

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE ECONOMÍA Y RELACIONES INTERNACIONALES
PROGRAMA DE DOCTORADO EN ESTUDIOS DEL DESARROLLO GLOBAL



**Haciendo visible lo invisible. Principales
frentes de investigación de los países de la
Alianza del Pacífico en el campo de las
Energías Renovables**

Tesis que presenta:
JUAN GABRIEL MARTÍNEZ

Director:
Dr. SANTOS LÓPEZ LEYVA

Codirectora:
Dra. ZAIDA CHINCHILLA RODRÍGUEZ

Tijuana, Baja California, México,
Octubre de 2024

Resumen

Si bien el papel de los sistemas científicos y de innovación es ampliamente reconocido, se han realizado pocos esfuerzos para entender la naturaleza y el alcance de la generación de conocimiento y su enorme potencial de diagnóstico y guía para generar espacios colaborativos en campos temáticos estratégicos. Este estudio tiene como objetivo estudiar las principales líneas de investigación de la producción científica en el campo de las Energías Renovables (ER) de los países que conforman la Alianza del Pacífico (AP): Chile, Colombia, México y Perú. Se usa una perspectiva multidisciplinar enmarcada teóricamente en la economía evolutiva de la escuela de Sussex que integra elementos del cambio científico y tecnológico y en el campo de la cienciometría que brinda principios, técnicas y herramientas para desvelar las tendencias y dinámicas en la generación de conocimiento científico. De esta manera se pueden detectar las principales fortalezas y debilidades en el desarrollo de la investigación y su potencial en la transferencia de conocimiento para guiar en la gestión del conocimiento a los responsables de su planificación y financiación. Para ello se usan técnicas bibliométricas y herramientas de gestión y visualización de datos aplicadas a los documentos recuperados de la base de datos Scopus para el periodo de 2000 a 2022. Se realiza un análisis de cómo ha evolucionado la investigación a nivel mundial y a nivel nacional en ER calculando los puntos de inflexión en su crecimiento a partir de la segunda derivada. Para cada uno de los periodos analizados se generaron mapas de conocimiento y se compararon las tendencias de crecimiento de las principales líneas de investigación para cada uno de los países con respecto al mundo y entre ellos mismos. Los resultados ofrecen información valiosa sobre las principales temáticas investigadas en los cuatro países identificando convergencias para la creación de posibles espacios colaborativos en torno a los siguientes seis frentes de investigación, cinco consolidados y uno emergente, enfocados en la política en sostenibilidad con los ODS, estructura en energías renovables con las energías eólica-fotovoltaica y la generación de biocombustibles con el desarrollo de biorrefinerías. La principal contribución de la tesis es que permite comprender la complejidad y riqueza de los desarrollos en investigación en términos de tendencias, dinámicas, evolución y relaciones, elementos esenciales para el diagnóstico, desarrollo y diseño de políticas de innovación sostenible en las que los países de la Alianza del Pacífico pueden centrar sus esfuerzos.

Palabras Claves: Economía Evolutiva, Cienciometría, Mapas de Conocimiento, Energías Renovables, Alianza Del Pacífico, Chile, Colombia, México Perú.

Summary

Although the role of scientific and innovation systems is widely recognized, little effort has been made to understand the nature and scope of knowledge generation and its enormous potential for diagnosis and guidance to generate collaborative spaces in strategic thematic fields. This study aims to examine the main research lines of scientific production in the field of Renewable Energy (RE) in countries that make up the Pacific Alliance (PA): Chile, Colombia, Mexico, and Peru. A multidisciplinary perspective is used, theoretically framed in the evolutionary economics of the Sussex School that integrates elements of scientific and technological change and in the field of scientometrics that provides principles, techniques, and tools to reveal the trends and dynamics in the generation of scientific knowledge. In this way, the main strengths and weaknesses in the development of research and its potential for knowledge transfer can be detected to guide those responsible for planning and financing in the management of knowledge. For this purpose, bibliometric techniques, data management, and visualization tools were applied to the documents retrieved from the Scopus database for the period 2000–2022. We analyze how research has evolved globally and nationally in RE by calculating the inflection points in its growth from the second derivative. For each of the periods analyzed, knowledge maps were generated, and the growth trends of the main lines of research were compared for each of the countries with respect to the world and among themselves. The results provide valuable information on the main topics investigated in the four countries, identifying convergences for the creation of possible collaborative spaces around the following six research fronts: five consolidated and one emerging, focused on sustainability policy with the SDGs, structure in renewable energies with wind-photovoltaic energies, and biofuel generation with the development of biorefineries. The main contribution of this thesis is that it allows us to understand the complexity and richness of research developments in terms of trends, dynamics, evolution, and relationships, essential elements for the diagnosis, development, and design of sustainable innovation policies on which Pacific Alliance countries can focus their efforts.

Keywords:¹ Evolutionary Economics, Scientometrics, Knowledge Maps, Renewable Energies, Pacific Alliance, Chile, Colombia, Mexico, Peru.

¹ Códigos JEL : O30, O31, O33, O34, O36. Extraído de: <https://www.acaweb.org/jel/guide/jel.php>

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. PRESENTACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	4
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	16
1.3.1. <i>Pregunta General</i>	16
1.3.2. <i>Preguntas específicas</i>	17
1.4. SUPUESTO DE INVESTIGACIÓN	17
1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	17
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	17
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	19
2.1. LOS CONTEXTOS DE LA ECONOMÍA EVOLUTIVA EN LOS SISTEMAS CIENTÍFICOS Y DE INNOVACIÓN EN EL PROCESO DE INTEGRACIÓN DE LA ALIANZA DEL PACÍFICO	19
2.1.1. <i>Perspectiva de la economía evolutiva en los Sistemas de Innovación</i>	19
2.1.2. <i>Postura categórica de la evolución socioeconómica Darwiniana y la Schumpenteriana para los Sistemas de Innovación de la Alianza del Pacífico</i>	20
2.1.3. <i>Perspectiva de la economía evolutiva en los Sistemas de Innovación</i>	24
2.1.4. <i>Implicación de la Innovación en las ondas de Kondratieff – Schumpenteriana</i>	26
2.2. CATEGORÍAS CONCEPTUALES DEL CAMBIO TECNOLÓGICO	28
2.2.1. <i>Trayectoria tecnológica</i>	28
2.2.2. <i>Paradigma tecno-económico</i>	30
2.2.3. <i>Sistema Tecnológico</i>	31
2.2.4. <i>Innovación radical e incremental</i>	31
2.2.5. <i>Revolución tecnológica</i>	32
2.2.6. <i>Dinámica de los actores de la Triple Hélice para la generación de conocimiento</i>	32
2.2.7. <i>La política en ciencia, tecnología e innovación desde la perspectiva de la ciencia de datos</i>	40
2.3. ESTADO DEL ARTE	42
2.3.1. <i>Líneas de evolución de los Sistemas Científicos: casos de estudio en publicaciones en energías renovables</i>	42
2.3.2. <i>Líneas de investigación: casos de estudio en tecnologías en nanociencia y nanotecnología</i>	43
CAPÍTULO 3 FUENTES DE INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA	45
3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN	46

3.1.1.	<i>Web of Science</i>	48
3.1.2.	<i>Scopus</i>	53
3.1.3.	<i>Dimensions</i>	58
3.1.4.	<i>The Lens</i>	66
3.2.	METODOLOGÍA	70
3.2.1.	<i>Delimitaciones de la investigación</i>	70
3.2.2.	<i>Mapas de conocimiento basados en el análisis de co-palabras</i>	77
3.2.3.	<i>Indicadores de influencia</i>	77
3.2.4.	<i>Proceso metodológico</i>	80
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....		91
4.1.	TENDENCIAS DEL CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL MUNDIAL Y PARA LOS PAÍSES DE LA AP DE 2000 A 2022	91
4.2.	LOS PAÍSES DE MAYOR PRODUCCIÓN EN ER A NIVEL MUNDIAL	92
4.3.	LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL. EVOLUCIÓN TEMPORAL.....	93
4.3.1.	<i>Fomento Global de las Energías Renovables</i>	93
4.3.2.	<i>Expansión global del conocimiento sobre ER</i>	99
4.3.3.	<i>Transformación global de las energías renovables</i>	101
4.4.	FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES DEL MUNDO	103
4.4.1.	<i>Evolución de los frentes de investigación en ER del mundo</i>	107
4.5.	FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES DE CHILE	118
4.5.1.	<i>Evolución de los frentes de investigación en ER de Chile</i>	123
4.6.	FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES DE COLOMBIA	133
4.6.1.	<i>Evolución de los frentes de investigación en ER de Colombia</i>	136
4.7.	FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES DE MÉXICO	146
4.7.1.	<i>Evolución de los frentes de investigación en ER de México</i>	150
4.8.	FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES DE PERÚ	159
4.8.1.	<i>Evolución de los frentes de investigación en ER de Perú</i>	163
4.9.	CONVERGENCIA TECNOLÓGICA DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ER DEL ALIANZA DEL PACÍFICO	171
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS		178
5.1.	CONCLUSIONES	178
5.2.	LIMITACIONES.....	181
5.3.	INVESTIGACIONES FUTURAS	181
5.4.	REFERENCIAS	183

Índice Tablas

TABLA 2-1 EXPONENTES TEÓRICOS EVOLUCIONISTAS	21
TABLA 2-2 ELEMENTOS DE LA INNOVACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA TRIPLE HÉLICE	36
TABLA 3-1 CATEGORÍAS DE ÁREAS TEMÁTICAS DE SCOPUS.....	56
TABLA 3-2 ESTRUCTURA DE BÚSQUEDA POR CÓDIGO DEL ASJC DE SCOPUS	57
TABLA 3-3 VERSIONES DE ACCESO A DIMENSIONS	62
TABLA 3-4 CATEGORIZACIÓN DISPONIBLES EN DIMENSIONES	63
TABLA 3-5 CATEGORÍAS FOR DE ANZSRC 2020	64
TABLA 3-6 NIVEL DE ENERGÍAS RENOVABLES CÓDIGO ANZSRC 2008.....	65
TABLA 3-7 CAMPOS DE ESTUDIO DE LENS 2023.....	69
TABLA 3-8 JERARQUÍA DE MAKG.....	69
TABLA 3-9 RESULTADOS DE LA SEGUNDA DERIVADA Y LOS SEGMENTOS TEMPORALES EN ENERGÍAS RENOVABLES	76
TABLA 3-10 ANÁLISIS DE SEGMENTOS DE LA SERIE DE TIEMPO ER.....	77
TABLA 3-11 COBERTURA GLOBAL DE SCOPUS Y WoS EN ER.....	81
TABLA 3-12 CATEGORÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES BAJO EL SISTEMA ASJC.....	82
TABLA 3-13 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA DE SCOPUS DE LA CATEGORÍA ER Y PAÍS.....	83

Índice de Figuras

FIGURA 1-1 ACTORES PRINCIPALES DEL ECOSISTEMA CIENCIA E INNOVACIÓN	6
FIGURA 1-2 NÚMERO DE INVESTIGADORES DE TIEMPO COMPLETO EN 17 PAÍSES DE ALC	10
FIGURA 1-3 PROPORCIÓN DE VALOR AÑADIDO DE LA INDUSTRIA DE TECNOLOGÍA MEDIA-ALTA Y ALTA DE ALC.....	11
FIGURA 2-1 CICLOS DE KONDRATIEFF: OLAS LARGAS DE PROSPERIDAD	27
FIGURA 2-2 CONFIGURACIONES ENTRE LOS ACTORES DE LA INNOVACIÓN MEDIANTE LA TRIPLE HÉLICE	34
FIGURA 2-3 EVOLUCIÓN DE LOS AGENTES TRIPLE HÉLICE	37
FIGURA 2-4 ESQUEMA ANALÍTICO PARA ESTUDIAR LA TH COMO MODELO NEOEVOLUTIVO DE LAS PATENTES	39
FIGURA 3-1 ESTRUCTURA GENERAL DE WEB OF SCIENCE	49
FIGURA 3-2 COBERTURA DE SCOPUS 2023.....	55
FIGURA 3-3 NÚMERO DE REGISTROS DE LA BASE DE DATOS DE DIMENSIONS 2023	59
FIGURA 3-4 REGISTRO DE ARTÍCULOS Y PATENTES EN LENS 2023	68
FIGURA 3-5 FUNCIÓN DE CRECIMIENTO DE PUBLICACIONES EN ER	71
FIGURA 3-6. PUNTO DE INFLEXIÓN Y LA FUNCIÓN CAMBIA DE CONCAVIDAD	75
FIGURA 3-7 PASOS METODOLÓGICOS PARA LA DELIMITACIÓN DE LOS DESCRIPTORES EN ENERGÍA RENOVABLES	80
FIGURA 3-8 VENTANA EMERGENTE DE CRITERIOS DE EXPORTACIÓN DE SCOPUS	83
FIGURA 3-9 FRECUENCIAS DE PALABRAS CLAVES MEDIANTE VOSVIEWER.....	84
FIGURA 3-10 LIMPIEZA DE TÉRMINOS EN EXCEL.....	85

FIGURA 3-11 AGRUPACIÓN DE TÉRMINOS CON <i>OPENREFINE</i>	86
FIGURA 4-1 EVOLUCIÓN DE LOS DOCUMENTOS EN <i>ER</i> MUNDIAL Y DE LOS PAÍSES DE LA ALIANZA DEL PACÍFICO	92
FIGURA 4-2 LOS PAÍSES DE MAYOR PRODUCCIÓN EN <i>ER</i> A NIVEL MUNDIAL	93
FIGURA 4-3 PRIMER SEGMENTO DE CONTEXTUALIZACIÓN 2000 A 2012	94
FIGURA 4-4 SEGUNDO SEGMENTO TEMPORAL DE EXPANSIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE <i>ER</i> DE 2013 A 2019	100
FIGURA 4-5 TERCER SEGMENTO TEMPORAL DE DOCUMENTOS EN <i>ER</i> 2020-20022	102
FIGURA 4-6 PRODUCCIÓN CIENTÍFICA EN <i>ER</i> DEL MUNDO	104
FIGURA 4-7 EVOLUCIÓN DE LAS <i>ER</i> EN EL MUNDO	109
FIGURA 4-8 EVOLUCIÓN DE LOS AKs EN LAS <i>ER</i> EN LOS SEGMENTOS TEMPORALES	110
FIGURA 4-9 COMPORTAMIENTO DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN EN <i>ER</i> EN EL TIEMPO DEL MUNDO	110
FIGURA 4-10 FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE CHILE EN ENERGÍAS RENOVABLES	119
FIGURA 4-11 TENDENCIA DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE CHILE Y EL MUNDO 2000-2022	120
FIGURA 4-12 COMPORTAMIENTO DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN EN <i>ER</i> EN EL TIEMPO DE CHILE	123
FIGURA 4-13 EVOLUCIÓN DE LAS <i>ER</i> DE CHILE	124
FIGURA 4-14 EVOLUCIÓN DE LOS AKs EN LAS <i>ER</i> EN LOS SEGMENTOS TEMPORALES PARA CHILE	130
FIGURA 4-15 TENDENCIA DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE COLOMBIA Y EL MUNDO 2000-2022	133
FIGURA 4-16 FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE COLOMBIA EN ENERGÍAS RENOVABLES	134
FIGURA 4-17 EVOLUCIÓN DE LAS <i>ER</i> EN COLOMBIA	137
FIGURA 4-18 COMPORTAMIENTO DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN EN <i>ER</i> EN EL TIEMPO DE COLOMBIA	138
FIGURA 4-19 EVOLUCIÓN DE LOS AKs EN LAS <i>ER</i> EN LOS SEGMENTOS TEMPORALES PARA COLOMBIA	143
FIGURA 4-20 TENDENCIA DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE MÉXICO Y EL MUNDO 2000-2022	146
FIGURA 4-21 FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE MÉXICO EN ENERGÍAS RENOVABLES	147
FIGURA 4-22 EVOLUCIÓN DE LAS <i>ER</i> DE MÉXICO	151
FIGURA 4-23 COMPORTAMIENTO DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN EN <i>ER</i> EN EL TIEMPO DE MÉXICO	152
FIGURA 4-24 EVOLUCIÓN DE LOS AKs EN LAS <i>ER</i> EN LOS SEGMENTOS TEMPORALES PARA MÉXICO	155
FIGURA 4-25 TENDENCIA DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE PERÚ Y EL MUNDO 2000-2022	159
FIGURA 4-26 FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE PERÚ EN ENERGÍAS RENOVABLES	160
FIGURA 4-27 EVOLUCIÓN DE LAS <i>ER</i> DE PERÚ	164
FIGURA 4-28 COMPORTAMIENTO DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN EN <i>ER</i> EN EL TIEMPO DE PERÚ	165
FIGURA 4-29 EVOLUCIÓN DE LOS AKs EN LAS <i>ER</i> EN LOS SEGMENTOS TEMPORALES PARA PERÚ	167
FIGURA 4-30 CONVERGENCIA DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN DE LA AP EN ENERGÍAS RENOVABLES	171
FIGURA 4-31 PARTICIPACIÓN EN LA CONVERGENCIA DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN EN LAS <i>ER</i> EN LOS DE LA AP	172
FIGURA 4-32 POSIBLES CONVERGENCIAS DE LOS FRENTEs DE INVESTIGACIÓN EN <i>ER</i> DE LOS PAÍSES DE LA AP	174

Índice de Anexos

ANEXO 1. CÁLCULO DEL SEGMENTO TEMPORAL EN ER	175
ANEXO 2. FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ER DEL MUNDO.....	178
ANEXO 3. EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA EN SOSTENIBILIDAD EN ER DEL MUNDO	179
ANEXO 4. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ER DEL MUNDO	180
ANEXO 5. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES DEL MUNDO	181
ANEXO 6. EVOLUCIÓN EN ALMACENAMIENTO DE ER DEL MUNDO	182
ANEXO 7. EVOLUCIÓN GENERACIÓN EN ENERGÍA SOLAR DEL MUNDO	183
ANEXO 8. EVOLUCIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ER DEL MUNDO.....	184
ANEXO 9. FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ER DE CHILE	185
ANEXO 10. EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA EN SOSTENIBILIDAD EN ER DE CHILE	186
ANEXO 11. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ER DE CHILE	187
ANEXO 12. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES DE CHILE.....	188
ANEXO 13. EVOLUCIÓN EN ALMACENAMIENTO DE ER DE CHILE	189
ANEXO 14. EVOLUCIÓN GENERACIÓN EN ENERGÍA SOLAR DE CHILE	190
ANEXO 15. EVOLUCIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ER DE CHILE	191
ANEXO 16. FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ER DE COLOMBIA	192
ANEXO 17. EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA EN SOSTENIBILIDAD EN ER DE COLOMBIA.....	193
ANEXO 18. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ER DE COLOMBIA	194
ANEXO 19. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES DE COLOMBIA.....	195
ANEXO 20. EVOLUCIÓN EN ALMACENAMIENTO DE ER DE COLOMBIA	196
ANEXO 21. EVOLUCIÓN GENERACIÓN EN ENERGÍA SOLAR DE COLOMBIA	197
ANEXO 22. EVOLUCIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ER DE COLOMBIA	198
ANEXO 23. FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ER DE MÉXICO.....	199
ANEXO 24. EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA EN SOSTENIBILIDAD EN ER DE MÉXICO	200
ANEXO 25. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ER DE MÉXICO.....	201
ANEXO 26. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES DE MÉXICO	202
ANEXO 27. EVOLUCIÓN EN ALMACENAMIENTO DE ER DE MÉXICO	203
ANEXO 28. EVOLUCIÓN GENERACIÓN EN ENERGÍA SOLAR DE MÉXICO	204
ANEXO 29. EVOLUCIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ER DE MÉXICO.....	205
ANEXO 30. FRENTES DE INVESTIGACIÓN EN ER DE PERÚ	206
ANEXO 31. EVOLUCIÓN DE LA POLÍTICA EN SOSTENIBILIDAD EN ER DE PERÚ	207
ANEXO 32. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ER DE PERÚ	208
ANEXO 33. EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN EN BIOCOMBUSTIBLES DE PERÚ	209
ANEXO 34. EVOLUCIÓN EN ALMACENAMIENTO DE ER DE PERÚ.....	210

ANEXO 35. EVOLUCIÓN GENERACIÓN EN ENERGÍA SOLAR DE PERÚ	211
ANEXO 36. EVOLUCIÓN EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ER DE PERÚ.....	212
ANEXO 37. CONVERGENCIA DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN DE CHILE Y COLOMBIA EN ENERGÍAS RENOVABLES	213
ANEXO 38. CONVERGENCIA DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN DE CHILE Y MÉXICO EN ENERGÍAS RENOVABLES	214
ANEXO 39. CONVERGENCIA DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN DE CHILE Y PERÚ EN ENERGÍAS RENOVABLES.....	215
ANEXO 40. CONVERGENCIA DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN DE COLOMBIA Y MÉXICO EN ENERGÍAS RENOVABLES	216
ANEXO 41. CONVERGENCIA DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN DE COLOMBIA Y PERÚ EN ENERGÍAS RENOVABLES.....	217
ANEXO 42. CONVERGENCIA DE LOS FRENTES DE INVESTIGACIÓN DE MÉXICO Y PERÚ EN ENERGÍAS RENOVABLES	218

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a mis directores de tesis, el Dr. Santos López Leyva y la Dra. Zaida Chinchilla Rodríguez. Su dedicación inquebrantable, su guía en momentos de incertidumbre y las valiosas ideas que me brindaron han sido pilares fundamentales en este viaje académico. Gracias por confiar en mí y por enseñarme no solo el valor del conocimiento, sino también la importancia de perseguir mis sueños con determinación.

