND “energy efficiency”			“Smart Grid”		
China	137.4 26	23,2 5%	China	2.06 1	17,47 %	China	9.94 5	20,4 7%
United States	124.3 01	21,0 3%	United States	1.97 6	16,75 %	United States	8.46 9	17,4 3%
Germany	36.19 8	6,1 2%	India	1.15 8	9,82 %	India	4.03 1	8,3 0%
India	35.66 3	6,0 3%	United Kingdom	653	5,54 %	Germany	2.55 0	5,2 5%
United Kingdom	33.40 7	5,6 5%	Italy	648	5,49 %	United Kingdom	2.52 0	5,1 9%
Hydrogen AND “fuel cells”			Industry AND “energy efficiency”			Marine AND “energy efficiency”		
United States	8.138	19,6 4%	China	4.04 1	17,20 %	China	362	21,1 6%
China	7.720	18,6 3%	United States	3.80 2	16,18 %	United States	232	13,5 6%
Japan	2.883	6,9 6%	India	1.53 5	6,53 %	United Kingdom	132	7,7 1%
Germany	2.571	6,2 1%	United Kingdom	1.52 1	6,47 %	Italy	98	5,7 3%
South Korea	2.275	5,4 9%	Germany	1.50 3	6,40 %	India	95	5,5 5%
Nuclear AND energy			Rail AND “energy efficiency”			“Renewable energy”		
United States	75.37 3	28,6 4%	China	303	27,62 %	China	31.6 54	16,4 3%
China	28.10 9	10,6 8%	United States	157	14,31 %	United States	26.3 51	13,6 8%
Germany	25.05 8	9,5 2%	United Kingdom	82	7,47 %	India	17.9 57	9,3 2%
Japan	21.84 2	8,3 0%	Germany	55	5,01 %	United Kingdom	11.4 98	5,9 7%
France	16.83 8	6,4 0%	India	55	5,01 %	Germany	11.3 41	5,8 9%
“Solar energy”			“Vehicle fuel efficiency”			“Wind energy”		
China	27.41 3	19,6 7%	United States	116	37,18 %	China	6.45 4	13,7 3%

United States	24.008	17,23%	Canada	28	8,97%	United States	6.197	13,18%
India	13.312	9,55%	China	27	8,65%	India	5.214	11,09%
Germany	6.130	4,40%	United Kingdom	19	6,09%	Germany	3.081	6,55%
United Kingdom	5.751	4,13%	Australia	18	5,77%	United Kingdom	2.602	5,53%

Fonte: *Scopus*. Elaboração própria.

Quando se consideram os termos que apresentam maiores frequências nas publicações por país, China e EUA se destacam, aparecendo em primeiro na maioria dos termos, tendo a China ficado em primeiro em dez termos e os EUA em seis. Outros países que merecem destaque por sua frequência recorrente são Alemanha e Reino Unido e Índia.

Essa liderança da China em publicações com termos relacionados a tecnologias de energia limpa pode ser explicada por seus esforços, nos anos recentes, em matéria de políticas e incentivos ao desenvolvimento verde, seu trabalho no direcionamento da modificação de sua matriz energética altamente poluente - majoritariamente composta por carvão –, seu investimento em energias renováveis, como a solar e eólica, além de seu investimento em P&D e inovação.

Pode-se observar no 12º Plano Quinquenal chinês a ênfase em desenvolver “Indústrias Emergentes Estratégicas”, sendo essas: biotecnologia, novas energias, fabricação de equipamentos de ponta, conservação de energia e proteção ambiental, veículos de energia limpa, novos materiais e TI de última geração. Assim, partindo do investimento em pesquisa de base e do desenvolvimento de indústrias-chave, a China busca acelerar descobertas em tecnologias essenciais.

Develop new strategic industries energetically, such as energy-saving and environment-friendly new-generation IT, biology, high-end equipment manufacturing, new energy sources, new materials and new energy automobile. In the energy conservation and environmental protection industry, focus on the development of key technological equipment for efficient energy conservation, advanced environmental protection and resource recycling, products and services (CHINA, 2011, n.p).

Em relação ao financiamento, percebe-se a predominância do investimento público, com a National Natural Science Foundation of China (NSFC) apresentando o maior número de publicações nos termos de maior frequência. Conforme já mencionado, o Estado é o principal impulsionador dos estágios iniciais da inovação, tais como os investimentos em pesquisa de base, sendo a participação do setor privado relativamente escassa. Outras instituições que merecem destaque são o U.S. Department of Energy, o National Science Foundation e o National Key Research and Development Program of China. A Tabela 4 apresenta os resultados:

Tabela 4 - Números de publicações que contêm os termos conceituais representativos por fontes de financiamento

