

# LA EDUCACIÓN SUPERIOR COMO IMPULSOR PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA: ESTRATEGIAS A 2034 PARA FORTALECER CAPACIDADES EN ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

HIGHER EDUCATION AS A DRIVER OF THE ENERGY TRANSITION:  
STRATEGIES FOR STRENGTHENING RENEWABLE ENERGY CAPACITIES IN  
COLOMBIA BY 2034

Zulma Janeth Crespo Marín<sup>1</sup>, Alexis Aguilera Alvear<sup>2</sup>, Irene Vélez Torres<sup>3</sup>

Recibido: 15/8/2025 y Aceptado: 2/12/2025



31

---

1.- zulmajcrespomarin@gmail.com  
2.- alexis.andres.aguilera@gmail.com  
3.- irenevt@gmail.com



## Resumen

Esta investigación analiza el sistema de educación superior en el área de las energías renovables. A nivel internacional, los resultados indican que hay una prevalencia de los programas educativos orientados a los combustibles fósiles sobre los programas de energías renovables. Asimismo, hay una mayor cantidad de programas de nivel de maestría, y una escasez de programas técnicos y de nivel doctoral. Por otro lado, existe una hegemonía técnica y tecnológica en el desarrollo de los programas, por encima de las ciencias administrativas y sociales. Se identificó a Alemania, Estados Unidos y Reino Unido como países referentes en formación e investigación en energías renovables. En Colombia predomina la oferta académica orientada a energías fósiles, concentrada principalmente en Bogotá, Atlántico y Santander. La investigación y la innovación en transición energética presentan debilidades y se enfocan, al igual que los programas académicos, en los campos de ingeniería y tecnología.

Finalmente, el artículo propone estrategias y acciones para que las instituciones de educación superior en Colombia se conviertan, al 2034, en impulsores de la transición energética.

**PALABRAS CLAVE:** Transición energética, Energías renovables, Educación superior, Programas académicos, investigación.

## Abstract

*This his research analyzes the higher education system in the field of renewable energy. Internationally, the results indicate that educational programs focused on fossil fuels prevail over renewable energy programs; there are more master's level programs and a shortage of technical and doctoral level programs; and there is a technical and technological hegemony in the development of programs, above administrative and social sciences. Germany, the United States, and the United Kingdom were identified as leading countries in renewable energy training and research. In Colombia, academic programs are predominantly focused on fossil energies, with most of the educational offer concentrated in Bogotá, Atlántico, and Santander. Research and innovation in energy transition show weaknesses and, like academic programs, are mainly oriented toward engineering and technology fields.*

*Finally, strategies and actions are proposed so that higher education institutions in Colombia become drivers of energy transition by 2034.*

**KEYWORDS:** Energy transition, Renewable energy, Higher education, Undergraduate programs, Graduate programs, research.

## 1. INTRODUCCIÓN

En un contexto de crisis climática ocasionada principalmente por la quema de combustibles fósiles, surge la necesidad de una transición energética como respuesta de mitigación y adaptación al cambio climático. Por el lado de la oferta, se busca sustituir las fuentes fósiles por renovables y por el lado de la demanda, cambiar los patrones de consumo, por ejemplo, con la electrificación del transporte y con una mayor eficiencia energética. El Acuerdo de París (2015) y el Pacto de Glasgow (COP 26) instan a limitar el aumento de la temperatura a 1.5 °C, por ende, ampliar la energía limpia y reforzar la eficiencia energética para alcanzar cero emisiones netas a mediados de siglo. Para lograrlo, se requiere fortalecer capacidades en energías renovables (ER) y eficiencia, siendo la educación un elemento clave en este proceso.

34

Sin embargo, estudios globales evidencian que, pese a la emergencia climática y la necesidad de conocimientos para la transición energética, persiste un desajuste entre la demanda del sector y la oferta educativa. (Lucas et al., 2018).

Particularmente en Latinoamérica, fortalecer la educación superior resulta esencial para que la transición energética no se limite a la transferencia tecnológica desde países desarrollados, sino que impulse el desarrollo científico, productivo y económico regional.

Este trabajo analiza el estado y las condiciones del sistema de educación superior en relación con la transición energética, con énfasis en la generación de ER a nivel global y en Colombia. Asimismo, propone estrategias para que el país avance de forma efectiva en los próximos diez años. Tras esta introducción, se presenta el marco conceptual, la metodología —basada en Vigilancia e Inteligencia Estratégica y en benchmarking en educación superior— y los resultados, organizados en: i) estado de la educación superior en ER a nivel global; ii) estado de la educación superior en el campo de las ER en Colombia, iii) consulta a expertos en educación, transición energética y ER; y vi) estrategias y acciones para fortalecer capacidades en el sector. Finalmente, se presentan las conclusiones.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

La transición hacia tecnologías de ER exige un enfoque equilibrado y acelerado, sustentado en la formación de profesionales capacitados en áreas como evaluación de recursos, diseño tecnológico, instalación, operación, mantenimiento, supervisión, gestión de información y planificación estratégica (Kandpal y Broman, 2014). Para enfrentar el cambio climático, la CMNUCC, en su artículo 6, insta a las Partes a promover educación, formación y sensibilización pública, incluyendo la capacitación de personal científico, técnico y directivo, a fin de proteger el sistema climático para las generaciones presentes y futuras. Este mandato se refuerza en el artículo 12 del Acuerdo de París y, en la COP 22 y COP 24, se consolidó bajo la “Acción para el Empoderamiento Climático” (ACE, por sus siglas en inglés).

La ACE se vincula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados en 2015, que asocian la educación con las ER y la acción climática hacia 2030. Destacan: el Objetivo 4 (Educación de calidad), meta 4.7, que busca garantizar que todos los estudiantes adquieran conocimientos teóricos y prácticos para el desarrollo sostenible; el Objetivo 7 (Energía asequible y no contaminante), enfocado en aumentar la proporción de energía renovable; y el Objetivo 13 (Acción por el clima), meta 13.3, orientada a mejorar la educación, sensibilización y capacidades humanas e institucionales para enfrentar el cambio climático (United Nations, 2015).

Goritz & Kolleck (2024) analizaron 181 informes de Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional

presentadas hasta enero de 2019 y hallaron que 73 países (40%) mencionaron la educación en relación con el medio ambiente y/o el cambio climático. Los autores identificaron seis enfoques: la educación como necesidad de adaptación (48 países, incluido Colombia), como necesidad para mitigar el cambio climático (26 países, con énfasis en ER y eficiencia energética) y como requisito de desarrollo de capacidades; así como co-beneficio de la mitigación (3 países), necesidad de financiación educativa (9 países) y repercusiones del cambio climático en la educación (8 países).

Las ER son una prioridad en los acuerdos internacionales y han ganado espacio en las agendas nacionales, con una inversión global de 623.000 millones de dólares en 2023, un 8% más que en 2022 (BloombergNEF,

2024). Sin embargo, este avance no se refleja proporcionalmente en la educación superior. Un análisis de Vakulchuk & Overland (2024) sobre datos de 18.400 universidades en 196 países mostró que predominan los programas orientados a combustibles fósiles sobre los de ER (68% vs. 32%), pese a la escasez mundial de mano de obra calificada en este sector entre 2010 y 2023. Según estimaciones, si toda la electricidad proviniera de renovables en 2050, serían necesarios cerca de 35 millones de nuevos empleos (Ram et al., 2020; Swift et al., 2019, en Vakulchuk & Overland, 2024). Ante este panorama, es urgente ampliar la oferta de programas de pregrado y posgrado que respondan a las demandas energéticas, sociales y ambientales, formando el personal cualificado requerido (Kandpal & Broman, 2014).

### 3. METODOLOGÍA

35

A continuación, se presentan las metodologías por cada objetivo de la investigación.

Tabla 1. Metodología

Objetivos	Tipo	Enfoques	Métodos	Técnicas
Identificar y analizar las mejores prácticas y estrategias implementadas por los países referentes en educación e investigación de ER.	Descriptivo	Cualitativo Cuantitativo	Vigilancia e inteligencia estratégica	Bibliometría Revisión de literatura Revisión y análisis de bases de datos especializadas Benchmarking
Realizar un diagnóstico sobre el estado actual de la formación e investigación en ER en las instituciones de educación superior en Colombia.				Consulta a expertos - Entrevista semiestructurada en profundidad
Recomendar acciones que permitan fortalecer la educación y promover el desarrollo de capacidades en el sector de ER en Colombia.	Encuadre o resolución de problemas	Cualitativo	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia

Inicialmente, se realizó un análisis bibliométrico a partir de la aplicación de una ecuación en SCOPUS. Posteriormente, se seleccionaron algunos artículos académicos y se hizo un análisis documental. Para identificar los países referentes, se buscó en el Manual Internacional de Universidades 2019 (base WHED) los países con mayor número de programas relacionados con ER, excluyendo la hidroenergía. Esta base reúne datos de 18.400 universidades en 196 países. Tras una primera selección, se usó Studyportals (2024) para detallar la oferta académica en dichos países.