Extiendo mi agradecimiento al Dr. Benjamín Vargas Quesada, cuyo apoyo y orientación fueron esenciales para la realización de esta tesis. Sin su valiosa contribución, este trabajo no habría sido posible. A los miembros de grupo evaluador el Dr. Arturo Serrano Santoyo, Dra. Isaura González Rubio y el Dr. Mayer Rainiero Cabrera Flores que expresaron valiosas aportaciones en los coloquios durante estos tres años de formación.

A CONAHCYT, la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y a su Facultad de Economía y Relaciones Internacionales (FEYRI), les agradezco por brindarme un entorno académico idóneo para mi formación profesional. Asimismo, agradezco al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) por la oportunidad de realizar una estancia de investigación en el Instituto de Políticas y Bienes Públicos (IPP), y por la hospitalidad con la que fui recibido.

Finalmente, a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido mi ancla durante cada etapa de este proceso: a mi madre, por creer siempre en mí y animarme en los momentos más difíciles; a mi hija, quien ha sido el motor de mi vida y una fuente constante de inspiración; y a mi esposa, por su amor inquebrantable y por acompañarme en cada paso de este camino. A todos ustedes, les debo más de lo que puedo expresar con palabras. Esta tesis es un reflejo del esfuerzo compartido y del amor que siempre me ha rodeado.

Introducción

Los temas de investigación evolucionan con las transformaciones de la sociedad, en particular los intercambios de la interacción humana con su entorno y se potencializan con las nuevas innovaciones tecnológicas ([V. Campenhoudt & Quivy, 2011](#)). Estas dinámicas de generación de conocimiento e innovación las desarrollan distintos actores que interactúan en el proceso de transformación y actualización a favor de promover la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), por tanto, son generadoras de conocimiento y están sujetas a cambios hacia los nuevos órdenes sociales y del mercado (Villalba & Montoya, 2018). Las instituciones que forman los Sistemas Científicos (SC) y Sistemas de Innovación (SI), además de ser generadoras de capital intelectual y de promover la globalización de los recursos intelectuales, naturalmente, se han convertido en conjunto actores preponderante en el mercado global para el trabajo intelectual ([Lukianenko et al., 2018](#)). Por lo que, sus procesos de gestión de la investigación se han establecido como un componente de la economía del conocimiento, en la que los países apuestan a la innovación por medio de productos que pueden influir en el crecimiento económico ([Alam & Murad, 2020](#)).

Invertir en la innovación puede generar aumentos en la productividad como factores que pueden conducir a una mayor rentabilidad y potencializar el crecimiento del empleo (Ostrovsky et al., [2020](#)). Este pensamiento es un acontecimiento que aprovecharon muchas naciones para instaurar estrategias de desarrollo económico, por medio de una gestión del conocimiento adecuada para su proceso de industrialización y avances tecnológicos ([Holgersson et al., 2018](#)). Walsh et al., ([2020](#)) afirman que las naciones que promueven estas estrategias de desarrollo fundamentadas en la innovación requieren trabajar distintos aspectos para su consolidación. Entre ellos, las inversiones económicas necesarias para incentivar la Investigación y Desarrollo (I+D) en los sectores académicos y privados. Este rubro viene acompañado por medidas presupuestarias de los gobiernos ([Mazzucato, 2019](#)), regulaciones de carácter normativo y políticas que incentiven los mecanismos de cohesión entre los distintos actores a cargo de la gestión en el conocimiento ([Zurbano et al., 2014](#)). En la actual dinámica del sistema mundial de conocimiento, hay factores clave para el fomento de la innovación que determinan la competencia, - promoviendo productos y servicios de alto valor agregado-, y que requieren entornos de investigación e innovación establecidos por políticas científicas a nivel nacional o institucional que favorezcan la transferencia

de conocimiento entre sus centros de investigación (CI) ([Swati, 2021](#); [Trunina et al., 2019](#); [Bouncken & Reich, 2018](#)).

Los efectos de la competencia dentro de los mercados internacionales también han promovido un espíritu de integración regional en el que los países se suman para aportar capacidades de conocimientos de manera colaborativa ([Kucharska & Erickson, 2023](#)). Ejemplo de ello, en el año 2011 se constituye la Alianza del Pacífico (AP) conformada por cuatro países Latinoamericanos: Chile, Colombia, México y Perú. Este grupo económico impulsa el desarrollo por medio de mecanismos de cooperación en materia social, cultural, mercantil, conocimiento, etc. Entre sus discusiones de articulación, han puesto de manifiesto una serie de limitaciones y obstáculos a superar, enmarcadas en mayor medida por la armonización de políticas territoriales. Uno de los aspectos clave se corresponde con la generación de innovación como un reflejo de la demanda y la oferta del mercado y la asignación presupuestal basada en el incremento de gastos públicos referente en I+D, la construcción de capacidades tecnológicas y reforzar áreas de interés científico para mejorar la competitividad ([L. Sánchez & Pedroza, 2014](#)).

Para la consecución de estos objetivos se requiere de un diagnóstico pertinente sobre el desarrollo y la evolución de las principales líneas de investigación en los sistemas científicos y tecnológicos de los países de la AP y su comparación con las tendencias mundiales. De esta manera, se ofrece una herramienta de valor agregado a todos los actores implicados en la AP que contribuye a informar debates reflexivos y constructivos en la conformación de espacios colaborativos que fomenten la innovación.

La estructura de la presente investigación se concibe de la siguiente manera: el primer capítulo presenta el objeto de estudio con sus principales aristas de la problematización. El segundo capítulo, se desarrolla el marco teórico bajo la perspectiva de la economía evolutiva y sus diversos elementos conceptuales para comprender la complejidad de la estructuras y dinámicas de los Sistemas Ciencia e Innovación (SC). El tercer capítulo, corresponde a materiales y métodos donde se desarrolla un enfoque comparativo sobre las características de las principales fuentes de información disponible y se exponen las técnicas y herramientas usadas para generar los mapas cognitivos del mundo y de los cuatro países de la AP. En el cuarto capítulo, se realiza un análisis de las tendencia de generación de conocimiento de los países de la AP y sus diferencias/similitudes entre ellos y en comparación con las tendencias mundiales. El quinto capítulo, lo componen las

conclusiones de mayor relevancia, las limitaciones del estudio y los futuros estudios para complementar la investigación.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Introducción

El presente capítulo sitúa los países de la Alianza del Pacífico (AP) como un bloque económico que trabaja en la generación de los espacios colaborativos en función de los diversos contextos de competitividad global. Uno de estos aspectos son las capacidades científicas y de innovación particulares entre los países de la AP, que hacen compleja la descripción de sus elementos sistémicos y estructurales. Se presenta una descripción de las diversas causas que afectan al objeto de estudio y los principales elementos que constituyen el marco conceptual en el que se desarrolla esta investigación. A continuación, se establecen el objeto de estudio, la exposición de motivos e intereses de la investigación, respaldados por una justificación concisa. Luego, se establecieron las preguntas de investigación derivadas y articuladas a la pregunta general, junto con tres objetivos específicos y uno general. Finalmente, se expone el supuesto como el elemento que orientó este proyecto de investigación.

1.1. Presentación del objeto de estudio

Los individuos son seres complejos y reflexivos que manifiestan en la sociedad su naturaleza sistémica. Este espejo de la evolución ubica, hasta el momento, al ser humano como el único operador epistémico posible gracias a su capacidad intelectual, lenguaje y adaptación para dominar su entorno con éxito ([Ibáñez, 2016](#)). La civilización actual es producto de esta evolución que se potencializa con los nuevos descubrimientos científicos y novedosos procesos de innovación, tanto tecnológicos como sociales ([Khorsheed, 2017](#)). Así como, novedosas formas de organización que gestionan el conocimiento de manera compleja para constituir los sistemas científicos y de innovación dentro de las naciones.

El enfoque sistémico se lleva a cabo por medio de la interacción en red de los distintos agentes que conforman un marco institucional (R. R. Nelson & Rosenberg, 1993; [B.-A. Lundvall, 1992](#)). Ello implica la cooperación entre los mismos agentes a nivel funcional, como la investigación y desarrollo (I+D), el flujo de cooperación público-privado, así como, la amplitud en los aspectos económicos y los entramados institucionales que afectan la difusión del conocimiento y el aprendizaje (Asheim, 2007). Este grado de complejidad se puede integrar al concepto de

Sistema Ciencia (SC) y Sistema de Innovación (SI) de Zartha et al., ([2021, p. 1346](#)), quien lo define como una interacción de “sistemas de instituciones interconectadas para crear, almacenar y transferir el conocimiento, las habilidades y los artefactos que definen las nuevas tecnologías”.

Es decir, que el SC y el SI son marcos cruciales para comprender el avance tecnológico y el desarrollo económico. Por un lado, el SC involucra una red de agentes dedicados a generar, difundir y utilizar el conocimiento científico ([Shubbak, 2019](#)). Por otro lado, la SI cumple una función vital en el crecimiento y desarrollo económico al facilitar el flujo de tecnología e información entre individuos, empresas e instituciones, lo que en última instancia conduce a la transformación de ideas en productos y servicios comercializables ([Imer, 2021](#)). Los principales proyectos científicos sirven como plataformas de I+D dentro de la SI, principalmente se hace hincapié en la colaboración de temas de innovación, vínculos y recursos para lograr objetivos comunes en un entorno propicio para la innovación ([Dong et al., 2023; Chinchilla-Rodríguez et al., 2018](#)). Esta estructura conforma el sistema nacional de innovación (SNI), que es un complejo de entidades interconectadas, incluidos actores científicos, técnicos e innovadores, infraestructura y organismos gubernamentales, todos ellos se articulan para fomentar y apoyar las actividades de innovación en el ámbito social y tecnológico de un país o región ([Vysotsky, 2023](#)).

De acuerdo con el informe de Clarivate ([2022](#)), en la actualidad la producción científica está impulsada por fuerzas de convergencia nunca antes vistas. Alimentadas por nuevos paradigmas tecnológicos que mejoran tanto la productividad como la eficiencia, e incluso ha cambiado los enfoques tendientes a la sostenibilidad. Por lo tanto, el estímulo de la producción científica es susceptible a los cambios que puedan presentarse en los diferentes factores de la innovación, sea en el orden económico, social, político, organizacional e institucional. Así como, en factores relacionados con el desarrollo, la difusión y el uso del conocimiento ([Edquist, 2006; Zartha et al., 2021](#)). De este modo, estas fuerzas de interacción y de presión se dan tanto interna como externamente, coevolucionan e interactúan en los sistemas dentro de un territorio, bajo la dirección de una organización que domina y subordina a otras organizaciones e instituciones para que se efectúen los procesos de gestión del conocimiento y convergencia tecnológica ([López-Leyva & Martínez, 2024; B.-Å. Lundvall & Rikap, 2022](#)).

De hecho, la estructura del SC y SI está moldeada significativamente por actores del sector público, como el Estado, entidades del sector privado, representadas por grupos empresariales, y el sector académico, a través de centros de investigación y universidades. Estos actores son

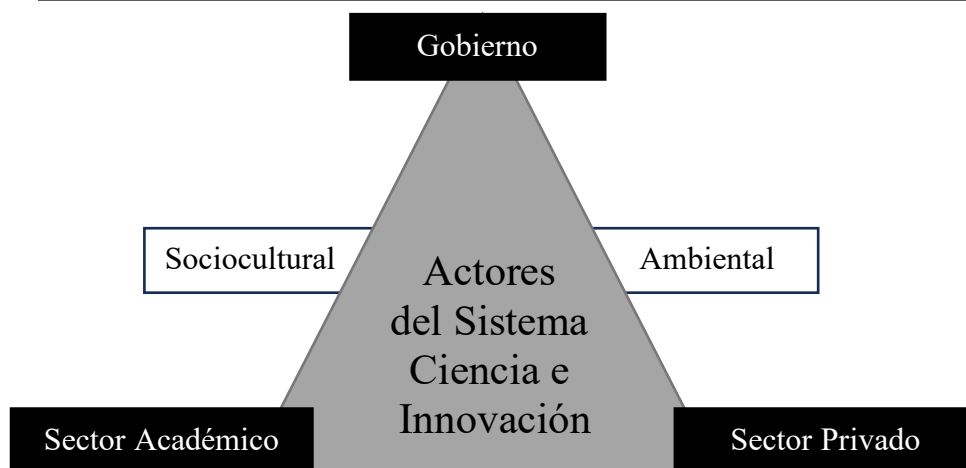
cruciales en la creación de un entorno propicio para la innovación mediante el fomento de la colaboración, el intercambio de conocimientos y la asignación de recursos dentro del sistema ([Malik et al., 2021](#); [Lovera et al., 2008](#)). Adicionalmente, estos sectores se encuentran bajo la influencia de factores socioculturales y ambientales que incrementan la complejidad e interconexión de diversos elementos dentro del ecosistema de innovación (Figura 1.1) ([Carneiro et al., 2022](#)).

Leydesdorff et al., ([2014](#)) señalan que cada uno de estos actores interactúan a razón de trabajar conjuntamente para lograr fortalecer los sistemas, por medio de nuevos conocimientos con alto valor agregado y el desarrollo de políticas públicas claves para la ciencia ([Perianes-Rodríguez et al., 2011](#)). *El Estado* ejerce un rol imprescindible en el sistema ciencia e innovación, ya que cumple funciones de articulación, regulación y garantía, a través de la asignación presupuestal y la implementación de políticas que promuevan la gestión científica e innovación en los sectores académicos y privados ([Oyelaran-Oyeyinka & Gehl, 2009](#); [Narin et al., 1997](#)).

Por lo tanto, la instauración de una política de orden global como la sostenibilidad a una política nacional es una tarea a cargo del Estado. Esta agenda global, asumida por la mayoría de las naciones en el mundo, se encuentra encaminada hacia un enfoque de promover aspectos de la innovación social, tecnología y la sostenibilidad ([Zartha et al., 2021](#)). Ello incluye el desarrollo e implementación de nuevos productos, tecnologías, procesos de producción, recursos, mercados y sistemas que integran la economía y la ecología. Sin embargo, Malik et al. ([2021](#)) advierten que a

Figura 1-1

Actores principales del ecosistema ciencia e innovación



Nota. Desarrollo propio con información Malik et al. (2021)

nivel de macropolítica no se comprende claramente cómo estos distintos actores interactúan entre sí para contribuir en la generación de conocimiento científico en los centros de innovación global, ya que pueden cambiar de una región a otra, y se observa ciertas debilidades y capacidades en los países en desarrollo.

Mientras tanto, el *sector privado* es uno de los principales generadores de la innovación a cargo en mayor medida por la empresa. En esencia, las organizaciones requieren para sobrevivir en el tiempo emplear mecanismos de adaptación. Ello infiere, establecer estrategias de inversión en I+D y la generación de la innovación en los procesos productivos que los haga competitivos en sus mercados naturales y a nivel global ([Rohe, 2020](#)). Buscan además explorar el uso del conocimiento endógeno y exógeno para acelerar el proceso de innovación y generar valor por medio de la colaboración y cooperación entre actores ([de Oliveira et al., 2019](#)). Por lo tanto, el sector privado debe trabajar en factores de orden estructural en su entorno y la calidad de sus conexiones con otros actores de los sistemas, en específico el sector académico ([Soete et al., 2010](#)).

Sin embargo, las empresas en los países en desarrollo a menudo encuentran barreras de acceso a créditos de capital riesgo para nuevas invenciones, altos costos de innovación, la escasez de personal calificado, limitada información del mercado y políticas que incentiven la I+D, lo que dificulta el desempeño del ecosistema de innovación ([Carvache-Franco et al., 2022](#)). Además, los bajos niveles de adopción tecnológica y el desarrollo de nuevos productos de alto valor agregado en los países en desarrollo contribuyen a la paradoja de la innovación. Ello implica, que la innovación a menudo posea mejoras marginales en lugar de avances innovadores, lo que evidencia los desafíos que debe enfrentar las empresas en estas regiones ([Sánchez et al., 2018](#)).

