



Desafíos de la transición energética sostenible: perspectivas para la investigación y la gestión

Yeny Andrea Niño Villamizar^a ■ Manuel Enrique Nieves Plata^b ■ César Augusto Cortés Jiménez^c

Resumen: El concepto de transición energética está presente en la agenda política a nivel global como un proceso indispensable en el desarrollo sostenible de los países. Bajo este contexto, el artículo documenta el desarrollo de la investigación en el dominio del conocimiento de la transición energética sostenible como un pilar de la agenda geopolítica global, y reflexiona sobre los desafíos que implica este fenómeno desde la perspectiva investigativa, geopolítica y geoeconómica. La metodología utilizada es la revisión de literatura combinada con un análisis bibliométrico y técnicas de análisis de contenido de documentos de investigación recuperados en la base de datos *Web of Science* y sectoriales. Los hallazgos más representativos indican lo siguiente: primero, que el Acuerdo de París ha impulsado la investigación relacionada con el desarrollo sostenible, la transición y la seguridad energética desde un ámbito técnico, cultural, social, político y económico; segundo, a nivel geopolítico, el proceso de transición energética juega un papel determinante en el ajedrez político mundial, en el que los países miden sus fuerzas en términos de continuidad del suministro energético para sus ciudadanos, y tercero, a nivel geoeconómico, los países exportadores de carbón y petróleo ajustan el gasto público a presupuestos funcionales en un marco de energías renovables. Los autores concluyen que una transición progresiva y el balance de la matriz energética son fundamentales para

* Artículo de reflexión.

- a Estudiante de doctorado en gestión en la Universidad EAN. Magíster en ingeniería industrial - Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Ingeniera industrial - Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de tiempo completo en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D. C., Colombia. Correo electrónico: yaninov@udistrital.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7535-9833>
- b Estudiante de doctorado en gestión en la Universidad EAN. Magíster en docencia universitaria - Universidad Arturo Prat, magíster en administración y dirección general de empresas - Universidad Antonio de Nebrija, magíster en dirección comercial y marketing - Escuela Europea de Dirección y Empresa, especialista en industria del petróleo y gas - Universidad George Washington, administrador de empresas e ingeniero industrial del Politécnico Gran Colombiano y tecnólogo electromecánico de las Unidades Tecnológicas de Santander. Universidad EAN, Bogotá D. C., Colombia. Correo electrónico: mnieves33912@universidadean.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5283-7978>
- c Estudiante de doctorado en gestión Universidad EAN. Magíster en gestión de organizaciones - Universidad EAN. Magíster en ciencias - Universidad de Québec. Contador público - Universidad la Gran Colombia. Docente de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: cesara.cortesj@utadeo.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8052-6007>

reducir los gases efecto invernadero que causan el calentamiento global y garantizar la sostenibilidad energética sin afectar drásticamente la economía de las naciones.

Palabras clave: sostenibilidad; transición energética; sector minero – energético; análisis bibliométrico; geopolítica

Recibido: 19/08/2022 **Aceptado:** 21/06/2023

Disponible en línea: 15/12/2023

Cómo citar: Niño Villamizar, Y. A., Nieves Plata, M. E., & Cortés Jiménez, C. A. (2023). Desafíos de la transición energética sostenible: perspectivas para la investigación y la gestión. *Revista Facultad De Ciencias Económicas*, 31(2), 137-158. <https://doi.org/10.18359/rfce.6423>

Código JEL: Q32, Q42, Q56

Challenges of Sustainable Energy Transition: Perspectives for Research and Management

Abstract: The concept of energy transition is present on the global political agenda as an indispensable process for the sustainable development of countries. In this context, the article documents the development of research in the domain of sustainable energy transition as a cornerstone of the global geopolitical agenda and reflects on the challenges posed by this phenomenon from the research, geopolitical, and geoeconomic perspectives. The methodology used involves literature review combined with bibliometric analysis and content analysis techniques of research documents retrieved from the Web of Science and sector-specific databases. The most significant findings indicate the following: first, the Paris Agreement has driven research related to sustainable development, transition, and energy security across technical, cultural, social, political, and economic domains; second, at the geopolitical level, the energy transition process plays a decisive role in the global political chessboard, where countries assess their strengths in terms of the continuity of energy supply for their citizens; and third, at the geoeconomic level, coal and oil-exporting countries adjust public spending to functional budgets within the framework of renewable energies. The authors conclude that a gradual transition and balancing of the energy matrix are essential to reduce greenhouse gases causing global warming and ensure energy sustainability without drastically impacting nations' economies.

Keywords: Sustainability; Energy Transition; Mining-Energy Sector; Bibliometric Analysis; Geopolitics

Desafios da transição energética sustentável: perspectivas para a pesquisa e gestão

Resumo: O conceito de transição energética está presente na agenda política global como um processo indispensável no desenvolvimento sustentável dos países. Neste contexto, o artigo documenta o desenvolvimento da pesquisa no domínio do conhecimento da transição energética sustentável como um pilar da agenda geopolítica global e reflete sobre os desafios que este fenômeno implica a partir de perspectivas de pesquisa, geopolíticas e geoeconômicas. A metodologia utilizada envolve revisão de literatura combinada com análise bibliométrica e técnicas de análise de conteúdo de documentos de pesquisa recuperados na base de dados *Web of Science* e em setores específicos. Os achados mais representativos indicam o seguinte: em primeiro lugar, o Acordo de Paris impulsionou a pesquisa relacionada ao desenvolvimento sustentável, à transição e à segurança energética em termos técnicos, culturais, sociais, políticos e econômicos; em segundo lugar, em termos geopolíticos, o processo de transição energética desempenha um papel decisivo no xadrez político global, no qual os países avaliam suas forças em relação à continuidade do fornecimento de energia para seus cidadãos; e em terceiro lugar, em termos geoeconômicos, os países exportadores de carvão e petróleo estão ajustando os gastos públicos a orçamentos funcionais em um contexto de energias renováveis. Os autores concluem que uma transição gradual e o equilíbrio da matriz energética são fundamentais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa que causam o aquecimento global e garantir a sustentabilidade energética sem afetar drasticamente a economia das nações.

Palavras-chave: sustentabilidade; transição energética; setor de mineração e energia; análise bibliométrica; geopolítica

Introducción

Este documento reúne una revisión y reflexión sobre dos constructos, a saber: la sostenibilidad y la transición energética, los cuales se han procurado incorporar en un solo propósito en la agenda geopolítica a nivel global. El término sostenibilidad pertenece originalmente al campo de la ecología, y se refiere al potencial de un ecosistema para subsistir a lo largo del tiempo, sin que se produzcan mayores alteraciones (Jabareen, 2006). Aunque este concepto se remonta a la antigüedad, las condiciones de crecimiento de la población, el aumento del consumo después de la Revolución Industrial, y el peligro de que recursos cruciales como la madera, el carbón y el petróleo puedan ser agotados, impulsó el camino para el surgimiento y la adopción global del desarrollo sostenible (Jacobus, 2006).

Los fundamentos conceptuales para el uso actual del término desarrollo sostenible se consolidaron a principios de la década de 1970 con la publicación del conocido informe del Club de Roma, *The limits to growth*, en el cual se advirtió que la Tierra tenía un suministro limitado de recursos físicos, y que exceder los límites de explotación podría terminar en una catástrofe. Así, en la década de 1970, las nociones existentes de *progreso*, *crecimiento* y *desarrollo* estaban siendo cuestionadas, dando paso al concepto de desarrollo sostenible como un compromiso que vincula de forma interdependiente el desarrollo y la conservación (Jacobus, 2006).

En la década de 1980, este nuevo paradigma del desarrollo sostenible se popularizó y se utilizó más ampliamente, estableciendo la definición mejor adoptada y más citada en la literatura, que corresponde a la dada en la Comisión Brundtland (Jabareen, 2006; Jacobus, 2006): “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades” (Brundtland, 1987). El informe Brundtland expresó la creencia de que la equidad social, el crecimiento económico y el mantenimiento del medioambiente son posibles simultáneamente (Jacobus, 2006), destacando así los tres componentes fundamentales del desarrollo sostenible: el medio ambiente, la economía y

la sociedad, que posteriormente se conoció como el triple resultado final (TBL, del inglés *triple bottom line*) (Elkington y Rowlands, 1999). De esta forma, en la literatura parece haber el consenso de que en el campo del desarrollo sostenible se revela la falta de un marco teórico integral para comprender sus complejidades y cómo operacionalizarlo en la práctica (Jabareen, 2006); y que esto obedece a que, estructuralmente, el concepto puede verse como una frase que consta de dos palabras, *sostenible* y *desarrollo*, cada una de las cuales se ha definido de manera diversa desde varias perspectivas (Mensah, 2019).

Por su parte, el término *transición* se ha popularizado como un indicador de cambio sistémico dentro de la sociedad, y aunque su impulso proviene de fuerzas externas (la industrialización dependiente del petróleo, de los combustibles fósiles finitos y del cambio climático), obliga a realizar cambios en todos los niveles de la sociedad (Seyfang y Haxeltine, 2012), exigiendo el compromiso de todas las partes involucradas. De esta forma, el actual régimen energético, basado en combustibles fósiles, y caracterizado por una configuración dominante de ciertos artefactos tecnológicos, prácticas de usuarios, estructuras de mercado, marcos regulatorios, significados culturales y conocimiento científico (Kern y Smith, 2008) requieren un proceso estructurado, gradual y efectivo de cambio para que pueda darse de manera sostenible.