Con la revisión de literatura y bases especializadas, se realizó un análisis parcial de mejores prácticas (benchmarking), considerando artículos académicos, políticas y planes nacionales e internacionales sobre educación, sustentabilidad, cambio climático y ER, así como recomendaciones de organismos internacionales.

Para el diagnóstico de Colombia (sección 5), se consultó el Sistema Nacional de Información de Educación Superior con palabras clave, clasificando los programas en cuatro categorías: i) Renovable, ii) Fósil, iii) Neutro, iv) Eficiencia energética<sup>1</sup>. En casos dudosos, se revisó el plan de estudios (La base completa se presenta en el Apéndice A).

Se revisaron 6.160 grupos de investigación reconocidos por el Ministerio de Ciencia en la Convocatoria 894 de 2021, seleccionando aquellos relacionados con ER (solar, eólica, geotermia, biomasa) mediante búsqueda por nombre, productos, proyectos y líneas de investigación. Los grupos seleccionados se presentan en el Apéndice B.

Para analizar la producción científica de Colombia, se consultaron las bases Redalyc y SciELO con la palabra clave Renewable energy. Asimismo, en la plataforma Mapa Inversiones del Departamento Nacional de Planeación se identificaron proyectos de inversión pública asociados a ER, revisando su estado, fuentes y beneficiarios. En el diagnóstico de educación superior, se evaluó la alineación de la oferta académica con el mercado laboral usando el Marco Nacional de Cualificaciones (MEN, 2022), que identifica 351 cualificaciones en 20 sectores, incluido Electricidad y Electrónica. Finalmente, se realizó un análisis de percepciones y recomendaciones a partir de entrevistas semiestructuradas a expertos nacionales en transición energética, ER y educación superior.

36

## 4. ESTADO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL CAMPO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

En este apartado se presentan los resultados del análisis bibliométrico<sup>2</sup>, la revisión de literatura y el

análisis de los países cuya educación superior en ER es destacada.

### 4.1. Análisis bibliométrico:

Para llevar a cabo este análisis, se utilizó en la base de datos SCOPUS, la siguiente ecuación, que arrojó más de 1.000 publicaciones, para un periodo entre 1980 y 2023.

(“Higher Education Institutions” OR universities OR academia) AND (“Renewable energy” OR “Green energy” OR “Clean energy”) AND ((programs OR “Academic programs” OR

1.- Las categorías definidas para los programas académicos se basaron en la propuesta realizada por Vakulchuk & Overland (2024), con modificación de algunas palabras clave y criterios.

2.- El análisis bibliométrico estudia datos bibliográficos (p. ej., año de publicación, autores, afiliaciones, país de origen) mediante el uso de un enfoque cuantitativo. La bibliometría se utiliza normalmente para resumir, clasificar y proporcionar resultados representativos de un conjunto de documentos bibliográficos (Rovelli et al. 2022).

undergraduate OR postgraduate) OR ("Energy transition"))

Los resultados muestran un creciente interés en la investigación sobre educación superior en ER, con un notable aumento en la última década y un máximo anual de 116 publicaciones en 2023. Al inicio del periodo predominaban las áreas técnicas (Ingeniería y Energía) con un 65%, pero entre 2021 y 2024 su participación cayó al 38%, mientras crecían Ciencias Sociales (13%), Ciencias Ambientales (12%) y nuevas disciplinas como la Economía. En cuanto a la producción por país, Estados Unidos lidera con 375 documentos, seguido por Alemania (68), Reino Unido (62) e Italia (56). China es el único país asiático en el top 10, con cifras similares a España, y Brasil y Turquía destacan como economías emergentes en este campo.

Los resultados obtenidos en SCOPUS se analizaron con VOSviewer. El mapa de co-ocurrencia (Apéndice C- figura 1) identifica como términos centrales "Educación en Ingeniería", "Desarrollo Sustentable" y "Energía solar", lo que sugiere que estos son temas centrales. Se identifican tres clústeres principales: i) **educación en ingeniería y sistemas de aprendizaje** (e-learning, educación a distancia, investigación, laboratorios, currículo, conservación de la energía, inteligencia artificial, ingeniería eléctrica, empleo, fundaciones nacionales de ciencia, tecnología e innovación); ii) **desarrollo sostenible y enfoques energéticos** (Sustentabilidad, planeación energética, transferencia de tecnología, biomasa, impacto ambiental, política energética, toma de decisiones, generación de electricidad,

planeación regional, protección ambiental, efectos económicos y sociales, energía nuclear.); y iii) **sistemas de energía específicos** (redes inteligentes, almacenamiento, fotovoltaica, celdas solares y otros términos relacionados con la energía solar, eólica e hidrógeno).

El mapa de densidad (Apéndice C- figura 2) registró 3.043 vínculos, destacando términos como "Educación en ingeniería", "cambio climático", "política energética", "eficiencia energética", "energía solar" y "desarrollo sustentable" como los más interconectados. El término "Empleo" presenta baja conexión, lo que sugiere poca vinculación entre investigaciones y mercado laboral.

El análisis temporal (Apéndice C- figura 3) resalta áreas recientes de interés como "Redes eléctricas inteligentes", "Microrredes", "Baterías de carga", "Sistemas de Gestión de Energía", "Análisis económico", "paneles solares", "Sustentabilidad", "Huella de carbono", "almacenamiento de energía", "almacenamiento de hidrógeno" y "cambio climático". Estos temas se podrían incorporar en los programas académicos para estar en las tendencias internacionales y atender necesidades emergentes.

De las 1.085 publicaciones, se seleccionaron artículos para una revisión exhaustiva que permitiera diagnosticar la educación superior en ER e identificar expectativas de expertos, complementando con material de bases como Scielo, Redalyc, ScienceDirect y Web of Science. Esto se presenta en el siguiente apartado.

## **4.2. Revisión de literatura:**

Los programas educativos orientados a los combustibles fósiles prevalecen sobre los programas de ER. En 2019, 546 universidades ofrecían 1.372 titulaciones en combustibles fósiles, frente a 247 universidades con 653 titulaciones en renovables (Vakulchuk & Overland, 2024). La oferta en este campo se concentra en maestrías o asignaturas optativas

dentro de planes de ingeniería o ciencias aplicadas, con una marcada escasez de programas técnicos y de corta duración (1 a 3 años) que formen personal para la fabricación, instalación, operación y mantenimiento de tecnologías renovables (Kandpal & Broman, 2014). La formación se imparte sobre todo en departamentos de ingeniería (mecánica,

eléctrica, ambiental, civil y química), física y arquitectura. La mayoría de programas se enfocan en las fuentes y tecnologías de ER, y en menor medida en eficiencia energética, gestión, planificación, economía o política energética (Kandpal & Broman, 2014).

Las universidades han respondido a las tendencias internacionales creando principalmente maestrías, pero sin cambios estructurales como facultades especializadas, lo que refleja que las renovables aún no son prioridad institucional. La falta de financiamiento limita la investigación, la infraestructura, la bibliografía, el equipamiento y la contratación de personal especializado (Kandpal & Broman, 2014; Jaber et al., 2017; Vakulchuk & Overland, 2024). En algunos casos, esta carencia es resultado de decisiones políticas, como en Australia, donde la dependencia de combustibles fósiles frena la inversión en renovables (Thomas et al., 2008).

38

A nivel global y regional, estudios coinciden en que existe una brecha entre el personal formado y la demanda de la industria, especialmente en países en desarrollo. Además, mencionan que los programas requieren reformas curriculares para responder a las necesidades del sector y a los retos globales (Nureldeen & Chang, 2018; Thomas et al., 2008; Daoudi, 2024).

En respuesta a esta necesidad de reforma curricular, diversos estudios sugieren que los contenidos de los programas de educación superior en ER deberían incluir: i) Sensibilización sobre la naturaleza, las problemáticas energéticas y sus retos. ii) Abordar todos los tipos de energías y las tecnologías existentes para aprovecharlas, con énfasis en las potencialidades y necesidades locales. iii) Considerar todo el ciclo de desarrollo y difusión de las tecnologías: la evaluación de los recursos, diseño, fabricación, instalación, supervisión del rendimiento, resolución de problemas y mantenimiento de tecnologías, los aspectos financieros y económicos, la aceptabilidad social y el impacto sociocultural, los aspectos institucionales y políticos asociados al uso de las tecnologías y, por último, los impactos ambientales. iv) Incluir temas de

eficiencia energética. v) Cuidar la coherencia y complementariedad entre todos niveles de educación, desde el nivel técnico hasta el nivel de doctorado (Hasnain, 1998; Thomas et al., 2008; Wallasch, A. & Matthias D., 2010; Kandpal & Broman, 2014; Jaber et al., 2017).

Además de las capacidades técnicas, se plantea la necesidad de competencias transversales: pensamiento sistémico, anticipatorio, estratégico y ético; actitudes críticas, orientadas a la justicia, con iniciativa y responsabilidad colectiva para transformar la realidad (Wiek et al., 2011; Lambrechts et al., 2018; Waldron et al., 2019; Reid, 2019; Eaton & Day, 2020; Droubi et al., 2023; Tomassi et al., 2024).