Finalmente, el *sector académico* lo componen los centros de investigación y universidades, que se centran específicamente en la generación y difusión del conocimiento para el sistema ciencia e innovación ([Sánchez & Pedroza, 2014](#); [Narin et al., 1997](#)). Por lo que, los sectores de orden nacional e internacional interactúan entre sí para generar la producción tecnocientífica, e incrementar su capital intelectual y tecnológico dentro de los países ([Malik et al., 2021](#)). Y constituyen los sistemas complejos que delinean la evolución de las investigaciones dentro de los Sistemas Científicos ([Furtado et al., 2020](#); [Pérez, 2010](#)).

No obstante, desde la gran apertura de los mercados en el siglo XX existe una evidente desventaja de los países en desarrollo marcados por los rezagos tecnológicos, baja capacidad científica, fuga de capital humano hacia otros países y en particular la deficiencia en la gestión del

conocimiento ([Jaffe et al., 1993](#)). Adicionalmente, en el contexto global la integración en los mercados ha asignado un papel a los países en desarrollo, relegados a ser proveedores de materias primas y generadores de productos con poco valor agregado. Estos productos son luego transformados en países desarrollados mediante procesos más complejos y con mayor capacidad científica, lo que aumenta su valor agregado y, por ende, su precio en el mercado ([Storper, 2018](#)). Según el informe de Clarivate ([2022](#)), las capacidades de innovación son particulares ya que la brecha entre países consiste en la baja capacidad de producción de conocimiento como patentes de residentes, publicaciones científicas y la insuficiente gestión del conocimiento por medio de innovaciones tecnológicas de los países en desarrollo ([Chinchilla-Rodríguez et al., 2018; 2016](#)).

Gran parte de los países de América Latina y el Caribe (ALC) presentan problemáticas de la gestión del conocimiento. Por ejemplo, los indicadores de innovación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS-9) ([ONU, 2022](#)), indican que los países en desarrollo de América Latina y el Caribe, continúa con asignaciones presupuestales cada vez más escasas en el gasto en I+D en proporción al Producto Interno Bruto (PIB). Su incremento en dos décadas tan solo ha sido de 0.1% en promedio. Mientras tanto, el número de investigadores por cada millón de habitantes ha tenido un crecimiento significativo que pasó desde 239 en el año 2000 a 514 investigadores para el 2020. Igualmente, el indicador que establece la proporción del valor añadido por la industria de tecnología mediana y alta, ha tenido un estancamiento en promedio del 32% en toda la región. Esto influye en la disminución representativa en los indicadores de valor añadido del sector manufacturero en proporción al PIB en los últimos 20 años en 4 puntos porcentuales.

El incremento de la investigación científica y la mejora de la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países ALC es notable. Sin embargo, hay muchas desigualdades entre los países que conforman esta región. La diversidad en la asignación presupuestal para contribuir en el fortalecimiento de la I+D se visualiza en promedio una asignación presupuestal equivalente de 0,6% del PIB en toda la región ALC.

De acuerdo con la visualización de la Tabla 1.1, el promedio de gasto en I+D en la región es del 0,55%, con valores que oscilan entre un máximo de 0,71% y un mínimo de 0,54%. Solo tres

Tabla 1.1

Gasto porcentual en investigación y desarrollo en proporción al PIB

Países	Fluctuación (2000-2018)	Promedio (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
Brasil		1,11	1,34	0,96
Argentina		0,51	0,63	0,39
Cuba		0,49	0,61	0,27
Costa Rica		0,38	0,57	0,00
Puerto Rico		0,07	0,45	0,00
México		0,40	0,49	0,31
Chile		0,21	0,39	0,00
Uruguay		0,28	0,48	0,00
Bolivia		0,05	0,29	0,00
Ecuador		0,15	0,44	0,00
Venezuela		0,13	0,34	0,00
Colombia		0,20	0,31	0,13
Panamá		0,19	0,36	0,00
Perú		0,07	0,16	0,00
El Salvador		0,07	0,18	0,00
Nicaragua		0,03	0,11	0,00
Paraguay		0,06	0,15	0,00
Trinidad y Tabago		0,08	0,13	0,03
San Vicente y las Granadinas		0,01	0,12	0,00
Jamaica		0,01	0,06	0,00
Guatemala		0,03	0,07	0,00
Islas Vírgenes de los Estados Unidos		0,01	0,07	0,00
Honduras		0,01	0,04	0,00
América Latina y el Caribe		0,60	0,71	0,54

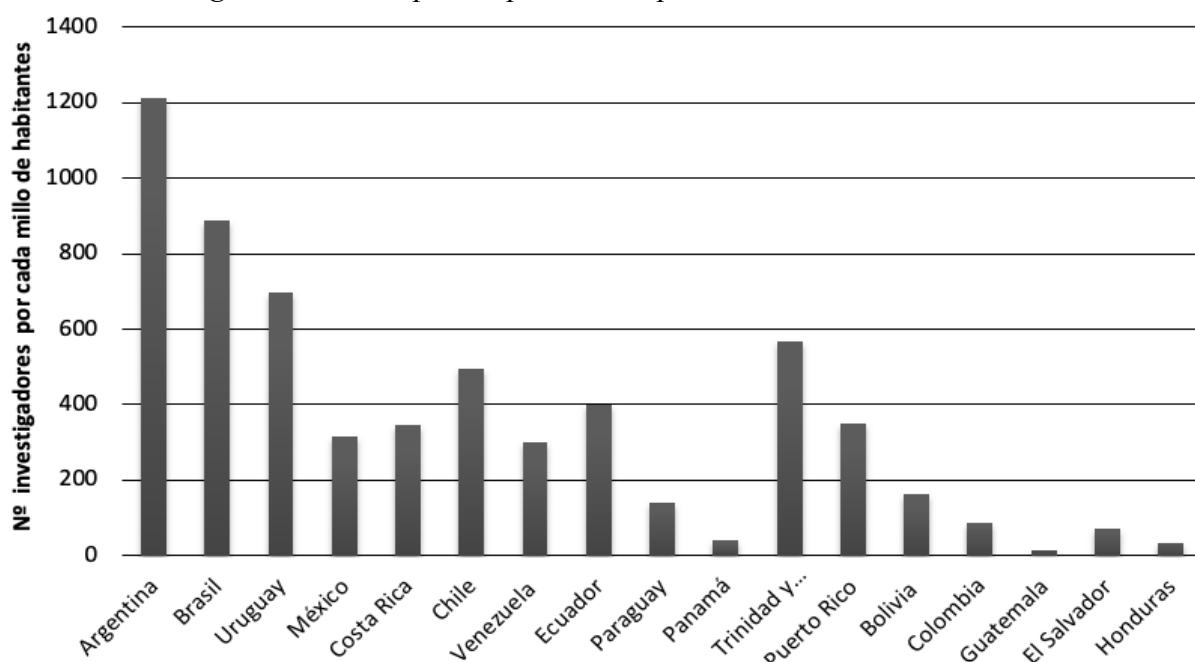
Nota. Desarrollo propio con las estadísticas de la ONU de la agenda 2030 de ALC

países de ALC destinan más del 0,5% de su PIB para I+D: en primer lugar, está Brasil con el 1,11%, luego Argentina con el 0,51% y por último está Cuba con 0,5%.

Por otro lado, México destina en promedio 0,4% del PIB. Chile presenta información estadística de 0,21% (2008-2017) con un máximo presupuestal del I+D en el 2013 de 0,39%. Colombia ha tenido un aumento austero pero progresivo de presupuesto para I+D. Ha pasado del 0,13% en el 2000 a 0,23% en el 2018. Por su parte Perú, en los primeros 4 años (2000- 2004) hay

Figura 1-2

Número de investigadores de tiempo completo en 17 países de ALC



Nota. Desarrollo propio con las estadísticas de la ONU de la agenda 2030 de ALC

un estimado promedio del 1,12% con respecto al PIB y su otro corte corresponde a los últimos 8 años (2010 a 2018) que tiene un aproximado de 0,1% como aumento de poca apreciación.

En cuanto al *número de investigadores equivalente a tiempo completo por cada millón de habitantes*, destaca Argentina con 1211,42 investigadores por cada millón de habitantes (Figura 1.2), seguido por Brasil con 887,68; este último país presenta sus estadísticas hasta el 2014 y probablemente estén muy por encima de este indicador. Uruguay, presenta para el año 2018 un aproximado de 696 investigadores; la isla caribeña de Trinidad y Tobago con un aproximado de 493; Chile presenta 493,3 en el 2017; seguido por México con 315,26 reportados al 2016 y Colombia con 88,02 investigadores en el 2017.

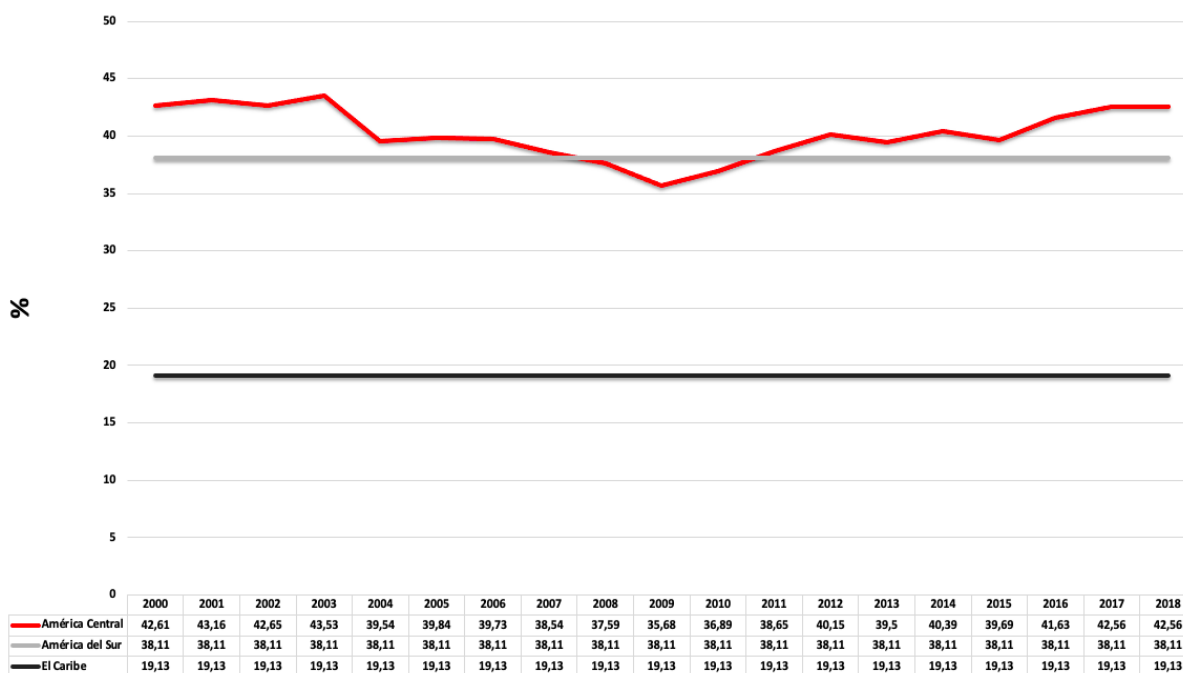
Asimismo, el indicador que establece el *nivel porcentual de la evolución de la generación de valor añadido de la tecnología producida en ALC* (Figura 1.3). Destaca las grandes fluctuaciones de Centroamérica que tuvo una caída considerable de 2003 al 2009 en más de 3 puntos porcentuales con respecto a Suramérica. Igualmente, este descenso de valor pudo recuperarse en el 2018 con un incremento aproximado a 7 puntos porcentuales, al posicionarse en

la más alta de las tres regiones de ALC. Por su parte, el estancamiento que ha tenido el incremento de la Manufactura de Valor Agregado (MVA) en la industria tecnológica por parte de Suramérica es de 38,11% y el Caribe de 19,13%.

En este aspecto, hay siete naciones de ALC que no presentan crecimiento en esta línea de tiempo como: Barbados (24,28%), Brasil (27,77%), Colombia (22,4%), Salvador (18,77%), Jamaica (16,22%), Surinam (7,83%), Uruguay (7,16%) y Venezuela (5,26%). Existen otra serie de países que tiene un comportamiento similar, pero algo tardío. Es el caso de Argentina que ostenta el mayor MVA de la región con 39,6%, con un incremento desde 2000 hasta 2005 de más de 9 puntos porcentuales. A pesar de ello, a partir de esta fecha no ha podido mejorar este indicador. Haití presenta igual comportamiento que Argentina, que ha incrementado este indicador a razón de un 10,28% en el transcurso de los primeros 5 años y queda con una línea continua en el tiempo de 21,87%. Por otro lado, Paraguay presenta una disminución de 1,35% de MVA tecnológico en los primeros 4 años, por lo que queda hasta la fecha con 11,62%. Entre las naciones de la ALC, Cuba destaca por un crecimiento constante en el margen de estos 18 años, incrementa su MVA tecnológico de 18,85% a 21,72%, para un país que tiene muchas restricciones a nivel internacional;

Figura 1-3

Proporción de valor añadido de la industria de tecnología media-alta y alta de ALC



Nota. Desarrollo propio con las estadísticas de la ONU de la agenda 2030 de América Latina y el Caribe.

México tiene un avance consistente que se posiciona en 18,48% desde el 2015 a la fecha, esto ha significado un incremento de 5,32 puntos porcentuales desde el año 2000.

Otro de los elementos asimétricos en la región, es la producción científica provenientes de los países que conforman la Alianza del Pacífico (AP) como: Chile, Colombia, México y Perú. Según la OMPI (2022) entre el 2011 a 2021 hay un total de 52.789 solicitudes de patentes con una representación del 41,92% de residentes y un 58,08 % de no residentes en este grupo de países (Tabla 1.2). Sin embargo, como se observa en la tabla es evidente un crecimiento por parte de las patentes de residentes desde el 2011 en los cuatro países y en igual instancia una disminución considerable de las no residentes.

La particularidad de México con respecto a todas las patentes de la AP, caracterizada por ser la mayor economía del bloque y el país con mayor cantidad de solicitudes, estas representan el 87,94% de las no residentes y el 60,49% de las residentes del todo la AP. Este último resultado de residentes ha crecido a una tasa de 8,7 puntos anuales. Ello implica un considerable crecimiento de la inversión extranjera y por ende una álgida dinámica de transferencia de tecnología. Por su parte, Chile y Colombia presentan un 17,05% de solicitudes de residentes en promedio, pero con la diferencia que Chile presenta una tasa negativa de crecimiento de menos 5 puntos y Colombia con una tasa positiva de 24,6 puntos anuales. Perú tiene un comportamiento algo reservado en cuanto a la cantidad de solicitudes de patentes con un 4% del total de patentes de residentes y un 3,4% de no residentes. Sin embargo, tiene una tasa de crecimiento anual en esta serie de 5,3 puntos anuales.

Tabla 1.2

Solicitud de patentes de residentes y no residentes de los países AP de 2011 a 2023

	Chile		Colombia		México		Perú	
Año	Residentes	No residentes	Residentes	No residentes	Residentes	No residentes	Residentes	No residentes
2011	330	263	175	77	992	2.063	36	130
2012	314	242	195	107	1.234	2.547	52	144
2013	322	246	241	101	1.160	2.518	73	124
2014	419	218	246	93	1.193	2.141	81	117
2015	415	159	298	89	1.319	2.965	65	67
2016	353	153	533	87	1.269	3.260	70	68
2017	391	141	577	103	1.289	3.231	97	61
2018	381	141	402	114	1.511	2.276	84	73
2019	397	101	420	72	1.249	2.176	134	51
2020	323	80	362	53	1.091	1.706	123	52
2021	325	81	421	44	1.079	2.079	89	45

Nota. Desarrollo propio con información de Centro de datos estadísticos de la OMPI sobre propiedad intelectual. <https://www3.wipo.int/ipstats/index.htm?tab=patent>

Por todo lo anterior, parte de la estrategia para superar la brecha de competitividad de mercado y en específico la producción tecnocientífica, fue establecer mecanismos de cooperación e integración entre las naciones. Para el caso, están algunos países latinoamericanos que se unieron para generar bloques económicos enfocados en la cooperación en distintas dimensiones. Uno de los referentes es la Alianza del Pacífico, que fue constituida en el 2011 con el objetivo de fomentar un entorno de cooperación integral que comprenda aspectos económicos, tecnológicos, sociales y culturales. Esta estrategia conjunta es crucial para enfrentar los desafíos globales y posicionar a los países miembros como actores relevantes en la economía mundial ([Alianza del Pacífico, 2018](#)).

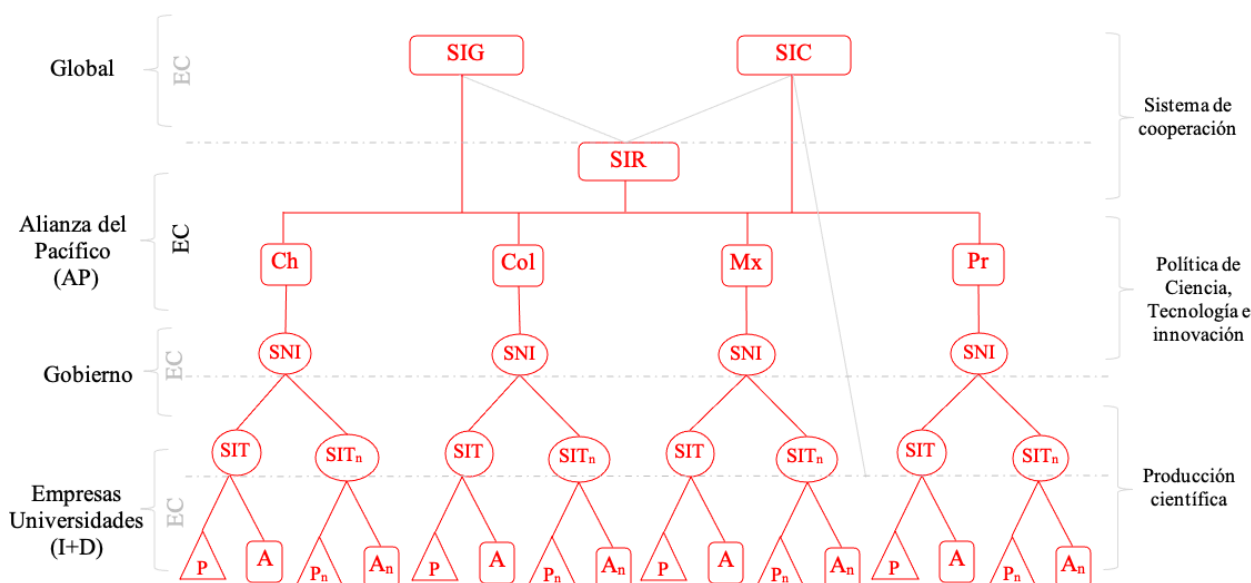
En la base operativa de la Alianza del Pacífico, se encuentra el Grupo Técnico de Innovación (GTI) encargado de disminuir las brechas entre los Sistemas Científicos y Sistemas de innovación, sin reemplazar el papel territorial en la generación de estrategias de innovación. La función de GTI es promover esta cooperación y constituir un Sistema de Innovación Regional (SIR), conexos y competitivos a las nuevas realidades sociales y del mercado mundial ([AP, 2019](#)).