Varios estudios han examinado qué intervenciones son efectivas para promover una transición energética sostenible. Inicialmente, en la década de 1970, se centraron en fomentar el comportamiento de eficiencia energética a nivel domiciliario; a partir de 1990, su enfoque fue promover la reducción de emisiones de CO₂ y la adopción de tecnologías de ahorro de energía y formas de motivar a los hogares a equilibrar su demanda de energía con el suministro disponible renovable (Steg *et al.*, 2015).

Por todo lo anterior, esta transición traerá cambios en los sistemas energéticos e implicará la implementación de diferentes políticas. La medida en que se pueden dar estos cambios dependerá de la aceptabilidad del público, que está permeada por sus propios valores y por la confianza que generen los diferentes beneficios, costos y riesgos

de los sistemas energéticos y las políticas energéticas (Steg *et al.*, 2015). En el caso colombiano, esto implicará un desafío para integrar las fuerzas políticas y sociales, que permitan trabajar de forma conjunta en el cumplimiento de las hojas de ruta para la transición energética, establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo (PND), a través del incremento de la participación de las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCR) en la matriz energética.

Bajo este panorama, este estudio tiene dos propósitos, el primero, documentar el desarrollo de la investigación en el dominio de conocimiento de la transición energética sostenible como un pilar de la agenda geopolítica global, y el segundo, reflexionar sobre los desafíos que implica este fenómeno desde el contexto investigativo, geopolítico y geoeconómico. Para cumplir con estos propósitos, el documento está estructurado en cinco secciones en las que se desarrolla el marco de referencia del sector minero-energético y de la transición energética; la metodología empleada, principalmente el análisis bibliométrico; los resultados de la caracterización y revisión de los documentos; la reflexión orientada a las perspectivas de la relación sostenibilidad-transición energética y, por último, las conclusiones y discusiones del estudio.

Marco de referencia

Contexto del sector minero-energético

El sector minero-energético hace parte del nivel primario de la economía a través del uso de las energías y las fuentes naturales no renovables; conformado por los subsectores de minería, hidrocarburos y energía eléctrica (Suarez *et al.*, 2019).

Este sector es considerado el centro del desarrollo global, al permitir la dinámica tanto industrial como doméstica a nivel mundial desde un enfoque energético, posibilitando la creación de puestos de trabajo que llevan al mejoramiento económico de los países y al aumento en la calidad de vida de millones de hogares (Banco Mundial, 2020). El sector minero-energético está incluido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el que se establece la garantía

por el acceso a la energía a través del cumplimiento de tres metas principales en el año 2030, las cuales promueven: primero, la reducción en un 40 % de las emisiones de gases efecto invernadero; segundo, el incremento de hasta el 27 % de la participación de las energías renovables en la matriz energética, y tercero, el mejoramiento en un 27 % de la eficiencia energética (Giménez, 2017).

Para facilitar la comprensión del sector, se realiza una revisión desde el aspecto económico, productivo y de distribución de la matriz energética a partir de un contexto global, regional y nacional.

Desde un aspecto económico, el uso de la energía está correlacionado positivamente con el Producto Interno Bruto (PIB) (Stern, 2018). En el año 2020, el PIB mundial fue de ochenta y cuatro billones de dólares, con una participación de la industria del 30 % (World Bank, 2021) y un aporte del sector minero-energético de 2,8 % del total global (IEA, 2021b). América Latina y el Caribe representan el ocho por ciento del PIB global, de los cuales, 7,2 % del total los aporta el sector minero-energético (CEPAL, 2022). En Colombia, el sector minero-energético es uno de los dinamizadores de la economía y el desarrollo del país, representando el siete por ciento del total del PIB del país en el año 2021, el cual alcanza los \$1 177 billones de pesos colombianos (DANE, 2022).

En el aspecto productivo, es importante resaltar que, para el año 2020, la producción anual de carbón alcanzó los 159,61 Exajulios (EJ), equivalentes a 5 446 millones de toneladas; asimismo, la producción de petróleo, en el mismo año, logró los 88,4 millones de barriles por día (MBPD), y la generación eléctrica obtuvo 26 823,2 Teravatios (TW) a lo largo del mismo periodo. De los datos presentados en la tabla 1, se infiere que el 77 % del carbón que se produce en el mundo proviene de Asia, y tan solo el uno por ciento de Centro y Sur América. De igual manera, el 31 % de la producción diaria de petróleo proviene de Medio Oriente, mientras que Centro y Sur América producen el siete por ciento. En cuanto a la generación eléctrica, la región de Asia Pacífico produce el 48 % del total global; en este aspecto, Centro y Sur América logran el cinco por ciento del total de energía a nivel mundial (British Petroleum, 2021). En cuanto a los indicadores

de Colombia en el año 2021, se destaca una producción anual de 59,6 millones de toneladas de carbón (Bustamante *et al.*, 2021), 736 356 barriles

de petróleo por día (ANH, 2022) y 69,7 tw anuales (Expansión, 2022).

Tabla 1. Producción de referentes minero-energéticos

Región	Producción de carbón anual		Producción de petróleo por día		Generación de energía eléctrica anual	
	EJ	%	MBPD	%	TW	%
Norteamérica	11,76	7 %	23,5	27 %	5243,6	20 %
Centro y Sur América	1,6	1 %	5,8	7 %	1282,8	5 %
Europa	5,53	3 %	3,6	4 %	3871,3	14 %
CIS	10,58	7 %	13,5	15 %	1397,1	5 %
Medio Oriente	0,05	0 %	27,7	31 %	1265,2	5 %
África	6,47	4 %	6,9	8 %	843,9	3 %
Asia Pacífico	123,62	77 %	7,4	8 %	12919,3	48 %
Total	159,61	100 %	88,4	100 %	26823,2	100 %

Fuente: elaboración propia basada en British Petroleum (2021).

Respecto a la distribución de la matriz energética en 2019 (figura 1), a nivel global, está compuesta principalmente por fuentes no renovables, como es el caso del petróleo y sus derivados, con un 35 %, seguido del gas natural y el carbón, con el 20 % cada uno, respectivamente; en el caso de las energías renovables, tales como la energía eólica, la solar, la mareomotriz, la hidráulica, la biomasa y la geotérmica, equivalen al 25 %. Por parte de Latinoamérica, se identifica un mayor balance de la matriz energética, a pesar de que las fuentes no renovables lideran a través del petróleo y sus derivados con 41 %, seguido del gas natural con 18 %;

en relación con las fuentes de energía renovables, se observa una gran participación de la biomasa y de residuos con veintiuno por ciento; energía hidráulica, con 15 %; geotérmica, cuatro por ciento, y otras fuentes, uno por ciento. En cuanto a Colombia, el país ha empezado una serie de inversiones en fuentes de energía renovables, sin embargo, aún mantiene su dependencia del petróleo y de sus derivados, con un 40 %, seguido del gas natural, con veintiuno por ciento, y carbón, con nueve por ciento; en relación con las energías limpias, el país alcanza un 16 % en energía hidráulica y 14 % en biomasa y residuos (UPME, 2019).

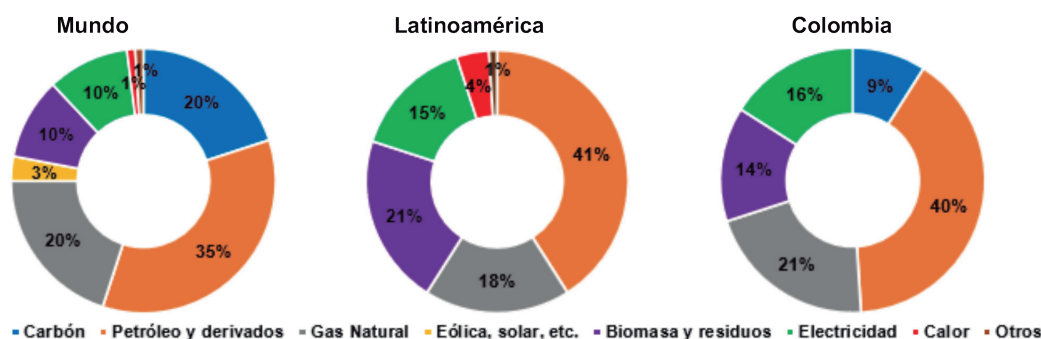


Figura 1. Composición de la oferta energética para uso final

Fuente: elaboración propia basada en UPME (2019).

En la actualidad, el sector se enfrenta a uno de sus mayores desafíos: la transición energética, que se potencializa como resultado del Acuerdo de París, celebrado en la capital francesa en diciembre de 2015 y puesto en marcha en 2016, en donde, por efectos del cambio climático, los países firmantes se comprometen a reducir las emisiones de dióxido de carbono, con el objetivo de limitar el incremento de la temperatura global por debajo de dos grados centígrados durante el siglo; en el caso colombiano, el compromiso consiste en reducir las emisiones de dióxido de carbono en cincuenta y uno por ciento en 2030 y alcanzar la meta de cero emisiones de dióxido de carbono en el año 2050 (UNFCCC, 2015).

Marco conceptual y legal de la transición energética

La energía es considerada como un elemento clave para la vida humana, y un suministro de energía seguro y accesible es crucial para la sostenibilidad de las sociedades modernas (Asif y Muneer, 2007). En la historia de la humanidad, la energía ha sido el motor que ha permitido la evolución de las comunidades, así como la transformación de sociedades en civilizaciones.