Además de los contenidos curriculares y las competencias, los enfoques pedagógicos y los recursos de enseñanza-aprendizaje deberían: i) incentivar la flexibilidad, creatividad e innovación que permita encontrar nuevas alternativas de solución en lo global y local; ii) Combinar la teoría y la práctica: crear laboratorios o talleres, conferencias, tutorías, seminarios, plataformas y recursos en línea; iii) materiales de enseñanza-aprendizaje de buena calidad; iv) Pedagogía colaborativa; v) Enfoque multi, inter y transdisciplinario; vi) Investigación, innovación y emprendimiento basado en lo local; vii) aprendizaje basado en resolución de problemas viii) incluir perspectiva de género; ix) en caso de ser necesario, dictar los cursos en las lenguas locales para una mejor aceptación y eficacia; x) establecer asociaciones internacionales para fortalecer la experiencia y cooperación (Thomas et al., 2008; Kandpal & Broman, 2014; Lowan-Trudeau & Fowler, 2022; Colmenares-Quintero et al., 2023; Daoudi, 2024).

Dada la naturaleza dinámica del sector, los programas deben ser flexibles para adaptarse a avances tecnológicos, apoyándose en la formación continua de docentes y en la colaboración con la industria y el gobierno. Estas alianzas facilitan la innovación, la transferencia tecnológica y el desarrollo económico basado en el conocimiento, además de mejorar la empleabilidad de los egresados (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Maier et al., 2019).

### 4.3. Análisis de países:

Según la literatura revisada las regiones más adelantadas en educación superior en ER son Norteamérica, Europa y Asia- Pacífico. Dentro de los que destacan países como Estados Unidos, Inglaterra y Alemania (Thomas et al., 2008; Kandpal & Broman, 2014; Slowinski & Alfano, 2015; Nureldeen & Chang, 2018).

La anterior información se trianguló con los resultados de la revisión de los países con mayor número de programas especializados en ER, de acuerdo con el International Handbook of Universities de la Asociación Internacional de Universidades (AIU), en los que se obtuvo como resultados México (19), Turquía (8), Alemania (4), y China (4)<sup>3</sup>, que a su vez se cruzó

con los resultados de Studyportals, la cual es una plataforma internacional especializada en selección de programas académicos de 3.750 instituciones en el mundo. Según datos de esta última plataforma los países con mayor número de programas especializados en ER son: Reino Unido y Estados Unidos, seguidos de Australia y Alemania.

Finalmente, para el análisis de buenas prácticas se seleccionaron Alemania, Estados Unidos y Reino Unido, para profundizar sobre: a) las políticas nacionales de educación en ER y b) los programas en ER. A continuación, se presenta una síntesis en la tabla 2.

**Tabla 2.** Mejores prácticas según la literatura y las experiencias de los países referentes

Países	Mejores prácticas
<b>Alemania</b> 	<p>La educación es responsabilidad del Estado porque es el medio para el desarrollo económico y, por tanto, aumentar la oferta de educación en ER es responsabilidad del Estado.</p> <p>La planeación energética de largo plazo incentiva al sector educativo porque es más fácil anticiparse a lo que ocurrirá con el mercado laboral.</p> <p>Fomentar vínculos entre el sector educativo, empresarial y sindical para impulsar conjuntamente el diseño de programas académicos.</p> <p>Educación dual (práctica)</p> <p>Formación en una ciencia básica con especialización en uno o varios campos de la energía (por ejemplo, instalaciones eólicas o solares).</p> <p>Analizar el mercado laboral y la demanda para garantizar el empleo.</p> <p>Programas de eficiencia energética.</p> <p>Programas técnicos</p> <p>Integración de la formación vocacional formal con la educación informal.</p> <p>Creación de redes: contribuye a la transferencia de enfoques y materiales de estudio.</p> <p>Incluir modelos de educación para el desarrollo sostenible en los procesos de acreditación.</p> <p>Carreras académicas con perfiles interdisciplinarios y transdisciplinarios</p> <p>Convocatorias de financiación competitivas y no competitivas para recursos enfocados en pro del desarrollo sostenible.</p>
<b>Estados Unidos</b> 	<p>La inversión en proyectos e investigaciones en el mercado de las ER, impulsa el crecimiento de la demanda educativa y por tanto de la oferta de programas en ER.</p> <p>Estandarizar los criterios de acreditación y los resultados de las competencias.</p> <p>Enfoque de género, ingresos y otras formas de equidad.</p> <p>Desarrollar becas de matrícula y gastos de sostenimiento.</p> <p>Acompañamiento desde la secundaria en la selección de carreras profesionales que motive a los estudiantes a elegir programas sobre clima y ER.</p> <p>Desarrollar métricas para seguir las tendencias de crecimiento de los empleos verdes y la formación climática en toda la economía.</p> <p>Desarrollar métricas para hacer un seguimiento de la integración de la acción por el clima en empleos no relacionados con el sector verde.</p> <p>Coordinarse con los sindicatos para integrar las competencias relacionadas con el sector verde en el desarrollo de la mano de obra.</p>

3.- El número de programas publicados en el International Handbook (2019) es bajo en relación con lo que se encuentra en las plataformas de elección de estudios porque el mecanismo de selección de los programas es más riguroso. Para la base de datos de la AIU, las instituciones y programas se seleccionan según la información contenida en los listados proporcionados por las autoridades de enseñanza superior competentes de los países en cuestión o que se encuentran en sus sitios web oficiales. Para obtener información más detallada, se envían cuestionarios a aquellas instituciones que otorgan títulos de al menos cuatro años y que hayan graduado al menos a tres cohortes de estudiantes. Adicionalmente, es importante reconocer que en cinco años ha incrementado la oferta de programas en energías renovables y el International Handbook reporta información hasta 2019.

## *Sección ganadores “call for papers”*

<b>Reino Unido</b>	Participación de la industria en la planificación y el desarrollo de los contenidos y procesos académicos de los cursos. Aprovechar el internet y las comunicaciones globales para acceder a laboratorios y bibliotecas remotos. Incluir en la formación no solo aptitudes sino actitudes como la proactividad, la colaboración y la automotivación. Educación basada en proyectos con participación de la academia, la industria, el gobierno y las comunidades locales. Consideración de las condiciones locales, como la economía y el mercado, la planificación y las políticas. Internacionalización y creación de redes.
--------------------	---

Literatura general	Abordar la comprensión del sistema natural y las problemáticas energéticas y ambientales/climáticas. Priorizar tecnologías que sean acordes con las necesidades locales. Investigación e innovación basado en lo local. Considerar todo el ciclo de desarrollo y difusión de las tecnologías, incluyendo aspectos financieros y económicos, impacto sociocultural y ambiental. Mayor relevancia a temas de eficiencia energética. Incentivar la flexibilidad, creatividad e innovación. Combinar la teoría y la práctica: relevante la creación de laboratorios Materiales de enseñanza-aprendizaje de buena calidad Pedagogía colaborativa Enfoque multi, inter y transdisciplinario. Aprendizaje por proyectos y basado en la resolución de problemas. Creación de redes y asociaciones internacionales para fortalecer la experiencia y la cooperación. Enfoque de género Alianza Industria-Academia- Gobierno Creación de facultades, escuelas o centros en las universidades especializados en ER. Educación crítica y orientada a la justicia.
--------------------	--

40

Al revisar las mejores prácticas en la educación en desarrollo sostenible y ER encontradas en la literatura, se hace un análisis de convergencia y divergencia por países.

Convergencias:

- Colaboración entre sector educativo, empresarial y gubernamental.
- Enfoque práctico y basado en proyectos, incluyendo laboratorios y modalidad dual.
- Formación interdisciplinaria y transdisciplinaria.

• Internacionalización y redes para intercambio de buenas prácticas.

• Adaptación a condiciones y necesidades locales.

• Inclusión de habilidades blandas como liderazgo y pensamiento crítico.

Divergencias:

• Alemania subraya la responsabilidad estatal en la educación; otros países no.

• EE. UU. impulsa orientación vocacional hacia el sector verde desde edad escolar.

## 5. EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL CAMPO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

En esta sección, se realiza un análisis del estado actual de la educación superior en el campo de las ER en Colombia. El análisis abarca cuatro aspectos que permiten constatar el grado de desarrollo y madurez de la educación superior en esta área: la oferta de programas académicos,

los grupos de investigación, las publicaciones científicas y la ejecución de proyectos relevantes en Colombia.

### 5.1. Programas académicos:

En Colombia se identificaron 211 programas de formación relacionados con la generación de energía. De estos programas, 110 son neutros, es decir, no están relacionados directamente con las energías fósiles o ER; 44 están vinculados a combustibles fósiles; 25 programas incluyen al menos una materia de energía renovable; 22 programas están especializados en ER y, 9 son de eficiencia energética (Apéndice C- figura 4). Los primeros 2 programas de formación especializados en ER se crearon en el 2016. Entre febrero y mayo del 2024 surgió la tercera parte de la oferta actual.