Air AND “energy efficiency”		Bioenergy	
National Natural Science Foundation of China	2. 2 3 2	National Natural Science Foundation of China	2. 1 9 7
National Key Research and Development Program of China	4 0 5	National Institutes of Health	1. 2 8 7
U.S. Department of Energy	3 6 5	U.S. Department of Energy	9 2 5
Fundamental Research Funds for the Central Universities	3 4 9	National Science Foundation	9 0 6
National Science Foundation	3 4 3	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	6 8 4
“Energy efficiency”		“Energy storage”	
National Natural Science Foundation of China	23. 12 5	National Natural Science Foundation of China	32. 19 6
National Science Foundation	6. 1 6 2	Fundamental Research Funds for the Central Universities	5. 6 8 4
National Key Research and Development Program of			

China	3. 9 2 7	National Key Research and Development Program of China	4. 6 4 2
Fundamental Research Funds for the Central Universities	3. 9 0 5	National Science Foundation	3. 9 9 6
Horizon 2020 Framework Programme	3. 1 0 6	U.S. Department of Energy	3. 7 2 8
Grid		“Smart Grid”	
National Natural Science Foundation of China	33. 30 4	National Natural Science Foundation of China	2. 5 2 5
National Science Foundation	13. 66 3	National Science Foundation	1. 1 4 1
U.S. Department of Energy	6. 9 8 2	Horizon 2020 Framework Programme	77 4
National Key Research and Development Program of China	5. 7 8 4	U.S. Department of Energy	55 2
Horizon 2020 Framework Programme	4. 4 8 0	European Commission	49 3
Hydrogen AND “fuel cells”		Industry AND “energy efficiency”	
National Natural Science Foundation of China	3. 5 7 6	National Natural Science Foundation of China	1. 4 6 5
U.S. Department of Energy	1. 0 0 8	European Commission	3 3 3
National Key Research and Development Program of China	7 9 9	Fundamental Research Funds for the Central Universities	2 9 8
National Research Foundation of Korea,	6 6 2	U.S. Department of Energy	2 8 1
National Science Foundation	6 3 3	Horizon 2020 Framework Programme	2 7 8

Nuclear AND energy		“Renewable energy”	
National Natural Science Foundation of China	9. 6 9 3	National Natural Science Foundation of China	11. 08 5
U.S. Department of Energy	7. 2 2 7	National Science Foundation	2. 4 0 9
National Science Foundation	6. 4 8 0	European Commission	2. 3 6 1
National Institutes of Health	4. 1 5 6	U.S. Department of Energy	2. 1 9 3
Japan Society for the Promotion of Science	3. 4 3 5	National Key Research and Development Program of China	2. 1 3 9
“Solar energy”		“Wind energy”	
National Natural Science Foundation of China	11. 56 9	National Natural Science Foundation of China	2.0 18
National Science Foundation	2. 6 3 1	National Science Foundation	655
U.S. Department of Energy	1. 9 4 1	U.S. Department of Energy	426
Fundamental Research Funds for the Central Universities	1. 8 9 2	European Commission	399
National Key Research and Development Program of China	1. 8 4 3	Fundamental Research Funds for the Central Universities	335

Fonte: *Scopus*. Elaboração própria.

O processo competitivo impõe limites à liberdade estratégica das empresas, condicionando seu comportamento e estabelecendo estímulos que podem ou não ser favoráveis ao esforço inovador (GADELHA, 2001). Assim, o subinvestimento em P&D seria derivado do baixo nível de capacidades construídas por empresas e instituições ao

longo de seu caminho evolutivo. Sob essa perspectiva, certas falhas de mercado identificadas pelo mainstream, como a assimetria de informações, seriam inerentes aos processos de inovação (YOGUEL; BARLETTA; PEREIRA, 2017).

4 . CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução econômica, que é baseada em padrões tecnológicos que requerem grande consumo de matérias-primas e energia, especialmente de hidrocarbonetos, encontra obstáculos devido à escassez de recursos naturais. Portanto, é crucial alterar os padrões tecnológicos existentes por outros menos prejudiciais ao meio ambiente, a fim de assegurar um crescimento econômico sustentável e incluir todos os países nesse processo.

Em outras palavras, não é o progresso que está limitado, mas sim os padrões tecnológicos e de consumo dos países desenvolvidos. Os processos inovativos com foco em energias limpas emergem, assim, como um meio de transformar o modelo tecnológico atual em direção a uma economia mais verde. As tecnologias de energia limpa constituem um assunto cada vez mais relevante e objeto de estudo no âmbito da energia e meio ambiente. Assim, a inovação se torna um recurso indispensável para que haja a substituição dos atuais métodos de produção e padrões de consumo não sustentáveis, e também devido à necessidade do desenvolvimento e da mais rápida difusão de uma ampla gama de tecnologias alternativas mais favoráveis ao meio ambiente (FREEMAN; SOETE, 2008).