El mundo ha enfrentado dos transiciones energéticas importantes, la primera, entre el siglo XVIII y hasta 1920, con la energía de vapor a base de carbón; la segunda, después de 1920, con una fuente energética basada en el uso del petróleo y la

electricidad, la primera con altos niveles de contaminación, y la última, aun sin llegar a la universalidad (Wilson y Grubler, 2011).

Desde fines del siglo XX, se viene gestando una tercera transición energética que busca pasar de la energía de los combustibles fósiles a una no convencional que emplea recursos como la energía solar, la energía eólica, la biomasa y la mareomotriz, recursos que son abundantes, disponibles, inagotables y respetuosos con el medioambiente.

Saidi y Omri (2020) indican que la utilización de fuentes de energía renovables es la solución a los crecientes desafíos energéticos y al aumento de la demanda mundial de energía para el 2025, estableciendo que la transición energética es una alternativa de solución a estos problemas, obviamente con los desafíos que conlleva el cambio en los ámbitos políticos, económicos, sociales y culturales.

El uso de fuentes renovables de energía se constituye en una alternativa para el desarrollo sostenible del planeta y para el crecimiento económico de las naciones, al tiempo que contribuye a la disminución de gases de efecto invernadero originados por la utilización de los combustibles fósiles que actualmente aportan entre un 80 % y un 95 % de los requerimientos de energía primaria del mundo según la Agencia Internacional de Energía (IEA, del inglés *International Energy Agency*) en su informe *Perspectiva Energética Mundial 2021* (IEA, 2021b).

Una nueva transición energética es un proceso largo que implica cambios de comportamiento de

los consumidores, participación de empresas privadas y entidades públicas, requiere de innovación técnica y tecnológica, del desarrollo de mecanismos y productos financieros específicos del mercado de la energía y de la adopción de normas para proporcionar un marco legal de acción para todas las partes interesadas en su generación y desarrollo (Neacşa *et al.*, 2022).

Esta transición puede generar escenarios de inequidad energética, situación que se ha observado y documentado en las dos anteriores transiciones, por tanto, se debería buscar una distribución justa del suministro y el consumo de energía entre los países del mundo (Brundtland, 1987). Bajo el escenario de

equidad, se debería propender por el consumo de energía per cápita distribuido equitativamente en todo el mundo, aspecto que no será del todo viable, ya que existen países ricos y pobres, con brechas económicas muy extensas, con mayores y menores recursos renovables, con diferentes disponibilidades de inversión para extracción, transformación y distribución de los recursos, además de normatividades y políticas particulares, algunas disímiles y contradictorias entre países vecinos.

Entre el año 2000 y el 2050, se ha observado y se espera una menor utilización de energías fósiles y un mayor uso de energías renovables (Henckens, 2022), tal como se presenta en la figura 2.

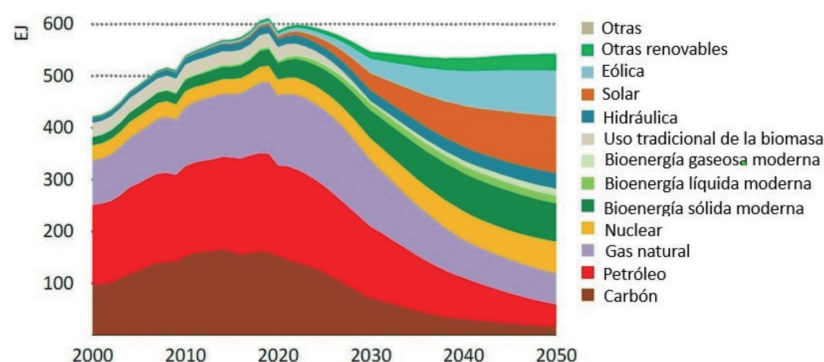


Figura 2. *Uso de energías*

Fuente: IEA (2021a).

Nota: traducción de los autores.

En el informe de perspectiva de la transición energética efectiva se plantea que, para avanzar en el ritmo requerido y evitar un colapso energético y disminuir la producción de gases de efecto invernadero, se depende en gran medida de la intención, decisión política y de la capacidad del mundo para intensificar, replicar, escalar y mejorar aún más los esfuerzos de colaboración entre países y sectores (World Economic Forum, 2022).

En el mismo informe, se revisa y actualiza el índice de transición energética (ETI, del inglés *energy transition index*), cuya aplicación e interpretación toma como base tripartita: el grado de

utilización de las fuentes de energía como una capacidad de apoyar el desarrollo y el crecimiento económico; la seguridad energética, en términos de fuentes y de su acceso, y la sostenibilidad ambiental. Este índice explica por qué los países con mayor grado de industrialización y mayor utilización de fuentes de energía tienen un menor progreso en el índice de transición energética, toda vez que la descarbonización de las economías pesadas en la industria, que demandan procesos de alta emisión, requieren inversiones de capital para transformar y acceder a tecnologías e infraestructura de bajas emisiones y de almacenamiento de

energía, hidrógeno y carbono, aspectos que dificultan el proceso de transición.

De esta forma, el progreso para descarbonizar la industria es clave en muchos países, principalmente en las economías del G20, que generan el 85 % de la producción industrial en el mundo y tienen, además, un ritmo más lento de transición, lo que sugiere una mayor complejidad para que los países descarbonicen los sistemas energéticos vinculados al desempeño industrial.

En el contexto nacional, según el Ministerio de Minas y Energía (2021), se reconoce a Colombia como un país privilegiado por su situación geográfica; ocupa el sexto lugar en recursos hídricos renovables y tiene, especialmente en la zona norte del país, un 60 % más de radiación solar y una velocidad de viento dos veces más rápida que el promedio mundial. Estos hechos, sumados a la estabilidad política y la normatividad que favorece la inversión privada, nacional y extranjera, conforman un escenario propicio para el desarrollo de tecnologías para el uso y aprovechamiento de fuentes de energía renovables, menor uso de combustibles fósiles y, por tanto, disminución de la producción de gases de efecto invernadero, menor huella de carbono y menor afectación ambiental.

En lo recorrido del siglo XXI, Colombia ha incorporado en su política pública el diseño, producción e implementación de programas para participar de forma activa en la transición energética global en línea con el Acuerdo de París (United Nations, 2015) y con los convenios globales relacionados con el cambio climático y la transición energética, en la búsqueda de aprovechar al máximo los recursos disponibles y estimular la inversión nacional y extranjera para cumplir con estos compromisos.

Metodología

Para cumplir con los objetivos de la revisión de literatura, este trabajo emplea dos estrategias metodológicas, la primera, un análisis bibliométrico que incluye la búsqueda de información mediante la definición de palabras clave, la selección de la base de datos y el análisis mediante redes bibliométricas; la segunda, el análisis de contenido de documentos de investigación y sectoriales que orienta

la posterior reflexión sobre la transición energética como estrategia de desarrollo sostenible.

Búsqueda de información

La base de datos *Web of Science* (WoS) fue seleccionada como la principal fuente de búsqueda de información dada su cobertura desde 1990 (Chadegani *et al.*, 2013) y debido a la posibilidad de seleccionar los artículos académicos que son de mayor importancia en un campo de investigación determinado (Merli *et al.*, 2018). La búsqueda estuvo orientada a la integración de los tópicos de sostenibilidad y transición energética bajo la siguiente ecuación: (TITLE= (Sustain* OR Sustainab*) AND (energy transition OR energy transformation OR decarbonizing)), además, se limitó a las categorías de artículo, revisión de literatura y acceso temprano. De esta forma, se encontraron un total de 282 documentos publicados hasta el 11 de mayo de 2022.

Análisis de la información

El estudio actual emplea una combinación de análisis bibliométrico y técnicas de análisis de contenido. La bibliometría es un método que incluye el análisis estadístico de los artículos publicados y las citas que contienen para medir su impacto (Choudhary y Sangwan, 2022; Maditati *et al.*, 2018), además del análisis de redes, que constituye una herramienta para demostrar las interconexiones entre los artículos y los temas de investigación, observando cuántas veces un artículo es citado y co-citado por otras publicaciones y así encontrar las áreas emergentes en el dominio particular de la investigación (Madtati *et al.*, 2018). De esta forma, para este estudio, los 282 artículos constituyen la unidad del análisis bibliométrico, el cual se apoya en el software Bibliometrix®.

Para el análisis de contenido de los avances de la investigación en el área, se seleccionan los artículos más citados que fueron publicados en los últimos cinco años y, para cada uno de ellos, se enfatiza el objetivo, los resultados y los trabajos futuros o brechas de investigación identificadas. Finalmente, la reflexión desde la perspectiva política y económica se basa en estudios sectoriales, en el contexto global y, de manera particular, en el caso colombiano.

Resultados

El análisis bibliométrico se realiza sobre un total de 282 artículos publicados en 113 revistas y con la participación de 933 autores.

Caracterización general

Esta sección caracteriza el número de publicaciones por año, el país y la fuente de publicación (revista) de la literatura seleccionada.

En la figura 3 se establece el comportamiento del número de publicaciones por año, considerando de manera conjunta las áreas de sostenibilidad y transición energética. Se observa que es un área de investigación reciente, con un registro de los primeros artículos publicados en el año 2000; y a partir de allí, con un comportamiento ascendente, principalmente desde el año 2017, lo cual puede considerarse un indicador de la importancia que ha adquirido el tema.