La distribución de los 22 programas especializados en ER por departamento es: Bogotá y Atlántico, con 6 cada uno; Santander, con 4; Caldas, con 2; Antioquia, Cesar, Boyacá y Huila, con 1 cada uno. En cuanto a niveles académicos, la especialización universitaria concentra la mayor oferta, mientras que el nivel doctoral presenta la menor. Existe un equilibrio relativo entre sectores privado y oficial, con variaciones: el sector privado predomina en maestrías y la formación técnica y tecnológica presenta una distribución más equilibrada.

### 5.2. Grupos de investigación:

La revisión de los grupos de investigación clasificados en la Convocatoria 894 de 2021, arrojó un total de 65 grupos relacionados con ER. De estos, 9 se crearon entre 1980 y 1997, 8 grupos (1999), mientras que en 2003 y 2006 se crearon 4 y 7, respectivamente. Después de 2007, se observan fluctuaciones entre 1 y 4 grupos por año. El reciente crecimiento podría estar impulsado por políticas como la Misión Transición Energética (Ley 2294 de 2023) y la política de reindustrialización (CONPES 2023), que incentivan la creación de programas y grupos al anticipar nuevas fuentes de financiación, convocatorias y demanda de talento especializado. Bogotá concentra 23 grupos, seguida de Antioquia (11), Valle del Cauca (5), La Guajira (4) y Norte de Santander (4). En cuanto a calidad, 11 están en categoría A1, 16

en A, 9 en B y 28 en C, lo que evidencia margen de mejora en productividad y pertinencia. Por áreas, el 88% pertenece a Ingeniería y Tecnología, el 7% a Ciencias Naturales y el 3% a Ciencias Sociales y Agrícolas, con predominio de ingeniería mecánica y eléctrica, lo que refleja una orientación tecnológica y escasa investigación social en el tema. Según la política de investigación e innovación de la Misión Transición Energética (MinCiencias, 2023), persisten tres retos principales: débil integración de la investigación para mitigar riesgos e impactos sobre el sistema energético, limitada incorporación de innovación en cadenas productivas relacionadas, y deficiente articulación institucional y capacidades estructurales. Este último incluye cinco problemas clave: concentración de talento en

ciudades, ausencia de esquemas colaborativos de financiación, insuficiencia de fondos para investigación e innovación, debilidad en capacidades industriales para crear cadenas de valor energéticas y bajo conocimiento

y aceptación social de los proyectos. Este diagnóstico revela varios desafíos críticos en la investigación e innovación en el país en el contexto de la transición energética.

### **5.3. Publicaciones científicas:**

---

Para analizar las publicaciones científicas sobre ER en Colombia, se consultaron las bases de datos SciELO y Redalyc usando la palabra clave “renewable energy” y filtrando por país. En SciELO se identificaron 199 publicaciones entre 2006 y 2022, con una tendencia creciente que podría responder a mayor capacidad investigativa, interés o financiación, aunque se requieren más datos para confirmarlo. El 65% corresponde a ingeniería, seguido por ciencias sociales aplicadas (17%), lo que evidencia un enfoque principalmente técnico. El análisis mostró como temas centrales: la energía solar, eólica y biomasa, el cambio climático y la

generación distribuida, concepto alineado con la política energética nacional que promueve comunidades energéticas.

En Redalyc se registraron 897 publicaciones entre 2004 y 2023, también con crecimiento general, aunque con una caída en los últimos dos años. El 75% pertenece a ingeniería y el 5% a administración y contabilidad, reafirmando la orientación técnica de la investigación en el país. Este aumento podría asociarse a incentivos gubernamentales, más proyectos y mayor interés empresarial en el sector.

42

### **5.4. Proyectos:**

---

Se revisaron los proyectos de ER financiados con inversión pública en Colombia desde 2013, según datos del Departamento Nacional de Planeación. Se identificaron 42 proyectos: 25 financiados por el Sistema General de Regalías, 13 con recursos propios de entidades territoriales y 4 con el Presupuesto General de la Nación. En cuanto a sectores, 31 pertenecen a Minas y Energía, 5 a Ciencia, Tecnología

e Innovación, 2 a Agricultura y Desarrollo, y uno respectivamente a Vivienda, Ambiente, Defensa e Inclusión Social. Cinco proyectos fueron descartados por no ser viables. De los 37 proyectos viables (ejecutados o en ejecución entre 2013 y 2028), la distribución cubre todas las regiones del país, destacando Cauca (5), Putumayo (4), Meta (3) y Córdoba (3), además, 4 de alcance nacional.

### **5.5. Análisis del mercado laboral:**

---

El análisis del mercado laboral presentado en el Marco Nacional de Cualificaciones (Álvarez et al., 2019; MEN, 2022) evidencia que la demanda del sector de Electricidad y Electrónica está compuesta aproximadamente por un 11% de ingenieros y un 89% de técnicos y tecnólogos. La introducción de ER podría modificar esta estructura, impulsada por tendencias tecnológicas que implican la necesidad de

nuevos conocimientos, la actualización de competencias en cargos existentes y la creación de nuevos roles.

Entre las principales tendencias identificadas se encuentran: Corto plazo: aerogeneradores de gran tamaño, sistemas de concentración fotovoltaica, componentes fotovoltaicos para edificaciones, nuevos modelos de

comercialización y uso racional y eficiente de la energía. Mediano plazo: centrales solares termoeléctricas, energía mareomotriz y energía oceánica. Largo plazo: energía geotérmica.

Estos cambios generan demanda de nuevos perfiles profesionales, como ingeniero de energías limpias, coordinador de eficiencia energética, mecánico de vehículos eléctricos, administrador de sistemas energéticos y profesional en generación y distribución.

Asimismo, se identifican brechas de calidad y pertinencia en la formación, más que de cantidad. Entre las competencias prioritarias se incluyen:

evaluación técnica y financiera de proyectos de ER, conocimiento del marco regulatorio y del entorno de negocio, optimización de procesos de producción y generación, gestión del talento humano, sostenibilidad y pensamiento crítico en todas las fases de los proyectos.

La experiencia de países como Alemania y Estados Unidos sugiere que la estrategia más efectiva no es necesariamente ampliar el número de programas académicos, sino integrar líneas y énfasis en ER dentro de las ciencias básicas para fortalecer la pertinencia y calidad de la oferta educativa.

## 6. CONSULTA A EXPERTOS SOBRE LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL CAMPO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MARCO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA, AL 2034

Se hizo una entrevista semiestructurada en profundidad con expertos para abordar la relevancia del sistema educativo en la transición energética, los desafíos que enfrenta, las estrategias efectivas para desarrollar capacidades, las áreas prioritarias de conocimiento, las habilidades esenciales para profesionales del sector, la relación entre academia y sociedad, y el rol del gobierno en su fortalecimiento.

La selección de los entrevistados se basó en su experiencia y conocimiento en el sector, liderazgo institucional, reconocimiento académico, trayectoria en políticas y planificación energética, y experiencia docente en educación superior (Ver apéndice D).

**Tabla 3.** Subcategorías de análisis

Preguntas	Respuestas
<b>1. Importancia de las Instituciones de Educación Superior (IES) en la transición energética</b>	La educación superior juega un papel crucial en formar profesionales capaces de abordar los desafíos de la transición energética, concientizar a los estudiantes sobre la realidad energética y ambiental, y desarrollar investigación e innovación en tecnologías limpias y sostenibles. Formación de alto nivel.
<b>2. Desafíos del sistema de educación superior</b>	Falta de interés por parte de los jóvenes en carreras relacionadas con la ingeniería y la energía. Necesidad de centros de investigación más consolidados en el sector energético. Dificultad para atraer y retener a buenos estudiantes en programas de maestría y doctorado. Planeación de medio y largo plazo para garantizar la tranquilidad de las entidades que trabajan en investigación. Falta de integración de la sostenibilidad en los planes de estudio. Falta de colaboración y coordinación entre IES y sectores. Falta de capacitación y formación de docentes y personal en ER. Falta de recursos y financiamiento para implementar programas de transición energética. Fuga de cerebros. Los estudiantes comprenden la necesidad de cambio del patrón energético. Resolver el "cómo" incluir en los planes de estudio los temas de cambio climático y transición energética. Formar capacidades de alto nivel en los tomadores de decisión.