Por lo tanto, los Espacios Colaborativos (EC) para fortalecer la producción científica de cada nación de la AP, requieren un análisis exhaustivo en sus capacidades inventivas por medio de las líneas temáticas en las que cada país se encuentra enfocada con el desarrollo de patentes (Pn). Y en igual instancia, la producción de artículos científicos (An) presenta líneas temáticas similares que contrastan con las convergencias científicas entre los cuatro países (Figura 1.4). Sumado a ello, están los enfoques políticos más pertinentes en la mejora de competitividad regional por medio de la innovación ([Trunina et al., 2019](#)).

De este modo, de-Oliveira et al., ([2019](#)), mencionan que los factores críticos deben recibir la misma atención por parte de los cuatro países de la AP, esto implica que deben estar plenamente involucrados en el proceso de implementación de estrategias para dinamizar la innovación. Una clave para destacar es que la adaptación de cualquier factor en el SI depende de una serie de elementos, como el tipo de sectores empresariales, la estrategia nacional para abrir mercados e innovación, las competencias y habilidades básicas, sus necesidades y disposiciones particulares para implementar las estrategias de una innovación abierta hacia otros SIG como los que comparten los países AP ([Fairlie & Portocarrero, 2020](#)).

En este orden de ideas, la complejidad de los diversos mecanismos de integración de los países que conforman la AP mira con pertinencia ahondar en los distintos procesos de la gestión del conocimiento como uno de los elementos fundamentales de la innovación. La integración que

Figura 1.4
Esquema de los Sistemas de Innovación



Nota. Desarrollo propio con información (Lundvall, et al 2002; Malik, A., Sharma, et al., 2021).

Leyendas: Patentes (P_n); Artículos científica; Sistemas de Innovación Tecnológicos (SIT); Sistemas Nacionales de Innovación (SNI); Sistema de Innovación Regional (SIR); Espacios Colaborativos (EC); Sistemas de Innovación Global (SIG); Sistemas de Innovación Corporativo (SIG); Chile (Ch); Colombia (Col); México (Mx); Perú (Pr).

requiere este grupo de países corresponde a los tomadores de decisiones en el diseño de políticas científicas que fortalezcan el Sistema de Innovación de la AP mediante espacios colaborativos, posibles sinergias y trayectorias entre los productos tecno-científicos. Estas decisiones deben estar fundamentadas con evidencia científica. Por lo que, resulta indispensable analizar la evolución temática de los Sistemas Científicos, las redes de actores implicados en la generación de conocimiento y las líneas temáticas de cooperación de la producción científica. Esta información puede servir para generar un debate constructivo y reflexivo que posibilite las convergencias necesarias entre los países de la AP y mejorar su competitividad.

En conclusión, el panorama anterior fue propicio para encontrar una ventaja común entre los espacios colaborativos de los países de la AP. Las Energías Renovables (ER) son consideradas una oportunidad coherente con la política ambiental enfocada en el desarrollo y producción de los países de la AP (Frohmann & Olmos, 2023). Temática inducida por la política global de acciones por el planeta, los efectos de la dependencia de energías fósiles y el requerimiento de sustitución por energías renovables (Rokicki et al., 2023). Impulsada por una fuerte demanda de energía de la

industria mundial, y de la política Europea que diversificó sus proveedores de energías en otros países ([Moritz et al., 2023](#); [Rosenberger, 2023](#)). Sumada a unas condiciones geográficas y recursos naturales excepcionales para desarrollar esta industria (Alianza del Pacífico, 2016). Por lo tanto, como caso de estudio se requirió identificar las líneas de investigación de la producción científica de los documentos indexados en las ER, para establecer la evolución de algunas líneas temáticas propositivas en la generación de los espacios colaborativos de los países de la Alianza del Pacífico ([Alianza del Pacífico, 2014](#)).

1.2. Justificación

Esta investigación se inscribe en el campo de los estudios de desarrollo global con un enfoque específico en la producción científica y la potencial la colaboración transnacional dentro de un contexto regional como es la Alianza del Pacífico. La iniciativa de Chile, Colombia, México y Perú, se ha convertido en un mecanismo de integración regional con un fuerte énfasis en la cooperación económica, comercial, científica e innovación. En este contexto, el fortalecimiento del Sistema Científico (SC) es crucial para el desarrollo sostenible y competitivo de estos países. Sin embargo, la identificación y promoción de áreas temáticas clave en la producción científica sigue siendo un desafío importante y el objetivo de estudio de esta tesis.

La producción científica es un motor esencial para el desarrollo económico y social. Al proponer líneas temáticas prioritarias, esta investigación contribuye a enfocar los esfuerzos y recursos en áreas que tienen el mayor potencial de impacto. Esto es fundamental para los países de la AP, ya que les permitirá mejorar su competitividad global, fomentar el desarrollo sostenible y generar soluciones a problemas comunes en la región. La identificación de áreas temáticas comunes y complementarias mediante la comparación de mapas cognitivos puede servir como una base sólida para la colaboración entre los países. Si se fortalece los espacios colaborativos del SC, se facilitará el intercambio de conocimientos, la transferencia de tecnología y la ejecución de proyectos conjuntos. Esto no solo optimiza los recursos disponibles, sino que también crea sinergias que pueden llevar a avances significativos en la región.

La utilización de mapas cognitivos como herramienta metodológica ofrece un enfoque innovador y visualmente intuitivo para analizar la producción científica. Este método permite una comparación clara y directa de las fortalezas y oportunidades de cada país ante el mundo y sus

socios del bloque económico, al identificar áreas de convergencia y divergencia ([Muñoz-Écija et al., 2024](#)). Este enfoque puede ser replicado en otros contextos regionales, convirtiéndose en una contribución metodológica valiosa para los estudios de desarrollo global. Los resultados de esta investigación pueden informar y guiar la formulación de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación (CTI) en los países de la AP. Mediante la identificación de las líneas temáticas prioritarias, los gobiernos pueden diseñar políticas más efectivas y dirigidas, al optimizar la inversión en I+D y mejorar la articulación entre el sector público, privado y académico.

Esta propuesta requirió ser probada empíricamente con una temática de interés estratégico para los países de la AP como la tendencia global hacia la adopción de medidas a favor del planeta, específicamente la sustitución de energías fósiles por energías renovables. Este punto de enfoque abre la posibilidad a los países de la AP a convertirse en promotores y proveedores potenciales de energías renovables, gracias a sus abundantes recursos naturales y ubicación geográfica estratégica, lo que estimula la creación de diversos Sistemas Científicos. Empíricamente, permite comprender la complejidad de estos sistemas en términos de tendencias, dinámicas, evolución y relaciones, ya que son elementos esenciales para el diagnóstico, desarrollo y diseño de políticas de innovación sostenible.

Esta perspectiva se alinea con los principios de los países miembros de la Alianza del Pacífico, que buscan mejorar sus habilidades en el mercado global mediante el fortalecimiento de su capacidad de innovación. Por lo tanto, la presente tesis es una herramienta de diagnóstico que profundiza en el análisis de los trabajos científicos y tecnológicos de esta serie de países. Esto se logra mediante la identificación de las fortalezas y debilidades del sistema, las ventajas competitivas, las sinergias entre la producción científica y tecnológica, y las redes de colaboración que permitan reforzar líneas estratégicas con capacidad de transferencia al sector productivo con impacto en el medioambiente.

1.3. Preguntas de investigación

1.3.1. Pregunta General

¿Cómo se desarrollan las principales líneas temáticas de la producción científica en Energías Renovables para fortalecer los espacios colaborativos entre los países de la Alianza del Pacífico?

1.3.2. Preguntas específicas

1. ¿Cómo ha evolucionado el dominio científico en la producción científica de energías renovables en los países de la Alianza del Pacífico?
2. ¿Cuáles son los frentes de investigación de la producción científica en energías renovables generadas por los países de la AP?
3. ¿Existe una correspondencia entre la producción científica de los Sistemas Científicos de los países de la AP?

1.4. Supuesto de investigación

La convergencia de los principales frentes de investigación de la producción científica en energías renovables genera espacios colaborativos que fortalecen los Sistemas Científicos de los países miembros de la Alianza del Pacífico.

1.5. Objetivos de Investigación

1.5.1. Objetivo general

Identificar las principales líneas temáticas de la producción científica mediante la comparación de mapas cognitivos a fin de fortalecer los espacios colaborativos de los Sistemas Científicos de la Alianza del Pacífico.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Esquematizar la evolución del dominio científico de la investigación en energías renovables en los países de la Alianza del Pacífico
2. Identificar los frentes de investigación de la producción científica en energías renovables generadas por los países de la Alianza del Pacífico.
3. Contrastar la producción científica de los Sistemas Científicos de los países de la AP.

Conclusiones del capítulo

El capítulo presenta varios puntos relevantes sobre los sistemas científicos y de innovación de la Alianza del Pacífico, los cuales interactúan constantemente. Esto lleva a que organizaciones, empresas e instituciones coevolucionen conjuntamente. Las políticas estimulan a los actores de la

innovación, como el Estado, sector público y académico, a crear espacios colaborativos que se ajusten a los contextos tecno-científicos que los SC y los SI requieren. No atender a estos cambios de paradigma por parte de las naciones de la AP significa continuar en el rezago generacional como proveedores de productos sin valor agregado. Esto tiene implicaciones políticas, económicas y sociales, ya que afecta la sostenibilidad de la economía, la formación de capital humano y ecológico, y la generación de productos innovadores amigables con el medio ambiente. Abordar este tema de investigación desde esta vertiente facilita una mirada complementaria al análisis y diagnósticos que orientan las políticas en los SC de la AP. Además, es pertinente utilizar una mirada teórica como la economía evolutiva para reflexionar sobre las discusiones relacionadas con el crecimiento económico de las naciones que se desarrolla en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Introducción

Este espacio se construye bajo el paradigma de la economía evolutiva como interfaz teórica de los Sistemas Científicos en los países de la AP. Según Boschma et al., ([1999](#)), el pensamiento evolutivo es útil para explicar el proceso de aprendizaje colectivo localizado en un contexto regional y para evidenciar los problemas de ajuste que las regiones pueden enfrentar en un mundo de variación creciente. La teoría de la economía evolutiva se vincula con el estudio presente, al enfatizar la conformación de posibles espacios científicos y de innovación emergentes en los países de la AP; sus procesos individuales evolutivos y semejanzas temáticas de generación de conocimiento, que permiten la integración lógica y convergente para el diseño de políticas de integración regional. En palabras de Campenhoudt et al., ([2017](#)), estudiar los fenómenos sociales desde el concepto de *sistema* equivale a cuestionar sus vínculos entre los actores, las formas de su entorno y su poder dentro del sistema. Según Espinosa et al., ([2021](#)), la economía evolucionista se planteó como objeto de estudio primordial de las cuestiones del cambio económico tanto a corto como a largo plazo, y se orienta como una teoría alternativa para comprender los fenómenos del cambio económico derivado de la insatisfacción del análisis provisto por la teoría económica neoclásica. El preámbulo anterior, esboza algunos elementos teóricos que se discutirán con profundidad en los siguientes apartados.

2.1. Los Contextos de la Economía Evolutiva en los Sistemas Científicos y de Innovación en el proceso de integración de la Alianza del Pacífico

2.1.1. Perspectiva de la economía evolutiva en los Sistemas de Innovación

La profundización de los estudios relacionados con el desarrollo científico y la innovación como camino hacia el desarrollo económico estableció una línea investigativa que generó grandes exponentes científicos a partir de la segunda mitad del siglo XX ([Cabrera-Flores et al., 2017](#)). Entre ellos se encuentra Joseph Alois Schumpeter, considerado un economista heterodoxo que presenta una perspectiva de la Teoría Evolutiva hacia la Economía Evolucionista al reabrir una línea de

investigación clásica presentada por Adam Smith, David Ricardo y Karl Marx del desarrollo económico ([Espinosa et al., 2021](#)).

La importancia del trabajo de Schumpeter (1976), radica en el análisis de la función que sobrelleva el empresario en la economía bajo cuatro puertos teóricos centrales. El primero corresponde al concepto de empresario propuesto por el autor como el individuo que adquiere la calidad de empresario cuando desarrolla nuevas combinaciones ([Pérez, 2010](#)). Pero pierde su potencialidad cuando ha puesto en marcha el negocio y comienza a desarrollar las actividades propias de la administración y la dirección de empresas ([Backhaus, 2003](#)). El segundo es el papel de la conducta innovadora del empresario en el desarrollo económico, que se resume por la voluntad y acción del empresario. En efecto, existen unos limitantes como la falta de información para la toma de decisiones, la lucha individual para cambiar sus propios paradigmas y las presiones de tipo social que enfrentan los sujetos como las desaprobaciones ([Valencia & Patlán, 2011](#); [Tarapuez & Botero, 2007](#)).

El tercero es el riesgo en la teoría de la destrucción creativa en términos financieros, es decir, el riesgo empresarial de tipo económico lo asume el capitalista en lo que en la actualidad se puede concebir como capital de riesgo ([Gutiérrez & Baumert, 2018](#)). Y el cuarto es el beneficio del empresario que es reconocer que la innovación es un factor dinamizador para la empresa, introducido por el empresario en una dinámica de destrucción creadora. Es decir, implica reemplazar los modelos de organización y producción, e inducir la adopción de otros que faciliten mejores rendimientos en el mercado ([Corrales, 2012](#)). Estos elementos teóricos seminales de innovación propuestos por Schumpeter fueron asumidos por otros niveles de análisis que desarrollaron diversos autores dentro del enfoque teórico de los SI y SC que se describen en el apartado siguiente.

2.1.2. Postura categórica de la evolución socioeconómica Darwiniana y la Schumpenteriana para los Sistemas de Innovación de la Alianza del Pacífico

Hodgson et al., ([2006](#)) sostienen que la evolución socioeconómica presenta dos posturas darwinianas: una en la evolución biológica y otra en la social. Por lo tanto, los principios de Darwin de variación, selección y herencia se aplican tanto a los aspectos de entidades biológicas como sociales, lo que implica que algunos elementos del proceso evolutivo sean similares. Sin embargo, los autores resaltan que los detalles de los procesos evolutivos son distintos en estos dos campos

del conocimiento. Esto implica que los mecanismos de transferencia en una organización no pueden heredarse como un genotipo. El trabajo de Yoguel (2019) presenta, una serie de reflexiones sobre la evolución de las principales corrientes Schumpeterianas en correspondencia al pensamiento Darwiniano que destaca cinco enfoques (Tabla 2.1).

El *primer enfoque* está relacionado con los *hábitos y rutinas* supeditadas en la continuidad y durabilidad de la acumulación del conocimiento (Hodgson & Knudsen, 2006). Nelson y Winter (1982) acuñan, el término "rutina" para incluir características empresariales. Estas son matizadas

Tabla 2-1

Exponentes Teóricos Evolucionistas

Presencia o ausencia de pensamiento darwinista	Darwinismo generalizado	Principio de continuidad entre el mundo biológico y las ciencias sociales	Ningún tipo de acercamiento con el Darwinismo
1) Hábitos y rutinas	Hodgson (1998); Hodgson y Knudsen (2006); Nelson y Winter (1982); Handerson y Tushman (1990); Langlois (2003); Loasby (1998); Mathews (2002); Pavitt (2002); Marengo y Dosi (2005)		Cowan y Foray (1997); Cohen y Levinthal (1990); Teece y Pisano (1994)
2) Autoorganización	Metcalfe (2002); Potts (2001); Aldrich et al., (2008); Dopfer, Foster y Potts (2004)	Vromen (2006, 2007); Witt (1997, 2004, 2006, 2008, 2014); Cordes (2005, 2006, 2007); Witt y Cordes (2007)	Foster (1997)
3) Sistemas	Bochma y Lambooy (1999); Carlsson y Stankiewicz (1991); Edquist y Hommen (1999); Malerba (2002); Utterback y Suarez (1993)		Handerson y Tushman (1990); Antonelli (1999); Breschi y Lisosni (2001); Freeman (1995); Lundvall et al. (2002)
4) Causación acumulativa			Botazzi et al. (2002); Saviotti (2001; Saviotti y Pyka (2004); Dosi (1982); Cimoli et al. (2010); Fagerberg y Verspagen (2002)
5) Rendimientos crecientes			Arthur (1989); David (1985); Durlauf (1998); Kirman (1997)

Nota. Extraído de Yoguel (2019) la teoría evolucionista y Schumpeterians de la innovación.

entre las rutinas técnicas de algún bien de producción en específico, procedimiento, orden, políticas de inversión, investigación y desarrollo, estrategias comerciales e inversión.

El ***segundo enfoque es la autoorganización***, que según Collier ([1986](#)) es el hecho de que los organismos son estructuras disipativas autoorganizadas que sobreviven a expensas de la energía de su entorno. Ello supone discusiones sobre sistemas de no equilibrio y estructuras disipativas. En términos teóricos, la entropía es un principio fundamental de la autoorganización para comprender la dinámica de la evolución de los Sistemas de Innovación. En contexto, es la entropía de la información la que puede desarrollar e integrar un grupo de SI bajo un entorno regional como la AP. A medida que las discusiones de la política de innovación integren más actores y sumen mayores desarrollos tecnológicos, la entropía de la información tenderá a incrementar tanto externa como internamente dentro de la organización. Las nuevas estructuras de los SI tenderán a evolucionar hacia mejores desarrollos por la cantidad de información que se potencia cuando avanza la tecnología. Sin embargo, en la práctica la reproducción de las estructuras de los SI a medida que los países adopten las estructuras de los sistemas de innovación y científicos de referencia global como por ejemplo el de Estados Unidos, Reino Unido, Japón, entre otros, y reproducen elementos de su entorno, las variantes que puedan originarse por los países AP pueden ser diezmadas por la lógica mundial de la economía del conocimiento ([Pérez, 2001](#)).

El ***tercer enfoque es la línea de los sistemas***, que se articula con los Sistemas Nacionales de Innovación como instituciones que funcionan con lineamientos de carácter reglamentario, al igual que organizaciones que interactúan sistémicamente y tienen un efecto sobre la creación y difusión de innovaciones en cualquier sistema económico ([Freeman, 1995](#)). Desde un principio, los lineamientos y lógicas con que deben establecerse los SI a nivel mundial han enfatizado el desarrollo económico de las naciones. Sin embargo, la integración de lo social y ambiental vincula a lo que hoy se llama desarrollo sostenible; hoja de ruta que considera la ciencia y la tecnología como instrumentos esenciales para lograr la paz, reducir la pobreza y alcanzar la agenda mundial. Instancias que requieren una fuerte interacción entre las organizaciones nacionales y organismos multilaterales, como por ejemplo la UNESCO ([2010](#)), que actúan en función de la medición de lineamientos propositivos entre los actores que intervienen en el fortalecimiento del sistema de CTI entre los países en el mundo.