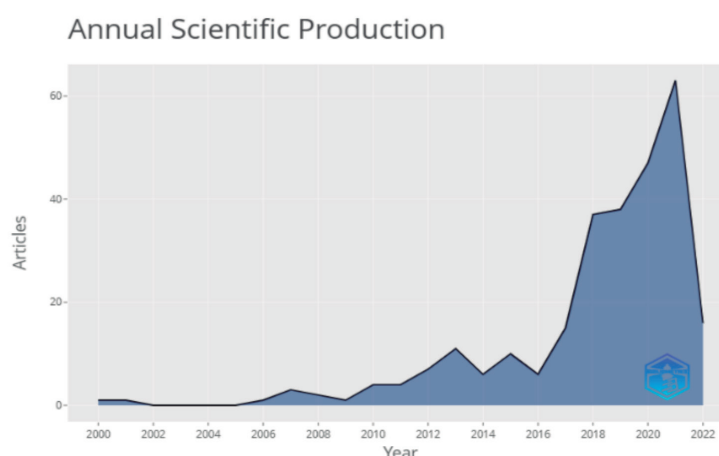


Figura 3. Producción científica por año

Fuente: elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix

Particularmente, se destaca el año 2021, con 63 publicaciones, que representan el 22,34 % del total.

Con respecto al número de publicaciones por países, se ubican en los cinco primeros lugares: Alemania (31), Reino Unido (27), China (25), Estados Unidos (22) y Países Bajos (17). Gráficamente, se representa en la figura 4, en la cual los documentos etiquetados como SCP (*single country publication*) corresponden a intra país, y MCP (*multiple country publication*), entre países. Estos resultados también pueden interpretarse como una articulación de la investigación con las

posiciones geopolíticas, ya que investigadores de varios países de Europa son los que lideran en el número de publicaciones.

El análisis bibliométrico de citas es una herramienta útil para evaluar el desempeño de una revista (Maditati *et al.*, 2018). En el campo de la sostenibilidad y la transición energética, se registran las cinco revistas más relevantes en términos del número de publicaciones (entre paréntesis), a saber: *Energy policy* (22), *Sustainability* (21), *Renewable & sustainable energy reviews* (20), *Journal of cleaner production* (18) y *Energies* (15).

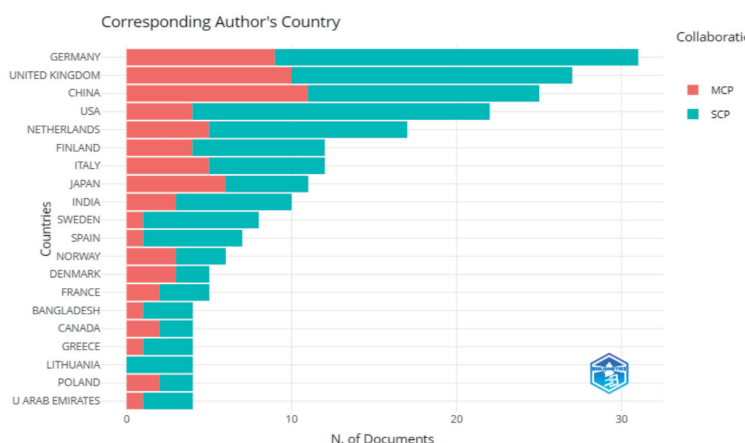


Figura 4. Número de autores por países

Fuente: elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix.

Influencia de los autores

Con respecto a este aspecto, uno de los resultados más analizados y extraídos suele ser la frecuencia de aparición de los autores, respaldada por el

número de documentos publicados (El Baz e Iddik, 2020). La figura 5 presenta los 20 autores más relevantes de acuerdo con su producción en el tiempo, donde el tamaño del círculo refleja el número de publicaciones.

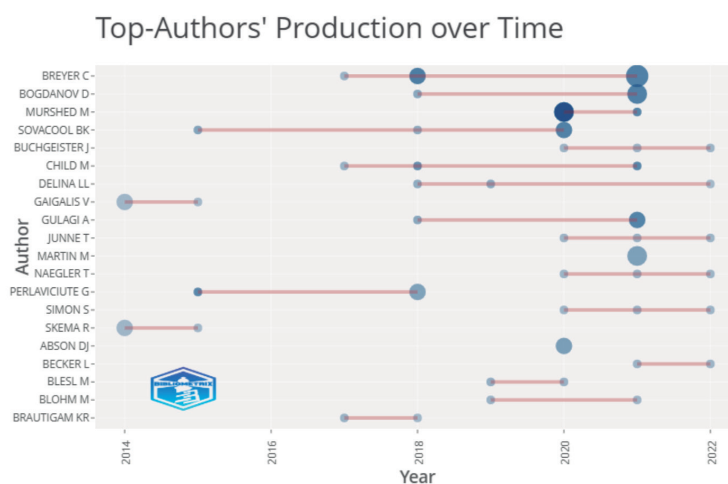


Figura 5. Principales autores del área de acuerdo con el número de artículos publicados

Fuente: elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix.

Características de los documentos

De los resultados obtenidos en el análisis bibliométrico, en este apartado se presentan los artículos que registran la mayor cantidad de citaciones en las revistas incluidas en WoS, y que pueden considerarse como un indicador de la importancia de estos

documentos en el área. Con el fin de detallar el enfoque de algunos de ellos, en la tabla 2 se recogen los cinco más citados, destacando que cuatro tienen un enfoque del comportamiento de los individuos y de las sociedades en el proceso de transición energética sostenible.

Tabla 2. Enfoque de los cinco artículos más citados

Documento (Citaciones en WoS)	Enfoque del artículo
Seyfang, G. y Haxeltine, A. (2012). Growing Grassroots Innovations: Exploring the Role of Community-Based Initiatives in Governing Sustainable Energy Transitions. <i>Environment and Planning C: Government and Policy</i> , 30(3), 381–400. (460)	En un contexto de innovación social basada en la sociedad civil, esta investigación examina el papel de las iniciativas comunitarias en la transición hacia una economía sostenible con bajas emisiones de carbono en el Reino Unido.
Van Der Schoor, T. y Scholtens, B. (2015). Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 43, 666–675. (257)	La pregunta central de esta investigación es ¿cómo contribuyen las iniciativas energéticas de la comunidad local a un sistema de energía sostenible descentralizado? Sus hallazgos en Países Bajos establecen que el desarrollo de una visión compartida, el nivel de actividades y el tipo de organización son factores importantes de la fortaleza de la 'red local'. Las iniciativas energéticas comunitarias son un fenómeno emergente que en la etapa actual proporciona un enfoque de base útil para que muchos ciudadanos participen en la transición hacia un futuro energético sostenible.
Kern, F. y Smith, A. (2008). Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands. <i>Energy Policy</i> , 36(11), 4093–4103. (247)	El objetivo principal de este trabajo es analizar críticamente la aplicación del modelo de "gestión de la transición" en la política energética holandesa. El argumento principal es que, a pesar de los considerables logros, el enfoque de las transiciones corre el riesgo de ser capturado por el régimen energético vigente, lo que socava las aspiraciones políticas originales de innovación radical del sistema energético.
Bresser, D., Buchholz, D., Moretti, A., Varzi, A. y Passerini, S. (2018). Alternative binders for sustainable electrochemical energy storage – the transition to aqueous electrode processing and bio-derived polymers. <i>Energy & Environmental Science</i> , 11(11), 3096–3127. (196)	En esta revisión se discuten los desarrollos más recientes en el campo de los aglutinantes verdes para baterías y supercondensadores, y se explica cómo podrían disminuir el costo y el impacto ambiental y, al mismo tiempo, mejorar el rendimiento de los dispositivos de energía electroquímica.
Steg, L., Perlaviciute, G. y van der Werff, E. (2015). Understanding the human dimensions of a sustainable energy transition. <i>Frontiers in Psychology</i> , 6, 805. (187)	En este artículo, se revisa la contribución de la psicología social y ambiental en la comprensión y promoción del comportamiento energético sostenible por parte de individuos y hogares a partir de cuatro aspectos clave: identificación y medición de los comportamientos energéticos a cambiar; el estudio de los principales factores que subyacen al comportamiento energético; el diseño y prueba de intervenciones para cambiar el comportamiento energético a fin de reducir las emisiones de CO ₂ de los hogares, y estudiar los factores subyacentes a la aceptabilidad pública de las intervenciones y los cambios en los sistemas energéticos.

Fuente: elaboración propia.

En el análisis de los documentos se incluyen, además, las cincuenta palabras clave más frecuentes, a través de las cuales los autores identifican sus trabajos frente a la comunidad académica. Estas se representan en la figura 6. Sumado a las

palabras relacionadas con sostenibilidad y transición energética, se destacan enfoques en aspectos técnicos (e.g., *Smart grids, hydrogen*), políticos y sociales (e.g., *sociotechnical transitions, sociology, policy, governance*).



Figura 6. *Palabras clave de los autores de las investigaciones*

Fuente: elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix.

Estructura conceptual

Esta estructura conceptual se establece a partir de la red de co-ocurrencias del mapa temático y de su evolución, generados a partir de las palabras clave definidas por los autores de los documentos analizados. La figura 7 muestra la clasificación de las palabras clave en cinco grupos de acuerdo con su cercanía y frecuencia de aparición en los documentos, lo cual se ve reflejado en la fuerza de los

enlaces y en el tamaño del nodo. Las dos agrupaciones más representativas son las señaladas con color rojo y azul; en el primer caso, está liderada por la palabra *transición energética*, que se relaciona principalmente con energía renovable, sostenibilidad y transición energética sostenible; en el segundo caso, la palabra *desarrollo sostenible* está acompañada por política energética, cambio climático y transición sostenible, entre otras.