É válido ressaltar que o presente artigo ainda é um work in progress, contendo limitações teóricas e metodológicas. Ficam como sugestão para trabalhos futuros maiores aprofundamentos sobre o tema, como: explorar a situação dos países da América Latina em relação às tecnologias citadas; explorar as relações de competitividade entre os países; analisar as relações Estado-empresas-inovação em relação a tecnologias de energia limpa; estudar melhor o crescimento da China no que diz respeito às tecnologias referidas.

5 REFERÊNCIAS

- BLAZQUEZ, J.; FUENTES, R.; MANZANO, B. On some economic principles of the energy transition. **Energy Policy**, v. 147, p. 111807, 2020.
- BRITISH PETROLEUM. **Statistical Review of World Energy**. 2022. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 20 mar 2023.
- CHINA. China 12th Five-Year Plan (2011-2015) for National Economic and Social Development. [S.l.]: **China's National people's Congress**, 2011.
- EDQUIST, C. Systems of innovation approaches—their emergence and characteristics. **Systems of innovation: technologies, institutions and organizations**, v. 1989, p. 1-35, 1997.
- FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London: Frances Pinter, 1987.
- FREEMAN, C.; SOETE, L. **A economia da inovação industrial**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.
- GADELHA, C. A. G. Política industrial: uma visão neo-schumpeteriana sistêmica e estrutural. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 21, p. 763-785, 2001.
- IEA – International Energy Agency. **Clean Energy Innovation**. IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>, License: CC BY 4.0. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>. Acesso em: 24 mar 2023.
- IEA – International Energy Agency. **Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021**, IEA, Paris, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-co2-emissions-in-2021-2>. Acesso em: 24 mar 2023.
- IEA – International Energy Agency. **Energy Technology Patents Data Explorer**, IEA, Paris, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-technology-patents-data-explorer>. Acesso em: 24 mar 2023.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. *In*: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.
- LAMPERTI, F. *et al.* The green transition: public policy, finance, and the role of the State. **Vierteljahrshefte Zur Wirtschaftsforschung**, v. 88, n. 2, p. 73-88, 2019.
- LUNDVALL, B. (Ed.). **National systems of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning**. [S.l.]: Anthem Press, 2010.
- MALERBA, F. Learning by firms and incremental technical change. **The economic journal**, v. 102, n. 413, p. 845-859, 1992.
- MARICATO, J. M. **Dinâmica das relações entre ciência e tecnologia: estudo bibliométrico e cientométrico de múltiplos indicadores de artigos e patentes em biodiesel**. Tese (doutorado em ciência da informação). USP, 2010.
- MAZZUCATO, M. **O estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado**. [S.l.]: Portfolio-Penguin, 2014.
- MAZZUCATO, M. The green entrepreneurial state. SPRU Working Paper Series (ISSN 2057-6668). **University of Sussex**. Brighton, Reino Unido, 2015.
- MAZZUCATO, M. O.; MCPHERSON, M. **What the green revolution can learn from the IT Revolution: a green entrepreneurial state**. London: Institute for Innovation and Public Purpose, 2019. (Policy Brief series, IIPP PB 08).
- MAZZUCATO, M. **Mission economy: a moonshot guide to changing capitalism**. UK: Penguin, 2021.

- MICKWITZ, P. *et al.* A theory-based approach to evaluations intended to inform transitions toward sustainability. **Evaluation**, v. 27, n. 3, p. 281-306, 2021.
- POPP, D. Innovation and climate policy. **Annu. Rev. Resour. Econ.**, Annual Reviews, v. 2, n. 1, p. 275–298, 2010.
- PORTER, M.; LINDE, C. V. Green and competitive: ending the stale mate. **The Dynamics of the eco-efficient economy: environmental regulation and competitive advantage**, [S.l.], v. 33, 1995.
- ROMÁN, M.; LINNÉR, B.; MICKWITZ, P. Development policies as a vehicle for addressing climate change. **Climate and Development**, v. 4, n. 3, p. 251-260, 2012.
- STOKES, D. E. *Pasteur's quadrant: basic science and technological innovation*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 1997.
- SZAPIRO, M.; MATOS, M. G. P; CASSIOLATO, J. E. Sistemas de inovação e desenvolvimento. *In*: RAPINI, M. *et al.* **Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global**. Belo Horizonte: FACE/Cedeplar/UFMG, 2021.
- YOGUEL, G.; BARLETTA, F.; PEREIRA, M. Los aportes de tres corrientes evolucionistas neoschumpeterianas a la discusión sobre políticas de innovación. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 16, n. 2, p. 381-404, 2017.
- YU, T. F.-L. Towards a theory of the entrepreneurial state. **International Journal of Social Economics**, MCB UP Ltd, 2001.
- ZEPF, V. The dependency of renewable energy technologies on critical resources. *In*: **The Material Basis of Energy Transitions**. Academic Press, p. 49-70, 2020.