El ***cuarto enfoque corresponde a la causación acumulativa*** basada en las proposiciones de Myrdal et al., (1957), sugieren que la fuerza de las aglomeraciones proporcionada por un gran

mercado local puede atraer nuevas industrias, lo que en esta sinergia extiende en cierta medida el mercado local, y así progresivamente ([Krugman, 1995](#)). La causación acumulativa es, según Kuri ([2003](#)), el mejor ejemplo de crecimiento desequilibrado entre las naciones. En efecto, las singularidades de los países de la AP en cuanto a su geolocalización, calidad y abundancia de sus factores productivos, potencializadas con políticas en materia de innovación, las convierten en atractivas receptoras de inversión, generadoras de actividad económica y productos de alto valor agregado. Suurs et al., ([2009](#)) sintetizan este fenómeno en la comprensión de las dinámicas de los SI como las que incentivan u obstaculizan el desarrollo y la difusión con éxito de las trayectorias tecnológicas que emergen bajo algún contexto específico. Esto implica que, de manera preliminar, los actores que intervienen en la estructura de los SI de la AP integren líneas temáticas según sus intereses, en función del diseño, creación y ajuste institucional que influye positiva o negativamente en la trayectoria tecnológica emergente ([Yu & Zhang, 2019](#)).

El *quinto enfoque* corresponde a los *rendimientos crecientes*. Aquí, Arthur ([1989](#)) hace una analogía con las tecnologías modernas que a menudo muestran retornos crecientes por la adopción, utilización y retroalimentación. Es decir, que cuanto más se adoptan, más experiencia se gana con ellas y más se mejoran. Mäkinen et al., ([2013](#)) comentan que la adopción de innovación tecnológica ha tenido un gran interés para los estudios empíricos y organizacionales centrados en factores tecnológicos como la facilidad de uso, rendimientos en relación con otras alternativas tecnológicas y las preferencias del mercado final.

La evidencia que ha generado la competencia que se dan entre las distintas organizaciones por la adopción de la tecnología, conlleva a establecer unos patrones empresariales de enfoque de productos que sigue un mismo paradigma tecnológico y trayectorias de diseño compatible. En este sentido, la cooperación que se desarrolla entre los países de la AP como apoyo organizacional hacia la adopción de este mismo diseño, puede influir en una constante retroalimentación que repercutirá de manera positiva en las demandas de los mercados internacionales en los cuales se quiere acceder de manera competitiva. Establecidos algunos elementos teóricos de la evolución temática de los SI, el siguiente apartado expone los aportes conceptuales sobre los Sistemas Nacionales de Innovación dentro del paradigma del desarrollo.

2.1.3. Perspectiva de la economía evolutiva en los Sistemas de Innovación

Una de las atribuciones que le han hecho a Adam Smith (1776) son sus desarrollos teóricos sobre los SNI por medio de la división del trabajo. El argumento, “no solo incluía la creación de conocimiento en la relación con las actividades directamente productivas, sino las actividades científicas que contribuyen con los servicios especiales para generar valor” ([Swati, 2021, p. 204](#)). Sin embargo, Lundvall et al., ([2002, p. 5](#)) advierten, que “Smith no consideró la innovación y el desarrollo de competencias como independientes y sistémicos”, afirmación que requirió mucho tiempo en concertarse e incluir como determinantes en el desarrollo económico.

Más tarde, el destacado economista alemán Georg Friedrich List ([1941](#)) desarrolló el Sistema Nacional de Economía Política o lo que algunos hoy llamarían el Sistema Nacional de Innovación. En ese momento, se dispuso a desafiar las teorías del *laissez-faire* de los economistas clásicos de Adam Smith y David Ricardo, y a ofrecer una teoría alternativa que ayudaría a las naciones menos aventajadas de occidente a desarrollar sus economías e industrializarse frente al dominio económico británico ([List, 2017](#)). No obstante, este concepto fue conocido como Sistema Nacional de Economía Política por la Escuela Histórica Alemana liderada por List. En esencia, involucra de manera poderosa la industria y el Estado como promotores de las políticas del estado de bienestar en el mundo y retomadas en la actualidad con las ideas del progresismo y el constructivismo ([Muñoz, 2014](#)).

En la década de 1940, Leontief desarrolló una herramienta analítica de los enfoques innovadores de sistemas de producción. En su momento maduró el concepto de sistemas nacionales de producción y aprendizaje, al considerar que hay distintos actores que integran este sistema como una serie de instituciones nacionales, incluidas las dedicadas a la educación, la formación y la infraestructura asociada a las redes de transporte de personas y productos básicos ([Zartha et al., 2021](#)). Entre tanto, Soete et al., ([2010](#)) destacan que los primeros teóricos de la economía clásica, manifestaban que parte del progreso de las naciones se encuentra basada en gran medida por sus avances tecnológicos. En principio por una búsqueda de innovaciones tecnológicas y en la capacidad de explotación sistemática. Además, implicaba estar acorde con los requerimientos de innovación para el mercado en la disminución de costos e incremento de las ventas. Esta postura teórica fue dominante hasta el siglo XX, y hasta la fecha, no ha cambiado mucho para los SI. En la actualidad, el enfoque de sostenibilidad ha transformado esta visión economicista de los SI y

propone que las innovaciones tecnológicas converjan en nuevos productos y servicios que den respuesta a las necesidades sociales, ambientales, entre otras.

En consecuencia, la posición de diferentes escuelas de pensamiento, particularmente en la línea Schumpeteriana y sus seguidores, consideraban que el SI es motor del desarrollo. No obstante, su visión de desarrollo era mucho más amplio, avanzada y humanista de lo habitual. Compuesta principalmente por una red de instituciones provenientes de los sectores público y privado, cuyas sinergias e interacciones se basaban en iniciar, importar, modificar y difundir nuevas tecnologías ([Freeman, 1987](#)). En colaboración con Freeman, el también reconocido economista B.-A. Lundvall ([1992](#)), propone que los SI lo componen estructuras económicas e institucionales, particularmente en los enfoques analíticos de la economía institucional y evolutiva, tanto en los nuevos marcos y construcciones sobre el desarrollo de capacidades como en la revisión histórica de la economía de la innovación y el cambio tecnológico ([B.-Å. Lundvall, 2016](#)).

Además, Carlsson et al., ([1991](#)) establecieron algunas características centrales de los SI: *la primera* su competencia económica como la capacidad de desarrollar y exportar nuevas oportunidades comerciales; y *la segunda*, la agrupación de recursos e infraestructura institucional. Por otra parte, Nelson ([1992](#)) nota cambios de apertura económica de los países y hace una reflexión sobre el espíritu de un 'tecnio-nacionalismo', soportada en una fuerte creencia de la búsqueda de capacidades tecnológicas de las empresas de una nación. En efecto, la base de los SI está sustentada por el desempeño competitivo, en el sentido de una creencia nacional por incrementar y construir las capacidades.

De esta manera, hay un fuerte interés por estudiar las similitudes y diferencias en los SI, como elementos de análisis que expresan la variación en el desempeño económico a nivel nacional y regional. Nelson (1993), conceptualiza a los SI al definirlos como un conjunto de instituciones cuyas interacciones determinan el desempeño innovador de las empresas nacionales y agrega que las instituciones más importantes son aquellas que apoyan los esfuerzos de I+D. Asimismo, Metcalfe ([2009](#)) pone como actor principal en el SIN al Estado, en esencia como eje articulador y facilitador de acciones colaborativas entre la industria y la academia. De igual forma, es el llamado a establecer las reglas normativas y políticas de injerencia territoriales.

Por último, otro de los grandes aportes sobre la conceptualización de los SI lo ofrece Edquist ([2006](#)), al proponer una visión amplia sobre las diversas aportaciones de Nelson y Freedman en cuanto a sus enfoques, convergencias y divergencias. A la par, es uno de los primeros en proponer

los factores determinantes de la innovación y su grado de relación en el ámbito económico, social, político, organizacional e institucional y factores relacionados con el desarrollo, difusión y uso de la innovación. Esto establece una aproximación a la integración del desarrollo histórico de la innovación bajo un enfoque evolutivo conceptual. En el siguiente apartado, se discute otra aproximación de la innovación en relación con una teorización comportamental que se da de manera cíclica en el tiempo.

2.1.4. Implicación de la Innovación en las ondas de Kondratieff – Schumpeteriana

Nikolai D. Kondratyev o más conocido como Kondratieff realizó grandes contribuciones en el campo de las ciencias económicas. A quien, según Grinin et al., ([2017](#)) se le atribuye el origen de la teoría de los ciclos largos (ondas) al desarrollar un estudio sobre las fluctuaciones de los precios con periodos de 60 años. Un enfoque desarrollado originalmente para países capitalistas con referentes del desarrollo mundial como Estados Unidos, Reino Unido, Francia y Alemania. El análisis de ciclos largos utilizó principalmente datos económicos e históricos de estas economías. No obstante, indica Grinin que este estudio fue realizado con anterioridad por otros autores como Jevons en [1884](#) y Chuprov en 1889, pero el mérito de Nikolai fue la contribución de la dinámica económica y social de la onda larga apoyada con datos empíricos y explicación conceptual para conformar una teoría lógica. Kondratiev introdujo por primera vez el concepto teórico de onda larga en su libro *The Major Economic Cycles* en 1925.

Posteriormente Schumpeter, en buen gesto por la contribución de Nikolai sugirió denominar las ondas largas como Kondratieff Waves. Estas unidades de análisis que dan forma a las ondas son estructuradas con hechos históricos y datos económicos que efectúan ciertas curvaturas sinusoidales denominadas ciclos largos. Igualmente, está conformada por periodos de 40 a 60 años con diferencias representativas de una onda a otra por su profundidad. Esto es debido a la variación de los entornos históricos y económicos que se desenvuelven de manera única ([Narkus, 2012](#)).

Bilgen ([2021](#)) afirma que las discusiones sobre la industrialización se centran en temas relacionados con la innovación y su impacto en la economía a lo largo del tiempo. Schumpeter relaciona estos temas con los ciclos largos, que explican cómo la innovación es fundamental para entender la relación entre la innovación y la economía. Por lo que, la teoría de los ciclos largos se fortaleció posteriormente con la corriente neoschumpeteriana. Ferreira et al., ([2019](#)) indican que el

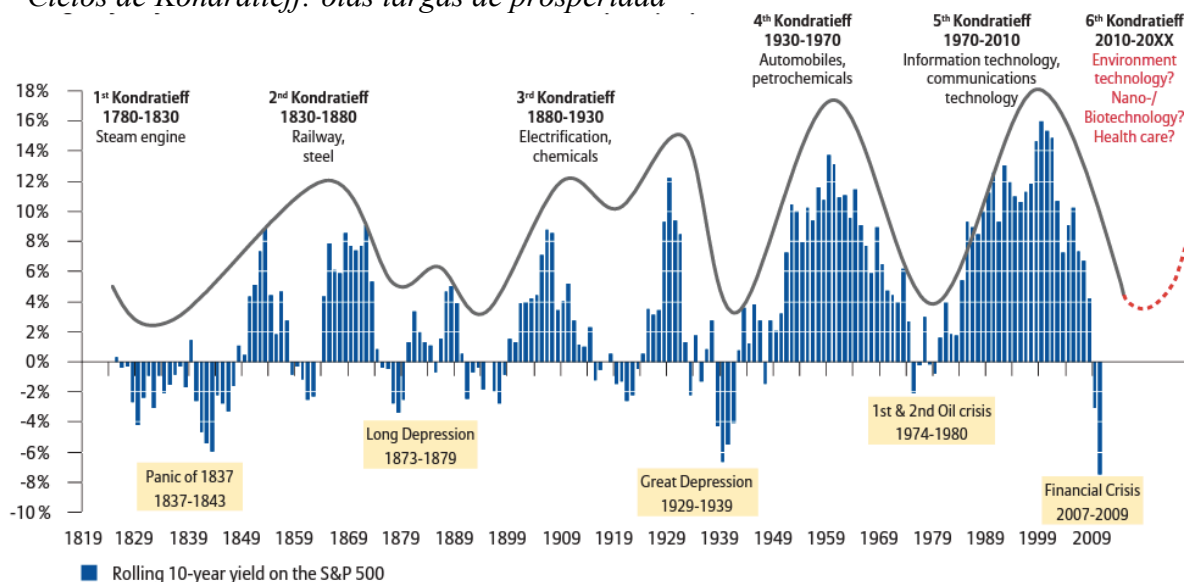
papel de la innovación en las revoluciones industriales no es un concepto nuevo. En el campo de la economía de la innovación, se ha demostrado que la existencia de ciclos largos de crecimiento económico, asociados con la difusión de innovaciones radicales que transforman el paradigma socioeconómico, puede ser representada por los ciclos de Kondratieff.

En el recuento de los ciclos largos, el primero estuvo influenciado principalmente por la invención e inversiones de la máquina y herramientas que potencializa la fuerza del hombre y mejora la productividad industrial con productos en masa de bienes de consumo (Figura 2.1). El segundo ciclo largo fue consecuencia de la invasión de la locomotora y la producción industrial del acero que propiciaron la disminución de tiempo y acceso a lugares inhóspitos para generar vínculos socioeconómicos y culturales ([Morgan Asch, 2020](#); [Chaves, 2004](#)). El tercer ciclo largo fue causado por la electricidad que potencializa la producción por medio de las máquinas y afecta a algunos aspectos sociales como el incremento en los horarios de los trabajadores ([Bilgen, 2021](#)).

El cuarto ciclo largo, que siguió después de la Segunda Guerra Mundial, sería posible describirlo por los grandes aportes de sistematicidad ocasionada por la gran afluencia inventiva derivadas de la industria militar. El quinto, es causado por las tecnologías de la información. Aquí la fuerte relación entre las guerras y las innovaciones por los grandes avances tecnológicos como internet que potencializa la economía del conocimiento en el ámbito global. Por último, está la

Figura 2-1

Ciclos de Kondratieff: olas largas de prosperidad



Nota: Extraído de *Global Investors Capital Market Analysis 2010*

sexta onda larga que es el ciclo contemporáneo conocido como la Industria 4.0. Esta constituye los avances en nanotecnología, *big data*, el internet de las cosas, entre otras. Pero se destaca la actual ruptura tecnológica que es denominada inteligencia artificial que trasciende todos los aspectos del hombre contemporáneo ([Bilgen, 2021](#)).

La importancia de la implementación de las ondas largas en los procesos de teorización de la evolución de la innovación de manera sistémica ha sido fundamental para Nikolai. No obstante, afirma Korotayev et al., ([2014](#)) que existen otro grupo de investigadores de relevancia histórica en la economía como Joseph Kitchin, Wesley Mitchell, Simon Kuznets y Joseph Schumpeter, que han desarrollado la idea de un sistema completo de ciclos económicos, fundamental en el contexto actual para ahondar en la corriente del pensamiento de la economía evolutiva. Todo este bagaje teórico de las Ondas de Kondratieff en el contexto de los países de la AP, explica porque muchas regiones progresan y otras no.

Grable ([2019](#)) reflexiona sobre las marcadas diferencias históricas y circunstanciales de países en desarrollo, y los que se encuentran con una deuda pública que sofoca sus economías. En efecto, adoptan unas medidas de progreso que conlleva toda una serie de transformaciones tanto políticas como institucionales. No obstante, lo que se genera es el incremento de asimetrías de desigualdad estructural por décadas en el mundo ([Jaffe et al., 1993](#)). En el siguiente apartado, se propicia algunas características teóricas de innovación y cómo ésta ayuda a comprender de manera conceptual su naturaleza.

2.2. Categorías conceptuales del cambio tecnológico

En este apartado se desarrollan los conceptos sobre las características principales de la naturaleza de la innovación. Elementos de análisis que componen principalmente los procedimientos y su posible orientación dentro del campo tecnológico. Igualmente, establece los criterios teóricos al fenómeno de estudio representado en los distintos escenarios de la generación de conocimiento en el análisis de los Sistemas de innovación de la Alianza del Pacífico. Por lo anterior, se describen a continuación los siguientes postulados conceptuales tratados en esta investigación.

2.2.1. Trayectoria tecnológica

La evolución del cambio técnico en la innovación se ha convertido en el objeto de estudio de los neoschumpeterianos. En este aspecto, Carlota Pérez ([2010](#)) enfoca este grupo de pensamiento en

perspectiva del análisis de la innovación en cuanto a sus regularidades, rasgos evolutivos, características y dinámicas en relación con los cambios técnicos individuales, revolución tecnológica y su influencia ante la agrupación sistémica e institucional. Todo ello, es resultado de la mutualidad tecnológica, económica y del contexto institucional.

Perteneciente al grupo de Sussex bajo la línea neo-schumpeterianos como Freeman ([1976](#)), Dosi ([1982](#)), y Pavitt ([1984](#)), entre otros, estos autores centran la noción de una trayectoria en la literatura económica evolutiva moderna. El concepto de “trayectorias tecnológicas está asociado a la realización progresiva de las oportunidades innovadoras asociadas a cada paradigma, que en principio pueden medirse en términos de los cambios en las características tecno-económicas fundamentales de los artefactos y del proceso de producción” ([Cimoli & Dosi, 1995, p. 246](#)).

Pérez ([2001](#)) acota que las interacciones del cambio tecnológico continuo o discontinuo explican el por qué y el cómo las ventanas de oportunidad para el desarrollo varían con el tiempo. Sin embargo, señala que la mayoría de las tecnologías tienden a seguir una trayectoria similar desde su ciclo de crecimiento. Ello implica parámetros de velocidad, dirección del cambio y mejora de la innovación, por lo que hay una cierta coincidencia con la evolución de los mercados ([Hekkert et al., 2007](#)).

Por su parte Dosi ([1982, p. 154](#)), conceptualiza sobre la trayectoria tecnológica como “un grupo de posibles direcciones tecnológicas cuyos límites exteriores están definidos por la naturaleza del propio paradigma”. Igualmente, considera que una de sus características parte de la base de que en el paradigma tecnológico puede haber trayectorias más generales o circunscritas, así como, más poderosas o menos poderosas. Por otra parte, menciona que generalmente hay complementariedades entre las trayectorias. Es decir, hay fuertes complementariedades entre diferentes formas de conocimiento, experiencia, habilidades, etc. Las trayectorias tecnológicas pueden definirse como el camino por el cual se producen innovaciones en un campo determinado ([Kim et al., 2008](#)). El crecimiento y desarrollo de trayectorias tecnológicas se pueden explicar bien con la ayuda de la interacción entre los avances científicos, las variables institucionales y factores económicos ([Sharma & Tripathi, 2017](#)).

Dopfer et al., ([2004](#)), establece que la trayectoria tecnológica en un campo de acción se articula en el espacio meso que se posiciona entre lo macro y micro. La perspectiva meso aborda la dinámica del sistema en términos de cambio estructural y proceso de sistema abierto. Esto implica que su función es ser el eje articulador de instituciones y políticas en la gestión de la CTI.

En este nivel, según Geels ([2002](#)) los regímenes de sistemas tecnológicos dan cuenta de la estabilidad del desarrollo tecnológico existente y de la aparición de trayectorias. La trayectoria tecnológica ha sido muy representativa en la toma de decisiones de política de CTI.