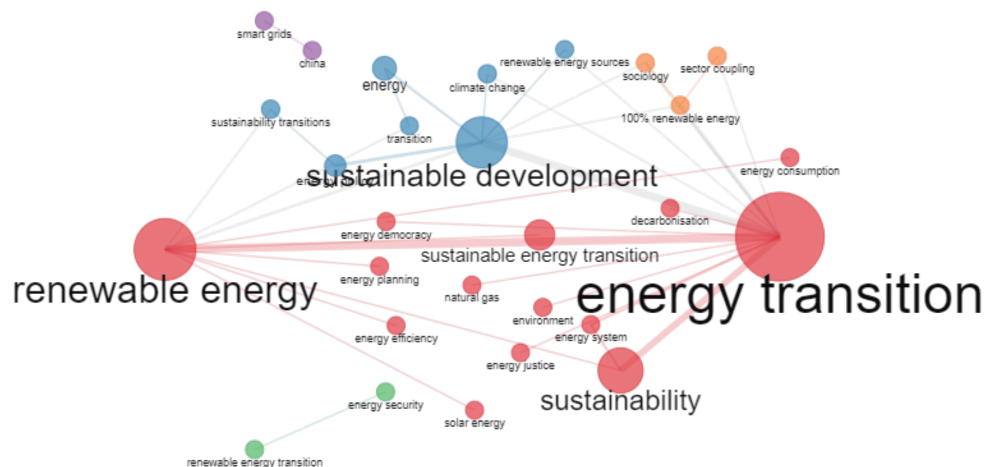


Figura 7. Red de co-ocurrencia de palabras clave

Fuente: elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix.

Mapa temático

Para obtener los diferentes temas dentro del área, se utiliza el mapa temático generado en Bibliometrix® a partir de un algoritmo de agrupamiento de la red de palabras clave, que se presenta en la figura 8. El mapa se organiza en cuatro categorías de acuerdo con el grado de desarrollo y relevancia, y etiqueta a cada nodo del grupo con la palabra clave de mayor peso (frecuencia). Los *temas motores* se consideran temas desarrollados e importantes para la construcción del campo científico. En este caso, se refieren al cambio climático y a las fuentes de energía renovables; los *temas periféricos* son temas desarrollados internamente, pero que se

encuentran aislados del resto; los *temas emergentes* son aquellos que están poco desarrollados, con una evolución al alza o que ya están siendo menos representativos, como lo son justicia energética y metas de desarrollo sostenible, y los *temas básicos y transversales*, que son importantes para el desarrollo del campo científico y estables, pero con poco desarrollo, y es precisamente en este cuadrante en donde se concentra la mayor cantidad de temas. Es importante mencionar que los temas motores y los temas básicos y transversales son considerados como los que favorecen el desarrollo y consolidación de un campo de conocimiento o una revista por su densidad y centralidad (López-Robles *et al.*, 2019).

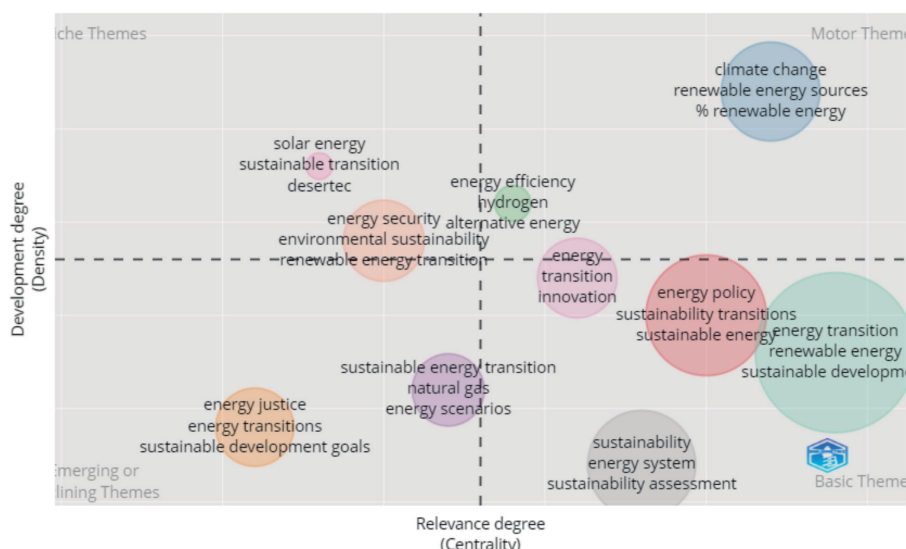


Figura 8. Red de co-ocurrencia de palabras clave

Fuente: elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix.

Evolución temática

Para determinar la evolución temática, se establecen dos puntos de corte que corresponden a los años 2010 y 2015. El 2010 se escoge por ser el año en el que empiezan a publicarse artículos en el área con mayor frecuencia, y 2015 por considerarse el año en el que la transición energética se potencializa como resultado de la firma del Acuerdo de París. Los resultados de esta evolución se presentan en la figura 9, en la cual se destaca un periodo del 2000-2010 como preparación

desde el contexto académico para la transición energética, abordando el tema de política energética; de 2011 a 2015, se establece como un periodo de diversificación temática, incluyendo energía, cambio climático, transición energética, energía renovable y transición energética sostenible; por último, en el periodo 2016-2022 se consolidan, con mayor número de publicaciones, los temas de desarrollo sostenible y transición energética, y aparece el énfasis en la seguridad energética como una preocupación geopolítica.

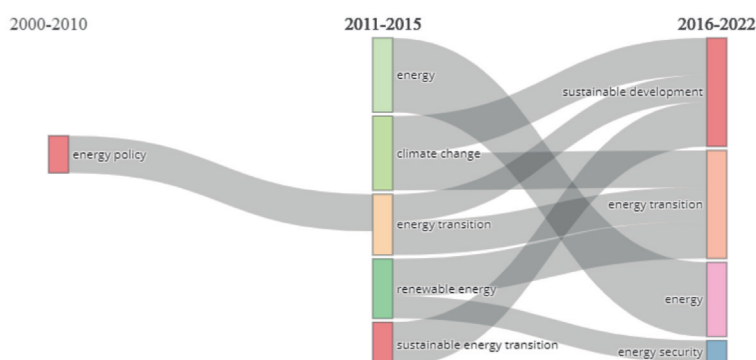


Figura 9. Mapa de evolución temática

Fuente: elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix.

Estructura social del área (redes de colaboración)

La estructura social muestra interrelaciones entre autores del campo, lo cual permite identificar las

redes científicas basadas en colaboración. La figura 10 presenta los resultados obtenidos, en donde se observa la independencia en los trabajos.

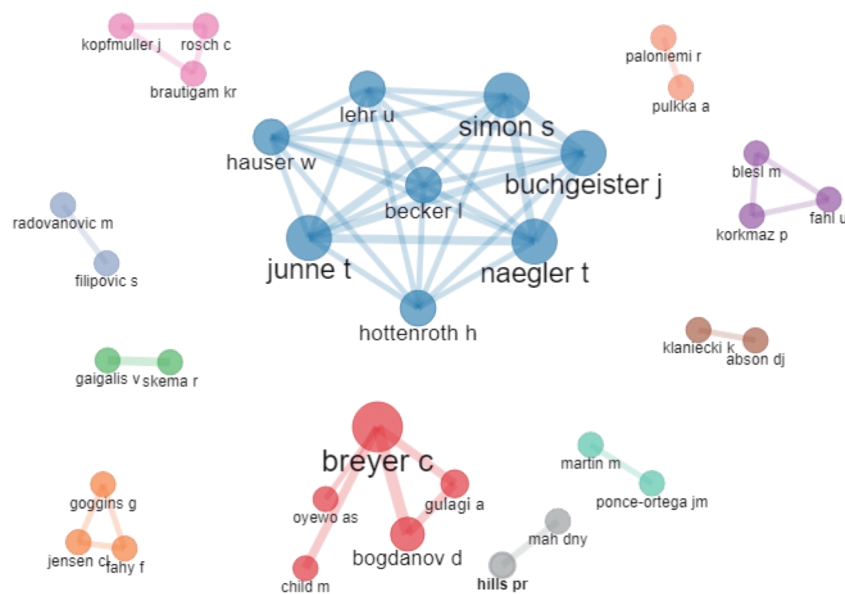


Figura 10. Red de co-autorías

Fuente: Elaboración propia mediante el uso de Bibliometrix

El clúster más representativo, con respecto al número de autores vinculados y a las dimensiones de los nodos, es el conformado por J. Buchgeister, L. Becker, T. Junne, S. Simon, C. Sutardhio, W. Hauser, H. Hottenroth y U. Lehr, quienes reportan a Alemania como el país de afiliación y estudian la transición energética desde una perspectiva multidimensional. En el otro clúster representativo, se destaca al autor Breyer C., quien es profesor de economía solar en la Universidad LUT, Finlandia, y define su mayor experiencia en la investigación integrada de las características tecnológicas y económicas de los sistemas de energía renovable, especializándose en el modelado de sistemas energéticos para energía 100 % renovable, a escala local y global.

Perspectivas analíticas de la relación sostenibilidad – transición energética

Este apartado reúne los resultados de la reflexión del fenómeno de la sostenibilidad de la transición energética desde una perspectiva académica y geopolítica.