## *Sección ganadores “call for papers”*

<b>3. Estrategias institucionales para fortalecer capacidades en ER</b>	Integrar la temática energética en los planes de estudio independiente del campo de conocimiento. Desarrollar proyectos interdisciplinarios. Articulación entre las IES y los demás sectores, la cuádruple hélice: industria, gobierno, sociedad civil y academia, para conformar organizaciones más fuertes que permitan repensar los modelos de ciudad, los modelos de gobernanza, los modelos educativos.
---	--

<b>4. Áreas prioritarias de conocimiento en ER</b>	Energía solar. Energía eólica. Eficiencia energética. Geotermia. Ciencias biológicas. Ingenierías (todas) y todas las disciplinas: ciencias sociales, economistas, administradores, abogados, etcétera.
--	---

<b>5. Habilidades y competencias en ER</b>	Conocimientos técnicos sólidos. Analítica de datos. Políticas energéticas. Habilidades financieras. Reconocer la lógica de proyectos del sector. Capacidad de trabajo interdisciplinario y en equipo. Visión a largo plazo. Capacidad para innovar y emprender. Comprensión de la sostenibilidad y el impacto ambiental. Pensamiento crítico. Comunicación efectiva. Resolución de problemas.
--	---

<b>6. Relación academia-sociedad para la transición energética</b>	Compartir conocimientos, recursos y experiencias. Apoyar la creación de startups y empresas de base tecnológica. Desarrollar métricas, para evaluar a las IES, que involucren la enseñanza y la apropiación del conocimiento por parte de la sociedad y los territorios. Investigación relevante y aplicable a la realidad. Superar los prejuicios entre la academia y la industria. Generar los incentivos para que las empresas se acerquen a las universidades.
--	--

<b>7. Papel del gobierno en el fortalecimiento de la educación superior</b>	Crear políticas y programas que apoyen la formación de talento humano en ER y la investigación. Invertir en infraestructura y equipamiento para la investigación y el desarrollo. Fortalecer el Ministerio de Ciencia y Tecnología, y el Ministerio de Minas y Energía. Financiación para la formación de capital humano, la investigación y el desarrollo tecnológico: a través de inversión directa a los grupos de investigación (convocatorias) o de incentivos fiscales y tributarios a la industria. Articular esfuerzos con la academia y la industria para crear un ambiente propicio para la innovación y la transferencia de tecnología. Dar señales claras sobre las líneas de trabajo en el mediano y largo plazo. Ampliar los lineamientos de las convocatorias de investigación para la gestión de recursos en innovación, ciencia y tecnología ya que actualmente son muy rígidos y limitan la participación.
---	--

<b>8. Medidas concretas para que las IES se conviertan en impulsores de la transición energética</b>	Integrar la sostenibilidad en las misiones y visiones de las IES. Desarrollar programas académicos que aborden la transición energética. Revisar los currículos e incluir contenidos específicos de transición energética y/o ER. Fomentar e invertir en investigación y desarrollo en ER. Los cursos de investigación de posgrados deben estar alineados con las grandes apuestas de país. Crear centros de excelencia en ER. Estrategias de divulgación hacia la ciudadanía sobre la transición energética justa. Fomentar la cultura de la innovación y el emprendimiento. Establecer alianzas estratégicas con la industria, el gobierno y la sociedad civil. Capacitar a profesores y estudiantes en ER. Integrar la sostenibilidad en los planes de estudio. Establecer alianzas con el sector productivo para la transferencia de tecnología. Ofrecer programas de formación continua en ER. Crear redes con pares internacionales. Formar en competencias del siglo XXI, pensamiento crítico y una visión de largo plazo. Apostar a la formación de alto nivel (maestría y doctorado). Evitar la fuga de cerebros. Articulación con instituciones técnicas como el SENA. Apoyo a la formación de empresa.
--	---

En síntesis, el sistema de educación superior colombiano enfrenta retos significativos para impulsar la transición energética, como la escasa integración del tema en los planes de estudio, limitaciones en investigación y desarrollo, baja financiación y falta de articulación entre instituciones y sectores.

Para superar estos desafíos, se proponen estrategias como integrar la temática energética de manera transversal en todos los programas académicos, desarrollar formación y capacitación especializada, fomentar la

investigación en tecnologías propias y fortalecer la cuádruple hélice (academia, industria, Estado y sociedad civil), promoviendo a la vez una cultura de sostenibilidad. Resulta igualmente clave impulsar la innovación y la transferencia tecnológica, con un papel activo del gobierno en materia de financiamiento, políticas públicas y fomento del emprendimiento en ER. Asimismo, se plantea implementar metodologías de educación por proyectos, con enfoques multidisciplinares y transdisciplinares, y formar competencias propias del siglo XXI, como el pensamiento crítico y la visión de largo plazo.

## 7. ESTRATEGIAS

En esta sección se proponen estrategias para impulsar el crecimiento del sector de ER en Colombia al 2034, desde el ámbito de las IES y su papel en el desarrollo de capacidades. Se consideran el panorama global y nacional de la educación en este campo, así como las

recomendaciones de la literatura, las buenas prácticas de países líderes y la opinión de expertos nacionales (Apéndice E).

### 7.1. Diseño curricular:

se propone diseñar e implementar programas académicos en todos los niveles, especializados en ER y alineados con las demandas del sector. Estos deberán tener un enfoque multidisciplinario que, además de los perfiles ingenieriles, incluya áreas administrativas, financieras, ambientales y sociales.

Las IES deberán incorporar ejercicios de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, aplicando metodologías como el benchmarking internacional, para identificar y adaptar al contexto colombiano las mejores prácticas globales en currículos, pedagogía, investigación, vinculación con la industria y colaboración interdisciplinaria, considerando las potencialidades energéticas regionales.

La colaboración con expertos de la industria, organismos multilaterales y otras IES será clave para garantizar que los egresados —desde niveles técnicos hasta doctorados— cuenten con las competencias necesarias para liderar la transición energética y vincular la formación con las necesidades del mercado.

Entre las competencias que deben integrarse en los currículos destacan: “i) Sensibilización sobre la relación con la naturaleza, las problemáticas y retos energéticos. ii) Abordar todos los tipos de energías y las tecnologías existentes para aprovecharlas, con énfasis en las potencialidades y necesidades locales. iii) Considerar todo el ciclo de desarrollo y difusión de las tecnologías: la evaluación de

los recursos, diseño, fabricación, instalación, supervisión del rendimiento, resolución de problemas y mantenimiento de tecnologías, los aspectos financieros y económicos, la aceptabilidad social y el impacto sociocultural, los aspectos institucionales y políticos asociados al uso de las tecnologías y, por último, los impactos ambientales. iv) Incluir temas de eficiencia energética. v) Cuidar la coherencia y complementariedad entre todos niveles de educación, desde el nivel técnico hasta el nivel de doctorado (Hasnain, 1998; Thomas et al., 2008; Wallasch, A. & Matthias D., 2010; Kandpal & Broman, 2014; Jaber et al., 2017).

Asimismo, se recomienda incorporar áreas emergentes detectadas en el análisis bibliométrico, como redes inteligentes, microrredes, almacenamiento e hidrógeno, inteligencia artificial y sistemas de gestión energética, vinculándolas con la industria 4.0. También se deben considerar las tendencias tecnológicas identificadas por CIDET (2019) para definir asignaturas que respondan al mercado laboral en el corto, mediano y largo plazo.

El enfoque formativo deberá promover el emprendimiento, la innovación y el autoempleo, integrando la creación de empresas, prácticas, laboratorios y aprendizaje basado en proyectos. Además, se sugiere incluir contenidos de ER en otras disciplinas —sociales, empresariales, legales y ambientales— para ampliar su comprensión y aplicación más allá del ámbito

técnico. Finalmente, se plantea incorporar criterios específicos para el campo de las ER en los procesos nacionales de aseguramiento de la calidad académica.

## **7.2. Fortalecimiento de las capacidades institucionales:**

---

Las IES deben fortalecer una estructura administrativa para impulsar las ER, mediante políticas institucionales, ajustes en la arquitectura institucional y la creación de facultades o departamentos especializados. Asimismo, propone incluir criterios específicos sobre ER en la autoevaluación institucional y de programas, y priorizar la formación y actualización docente con un enfoque multidisciplinario que integre dimensiones económicas, legales, sociales y ambientales. Esto permitirá consolidar una masa crítica de profesores reconocidos por su docencia e investigación en el área.

46

La investigación identificó enfoques pedagógicos clave para programas de sostenibilidad y energías limpias: i) fomentar la flexibilidad, creatividad e innovación para soluciones locales y globales; ii) combinar teoría y práctica mediante laboratorios, talleres, conferencias, tutorías, seminarios y recursos en línea; iii) disponer de materiales de enseñanza-aprendizaje de alta calidad; iv) promover pedagogía colaborativa; v) incorporar enfoques multi, inter y transdisciplinarios; vi) impulsar investigación, innovación y emprendimiento basado en lo local; vii) aplicar aprendizaje basado en resolución de problemas; viii) incluir perspectiva de género; ix) ofrecer cursos en lenguas locales cuando sea necesario; y x) establecer alianzas internacionales para fortalecer la cooperación.

Las direcciones o vicerrectorías de investigación deben generar incentivos para la investigación en sentido estricto y formativa, asegurando profesionales con sólida base teórica y experiencia práctica. Consolidar a las IES como líderes académicos y tecnológicos, mediante la creación de grupos y líneas de investigación, la organización de eventos y premios, y la participación en convocatorias para la financiación de proyectos.

Asimismo, se plantea la ampliación de la infraestructura física y tecnológica (laboratorios, aulas y recursos digitales) y ejecutar un plan de inversión que garantice programas educativos pertinentes y efectivos.