La implementación de esta herramienta facilita a los tomadores de decisiones evitar inversiones innecesarias y hacer vigilancia tecnológica de los nuevos desarrollos. Es una tarea, que requiere la implementación de herramientas de apoyo para disminuir el ruido en el crecimiento exponencial de la información ([Kim et al., 2008](#)). En palabras de Espinosa et al., ([2021](#)) la noción de trayectoria tecnológica se asocia con el desarrollo progresivo de las oportunidades de innovación relacionadas con cada paradigma y se pueden evaluar según los cambios en las características tecno-económicas fundamentales de los productos y del proceso de producción, pero existe consenso y evidencia empírica para afirmar que el ritmo y la dirección del cambio tecnológico están dados por el conjunto de los conocimientos específicos, que establecen regularidades independientemente de los estímulos del mercado.

2.2.2. Paradigma tecno-económico

Los procesos que se ejecutan en el mundo empresarial están constituidos por rutinas que son repetitivas y consolidadas mediante los estándares que garantizan la efectividad de la producción. En el momento que se genere una mejora por parte de los gestores en el proceso productivo con factores claves como la disminución de costos, estándares de calidad por el efecto del desarrollo tecnológico, es propicio que este entorno continúe en evolución para constituir la innovación ([M. Espinosa et al., 2021](#)). En efecto si es progresivo, faculta un cambio de rubro en la evolución del conjunto de tecnologías en un periodo determinado que lleva a unos profundos cambios económicos y estructurales para un sistema, a ello se le considera un paradigma tecno-económico ([Pérez, 1986](#)).

Por lo tanto, involucra todos los sectores económicos que se encuentran en constante crisis que requieren ajustes de cambio en lo social e institucional para una mejor adaptación de las nuevas tecnologías, gestión del sistema social-económico y su régimen regulatorio (Freeman et al., 1988). En resumen, Chris Freeman y Carlota Pérez han sugerido la noción de “paradigmas tecno-económicos como una definición sintética de los sistemas de producción, innovación y gobernanza de las relaciones sociales a nivel macro” ([Cimoli & Dosi, 1995, p. 255](#)).

Green et al., ([1999](#)) describen el paradigma tecno-económico, como una fluctuación a largo plazo del crecimiento económico y sus vínculos al cambio técnico en periodos de coincidencia y desajuste entre las nuevas tecnologías y las adaptaciones institucionales para facilitar su impulso. El panorama del paradigma tecno-económico permite establecer un criterio de análisis para la AP bajo las sinergias entre el cambio tecnológico e institucional, el cual busca una configuración de estabilidad entre el cambio social, económico, institucional y tecnológico.

2.2.3. Sistema Tecnológico

Una de las aproximaciones del concepto de Sistema Tecnológico (ST) lo ofrecen Hekkert et al., ([2007, p. 416](#)). En el que lo describen como “una combinación de sectores y empresas interrelacionados, un conjunto de instituciones y reglamentos que caracterizan las normas de comportamiento y la infraestructura de conocimiento conectada a él”. Por su parte Espinosa et al., ([2021](#)), entiende los ST como un cambio de largo alcance efectuado por la combinación gradual y radical de innovaciones que afecta a un gran número de organizaciones. Ello implica el desarrollo ST por el advenimiento de nuevas industrias que alimentan la rama de la economía dentro de los países.

2.2.4. Innovación radical e incremental

Las innovaciones radicales e incrementales tienen consecuencias competitivas diferentes debido al requerimiento de múltiples capacidades organizacionales. La incremental refuerza las capacidades de las organizaciones, mientras la radical obliga a formular nuevas preguntas, en el aprovechamiento de nuevas habilidades técnicas y comerciales y nuevos enfoques de resolución de problemas ([Geels, 2002](#)). Las tecnologías que son radicalmente nuevas tienen dificultades para abrirse paso, porque las normativas, la infraestructura, las prácticas de los usuarios y las redes de mantenimientos están alineadas con las tecnologías existentes. Entre tanto, no hay mercados establecidos ni preferencias fijas, sino que ambas evolucionan conjuntamente a la par que los usuarios con sus prácticas, organizaciones y rutinas, algo que implica aprendizaje, ajustes y domesticación ([Henderson & Clark, 1990](#)).

2.2.5. *Revolución tecnológica*

Pérez (1986) indica, que las revoluciones son el núcleo generador de cambios masivos y fundamentales en el comportamiento de los agentes económicos. La reciente revolución de la tecnología de la información parece tener atributos similares a los inventos seminales del pasado. Ejemplo de ello, es el progreso en microelectrónica con avances significativos en computadoras, equipos de telecomunicaciones y cambios estructurales más amplios en diversas industrias (Laitner & Stolyarov, 2003). Ello indica un periodo que propicia la culminación y adopción a gran escala de una nueva tecnología (Pástor & Veronesi, 2009). Igualmente, sostiene Carlota Pérez, (2010) que estos conjuntos de avances son radicales e interrelacionados, que forman una gran constelación de tecnologías interdependientes; un clúster de clúster o un sistema de sistemas.

En las discusiones del Foro Económico Mundial, su fundador, el profesor Klaus Schwab, menciona que el mundo está en presencia de una transformación que inevitablemente está afectando la forma en que vivimos, interactuamos y trabajamos (Effoduh, 2023). Estas transformaciones son la confluencia de avances emergentes que abarcan extensas áreas de conocimiento que evidencian esta revolución. En el contexto actual, la influencia de estas revoluciones tecnológicas ha producido avances en las áreas de la robótica, inteligencia artificial, nanotecnología; biotecnología; computación cuántica; *Blockchain*, internet de las cosas, impresión 3D, y otras que efectúan convergencias entre los distintos campos de conocimiento.

2.2.6. *Dinámica de los actores de la Triple Hélice para la generación de conocimiento*

Parte de las discusiones que se dieron en los años ochenta y noventa con la última gran apertura de las economías y en especial, las estructuras de los países emergentes, proponen una lógica común hacia el desarrollo socio-económico basado en el conocimiento (Bianchi et al., 2023; Leydesdorff, 2012). Por lo que, los grupos de interés apuestan a una estrategia de innovación que relaciona la academia, la industria y las políticas en ciencia y tecnología. A esta complejidad Leydesdorff y Etzkowitz (1996) le denominaron modelo de la Triple Hélice (TH). La historia de la TH según Etzkowitz et al., (2005), es una derivación inicial del análisis de la renovación de la economía local de Boston (USA). Lo que implicó fortalecer las dinámicas de colaboración entre la Universidad-Industria-Gobierno en pro del fortalecimiento empresarial a partir del producto de las investigaciones universitarias en la década de 1930. Época que coincide con la gran depresión y en la que los gobiernos buscaban controvertir esta situación por medio de algunas estrategias que

estimularan las dinámicas económicas. Otra contribución sobre las discusiones sobre la TH la ofrecieron Sábato y Botana en 1968, con su artículo de reflexión sobre el triángulo científico-tecnológico para Latinoamérica, con objetivo de fomentar la capacidad racional de la sociedad regional para saber dónde y cómo innovar. En este sentido, la participación de los distintos actores permitiría alcanzar los objetivos estratégicos propuestos mediante la concertación de políticas en sectores socioeconómicos de interés territorial.

Según Leydesdorff ([2012](#)), Henry Etzkowitz le propuso una colaboración conjunta que analizará la relación entre la universidad y la industria. Las discusiones entre los dos investigadores maduraron durante los meses siguientes y originaron la metáfora de la Triple Hélice (TH) para relacionar los tres sectores encargados de estimular la innovación. Un dato interesante que aclara Leydesdorff es la convergencia de las ideas de los dos autores de la TH que poseen cierta tensión. Henry Etzkowitz con una postura neoinstitucionalista centrada en sus redes de intercambio institucional (Powell & DiMaggio, 1999). Y Loet Leydesdorff con un enfoque neoevolucionista de intercambio de funciones, que se da entre la creación de riqueza, generación de conocimiento y el control normativo. Es decir, se centra en los cambios en las funciones de producción que se espera se lleven a cabo mediante nuevos acuerdos (Leydesdorff & Meyer, 2006).

Por su parte, Etzkowitz et al., ([2005](#)) comentan que la premisa básica del modelo de la TH es la transición hacia una sociedad basada en el conocimiento. Desde sus orígenes, la universidad ha transitado de una participación complementaria para la sociedad y la industria a un lugar clave en el desarrollo regional de un marco institucional posindustrial basado en el conocimiento. Las capacidades fomentadas por estas instituciones se hacen determinantes para atravesar los paradigmas tecnológicos que requieren de la renovación de nuevas tecnologías y la generación de empresas desde la base académica. La sinergia de la universidad pasa a ser la fuente que alimenta la industria con nuevos conocimientos científico y tecnológico. Por lo tanto, el gobierno actúa como fuente de relaciones contractual que garantiza esta interacción de modo regulatorio y estabilizador entre los agentes del Sistema de Innovación y las dinámicas provenientes de la TH ([Pique et al., 2018](#); [Ranga & Etzkowitz, 2013](#)).

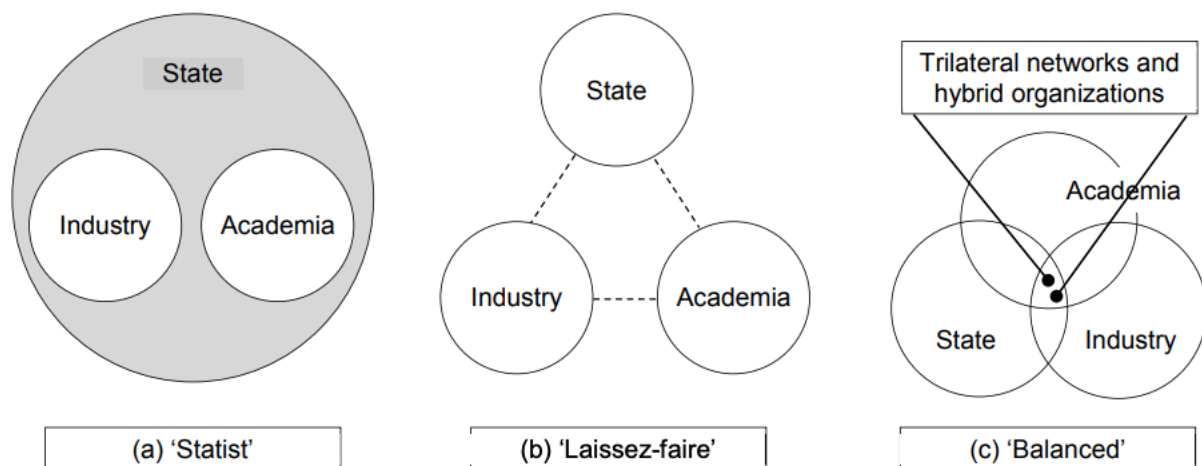
Por otra parte, la representación de las sub-dinámicas de la TH, como los desarrollos de I+D y su capacidad de vincular los centros de investigación universitarios en la gestión del conocimiento, es la generación de nuevos formatos institucionales y sociales para la producción, la transferencia tecnológica y aplicación del conocimiento hacia el sector industrial ([Heaton et al.,](#)

2019; [Ranga & Etzkowitz, 2013](#)). Esta capacidad de gestión es relativa debido a que las condiciones en la que se desenvuelven las universidades que están circunscritas por su relación dentro TH y fuera del sistema de innovación que representan ([Etzkowitz & Leydesdorff, 2000](#)). En perspectiva, la interacción que se da entre distintos sectores para formar un sistema que superpone sus esfuerzos hacia los procesos de innovación. Esto implica, que este sistema permanezca en constante transición. De hecho, los clústeres de alta tecnología son una referencia de la interacción de los sectores de la TH por el desarrollo regional, la empresa asume el papel de organizador de la innovación e integra a los otros sectores con participación activa que dinamice el sistema ([Etzkowitz & Klofsten, 2005](#)).

La Figura 2.2 muestra la configuración de los sectores TH y su representación en la perspectiva de su dinámica. Aquí Etzkowitz et al., ([2000](#)), ubican a estos sectores según su participación en el sistema de TH: el primer esquema de lado izquierdo, representa la participación estática entre los sectores. En este tipo de participación, el gobierno es el actor más importante dentro de la innovación, ya que cumple la función de limitar la capacidad de iniciar la transformación de la innovación por parte de la industria y la academia. Ejemplo de ello son los países que poseen un régimen totalitario y las directrices son condicionadas por un grupo de poder político. Aunque con excepciones, un claro y atípico ejemplo del totalitarismo se puede encontrar en la dictadura de Chile 1973-1990 por Augusto Pinochet. Propició una política económica de corte neoliberal, con la privatización de importantes empresas estatales. Por lo que, Navarro ([2018](#))

Figura 2-2

Configuraciones entre los actores de la innovación mediante la Triple Hélice



Nota. Extraído de Etzkowitz y Leydesdorff (2000)

señala que estas iniciativas responden a decisiones determinadas por distintos actores, quienes promovieron la introducción de principios de mercado en el sistema educacional.

Etzkowitz & Zhou (2018) manifiestan que existen movimientos superpuestos entre las esferas de la TH que conducen a diferentes configuraciones y superan la rigidez de una esfera sobre las otras. Por otro lado, en el esquema que representa una configuración de *laissez-faire*. El Estado se ve limitado para realizar una intervención directa en las decisiones de la política económica. La industria es el actor clave para impulsar la economía de la innovación y posicionar a los otros dos sectores como estructuras auxiliares: las universidades como proveedoras de capital humano calificado y el gobierno como regulador de los mecanismos socioeconómicos del país (Carayannis & Campbell, 2009). El tercer y último esquema representa el equilibrio entre los tres sectores.

De manera descriptiva, la configuración dimensional de cada hélice posee un núcleo interno y un espacio de campo externo: la dimensión vertical de cada hélice evoluciona independientemente en función a su misión estratégica. En cuanto a la dimensión horizontal forman un sistema interactivo circulatorio de bienes, servicios y funciones. Composición que fluctúa en todas las hélices para el desarrollo de un entorno innovador basado en el conocimiento (Etzkowitz et al., 2018). La discusión de este modelo gira alrededor de tres elementos básicos: en primera instancia está la sociedad innovadora, destacada por la participación de la universidad; luego, está la colaboración de las tres esferas para desarrollar políticas de innovación y; por último, el relevo de roles y funciones entre esferas según las necesidades de contexto que indica la evolución institucional de la innovación (Etzkowitz et al., 2005).

Ranga et al., (2013) proponen que hay tres elementos que en conjunto explican la capacidad de adaptación del sistema de la TH en cuanto a su desempeño innovador en relación con el desarrollo y la articulación entre los espacios de conocimiento, transformación y consenso (Tabla 2.2). Un primer elemento se denominan componentes, que son los actores que procuran la innovación dentro del sistema de la TH, estos pueden ser desde instituciones o individuos que son referentes de I+D y fluctúan entre las tres esferas (Etzkowitz et al., 2005). El segundo son las relaciones, que se basan principalmente en las redes de cooperación entre los componentes. Por último, están las funciones, que establecen principalmente la generación, difusión y utilización de la gestión del conocimiento entre los actores de la multi-esfera (Leydesdorff et al., 2006).

Tabla 2-2*Elementos de la innovación desde la perspectiva de la Triple Hélice*

Sistema Triple Hélice	Componentes (Actores multiesfera)	Innovadores individuales e institucionales. Innovadores de I+D y no relacionados con I+D. Instituciones “uniesferas” y “multiesferas” (híbridas).
	Relaciones (Entre componentes)	Transferencia de tecnología. Colaboración y moderación de conflictos. Liderazgo colaborativo. Sustitución y trabajo en red.
	Funciones (A nivel general)	Generación de conocimiento e innovación. Difusión de conocimiento e innovación. Utilización de conocimiento e innovación.

Nota. Desarrollado con información de Ranga y Etzkowitz (2013).

Ahora bien, desde una perspectiva política, el propósito de la TH transita de una sociedad del conocimiento de manera asociativa. Ello implica una gobernabilidad entre los actores y mejora de los espacios colaborativos para desarrollar políticas de innovación y científicas conjuntas (Ranga et al., 2013; Etzkowitz et al., 2000). De esta forma, componen en sus tres sectores subdinámicas a nivel interno. Es decir, las tensiones en el poder entre las agencias del gobierno deben legitimar la relación ante sus acuerdos neocorporativos, la financiación pública y el control democrático para armonizarse dentro de las hélices (Leydesdorff et al., 1996).

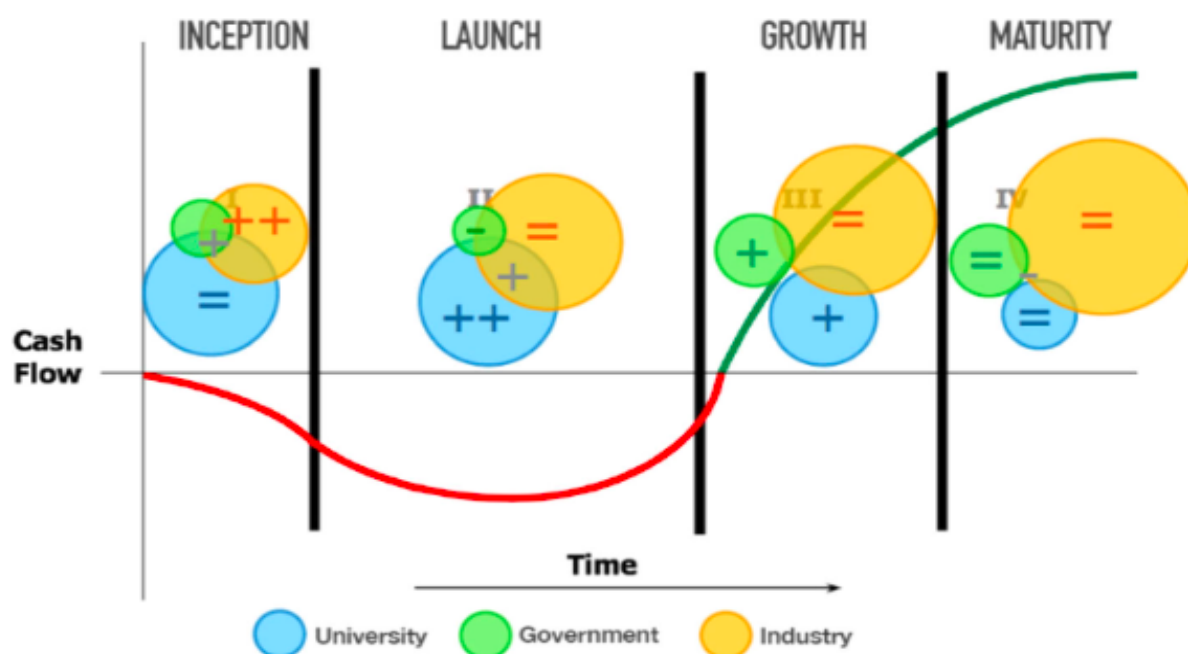
Lo anterior, puede ilustrarse con los debates sobre el derecho de propiedad intelectual que deben ser armonizados dentro del sistema político para atender los regímenes de los otros sectores basados en las políticas industriales y de educación. La complejidad recibe presión de otras subdinámicas como la fuerza del mercado, el poder político, el control institucional, los movimientos sociales, las trayectorias y regímenes tecnológicos, entre otros (Etzkowitz & Zhou, 2018; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). En contribución, Leydesdorff (2012) indica que en la economía política de la TH prevalecen tres tipos de comunicaciones: la primera es la dinámica de los mercados que buscan dentro del sistema un equilibrio; la segunda, son los mecanismos de control normativo de la TH que es la interfaz público-privado; por último, está la dinámica que altera el equilibrio. Las dinámicas que asumen las perspectivas de la economía evolutiva representan el orden, el caos, el equilibrio y la atracción dentro de un modelo no lineal encarnado en el mercado y su tendencia tecnológica (Heaton et al., 2019).