Perspectivas de investigación

La investigación relacionada con la transición energética está enfocada en la innovación de tecnologías para el aprovechamiento de recursos renovables, respetando el medioambiente y siendo

económicamente rentables y sostenibles en el mediano y largo plazo, pero las múltiples implicaciones para la humanidad obligan a desarrollar investigación en los ámbitos culturales, sociológicos, políticos y económicos de los países a nivel global. En este marco, se presentan las direcciones de investigación sugeridas por los artículos publicados en los últimos cinco años y que registran el mayor número de citaciones.

A nivel técnico, se vienen desarrollando proyectos de investigación que propenden por el mejor y más limpio aprovechamiento de los recursos renovables, limitando el daño ambiental, disminuyendo la huella de carbono y la producción de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, existen trabajos en relación con aglutinantes verdes para baterías, supercondensadores con el procesamiento acuoso de baterías y condensadores eléctricos de doble capa (EDLC, del inglés *Electronic Double-Layer Capacitor*), que permitan la producción de baterías más eficientes y ecológicas, mejorando el rendimiento de los dispositivos de energía electroquímica y disminuyendo costos con un menor impacto ambiental (Bresser *et al.*, 2018).

En este mismo sentido, se reporta investigación dirigida a la síntesis orgánica de productos químicos de compuestos C6-furánicos derivados de biomasa a partir de su procesamiento sostenible (Kuchеров *et al.*, 2018), enfocando esfuerzos en el análisis de las reacciones químicas importantes para el desarrollo de aplicaciones prácticas para la fabricación de productos furánicos bioderivados, eliminación del oxígeno extra y para la generación de combustibles eficientes.

Una aplicación específica se dirige al sector transporte debido a su incidencia en el consumo de energía a nivel global y por ser una de las fuentes de gases contaminantes más altas, ya que en su gran mayoría utilizan fuentes de energía derivadas del petróleo. Dicho ámbito se ha planteado como un sector de interés, siendo candidato de primera línea para migrar a energías renovables y limpias. El transporte eléctrico trae mayores beneficios a nivel ambiental, en la inversión y retribución económica y en la sostenibilidad a largo plazo, por lo que se plantea que el 72,3 % de la energía de transporte consumida en la Unión Europea podría

electrificarse, pasando de combustibles fósiles a combustibles sintéticos, biocombustibles e hidrógeno (Dominković *et al.*, 2018).

Otro punto de investigación, en relación con la transición energética, es el análisis de la incidencia y los efectos sociales, políticos y económicos en los diferentes actores que participan en el proceso; para Lockwood *et al.* (2016), se debe entender la diversidad en los resultados de la transición en términos de desarrollo y cambio institucional, los roles de las instituciones políticas, las agencias reguladoras, la creación de compromisos políticamente coherentes con la transición, el poder y la titularidad, las variedades de capitalismo, los efectos y tipos de cambio institucional gradual y el impacto que tienen estos en la economía y en el comportamiento social de los diferentes países.

Siguiendo esta línea temática, el estudio de Hess (2018) analiza la diversidad de puntos de vista, posiciones político-económicas y las posibles coaliciones relacionadas con la transición energética, sus dinámicas y cómo interactúan e inciden en la definición de criterios y posiciones a través del tiempo. Asimismo, destaca la perspectiva de coaliciones múltiples, cuyos objetivos están orientados a una transición social y técnica desde una perspectiva más amplia y universal, enfocada en el riesgo de extinción y en la modificación de prácticas culturales, sociales y políticas que generan desigualdades sociales e inequidad.

Para Kuzemko *et al.* (2020), la pandemia por el COVID-19 ha generado un cambio en la visión global de la realidad humana, con un evidente impacto en la utilización de energía, la evolución en las prioridades relacionadas con la comunicación, el trabajo, el transporte y la salud, modificando los perfiles de consumo de los recursos y, por supuesto, influyendo en el proceso de la transición energética global, particularmente en el periodo de recuperación económica posterior al confinamiento y superación de la pandemia. Asimismo, indica que la discusión global se debería centrar en cuatro temas clave que dan forma a las políticas de las transiciones energéticas sostenibles: primero, las temporalidades a corto, mediano y largo plazo del cambio del sistema energético; segundo, las prácticas de inversión en tecnologías limpias y

desinversión de combustibles fósiles; tercero, las estructuras y escalas de gobernanza energética, y cuarto, las prácticas sociales relacionadas con la movilidad, el trabajo y la salud pública.

La investigación futura también puede examinar cómo y bajo qué condiciones los valores y la confianza afectan, particularmente, las consecuencias percibidas y la aceptabilidad de los cambios en el sistema y las políticas energéticas. Además, se necesita una investigación más sistemática sobre los factores que influyen en las percepciones de la distribución de costos y beneficios de las políticas y los cambios en el sistema energético, y sobre las formas de mejorar la equidad distributiva al reducir los costos y riesgos (locales) y mejorar los beneficios de las transiciones energéticas (Steg *et al.*, 2015).

Perspectiva política y económica

El sector minero-energético enfrenta un proceso de transición energética establecido en el marco del Acuerdo de París (UNFCCC, 2015), el cual fue acelerado por dos eventos específicos a nivel global. El primero de ellos, la pandemia del COVID-19, declarada el 30 de enero de 2020 (OMS, 2020), la cual condujo a una serie de cuarentenas que llevaron a una menor actividad empresarial y productiva y, por tanto, a una caída en los precios internacionales del petróleo producto de la ley de oferta y demanda. El segundo, la guerra de precios que en abril del mismo periodo sostuvo Arabia Saudita con Rusia, como consecuencia de la retirada de este último del acuerdo con la Organización de los Países Exportadores de Petróleo (OPEC+), evento que agudizó la caída de los precios de esta materia prima, generando un impacto significativo en el contexto geopolítico, especialmente en las finanzas de los países exportadores de productos minero-energéticos (Vilisov, 2020). Esta situación, tal como lo expresó el asesor del príncipe saudí Mohammed bin Salman, indica que “el año 2030 llegó en 2020”, lo que presiona la agenda de los países para disminuir la dependencia del carbón, el petróleo y el gas natural (The Economist, 2020, párr. 5), y que amerita un análisis a nivel geopolítico y geoeconómico, con el respaldo de los informes de las instituciones y gremios asociados a este sector de la economía, tales como la Agencia

Internacional de Energía, El *outlook* de *British Petroleum*, la Agencia Nacional de Hidrocarburos, la Unidad de Planeación Minero Energética y el Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

A nivel geopolítico, el concepto de transición energética, que es considerado un elemento de lucha de poderes entre los países ante la vulnerabilidad de estos en un tema tan estratégico como el reemplazo progresivo de los combustibles fósiles por energías más limpias que reduzcan los gases de efecto invernadero que producen el calentamiento global, ha sido la esencia del trabajo de muchos expertos y asesores globales (Overland *et al.*, 2019). Este tema es contradictorio, ya que mientras los países occidentales desestiman el uso del carbón como fuente de energía primaria de proyectos industriales (Porfiriev, 2016), países asiáticos como India y China incrementan el consumo del mineral (IEA, 2021b), principalmente por decisiones económicas respaldadas en su bajo precio comparado con otras opciones en el mercado y en aspectos de seguridad energética, debido a la gran oferta del mineral. A pesar de ello, estos gobiernos son conscientes del impacto ambiental que esta situación conlleva, razón por la cual trabajan de manera paralela para incentivar el uso de energías renovables (Makarov *et al.*, 2019).

Por otra parte, la transición energética genera conflictos entre los países. Algunos ejemplos se encuentran en Arabia Saudita, en el conflicto en Yemen contra Irán, en donde el respaldo de las exportaciones de petróleo fue fundamental para las fuerzas militares saudíes. En el caso de Rusia, los conflictos en los que ha estado inmerso se correlacionan con la variación en los precios del petróleo y del gas, tal como se ilustra en la figura 11. Asimismo, países como Noruega, Arabia Saudita y Venezuela han apoyado con suministro de petróleo a países más pobres, como una muestra de alianza estratégica y de apoyo mutuo (Overland *et al.*, 2019). En la actualidad, se libra una nueva batalla desde el 24 de febrero de 2022, en la que Rusia invade a Ucrania por diferentes argumentos, uno de ellos de carácter energético, afectando a la Unión Europea en el suministro del gas ruso e incrementando los costos de la energía eléctrica en los países que la conforman (BBC, 2022).

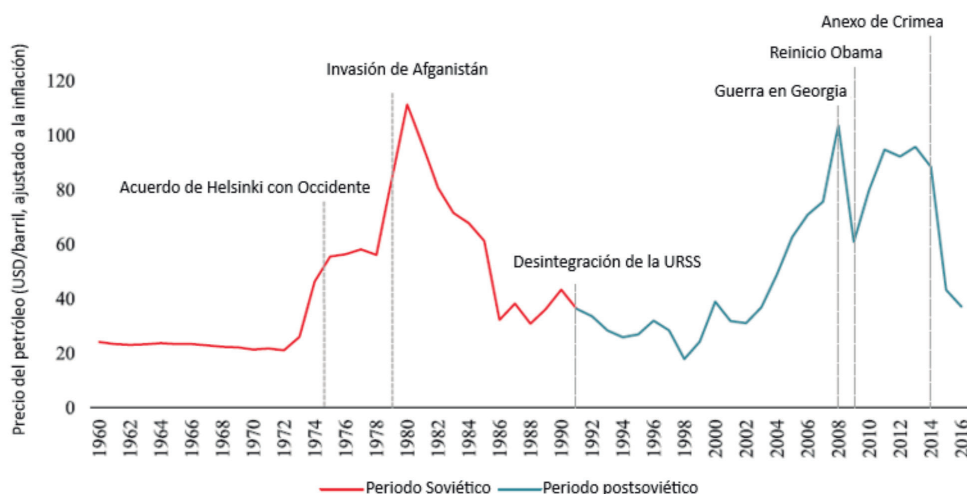


Figura 11. *El precio del petróleo y la participación Soviética/Rusa en los conflictos armados internacionales*

Fuente: Overland *et al.* (2019). Traducción de los autores.