La Misión de Sabios 2019 propone que la agenda de investigación de Colombia en transición energética y ER incluya temas como: “Redes Inteligentes. Acceso a la electricidad fuera de la red. Conversión de energía solar. Almacenamiento y complementariedad entre las fuentes renovables y energías convencionales. Tecnologías para mejorar el aprovechamiento y conversión de las FNCER en formas útiles de energía aplicadas a las necesidades de los sectores industrial, comercial, residencial y de transporte...Mejoramiento de los usos finales de la energía (térmica y eléctrica) en procesos industriales, que conlleven al incremento de la eficiencia operativa del sector productivo.” (Minciencias, 2019, p. 31).

## **7.3. Alianzas Estratégicas con IES, Industria y Sector Público:**

---

Impulsar redes académicas y científicas con universidades e instituciones nacionales e internacionales que faciliten el intercambio de conocimientos y recursos, fomentando la

innovación, la solución de problemas y el avance en ER. Estas redes deben promover proyectos de investigación conjuntos, programas de formación compartidos y movilidad académica,

fortaleciendo la cooperación interinstitucional. En Colombia, es clave articular esfuerzos con el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) para formar técnicos y tecnólogos vinculados con el sector empresarial, y con la Escuela Superior de Administración Pública (ESAP) para capacitar a tomadores de decisión en ER y su integración con el desarrollo local.

Es fundamental establecer un diálogo permanente entre IES, industria y sector público, creando puentes entre conocimiento académico, necesidades prácticas y políticas energéticas. Foros, mesas redondas y reuniones regulares permitirán identificar áreas de interés común y adaptar programas duales —desde el diseño curricular hasta la certificación— a las demandas locales.

La interacción continua mediante eventos de networking, conferencias y planes de colaboración en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) acelerará la transferencia tecnológica y la aplicación de soluciones en ER. Este trabajo conjunto favorecerá la investigación aplicada con impacto en el mercado, la formulación de políticas basadas en evidencia y la generación de publicaciones conjuntas.

Esta sinergia crea un círculo virtuoso: industria y sector público se benefician del conocimiento e innovación de las IES, mientras estas reciben recursos públicos y privados para consolidar la educación superior en ER, multiplicando el desarrollo tecnológico y el capital humano del país.

## 8. CONCLUSIONES

47

Esta investigación analizó las condiciones del sistema de educación superior en Colombia en relación con la formación e investigación en ER y propuso estrategias para que, al 2034, las IES sean impulsoras de la transición energética. El estudio comprendió la revisión de literatura y mejores prácticas internacionales, un diagnóstico nacional, la consulta a expertos y la formulación de acciones estratégicas.

En el ámbito internacional, se evidenció que la educación superior es esencial para desarrollar capacidades en ER, fundamentales para reducir emisiones al 2030 y alcanzar la carbono neutralidad en 2050. No obstante, prevalecen programas orientados a combustibles fósiles debido a la dependencia económica y a la relación entre gobiernos y empresas petroleras, sumado a la falta de financiamiento. Los programas académicos presentan hegemonía técnica y tecnológica, escasa incorporación de perspectivas de justicia ambiental y social, predominio de maestrías, déficit de programas técnicos y falta de doctorados. El análisis bibliométrico identificó áreas emergentes como redes eléctricas inteligentes, microrredes,

baterías, sistemas de gestión de energía, análisis económico, paneles solares, sustentabilidad, huella de carbono, y almacenamiento de energía e hidrógeno, pero reveló una débil vinculación entre academia, investigación, sector productivo y generación de empleo.

Las competencias clave para estos programas incluyen la sensibilización ambiental, la formación técnica adaptada a necesidades locales, la cobertura de todo el ciclo tecnológico, la eficiencia energética y la integración de enfoques sociales y económicos. En cuanto a pedagogía, se recomienda fomentar la creatividad e innovación, combinar teoría y práctica, impulsar el trabajo colaborativo, promover la interdisciplinariedad, desarrollar investigación y emprendimiento local, aplicar aprendizaje basado en proyectos, incluir la perspectiva de género y establecer alianzas internacionales. Las experiencias de países líderes como Alemania, Estados Unidos y Reino Unido destacan la colaboración intersectorial, el aprendizaje práctico, la estandarización de acreditaciones, la interdisciplinariedad y el fortalecimiento de competencias transversales

para enfrentar los retos climáticos y energéticos. Todas las anteriores lecciones ofrecen valiosas directrices para el fortalecimiento del sector educativo en ER en Colombia.

En la segunda parte de la investigación se presentó el diagnóstico de Colombia, entre los resultados destaca que hay una concentración de programas en combustibles fósiles y en regiones como Bogotá, Atlántico y Santander. La mayor presencia en Atlántico podría vincularse a su potencial en energía solar y eólica y a los actuales sobre costos de la energía. En investigación, se registraron 65 grupos en ER en 2021, mayoritariamente de categoría C, sin crecimiento reciente, y persisten retos como la concentración del talento en áreas urbanas, la baja colaboración en financiamiento de la innovación y la debilidad en ciencia y tecnología industrial. Probablemente, el impacto de las políticas e incentivos que se han generado en los últimos años en el sector de las ER como la Misión Transición Energética de Minciencias, el CONPES 4075 del 2022 y el CONPES 4129 del 2023, se vean reflejados en mayores grupos de investigación, un incremento de producción científica y mayor impacto en los resultados de la Convocatoria de 2024 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Respecto al análisis del mercado laboral, el Marco Nacional de Cualificaciones (Álvarez et al., 2019) evidencia que, aunque la brecha con la oferta académica no es amplia en lo cuantitativo, sí lo es en calidad y pertinencia, lo que exige alinear la formación con las demandas emergentes. Se identificaron nuevos perfiles como mecánico de vehículos eléctricos, ingeniero de energías limpias, coordinador de eficiencia energética y administrador de sistemas energéticos.

En la tercera parte de los resultados, se presentan las opiniones de los expertos, aquí es importante resaltar que los expertos consideran que el sistema de educación superior colombiano enfrenta desafíos para impulsar la transición energética como la falta de integración de los planes de estudio con la demanda laboral, limitaciones en la investigación y desarrollo, y falta de colaboración y coordinación entre instituciones y sectores. Plantean como soluciones la creación

de programas especializados, el fortalecimiento de la I+D, la colaboración entre academia, industria y gobierno, y el impulso de la innovación, el emprendimiento y la sostenibilidad con apoyo estatal en recursos, políticas y regulaciones.

Finalmente, se presentaron sugerencias de acciones para que el sistema de educación superior lidere el desarrollo de capacidades que impulsen el crecimiento del sector en Colombia. Estas se organizaron en tres estrategias: diseño de programas académicos especializados en ER, fortalecimiento de capacidades institucionales y establecimiento de alianzas estratégicas entre IES, la industria y el sector público.

## 9. REFERENCIAS

Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). (2009). Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables.

Álvarez-Rojas, J. L. y Preinfalk-Fernández, M. L. (2018). Teoría del Programa y Teoría del Cambio en la Evaluación para el Desarrollo: Una revisión teórico-práctica. Revista ABRA, 38(56), 1-16.

Álvarez, C.A., Castro, F. L., Chica, D. Cruz, R. D., Montoya, M.M., Naranjo C. A., Serna, F. J., Velásquez, F. (2019). Marco Nacional de Cualificaciones: electricidad y electrónica. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET).

Anderson, A. A. (2004). Theory of change as a tool for strategic planning. ActKnowledge.

Arenas, L., Naredo, J. M. & Riechmann, J. (2022). Bioeconomía para el siglo XXI. Actualidad de Nicholas Georgescu-Roegen. Fuhem Ecosocial.

Ávila-Calero, S. & Sorman, A. (2018). Transición energética (energías renovables) En G.D' Alisa, F. Demaria, & G. Kallis (Eds.), Decrecimiento: vocabulario para una nueva era. Edición ampliada para Latinoamérica. Icaria Editorial, Programa editorial Universidad del Valle.

Baena, G. (2015). Planeación prospectiva estratégica. Teorías, metodologías y buenas prácticas en América Latina. Proyecto Papime No. PE300414.

Baser, H. & Morgan, P. (2008a). Capacity, Change and Performance Study Report. European Centre for Development Policy Management (ECDPM) Discussion Paper No. 59B.

Baser, H. & Morgan, P. (2008b). Study on Capacity, Change and Performance: Interim Report. European Centre for Development Policy Management (ECDPM).

Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Rumble, M., & Sharratt, E. (2012). Defining twenty-first century skills. En P. Griffin, B. McGaw, & E. Care (Eds.), Assessment and teaching of 21st century skills (pp. 17-66). Springer.

Bitar, S., Máttar, J. & Medina-Vásquez, J. (2021). El gran giro de América Latina. Hacia una región democrática, próspera, equitativa e incluyente. Cali: Programa Editorial de la Universidad del Valle.

BloombergNEF. (31 de enero del 2024). La Inversión en energías limpias se dispara un 17% y alcanza los 1.8 billones de dólares en 2023 a nivel mundial, según un informe de BloombergNEF. <https://about.bnef.com/energy-transition-investment/>

Burquel, N., & Van Vught, F. (2010). Benchmarking in European Higher Education: A step beyond current quality models. Tertiary Education and Management, 16(3), 243-255.