Una de las formas prácticas para mirar la TH de manera compleja es por medio de gráficas no lineales. Está compuesta por interacciones de los sectores de la TH, la participación de los actores de innovación y su evolución dentro de un ecosistema de innovación. Heaton et al., (2019), mencionan que a medida que evoluciona un ecosistema en el tiempo, también evoluciona el papel que desempeñan los agentes dentro de la TH. En las investigaciones de Pique et al., (2018) sobre el caso de estudio de los ecosistemas de innovación y su interacción evolutiva de la TH de Silicon Valley, distingue cuatro cambios o etapas en que los agentes poseen una fluctuación en la participación activa hacia el apoyo en el desarrollo del emprendimiento tecnológico (Figura 2.3).

En la etapa inicial de despegue, la industria es el sector más sobresaliente que dinamiza el ecosistema de innovación en conjunto con el sector académico con unas inversiones en recursos económicos, físicos y humanos que tienden a disminuir en el tiempo. El gobierno actúa con una capacidad instalada de estos recursos, sin embargo, son los otros sectores claves en la movilización de recursos para dinamizar el ecosistema de innovación. En la segunda etapa que indica el lanzamiento, la movilización de recursos se encuentra a cargo del gobierno. Las iniciativas deben estimularse con políticas y asignación presupuestal equivalentes con las de la industria. La

Figura 2-3

Evolución de los agentes Triple Hélice



academia para este caso disminuye su participación. A partir de esta etapa comienza un crecimiento en la interacción entre los actores de los distintos sectores de la TH. La tercera etapa corresponde al crecimiento, hay mayores sinergias entre los actores del sistema TH en especial las universidades y el gobierno. La industria con mayor cohesión continúa con igual cuota de participación de flujo de inversión en innovación. En la última etapa, denominada maduración, hay una constante participación de los tres sectores de la TH. Aunque teóricamente, Etzkowitz et al., (2000) lo denominaría reconstrucción entre las hélices, considerado como un nivel de innovación continua bajo la presión del entorno cambiante. Igualmente, cuando dos hélices se moldean mutuamente la coevolución puede conducir a una estabilidad a lo largo de la trayectoria que describe la TH.

Por su parte, Leydesdorff (2012) comenta que, si bien los gobiernos pueden estimular las instituciones y los acuerdos interinstitucionales a nivel interno, la influencia de factores externos como las dinámicas del mercado y la ciencia que operan a nivel global, son determinantes para los análisis de la evolución de la TH. Por lo que, la distribución de los hechos observables se puede probar estadísticamente para determinar su importancia. Así como, la codificación de orden superior como los paradigmas, la comprensión en términos de flujos con variables que cambian en el tiempo requieren el uso de algoritmos (Etzkowitz et al., 2000). Por ejemplo, el propio sistema de patentes ha evolucionado para definir algoritmos matemáticos por medio de la clasificación de las innovaciones, inventores, fuentes de financiación, países, entre otros (Leydesdorff & Meyer, 2006).

Leydesdorff et al. (2006) plantean que el modelo de análisis de la TH, prioriza en las reflexiones sobre la evolución institucional. La relación universidad-industria-gobierno puede observarse a través de ejes ortogonales para una evaluación sistémica de estas relaciones. Luego, en el producto observable de estas relaciones se pueden apreciar los efectos de interacción entre las funciones. La Figura 2.4, muestra un ejemplo sobre cómo se pueden apreciar las unidades observables de análisis de las patentes desde tres configuraciones. El primer mecanismo funciona desde la perspectiva de la legislación de patentes y deben estar codificadas para poder ser defendidas en un tribunal; el segundo, corresponde a la función institucional para generar ingresos producto del conocimiento y; tercero, el mecanismo económico como la inversión de valor de la propiedad intelectual en un mercado determinado.

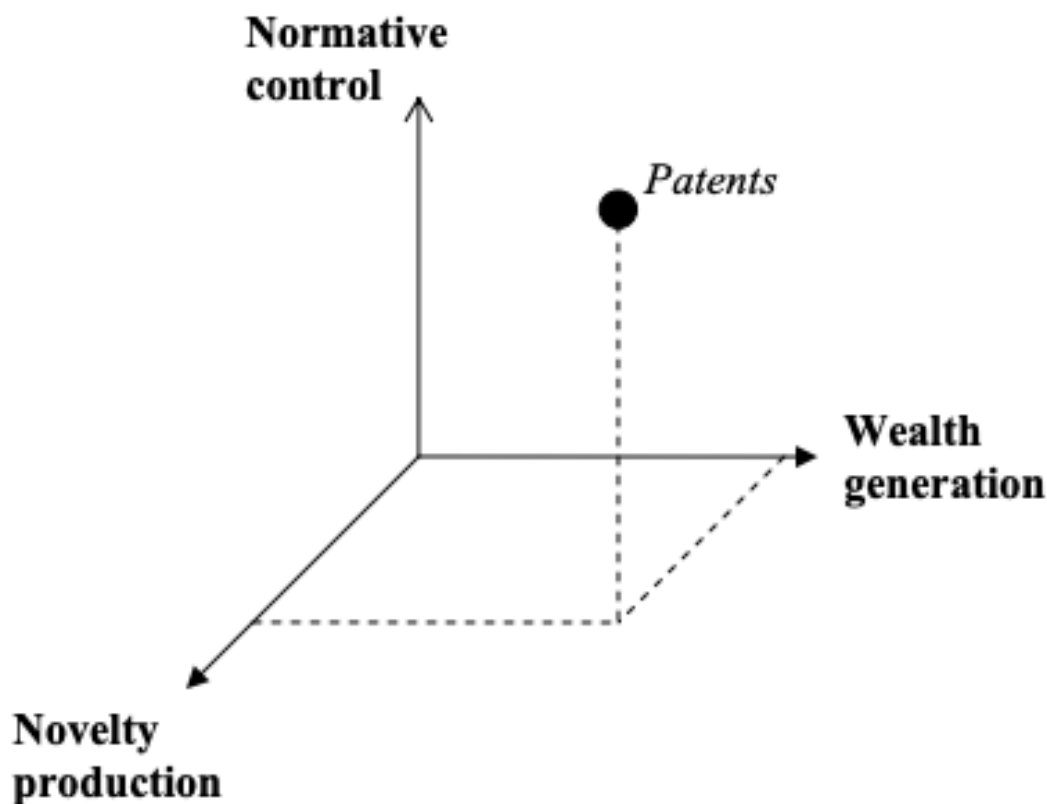
En otras palabras, los tres mecanismos operan sobre la variación de cada uno, así como, la variación en las relaciones y la variación restante en cada dimensión analizada son determinantes

para evaluar la importancia relativa de la respectiva covarianza. En conjunto, los mecanismos coordinados de mercados-regulaciones-conocimiento covarían eventos observables en cada momento y potencialmente coevolucionan en el tiempo. Un ejemplo ilustrativo es el rol de la universidad encargada de producir conocimiento no patentable más que invenciones patentables. Aunque no es una regla universal debido a que muchas universidades en el mundo son muy fuertes en producir y gestionar el conocimiento como por ejemplo las patentes y su licenciamiento.

Del apartado se puede concluir que, aunque existen fuerzas conservadoras con hegemonía de las grandes corporaciones y sus partidarios académicos y gubernamentales, estos retardan las transiciones y dinámicas de innovación ([Etzkowitz et al., 2005](#)). La TH es una estrategia alternativa para el crecimiento económico y transformación social ([Etzkowitz et al., 2000](#)). Facilita observar la evolución y el crecimiento continuo de la tecnología dentro de un sistema TH, identificar y rastrear las iniciativas organizacionales específicas y generales y efectuar análisis de convergencia política y tecnológica ([Etzkowitz et al., 2005](#)). Ranga et al., (2013) proponen que el cambio implica

Figura 2-4

Esquema analítico para estudiar la TH como modelo neoevolutivo de las patentes



Nota: Extraído de Leydesdorff y Mayer, (2006)

un replanteamiento del principal modelo para conceptualizar la innovación desde una perspectiva multinivel, sea del Sistema Nacional de Innovación, regional, sectorial, TH, etc. Así como, los mecanismos de reestructuración de las fuentes y la trayectoria de desarrollo de la innovación ([Carayannis et al., 2009](#)). Incluso sujeto de cambios está en el mismo sistema de diseño político que requiere de manera racional proveer al funcionario del estado de mejor información y herramientas de análisis para la toma de decisiones ([Carayannis & Campbell, 2006](#)).

2.2.7. La política en ciencia, tecnología e innovación desde la perspectiva de la ciencia de datos

La inmersión de las naciones en la economía global ha generado toda una postura hacia las lógicas del desarrollo. Entre ellas, la generación de productos de alto valor agregado como innovaciones tecnológicas han sido determinantes en la feroz competencia de los mercados. De hecho, la tecnología es un objetivo cada vez más importante y desafiante para los analistas científicos, políticos, económicos, ambientales, entre otros ([Coates et al., 2001](#)). Estos actores, son cada vez más conscientes sobre la importancia de los grandes avances tecnológicos, a razón de un crecimiento exponencial de técnicas sofisticadas para caracterizar y potencializar el futuro de las nuevas tecnologías ([G. Kim & Bae, 2017](#)).

Martino ([1980](#)), destaca que cualquier intento de modelar la nueva tecnología debe enfrentarse a la incertidumbre y mirarla de manera compleja. Ello implica la incorporación de diferentes elementos, la comprensión de sus relaciones y el conocimiento sobre el cambio centrado en la novedad tecnológica ([S. Li et al., 2019](#)). Precisamente, es un apoyo para los tomadores de decisiones que requieren de manera anticipada adaptarse a los cambios emergentes ([Denter et al., 2022](#)). Constituye, un fortalecimiento en las opiniones de diversos actores públicos, representantes dentro del progreso tecnológico, los agentes económicos y el gobierno de turno para incentivar el desarrollo de los Sistemas de Innovación Tecnológico.

En este orden de ideas, Kucharavy et al., ([2022](#)) añade que es otra mirada al manejo de la incertidumbre generada por los planteamientos y el diseño de la política que relaciona diversas perspectivas desde los recursos de información técnicos, económicos, ambientales y sociales. Dentro de las políticas de mayor repercusión, se encuentran las que comprenden las Ciencia, Tecnología e Innovación que contribuye a los Sistemas Nacionales de Innovación. Estas políticas buscan proveer toda una serie de canales que incentiven el desarrollo de conocimiento tecnológico ([Daim et al., 2021](#)). Y la necesidad de representar la complejidad de determinado contexto,

formulada bajo una serie de interacciones positivas y similares entre los actores internos y externos del SIT ([Feng et al., 2022](#)).

De esta forma, Coates et al., ([2001](#)) resaltan las funciones estratégicas de los gobiernos nacionales en la identificación de tecnologías socialmente deseables mediante las Predicciones Tecnológicas. Por lo que, las apuestas a las tecnologías emergentes de vanguardia se pueden utilizar para inferir en las tendencias del desarrollo de nuevas tecnologías. Cumple igualmente el objetivo de evaluar las amenazas y oportunidades relacionadas con la innovación, sus efectos en las organizaciones y pronosticar de manera adecuada las tecnologías estratégicas requeridas para diseñar políticas en CTI ([Vicente-Gomila et al., 2021](#); [G. Kim & Bae, 2017](#)).

Del mismo modo, permite mirar de manera sistémica las variables independientes como la evolución del cambio y la gestión tecnológica. Líneas que despliegan los actores principales frente a sus potenciales recursos y necesidades tecnológicas futuras ([Kucharavy et al., 2023](#); [Phaal, 2004](#)) Es decir, con esta información es posible tomar decisiones sobre el desarrollo tecnológico futuro de un sector en específico, registrar análisis de las innovaciones del pasado que pueden tener una solución novedosa en el presente o predecir tendencias que podrían ser vinculantes con otros mercados internacionales ([S. Li et al., 2019](#); [Tseng et al., 2007](#)).

En este sentido Huang et al., (2014), mencionan que los instrumentos desarrollados en la colaboración de la industria y los centros de investigación, es en contexto el producto del devenir presente en el mundo, que, apoyados en los avances tecnológicos, han perfeccionado la obtención y disponibilidad de información pertinente, oportuna y eficaz en la elaboración de una planificación estratégica. Por lo tanto, el sector público asimila estos modelos de información para potencializar su capacidad de discernir en el diseño y proyección de criterios requeridos para el desarrollo de las políticas de una nación ([S. Li et al., 2019](#); [Arencibia Jorge et al., 2012](#)).

En el ejercicio de la recuperación de los datos para efectuar este tipo de estudios, son suministrados por diversas fuentes de información y actores que operan en distintos niveles en un SI. Ejemplo de ello es la ONU, que con sus distintas agencias apoyan a las naciones en la generación de indicadores, estadísticas y la recopilación de la información para la creación de informes técnicos con particularidades de la innovación. En efecto, el desarrollo de las políticas CTI es construido con fuentes de información provista de indicadores complementarios para establecer una aproximación en la evaluación de programas en los distintos escaños de la planeación regional ([Miguel & González, 2023](#)).

Al mismo tiempo, la relevancia de los centros de investigación universitarios que promueven programas especializados en estudios de la CTI, parte de su accionar en la investigación es caracterizar los entornos de innovación y las dinámicas tecnológicas dentro de la industria. En esta medida, la comprensión de enfoques y resultados de investigación de diversas disciplinas, acompañados de procesos metodológicos disyuntivos permite identificar las relaciones complejas entre los distintos actores involucrados en la construcción de los SI.

Suscrito a ello, Zhang et al., ([2021](#)) consideran que en las investigaciones que se apoyan en la ciencia de datos para generar un análisis de la política es fundamental plantear cuestiones que versan en el orden de "quién, dónde, para qué, por qué, cómo y para quién". Ello implica particularizar objetivos a nivel metodológico para establecer lo que sucedió en las áreas de conocimiento; identificar quiénes y dónde están; identificar quiénes son las comunidades de investigación involucradas; descubrir lo que sucedió en esta área; e investigar empíricamente cómo evolucionaron los temas y por qué sucedió. A nivel general, se han tratado distintos aspectos de la importancia de la ciencia de datos como enfoque metodológico para la toma de decisiones en el desarrollo de las políticas en CTI ([G. Kim & Bae, 2017](#)).

2.3. Estado del arte

En este apartado se valoran literaturas relacionadas con los flujos del conocimiento científico a lo largo de las dimensiones científico-tecnológicas mediante las unidades de análisis de los documentos científicos. Esta representación establece los grados de acumulación del conocimiento en cuanto a su difusión y absorción sea en el ámbito local, nacional o regional que son las jerarquías que estructuran los Sistemas Nacionales de Innovación ([D. Li et al., 2022](#)). Por consiguiente, se exponen a continuación dos líneas de investigación de referencia con los espacios colaborativos en la producción científica de la AP.

2.3.1. Líneas de evolución de los Sistemas Científicos: casos de estudio en publicaciones en energías renovables

La investigación de Furtado et al., ([2020](#)) con una línea funcionalista de los SC, estudia los principales actores del SC del bioetanol. El objetivo de la investigación fue examinar cómo las funciones de los SC en bioetanol se relacionan con el biocombustible. Utilizan el enfoque teórico de SC desde Carlsson y Stankiewicz ([1991](#)) que supone una interacción entre los actores a nivel de

determinados campos tecnológicos. El Sistema Científico, Tecnológico e Innovación opera como un socio-sistema-técnico de interacción institucional, que genera, difunde y utiliza un conjunto interdependiente de tecnologías. Este enfoque propone siete funciones del sistema: 1) actividades empresariales, 2) desarrollo del conocimiento, 3) difusión del conocimiento a través de redes, 4) orientación de la búsqueda, 5) formación de mercado, 6) movilización de recursos, y 7) creación de legitimidad. Bajo estos parámetros indica que la evolución del SC de bioetanol brasileño está influenciada por la evolución del SGI porque es un subsistema de un SC global. El estudio es de corte mixto al emplear como elementos centrales los artículos científicos, patentes, informes, información periodística, y otros datos de las agencias de financiación brasileñas. Entre sus hallazgos encontró que las funciones de desarrollo y movilización de recursos operaron positivamente. Sin embargo, en otras no especialmente como la orientación de la búsqueda, formación de mercado y creación de legitimidad, revela una transformación desequilibrada del sistema. Por lo que concluyen que la transición no se completa y que en el futuro las políticas deben considerar la dinámica del sistema y la evolución del contexto. Los referentes investigativos de las líneas temáticas SI expuestas anteriormente, son un acercamiento exploratorio a las posibles rutas y unidades de análisis que develan la complejidad de la producción científica establecidas dentro los países.

2.3.2. Líneas de investigación: casos de estudio en tecnologías en nanociencia y nanotecnología

La complejidad de la delimitación de disciplinas científicas mediante la asignación de revistas a categorías temáticas fue puesta de manifiesto en el campo de la Nanociencia por Muñoz-Écija, et al. ([2022](#)). En este trabajo se exploraron distintas metodologías para clasificar la producción científica en las bases de datos *Web of Science* y *Scopus*. Los datos suministrados, como citas y copalabras, facilitaron los análisis de las estructuras cognitivas y las especializaciones temáticas en Alemania, Francia y España.

La comparación dio lugar a tres enfoques para la delimitación del campo de conocimiento: a nivel temático, de revistas y de publicaciones. La investigación develó los frentes de investigación más dinámicos mediante la técnica de mapas cognitivos superpuestos. Además, este estudio permitió identificar las áreas específicas de investigación de cada país y establecer las fortalezas y debilidades que pueden ser potenciadas o intervenidas por los tomadores de decisiones. En

consecuencia, esta investigación se convierte en un referente metodológico clave para analizar información valiosa y mejorar la gestión y clasificación de la investigación en áreas emergentes de interés nacional.