En el caso de Colombia, el consumo de petróleo puede extenderse al menos veinte años más, mientras que países más desarrollados lograrían grandes avances para el año 2030; asimismo, el pico en la demanda de petróleo a nivel global se alcanzaría en el año 2029, y en Colombia, en el año 2043; en el caso del gas natural, los picos a nivel mundial y nacional coincidirían en el año 2037 (Martínez *et al.*, 2021).

A nivel geoeconómico, la transición energética es un reto que los países deben afrontar para cumplir con los diferentes acuerdos a nivel global sin afectar la seguridad energética y social de cada uno de los Estados que representan. En este sentido, el 2020 será recordado como el año en el que los países de Medio Oriente vieron disminuidos significativamente los ingresos al punto de recortar el gasto público e inversiones no necesarias. En el caso de Argelia, la reducción del gasto público alcanzó el 50 %, mientras que Irán y Kuwait esperan valores superiores a los sesenta dólares americanos por barril para mejorar las finanzas públicas (The Economist, 2020).

Las crisis y conflictos se han convertido en el mejor catalizador de los precios internacionales del petróleo (Diesen y Lukin, 2020), a pesar de que otros actores en el proceso consideran que la

especulación es el mejor instrumento para la fijación de dichos precios (Kaufmann y Ullman, 2009). De igual manera, a nivel económico, Estados Unidos sigue jugando un papel cada vez más relevante, especialmente por ser el mayor consumidor, y a la vez productor, de hidrocarburos, por encima de Rusia y Arabia Saudita, gracias a la producción de petróleo de esquistos en proyectos no convencionales (British Petroleum, 2021). En el caso colombiano, el Gobierno nacional aprobó, el 30 de marzo de 2022, el CONPES 4075, que estimula la transición energética a través del fortalecimiento de fuentes no convencionales de energía renovable, las cuales permiten alcanzar la meta de reducción del 51 % de las emisiones de gases efecto invernadero en el año 2030 y cero emisiones en el 2050 (DNP, 2022).

Finalmente, es importante mencionar que la transición energética enfrenta siete retos a nivel político, económico y social en los que se destaca: primero, la descarbonización, en la que se pretenden sustituir los combustibles fósiles por fuentes de energía renovable; segundo, la disminución de costos, en la medida en que los precios de la energía eléctrica sean competitivos en comparación con el mercado actual; tercero, la descentralización, debido a que las nuevas fuentes de energía

renovable pueden darse a pequeña escala como un sistema de autoproducción; cuarto, la flexibilidad, referida a la integración de las diferentes tecnologías solar, eólica, biomasa, mareomotriz en las que se garantice la continuidad del suministro eléctrico y se evite la interrupción en las actividades cotidianas; quinto, el almacenamiento de energía, el cual permite la captura de la energía disponible y entregarla en el momento en que sea requerida por los usuarios; sexto, la digitalización, en donde se propone el desarrollo de nuevas tecnologías de la información como el internet de las cosas, el *big data*, y finalmente, el empoderamiento del consumidor, a través de una participación más activa que promueva la transición energética a partir de una filosofía de desarrollo sostenible (Bejerano y Jové-Llopis, 2019).

Conclusiones y discusiones

La revisión bibliográfica de la sostenibilidad y la transición energética, mediante el análisis bibliométrico, evidencia una tasa de crecimiento anual del 13,43 % en el número de artículos publicados durante el periodo 2000-2022, lo que puede interpretarse como un indicador de la importancia de este tema, no solo para la academia, sino para la sociedad en general. Se destaca además que, el 62 % de los documentos registrados proceden de autores de 10 países, siendo Alemania, Reino Unido, China y Estados Unidos los más relevantes.

Además de estos datos estadísticos, es importante mencionar la evolución temática que se evidencia en el área, la cual, entre los años 2000-2010, tuvo un énfasis en la política energética, que constituye el antecedente de los temas representativos del periodo 2011-2015, que incluyen energía, cambio climático, transición energética, energía renovable y transición energética sostenible. Finalmente, en el periodo 2016-2022 aparece un enfoque hacia la seguridad energética como una preocupación geopolítica.

Desde la perspectiva investigativa, y acorde con la estructura conceptual del análisis bibliométrico y los enfoques de los artículos analizados, se puede inferir que los autores están trabajando el tema

de transición energética bajo diferentes líneas y miradas. Se concentra el estudio en tres grandes perspectivas: la primera, orientada a la innovación de tecnologías para el mejor aprovechamiento de los recursos renovables, la sostenibilidad y la transición energética; la segunda, relacionada con el efecto que trae consigo la transición a la comunidad, sus comportamientos y costumbres, y la tercera, desde lo técnico, con el desarrollo de proyectos de investigación que propenden por el aprovechamiento de los recursos renovables.

Desde la perspectiva política y económica, se destaca que el proceso de transición energética en el mundo presentó una aceleración como consecuencia de la pandemia del COVID-19 y la guerra de precios del petróleo entre Arabia Saudita y Rusia en 2020. De igual manera, con base en los reportes sectoriales, se destacan aspectos relevantes a nivel geopolítico y geoeconómico. Desde el ámbito geopolítico, la transición energética representa uno de los grandes poderes entre los países, al punto de establecer una correlación entre el precio del petróleo y los diversos incidentes en los que ha estado involucrado Rusia, generando una fluctuación en los precios a partir del conflicto armado; asimismo, a nivel geoeconómico, la transición energética cumple un rol estratégico, debido a la pretensión que tienen los países de reemplazar los combustibles fósiles por energías limpias, sin perder el equilibrio económico reflejado a través del gasto público.

Por otra parte, es importante resaltar que la transición energética enfrenta desafíos a nivel político, económico y social. En este sentido, se trata de un fenómeno global que afecta las costumbres de los individuos, las maneras de producción, el consumo y el desarrollo de los diferentes sectores económicos de todas las naciones, con inclusión universal de todos los seres humanos como actores del proceso. Aunque las brechas económicas y sociales, y las dificultades de equidad e igualdad, se hacen más notorias en este proceso, existe la expectativa de alcanzar un equilibrio en la generación de energía y en la distribución con equidad, solidaridad y universalidad, buscando la sostenibilidad a largo plazo y reconociendo la finitud de los recursos naturales.

Por lo anterior, para alcanzar los objetivos propuestos desde el Acuerdo de París, es necesario trabajar desde cuatro ejes fundamentales: el primero, desde la parte técnica, en la que, a nivel industrial y domiciliario, de manera progresiva, se trabaje en el cambio de maquinaria que reemplace el uso de combustibles fósiles por equipos que tengan como principio de funcionamiento las energías renovables; el segundo, la integración y consenso de los gobiernos a través de una misma idea, en la que las metas de transición energética sean respaldadas por cada una de las partes sin excepción, para lo cual se requiere del liderazgo de los países considerados como potencia mundial; el tercero, la fortaleza de las instituciones como las Naciones Unidas, la OCDE, entre otras, para acompañar este proceso, apoyar el cambio e impulsar nuevos proyectos que fomenten la aplicación de energías alternativas, finalmente, el cuarto, relacionado con la conciencia ambiental, en donde cada ciudadano sea responsable del impacto ambiental de sus acciones.

En este sentido, determinar las combinaciones energéticas adecuadas para el futuro requiere de decisiones éticas, conscientes y responsables frente a los impactos de largo alcance, así como sobre los profundos impactos en la economía, el medioambiente y la vida de las personas. En consecuencia, los escenarios energéticos futuros asumen el papel de contratos sociales de largo plazo, que deben basarse en principios de justicia, solidaridad y equidad (Child *et al.*, 2018).

En las condiciones actuales, es necesario acudir al equilibrio de la matriz para apoyar un proceso de transición energética progresivo, en la que todas las fuentes de energía, tanto renovables como no renovables, tengan participación del suministro eléctrico global, con el objetivo de garantizar la continuidad del suministro eléctrico en cada uno de los lugares de la tierra, la eficiencia energética y la sostenibilidad financiera de los países bajo un concepto de desarrollo sostenible y de migración hacia fuentes de energías limpias.