Catholic Relief Services (2020). Guía práctica para desarrollar la teoría del cambio de un proyecto.

Carrasquilla, M. (2020). Cómo formular la pregunta de investigación. Scribbr. Recuperado 7 de junio de 2024, de <https://www.scribbr.es/como-empezar-tfg/como-formular-la-pregunta-de-investigacion-de-tu-tfg/>

CEPAL, N. (2023). América Latina y el Caribe en la mitad del camino hacia 2030: avances y propuestas de aceleración.

CESU, C. D. E. (2020). Acuerdo 02 de 2020 por el cual se actualiza el modelo de acreditación de alta calidad. Acuerdo 02 de 2020, 67.

Colciencias. (2019). Misión de Sabios Colombia 2019. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/[https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro\\_mision\\_de\\_sabios\\_digital\\_1\\_2\\_0.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/libro_mision_de_sabios_digital_1_2_0.pdf)

## *Sección ganadores “call for papers”*

Colmenares-Quintero, R. F., Caicedo-Concha, D. M., Rojas, N., Stansfield, K. E., & Colmenares-Quintero, J. C. (2023). Problem based learning and design thinking methodologies for teaching renewable energy in engineering programs: Implementation in a Colombian university context. *Cogent Engineering*, 10(1), 2164442.

Colmenares-Quintero, R. F., Rojas, N., Kerr, S. & Caicedo-Concha, D. (2020) Industry and academia partnership for aquatic renewable energy development in Colombia: A knowledge-education transfer model from the United Kingdom to Colombia, *Cogent Engineering*, 7:1, 1829805, DOI: 10.1080/23311916.2020.1829805

Comisión Europea (2020). La Acción para el Empoderamiento Climático y su potencial transformador en América Latina. Programa EUROCLIMA+, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid. Comisión Europea, Bruselas, Bélgica. 96 p.

Consejo Ejecutivo. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco]. (2023). Fortalecimiento de la función de la cultura y la educación en pro de la acción y la resiliencia climáticas. 217<sup>a</sup> Reunión, París, Francia. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000387036\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000387036_spa)

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Artículo 6. 9 de mayo de 1992.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Pacto de Glasgow para el Clima. 13 de noviembre de 2021.

Daoudi, M. (2024). Education in renewable energies: A key factor of Morocco's 2030 energy transition project. Exploring the impact on SDGs and future perspectives. *Social Sciences & Humanities Open*, 9, 100833.

De la Rosa Ruiz, D., Giménez Armentia, P., & De la Calle Maldonado, C. (2019). Educación para el desarrollo sostenible: el papel de la universidad en la Agenda 2030.

50

Departamento Nacional de Planeación (2022). de 2022. Política de Transición Energética. (Documento CONPES 4075). Bogotá, Colombia.

Departamento Nacional de Planeación (2022). de 2023. Política de Reindustrialización. (Documento CONPES 4129). Bogotá, Colombia.

Departamento Nacional de Planeación (2023). Plan Nacional de Desarrollo Potencia Mundial de la Vida (2022-2026). <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>

Di Terlizzi, S.; Gama, I. & Jaramillo Quintero, T. (2021). Transición Energética en Colombia: No Necesariamente una Realidad que se Sustenta en el Cambio Climático. *Verba Iuris*, 17(46), pp. 105-128.

Droubi, S., Galamba, A., Fernandes, F. L., de Mendonça, A. A., & Heffron, R. J. (2023). Transforming education for the just transition. *Energy Research & Social Science*, 100, 103090.

Eaton, E. M., & Day, N. A. (2020). Petro-pedagogy: Fossil fuel interests and the obstruction of climate justice in public education. *Environmental Education Research*, 26(4), 457-473.

Esquembre, J. (2014). Innovación y gestión estratégica de proyectos. CENGAGE LEARNING, 208-340

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. DOI: 10.1016/S0048-7333(99)00055-00054.

European Union (2023). EU Voluntary Review on progress in the implementation of the 2030 Agenda. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Federal Ministry of Education and Research. (2021). National Action Plan on Education for Sustainable Development- The German contribution to the UNESCO Global Action Programme.

Funnell, S & Rogers, P. (2011). Developing a Theory of change. Purposeful Program Theory: Effective Use of Theories of Change and Logic Models (149- 198). Jossey-Bass.

Funnell, S & Rogers, P. (2011). Developing a Theory of Action. Purposeful Program Theory: Effective Use of Theories of Change and Logic Models (199- 240). Jossey-Bass.

Georgescu-Rogen, N. (1971). The Entropy Law and the economic process, Cambridge, Harvard University Press.

Gobierno de Colombia. (2021). Estrategia climática de largo plazo de Colombia E2050 para cumplir con el Acuerdo de París. MinAmbiente, DNP, Cancillería, AFD, Expertise France, WRI: Bogotá.

Godet, M. (1993). De la anticipación a la acción: Manual de prospectiva estratégica. Marcombo Boixareu Editores.

Goritz, A., & Kolleck, N. (2024). Education in international climate pledges–identifying education framings in countries nationally determined contributions (NDCs). Environmental Education Research, 1-21.

Graf, L., Powell, J. J., Fortwengel, J., & Bernhard, N. (2014). Duale Studiengänge im globalen Kontext: Internationalisierung in Deutschland und Transfer nach Brasilien, Frankreich, Katar, Mexiko und in die USA. Berlin: DAAD.

Hasnain, S. M., Alawaji, S. H., & Elani, U. A. (1998). Solar energy education-a viable pathway for sustainable development. Renewable Energy, 14(1-4), 387-392.

Heffron, R. J., & Heffron, R. J. (2021). What is the “just transition”? Achieving a just transition to a low-carbon economy, 9-19.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6a ed.). McGraw-Hill.

Horton, D., Alexaki, A., Bennett-Lartey, S., Brice, K. N., Campilan, D., Carden, F., Silva, J., Duong, L., Khadar, I., Boza, A., Muniruzzaman, I., Pérez, J., Chang, M., Vernooy, R. & Watts, J. (2003). Evaluating Capacity Development: Experiences from Research and Development Organizations around the World. International Service for National Agricultural Research (ISNAR).

Howard, J. (1981) Future Studies and Environmental Education, The Journal of Environmental Education, 13:2, 40-43, DOI: 10.1080/00958964.1982.10801920

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2010). Estrategia nacional de educación, formación y sensibilización de públicos sobre cambio climático. IDEAM: Bogotá, Colombia.

International Association of Universities (IAU) (2019). International Handbook of Universities 2019. World Higher Education Database. Twenty-Ninth Edition

Jaber, J. O., Awad, W., Rahmeh, T. A., Alawin, A. A., Al-Lubani, S., Dalu, S. A., Dalabih, A. & Al-Bashir, A. (2017). Renewable energy education in faculties of engineering in Jordan: Relationship between demographics and level of knowledge of senior students'. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73, 452-459.

Kahn, H. (1976) The Next 200 Years: A Scenario for America and the World, New York: William Morrow.

Kahn, H. (1979). World Economic Development: 1979 and Beyond. New York: William Morrow.

Kandpal, T. C., & Broman, L. (2014). Renewable energy education: A global status review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34, 300-324.

Lambrechts, W., Van Liedekerke, L., & Van Petegem, P. (2018). Higher education for sustainable development in Flanders: balancing between normative and transformative approaches. Environmental Education Research, 24(9), 1284-1300.

Laszlo, E. (1978). Goals for Mankind. New York: New American Library.

Lledó, P & Rivarola, G. (2007). Gestión de proyectos. Cómo dirigir proyectos exitosos, coordinar los recursos humanos y administrar los riesgos. Pearson, 29 – 58.

## *Sección ganadores “call for papers”*

Lowan-Trudeau, G., & Fowler, T. A. (2022). Towards a theory of critical energy literacy: The Youth Strike for Climate, renewable energy and beyond. *Australian Journal of Environmental Education*, 38(1), 58-68.

Lucas, H., Pinnington, S., & Cabeza, L. F. (2018). Education and training gaps in the renewable energy sector. *Solar Energy*, 173, 449-455.

Lusthaus, C., Adrien, M. H., & Perstinger, M. (1999). Capacity Development: Definitions, Issues and Implications for Planning, Monitoring and Evaluation. *Universalia Occasional Paper*, 35, 1-21.

Maier, S., Narodoslawsky, M., Borell-Damián, L., Arentsen, M., Kienberger, M., Bauer, W., ... & Dobravec, V. (2019). Theory and practice of European co-operative education and training for the support of energy transition. *Energy, sustainability and society*, 9, 1-12.

Mayne, J. (2017). Theory of change analysis: Building robust theories of change. *Canadian Journal of Program Evaluation*, 32(2), 155-173.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). The limits to growth-club of rome.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., & Randers, J. (1992). Beyond the limits: global collapse or a sustainable future (pp. xiv+300pp).

Medina, J & Sánchez, J. (Eds.). (2008). Sinergia prospectiva tecnológica y la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS.

Medina Vásquez, J. E. (2014). Desafíos para la transformación productiva y educativa: hacia una sociedad y una economía del conocimiento. Programa Editorial Universidad Autónoma de Occidente.