Referencias

- ANH. (2022). *Datos y estadísticas: producción diaria de petróleo*. Agencia Nacional de Hidrocarburos. <https://www.anh.gov.co/es/operaciones-y-regalías/datos-y-estadísticas/>
- Asif, M. y Muneer, T. (2007). Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1388–1413. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2005.12.004>
- Banco Mundial. (2020). *Energía*. Panorama General. <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#1>
- BBC. (2022). Rusia invade Ucrania: cómo fue el inicio de la operación militar ordenada por Putin. *British Broadcasting Corporation*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-60514738>
- Bejerano, J. B. y Jové-Llopis, E. (2019). Mercados eléctricos ante la transición energética: diseño y retos de futuro. *Presupuesto y Gasto Público*, 97, 177–192.
- Bresser, D., Buchholz, D., Moretti, A., Varzi, A. y Passerini, S. (2018). Alternative binders for sustainable electrochemical energy storage – the transition to aqueous electrode processing and bio-derived polymers. *Energy & Environmental Science*, 11(11), 3096–3127. <https://doi.org/10.1039/C8EE00640G>
- British Petroleum. (2021). Statistical Review of World Energy. *BP Energy Outlook 2021*, 70, 1–72. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future—Call for Action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291–294. <https://doi.org/10.1017/S0376892900016805>
- Bustamante, P., García, R., Maya, O., Rodríguez, J. F. y Aguilar, T. (2021). Minería de carbón en Colombia. *Asociación Colombiana de Minería*, 1–49. <https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24311177/Presentacion-Carbon.pdf>
- CEPAL. (2022). Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2021. *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe*. (LC/PUB.2021/20-P), Santiago, 1–161.
- Chadegani, A. A., Salehi, H., Yunus, M. M., Farhadi, H., Fooladi, M., Farhadi, M. y Ebrahim, N. A. (2013). A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. *Asian Social Science*, 9(5), p18. <https://doi.org/10.5539/ASS.V9N5P18>

- Child, M., Koskinen, O., Linnanen, L. y Breyer, C. (2018). Sustainability guardrails for energy scenarios of the global energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 321–334. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.079>
- Choudhary, K. y Sangwan, K. S. (2022). Green supply chain management pressures, practices and performance: a critical literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 29(5), 1393–1428. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2021-0242>
- DANE. (2022). *PIB a precios corrientes 2021*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Diesen, G. y Lukin, A. (2020). *Russia in a Changing World*. Palgrave Macmillan.
- DNP. (2022). Aprobado CONPES de Transición Energética que consolidará el proceso hacia un desarrollo y crecimiento económico sostenible. *Dirección Nacional de Planeación*.
- Dominković, D. F., Bačeković, I., Pedersen, A. S. y Krajačić, G. (2018). The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1823–1838. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.06.117>
- El Baz, J. y Iddik, S. (2020). Green supply chain management and organizational culture: a bibliometric analysis based on Scopus data (2001–2020). *International Journal of Organizational Analysis*, 30(1), 156–179. <https://doi.org/10.1108/IJOA-07-2020-2307>
- Elkington, J. y Rowlands, I. H. (1999). Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. *Alternatives Journal*, 25(4).
- Expansión. (2022). *Colombia: generación de electricidad*. Datos Macro - Expansión.Com.
- Giménez, P. (2017). La Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible : especial referencia al Objetivo 7 en la Unión Europea. *Universidad Internacional de La Rioja*, 1–43.
- Henckens, M. L. C. M. (2022). The Energy Transition and Energy Equity: A Compatible Combination? *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4781, 14(8), 4781. <https://doi.org/10.3390/SU14084781>
- Hess, D. J. (2018). Energy democracy and social movements: A multi-coalition perspective on the politics of sustainability transitions. *Energy Research & Social Science*, 40, 177–189. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2018.01.003>
- IEA. (2021a). *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector*. www.iea.org/t&c/
- IEA. (2021b). *World Energy Outlook 2021*. International Energy Agency. www.iea.org/weo
- Jabareen, Y. (2006). A New Conceptual Framework for Sustainable Development. *Environment, Development and Sustainability* 2006 10:2, 10(2), 179–192. <https://doi.org/10.1007/S10668-006-9058-Z>
- Jacobus, A. (2006). Sustainable development – historical roots of the concept. *Environmental Sciences*, 36(2), 83–96. <https://doi.org/10.1080/15693430600688831>
- Kaufmann, R. K. y Ullman, B. (2009). Oil prices, speculation, and fundamentals: Interpreting causal relations among spot and futures prices. *Energy Economics*, 31(4), 550–558. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.01.013>
- Kern, F. y Smith, A. (2008). Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands. *Energy Policy*, 36(11), 4093–4103. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2008.06.018>
- Kuchеров, F. A., Romashov, L. V., Galkin, K. I. y Ananikov, V. P. (2018). Chemical Transformations of Biomass-Derived C6-Furanic Platform Chemicals for Sustainable Energy Research, Materials Science, and Synthetic Building Blocks. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 6(7), 8064–8092. https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.8B00971/ASSET/IMAGES/MEDIUM/SC-2018-00971U_0067.GIF
- Kuzemko, C., Bradshaw, M., Bridge, G., Goldthau, A., Jewell, J., Overland, I., Scholten, D., Van de Graaf, T. y Westphal, K. (2020). Covid-19 and the politics of sustainable energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 68, 101685. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2020.101685>
- Lockwood, M., Kuzemko, C., Mitchell, C. y Hoggett, R. (2016). Historical institutionalism and the politics of sustainable energy transitions: A research agenda: [Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0263774X16660561](http://Dx.Doi.Org/10.1177/0263774X16660561), 35(2), 312–333. <https://doi.org/10.1177/0263774X16660561>
- López-Robles, J., Guallar, J., Otegi-Olaso, J., Gamboa-Rosales, N. (2019). El profesional de la información (EPI): Bibliometric and thematic analysis (2006–2017). *El Profesional de La Información*, 28(4). <https://doi.org/10.3145/epi.2019.jul.17>
- Maditati, D. R., Munim, Z. H., Schramm, H. y Kummer, S. (2018). A review of green supply chain management: From bibliometric analysis to a conceptual framework and future research directions. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.004>
- Makarov, A. A., Mitrova, T. A. y Kulagin, V. A. (2019). Global and Russian Energy Outlook 2019. *The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences The Energy Centre, Moscow School of Management SKOLKOVO*, 1–211.

- Martínez, A., Delgado, M., Cruz, N., Gallego, A. y Hernández, D. (2021). Los retos del Grupo ecopetrol y del país frente a la transición energética. *Fedesarrollo*, 1–55.
- Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Merli, R., Preziosi, M. y Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703–722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Transición Energética: Un legado para el presente y el futuro de Colombia* (La imprenta Editores). <https://www.conte.org.co/libro-transicion-energetica-un-legado-para-el-presente-y-el-futuro-de-colombia/>
- Neacșa, A., Panait, M., Mureșan, J. D., Voica, M. C. y Manta, O. (2022). The Energy Transition between Desideratum and Challenge: Are Cogeneration and Trigeneration the Best Solution? *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 3039, 19(5), 3039. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19053039>
- OMS. (2020). *Declaración sobre la segunda reunión del Comité de Emergencias del Reglamento Sanitario Internacional (2005) acerca del brote del nuevo coronavirus (2019-nCoV)*. Organización Mundial de La Salud. [https://www.who.int/es/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/es/news/item/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov))
- Overland, I., Bazilian, M., Ilimbek Uulu, T., Vakulchuk, R. y Westphal, K. (2019). The GeGaLo index: Geopolitical gains and losses after energy transition. *Energy Strategy Reviews*, 26, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100406>
- Porfiriev, B. N. (2016). Tendencias “verdes” en el sistema financiero mundial. *Economía Mundial y Relaciones Internacionales*, 60(9), 5–16.
- Saidi, K. y Omri, A. (2020). The impact of renewable energy on carbon emissions and economic growth in 15 major renewable energy-consuming countries. *Environmental Research*, 186, 109567. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109567>
- Seyfang, G. y Haxeltine, A. (2012). Growing Grassroots Innovations: Exploring the Role of Community-Based Initiatives in Governing Sustainable Energy Transitions. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 30(3), 381–400. <https://doi.org/10.1068/C10222>
- Steg, L., Perlaviciute, G. y van der Werff, E. (2015). Understanding the human dimensions of a sustainable energy transition. *Frontiers in Psychology*, 6, 805. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2015.00805/BIBTEX>
- Stern, D. I. (2018). Energy-GDP Relationship BT - The New Palgrave Dictionary of Economics. *Macmillan Publishers Ltd*, 3697–3714. https://doi.org/10.1057/978-1-349-95189-5_3015
- Suarez, M. F., Ramirez, R. H., Martínez, J., Leyva, S., Viana, R. y Sandoval, W. (2019). Guía para la incorporación de la dimensión minero energética en los planes de ordenamiento departamental. *Unidad de Planeación Minero Energética - UPME*, 1–141.
- The Economist. (2020). *The end of the Arab world's oil age is nigh*. The Economist. <https://www.economist.com/middle-east-and-africa/2020/07/18/the-end-of-the-arab-worlds-oil-age-is-nigh>
- UNFCCC. (2015). The París Agreement. *United Nations Climate Change*, 1–29. <https://doi.org/10.16925/co.v25i111.1874>
- United Nations. (2015). The París Agreement. *Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* UNFCCC. https://www.unaoc.org/images/mou_iom.pdf
- UPME. (2019). Plan Energetico Nacional 2020-2050. *Unidad de Planeación Minero Energética - UPME*, 1–86. <https://www1.upme.gov.co/>
- Vilisov, M. (2020). La transición energética y su impacto en la política estatal. *Universidad Estatal M. V. Lomónosov de Moscú, Rusia*, 1–16.
- Wilson, C. y Grubler, A. (2011). Lessons from the history of technological change for clean energy scenarios and policies. *Natural Resources Forum*, 35(3), 165–184. <https://doi.org/10.1111/J.1477-8947.2011.01386.X>
- World Bank. (2021). Gross domestic product 2020. *World Development Indicators Database*, 1–4.
- World Economic Forum. (2022). *Fostering Effective Energy Transition 2022*. <https://www.weforum.org/reports/fostering-effective-energy-transition-2022/>