Medina Vásquez, J. (2019). Prospectiva como instrumento de política en ciencia, tecnología e innovación para Centroamérica y República Dominicana.

Medina Vásquez, J. E. (2020) Abriendo caminos en la prospectiva de América Latina y el Caribe. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle – Editorial USACH, Centro de Estudios del Futuro de la Universidad de Santiago de Chile.

Medina Vásquez, J. E. (2023). Prospectiva para un mundo interdependiente. Academia Colombiana de Ciencias Económicas.

Mesarovic, M. and Pestel, E. (1974). *Mankind at the Turning Point*. New York: New American Library.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Análisis y Recomendaciones para la Revisión, Actualización e Implementación de la Estrategia Nacional de Educación, Formación y Sensibilización de Púlicos sobre Cambio Climático, en el Marco de la Política Nacional de Cambio Climático y la Política Nacional de Educación Ambiental. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/estrategia-nacional-de-educacion-formacion-y-sensibilizacion-de-publicos-sobre-cambio-climatico/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). NDC de Colombia. Actualización 2020.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Educación Nacional, Universidad EAN, Universidad Sergio Arboleda, UDCA, Fundación Universitaria Los Libertadores (2020). Educación, formación y sensibilización en cambio climático en Colombia visión A 2050 y metas NDC a 2030.

Ministerio de Educación Nacional (s.f.). Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES). Recuperado el 5 de enero de 2024, de <https://snies.mineducacion.gov.co/portal/>

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2022). Modelo de Clasificación de Revistas Científicas – Publindex 2022.

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2023). Políticas De Investigación e Innovación Orientadas Por Misiones – PIIOM Misión Transición Energética.

Mojica, F. J. (2005). La construcción del futuro. Concepto y modelo de prospectiva estratégica, territorial y tecnológica. Universidad Externado de Colombia, Facultad de Administración de Empresas.

Nazarko, J., Anna Kuźmicz, K., Szubzda-Prutis, E., & Urban, J. (2009). The general concept of benchmarking and its application in higher education in Europe. Higher Education in Europe, 34(3-4), 497-510.

Nureldeen, A., & Chang, B. (2018). Impact of Renewable Energy on Education. In IIE Annual Conference. Proceedings (pp. 1677-1682). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco]. (2020a). Education for sustainable development: a roadmap. Place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco]. (2020b). Integrating action for climate empowerment into nationally determined contributions: a short guide for countries, Place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia.

Özbay, F., & Duyar, I. (2022). Exploring the role of education on environmental quality and renewable energy: Do education levels really matter?. Current Research in Environmental Sustainability, 4, 100185.

Paas, L. (2016). Action for Climate Empowerment: Guidelines for accelerating solutions through education, training and public awareness. UNESCO Publishing.

Pacheco, J. F. & Archila, S. (2020). Guía para construir teorías del cambio en programas y proyectos sociales. Parque Científico de Innovación Social.

Palmer, C. (2008). Wave energy in the UK - the lessons of 30 years. RINA, Royal Institution of Naval Architects International Conference - Marine Renewable Energy – Papers.

PALOP, F. & VICENTE, J. (1999): "Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva: su potencialidad para la empresa española", España, Fundación COTEC.

Palop, F. & Martínez, J. (2012). Guía Metodológica de Práctica de la Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. Valencia y Medellín. España y sus Regiones Intercambian Conocimiento con Antioquia – ERICA.

Pérez-Rincón, M., Puente, I. & García, A. (2024) Transición Energética con Justicia Ambiental en Colombia: retos y posibilidades desde la economía ecológica y la ecología política. Censat Agua Viva.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2009). Capacity Development: A UNDP Primer. <https://www.undp.org/publications/capacity-development-undp-primer>

Ram, M., Aghahosseini, A., & Breyer, C. (2020). Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. Technological Forecasting and Social Change, 151, 119682.

Reid, A. (2019) Climate change education and research: possibilities and potentials versus problems and perils?, Environmental Education Research, 25:6, 767-790, DOI: 10.1080/13504622.2019.1664075

Rovelli, P., Ferasso, M., De Massis, A., & Kraus, S. (2022). Thirty years of research in family business journals: Status quo and future directions. Journal of Family Business Strategy, 13(3), 100422.

Sachs, J.D., Lafortune, G., Fuller, G., Drumm, E. (2023). Implementing the SDG Stimulus. Sustainable Development Report 2023. Dublin: Dublin University Press, 2023. 10.25546/102924

Sánchez & Palop, (2002). Herramientas de Software para la práctica de la Inteligencia Competitiva en la empresa. Primera Edición. Triz XXI. Valencia.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2022). Contribución Determinada a Nivel Nacional. Actualización 2022-2030. México, Ciudad de México.

Slowinski, M. & Alfano, K. (2015). Renewable Energy Technician Education: Lessons from the German

## *Sección ganadores “call for papers”*

Energiewende. In 2015 ASEE Annual Conference & Exposition (pp. 26-1330).

Starr, L., & Fornoff, M. (2016). Theory of Change: facilitator's guide. Washington, DC: TANGO International and The Technical and Operational Performance Support (TOPS) Program.

Studyportals. (2024). Studyportals PhDs. Recuperado de <https://www.phdportal.com>

Studyportals. (2024). Studyportals Masters. Recuperado de <https://www.mastersportal.com>

Studyportals. (2024). Studyportals Bachelors. Recuperado de <https://www.bachelorsportal.com/?redirect=false>

Swift, A., Tegen, S., Acker, T., Manwell, J., Pattison, C., & McGowan, J. (2019). Graduate and undergraduate university programs in wind energy in the United States. *Wind Engineering*, 43(1), 35-46.

Thomas, C., Jennings, P., & Lloyd, B. (2008). Issues in renewable energy education. *Australian Journal of Environmental Education*, 24, 67-73.

Tinbergen, J. (1976). RIO: Reshaping and International Order. New York: New American Library.

Tomassi, A., Caforio, A., Romano, E., Lamponi, E., & Pollini, A. (2024). The development of a Competence Framework for Environmental Education complying with the European Qualifications Framework and the European Green Deal. *The Journal of Environmental Education*, 55(2), 153-179.

Ubels, J., Fowler, A., & Acquaye-Baddoo, N. A. (2010). A resource volume on capacity development. In Capacity development in practice (pp. 1-8). Routledge.

54

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2024). Plan Energético Nacional 2022-2054. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN-2052.aspx#:~:text=El%20PEN%202022%2D2052%20es,y%20la%20econom%C3%ADa%20del%20pa%C3%ADas>.

United Nations. UN Sustainable Development Goals. (2015). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

United Nations Sustainable Development Group. (2017). Theory of Change UNDAF Companion Guidance.

United Nations Development Group- UNDG. (2009). Capacity Assessment Methodology.

Vakulchuk, R., & Overland, I. (2024). The failure to decarbonize the global energy education system: Carbon lock-in and stranded skill sets. *Energy Research & Social Science*, 110, 103446.

Valle, A., Manrique, L., & Revilla, D. (2022). La investigación descriptiva con enfoque cualitativo en educación.

Valters, C. (2022). Theories of change: time for a radical approach to learning in development. ODI.

Vélez, I. (2024). Transición Justa: propuestas de gobierno en tiempos de policrisis. En J. D. González Ruiz, H. M. Vélez García y J. Malagón González (Eds.), *Finanzas sostenibles: sector bancario*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas y Económicas.

Vila, J. (2021). Economía en el cambio climático. Hoja de ruta hacia la sociedad frugal. Icaria Editorial. S.A.

Villanueva, M., Pérez, N., Sánchez, A., Guagliano, M., Liscen, D., & Lefevre, M. L. (2015). Guía Nacional de Vigilancia e Inteligencia Estratégica (VelE). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Bs As.

Wallasch, A. & Matthias D. (2010). A long term strategy on joint capacity building Work package 2: Success factors for a long term strategy (by Germany, Denmark and Spain). Final draft for the workshop of multilateral working group on implementing the major economic forum global partnerships technology action plans for wind and solar technologies.

Waldron, F., Ruane, B., Oberman, R. & Morris, S. (2019). Geographical process or global injustice? Contrasting educational perspectives on climate change. *Environmental Education Research*, 25(6), 895-911.

Wan Endut, W. J., Abdullah, M., & Husain, N. (2000). Benchmarking institutions of higher education. *Total Quality Management*, 11(4-6), 796-799.

Weeks, P. (2000). Benchmarking in higher education: An Australian case study. *Innovations in Education and Training International*, 37(1), 59-67.

Welsh, J. F. (2002). Assessing the transfer function: Benchmarking best practices from state higher education agencies. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 27(3), 257-268.

Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability science*, 6, 203-218.

Wiesner, S. (2014). The development of technicians as a key factor for a sustainable development of renewable energies using an adapted education method based on the successful german Dual Education (Duale Ausbildung). *Energy Procedia*, 57, 1034-1036.

Zhang, Q. Y., Best, R., & Chareunsy, A. (2023). The impact of globalisation and education in promoting policies for renewables and energy efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 421, 138559.