Conclusiones del capítulo

Los puntos principales del apartado están fundamentados en la economía evolutiva constituida con los principios darwinianos y retomados para comprender la innovación en las empresas por Schumpeter. Las consideraciones teóricas de Schumpeter enfatizan en la acumulación de conocimiento producto de diversos aspectos como la rutina, autoorganización, causación acumulativa, rendimientos crecientes y líneas de sistemas. En este último componente, está el grupo de Sussex liderado por Chris Freedman, Lundvall, Dosi, Carlota Pérez, entre otros. Las categorías de análisis de esta investigación para comprender los sistemas de generación de conocimiento de la Alianza del Pacífico las teoriza Calota Pérez con los conceptos del cambio tecnológico compuesta por elementos como: trayectoria tecnológica, paradigma tecnológico, sistemas y revolución tecnológica. Establecida esta panorámica teórica, se discutieron en los capítulos consecutivos la integración de la problematización y la teoría para efectuar el diseño metodológico acorde a las actividades planteadas en los objetivos de esta investigación.

CAPÍTULO 3

FUENTES DE INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA

Introducción

Las diversas fuentes de información como las bases de datos bibliográficas resultan fundamentales para identificar la producción científica y analizar la evolución de las acciones puestas en marcha dentro de la política en Ciencia, Tecnología e Innovación ([Hook et al., 2018](#)). Para llevar a cabo investigaciones de alta rigurosidad, es necesario el suministro de información relevante, actualizada, precisa, contrastable y de calidad. De ahí, la importancia de estudiar cada una de esas fuentes de información que ayuda a los gestores de datos a tomar decisiones informadas a la hora de seleccionarlasy considerar sus distintas coberturas, funcionalidades y características, fundamentales para el diagnóstico y seguimiento de acciones de política científica y de estudios que amplíen los marcos de conocimiento de una temática ([Mamikutty et al., 2021](#)). Este tipo de estudios ponen de manifiesto las limitaciones y posibles mejoras en cuanto a los metadatos de las fuentes de información ([Chinchilla-Rodríguez et al., 2024](#); [Guerrero-Bote et al., 2021](#); [de Moya -Anegón et al., 2007](#)) que dependen de la política de selección de cada editor comercial (por ejemplo, *Web of Science*, *Scopus*, *Dimensions*, etc.) contiene en su mayoría los documentos indexados de un conjunto de revistas (artículos, revisiones, etc.), congresos, patentes, etc.

Estas fuentes de información y sus productos asociados facilitan el análisis para realizar un diagnóstico de la evolución, tendencia y estado de la ciencia y la tecnología en determinados ámbitos. En este contexto, la biblioteca de la Universidad Autónoma de Baja California ofrece a su comunidad académica el acceso a diversas bases de datos de carácter bibliográfico que proveen información sobre publicaciones, métricas alternativas y entre otras. Mediante suscripción, cuenta con *Web of Science* y *Scopus*, que son consideradas fuentes de información internacionales y multidisciplinarias ([Tennant, 2020](#); [De Moya-Anegón, et al., 2007](#)). Asimismo, se complementan con bases de datos de distintas modalidades de acceso abierto como *Dimensions*, *The Lens*, entre otras. El análisis de los distintos actores (países, temáticas, revistas, etc.) y la comparación entre estas fuentes de información resulta relevante para entender de manera aproximada el fenómeno de estudio.

En el presente capítulo, se describen las fuentes de información utilizadas, la metodología y las limitaciones incurridas en esta investigación.

3.1. Fuentes de información

Desde hace décadas, el crecimiento de las economías en todo el mundo permea la lógica de la competitividad en los diversos niveles del Sistema Ciencia e Innovación. Estos sistemas se desempeñan como motores de conocimiento, descubrimiento e invención que estimulan los ecosistemas tecnológicos en el mundo ([Adams et al., 2018](#)), y operan con el propósito de alcanzar el progreso mediante las dinámicas de producción científica, de colaboración, el aumento de la asignación presupuestal para la I+D, entre otros ([Hook et al., 2018](#)). Por lo anterior, las empresas comerciales que gestionan los datos científicos entran a competir con la única fuente de información que ha sido líder y monopolio en este sector *Web of Science* (*WoS*) hasta el año 2004 que aparece *Scopus*, y amplía las coberturas temáticas y geográficas de *WoS* ([de Moya-Anegón et al., 2007](#)).

Las nuevas fuentes de información enriquecen la diversidad de resultados de las actividades científicas y el desarrollo de indicadores y métricas empleadas para el análisis del ecosistema de ciencia. Su utilidad reside en proporcionar datos que, una vez tratados, sirven como herramientas de apoyo para desarrollar diagnósticos en un contexto comparativo e internacional sobre cómo evoluciona la ciencia en distintos campos temáticos, cuáles son las dinámicas y tendencias de la investigación científica, analizar los patrones de comportamiento en el proceso de generación de conocimiento y por extensión, ayuda a proporcionar información objetiva y contrastable que puede servir como insumo para el diseño de agendas políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación de los distintos países en el mundo ([Huang et al., 2020](#)). Codina et al. ([2020](#)), definen estas bases de datos como un sistema de información que proporciona funciones de acceso y análisis de la información originada por diversos agentes del conocimiento como universidades, organizaciones científicas, etc. El sistema de información contiene una gran tipología de resultados de distintas actividades científicas y tecnológicas, como por ejemplo, artículos indexados, actas de congreso de carácter académico, capítulos de libros editoriales, ensayos clínicos, patentes,

subvenciones, entre otras ([P. Singh et al., 2023](#); [Martín-Martín et al., 2021](#); [Baas et al., 2020](#); [Stahlschmidt & Stephen, 2020](#); [Hook et al., 2018](#)).

Existen tres dimensiones primordiales que definen a cada base de datos: cobertura, recuperación de la información y análisis de la información ([Codina et al., 2020](#)). La *cobertura* comprende la dimensión cuantitativa, cualitativa y su grado de solapamiento relativo. Por ejemplo, la cobertura temática de las áreas del conocimiento, las distintas lenguas de publicación, la oferta editorial, la cobertura geográfica dependiendo de las revistas que estén indexadas, etc. Este hecho puede provocar divergencias entre las distintas bases de datos que pueden afectar la representatividad de los análisis métricos que deriven de ellas ([Stahlschmidt, et al., 2022](#)). La segunda corresponde a la *función de recuperación de la información*, que toca los procesos de búsqueda, navegación, descubrimiento y exploración de la información. La principal característica es que por medio de una o varias expresiones simples o conceptos complejos permite la articulación de operadores de búsqueda para realizar la consulta dentro de la base de datos y obtener resultados sistémicos-propositivos ([Codina et al., 2020](#)). Esta recuperación de información demanda factores claves como precisión, velocidad, actualización y disponibilidad de los datos ([Visser et al., 2021](#)). Según Stahlschmidt et al. ([2022](#)), las diferencias de estas fuentes distan de la cantidad y los tipos de documentos indexados, la integridad de los vínculos entre las citas, los criterios de inclusión aplicados al contenido y la clasificación temática. Estos elementos son los que hacen posible la eficacia de recuperación de la información a través de búsquedas avanzadas. En este sentido, la literatura científica está estructurada bajo las esferas de la multidisciplinariedad, transdisciplinariedad e interdisciplinariedad, que evoca a nuevos desafíos en la complejidad del conocimiento y sus clasificaciones temáticas ([P. Singh et al., 2023](#)). El rápido crecimiento de las bases de datos y la adopción de las nuevas tecnologías hacen que los sistemas de clasificación temática de los documentos contenidos en estas fuentes de información evolucionen.

La tercera función corresponde al *análisis de la información*, esencialmente a los tipos de metadatos y métricas que se proporciona para efectuar estos análisis. Por ejemplo, afiliaciones institucionales, palabras clave de autor, referencias, recuentos de citas para valorar la calidad o el impacto de investigación, entre otras ([V. K. Singh et al., 2021](#); [Thelwall, 2018](#)). El análisis de los metadatos y la implementación de estas métricas permite

identificar las dinámicas de producción, comunicación y colaboración en la investigación a nivel regional, organizacional, por autores, áreas temáticas e idioma ([P. Singh et al., 2023](#); [C.-K. Huang et al., 2020](#)).

C.-K. Huang et al. ([2020](#)), afirman que es fundamental reconocer las diferencias entre las bases de datos, como la cobertura, el desarrollo de métricas y la clasificación de los documentos por campos de conocimiento, entre otras, para evaluar aspectos específicos de un campo de investigación, institución o país. En este sentido, Guerrero-Bote et al. ([2021](#)) indican que es importante evaluar aspectos claves dentro de las bases de datos como su suficiencia en volumen, integridad y precisión para comprender mejor sus fortalezas y debilidades. Todo ello, implica la valoración minuciosa de las fuentes de información que serán utilizadas en un trabajo de investigación ([Visser et al., 2021](#)). Por tanto, en los siguientes apartados, se efectuará una descripción básica de las fuentes de información *WoS*, *Scopus*, *Dimensions* y *Lens*.

3.1.1. Web of Science

*Clarivate*TM es un proveedor global de datos enriquecido con profunda experiencia en el dominio en diversos aspectos del conocimiento, la investigación y la innovación. *Web of Science* (*WoS*), propiedad de *Clarivate*TM, es considerada la base de datos bibliométrica internacional y multidisciplinar más antigua. Constituida en 1964 por Eugene Garfield del Instituto de Información Científica de Filadelfia (EE.UU). Garfield argumentó que la mayoría de la literatura científica importante se publicaba en un pequeño número de revistas y estas revistas deberían ser prioritarias en la selección y adquisición de recursos en las bibliotecas. A este descubrimiento se le llamó Ley de concentración y, años más tarde lo materializó al diseñar el *Science Citation Index* (SCI) para incluir solo las revistas de mayor calidad en cada campo de conocimiento ([Stahlschmidt & Stephen, 2020](#)).

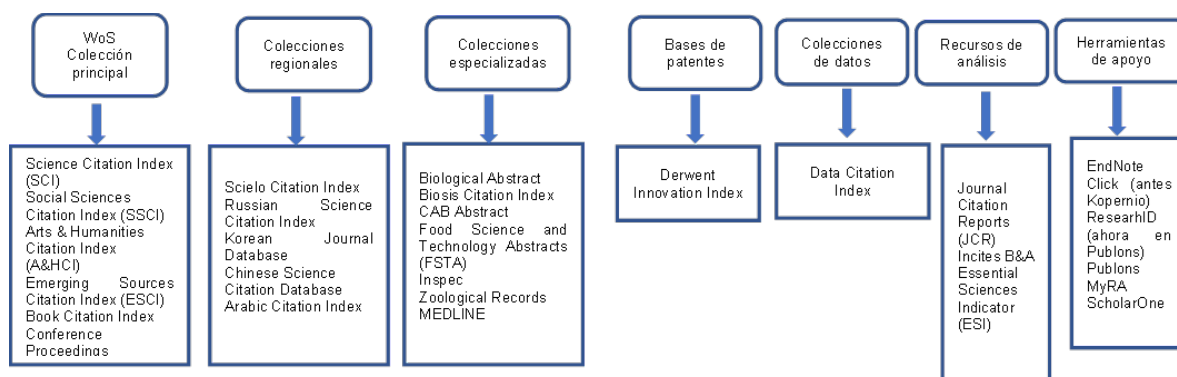
Birkle et al. ([2020, p. 364](#)), definen a *WoS* como “una base de datos selectiva, estructurada y equilibrada con enlaces de citas completas y metadatos mejorados que respaldan una amplia gama de propósitos informativos”. En su momento, fue líder en producir un servicio de información científica y la única con registros homogéneos de investigación pública ([Miguel & González, 2023](#)). Al punto que fue empleada por bibliotecarios, y más tarde, como fuente de información complementaria para inversionistas

y gobiernos en la toma de decisiones basada en evidencia ([Hook et al., 2018](#)). La plataforma *WoS* está diseñada para realizar consultas de manera fácil, clara y sencilla. Es una herramienta que busca ser inteligible para el usuario, en el momento de realizar la búsqueda con palabras claves y opciones de delimitación personalizadas. Esto conlleva la utilización de filtros que puede ser por año de publicación, tipo de publicación, perfiles de investigador, categoría *WoS*, índices *WoS*, afiliaciones, tipo de revista, idioma, país, editores, área de investigación, agencias de financiamiento, metas del Desarrollo Sostenible, campos de conocimiento, entre otras (Figura 3.1).

A lo largo de la historia, *WoS* se ha enriquecido con diversas fuentes de información y campos del conocimiento que complejizan cada vez más la proliferación de la información. La primera base de datos bibliográfica de citas corresponde al *Science Citation Index* que cubría inicialmente 700 revistas y estaba destinada a ser un índice de citas ([V. K. Singh et al., 2021](#)). Posteriormente, la colección se articuló a las bases de datos *Social Sciences Citation Index* (1973) y el *Arts & Humanities Citation Index* (1978), para luego conformar desde 1997 lo que se conoce con el nombre de *Web of Science*. En esta etapa, gran parte de la extracción de citas de los documentos indexados se hacía manualmente y empleaban el recurso de tarjetas perforadas como entrada para computadoras, y los resultados eran restringidos para la selección de artículos y revistas específicas ([C.-K. Huang et al., 2020](#)). Actualmente, la colección básica ha incluido en sus índices las actas de congresos, libros y fuentes emergentes ([Martín-Martín et al., 2021](#)).

Figura 3-1

Estructura general de Web of Science



Nota. Desarrollada por Gregorio Chaviano et al., ([2021](#)) con información de Clarivate

WoS también incluye fuentes de información como el Índice de Innovaciones de *Derwent*, que es un desarrollo para la clasificación de las patentes y utiliza los datos desde 1963 de más de 50 oficinas de patentes en el mundo ([Visser et al., 2021](#)). Componente ideal para realizar análisis de vigilancia tecnológica ya que posee altos criterios de calidad que facilitan la utilización de unidades de análisis con aplicaciones bibliométricas como los códigos de patentes. En 1980, se incluye *Korean Journal Database* (KCI), caracterizada por la multiplicidad de campos de conocimiento. Otra fuente es el Índice de *Preprints* que corresponde a artículos antes de publicar en revistas formales de talla internacional, con registros que datan del año 1991. Poseen de manera flexible algunos parámetros de indexación que una publicación científica y los mismos elementos para el análisis bibliométrico. Por último, está el *Índice de Citas de SciELO*, que ofrece literatura en inglés y español de múltiples disciplinas de revistas iberoamericanas.

Los sistemas de información se encuentran en constante cambio en la ampliación de los campos de conocimiento, fusiones de contenido y eliminación de bases de datos ([Birkle et al., 2020](#)). De ahí que, *Web of Science* incrementa el contenido de *WoS Core Collection* de citas de proveedores como: *BIOSIS Citation Index*, *Chinese Science Citation Database*, *Russian Science Citation Index* y *Medline*, *Inspec*, *KCI*. Los que poseen altos contenidos documentales de revistas, libros y actas que *Clarivate Analytics* considera clave en las ciencias biológicas y biomédicas, la ingeniería, las ciencias sociales y las artes y humanidades ([Stahlschmidt et al., 2020](#)).

El proceso de selección de revistas de Clarivate ([2022a](#)), cuenta con un consejo de editores internos conformado por expertos que garantizan la toma de decisiones de manera imparcial de la *Web of Science Core Collection*. Lo anterior, evita que las bases de datos utilicen enfoques algorítmicos o deleguen la toma de decisiones a la comunidad investigadora. Por tal motivo, el proceso debe basarse en la objetividad, la selectividad y una plantilla de 24 criterios para evaluar las revistas. Entre ellos, el rigor editorial, mejores prácticas de calidad e impacto. Las revistas que cumplen con los criterios de calidad ingresan al *Emerging Sources Citation Index* (ESCI) y los criterios de impacto al SCIE, SSCI o AHCI según la temática.

El contenido de *WoS* se ha expandido considerablemente. Por un lado, según la [Master Journal List](#) consultada el 19 de octubre de 2023, la base de datos *WoS* llegó a 24,744

revistas; 126 millones de citas de artículos; 52 millones de referencias bibliográficas y 12,700 revistas de alto impacto. Otra de las herramientas es el *Journal Citation Reports* (JCR) que es una publicación anual que evalúa el impacto y relevancia de las principales revistas científicas del campo de las ciencias aplicadas y sociales. En 2023, el *Journal Citation Reports* (JCR) registró 21,522 revistas de 122 países, distribuidas en 254 categorías de búsqueda con un seguimiento que se remonta a 1900. La distribución temática de estas revistas es distinta por área de conocimiento: 13,668 revistas en ciencias de la salud, tecnología y ciencias experimentales; 7,123 revistas en ciencias sociales; 3,248 revistas en humanidades y arte; y un total de 5,600 revistas de acceso abierto (Gold Open Access) de distintas temáticas ([Clarivate, 2023](#)).

En cuanto a la clasificación de los documentos, *WoS* usó el desarrollo de algoritmos de búsquedas sofisticados. Herramientas que ejecutan sistemáticamente gran cantidad de datos en conglomerados de información útiles para los actores que trabajan en distintas áreas de conocimiento ([Peces, 2022](#); [Zacca-González et al., 2018](#); [Yoon & Kim, 2011](#); [Blei et al., 2003](#)) y que han sido motivo de estudio en comparación con otras clasificaciones Arencibia-Jorge et al., [2009](#); temáticas entre las distintas bases de datos ([Gómez-Núñez et al., 2014](#)).

Clarivate Analytics (2020), gestiona y desarrolla la clasificación temática de las áreas de investigación de [WoS Core Collection](#). Tanto las revistas como los libros indexados están categorizados en distintos niveles de clasificación. Hay 5 grandes áreas temáticas: Ciencias de la Vida y Biomedicina con 76 subáreas temáticas; Artes y Humanidades, con 14; Ciencias Físicas con 17; Ciencias Sociales con 25 y Tecnología con 21 subáreas temáticas.

Asimismo, *Clarivate* profundiza sobre los 17 esquemas de áreas temáticas disponibles en [InCites](#). La clasificación exclusiva y desarrollada por la compañía está dirigida a *WoS*, *Citation Topics*, *Essential*, *Science Indicators*, *Institutional Profiles* y *Sustainable Development Goals*. Mientras que a nivel externo hay 12 esquemas de clasificación temática disponibles en *InCites*, como: *Research Excellence Framework* del Reino Unido o el esquema de clasificación temática de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Estos esquemas de clasificación han sido usados, por ejemplo, para observar los indicadores bibliométricos a nivel nacional en el contexto de los datos demográficos y financieros ([Chinchilla-Rodríguez et al., 2024](#)).

Dentro de las categorías jerárquicas por documentos, *WoS* presenta su sistema denominado [Citation Topics](#), que son agrupaciones de citas derivadas algorítmicamente y desarrollada por el Centro de Estudios de Ciencia y Tecnología (CWTS) de la Universidad de Leiden. El sistema de clasificación jerárquica posee tres niveles para clasificar los documentos: Macro-topics con 10 categorías, Meso-topics con 326 subcategorías y Micro-topics con 2,488 micro categorías en la [versión](#) de 28/04/2023. Un ejemplo es el caso específico del Micro-Tópico para las Energías Renovables, el cual presenta el código TMIC=6.115.880. El primer número corresponde a su nivel Macro en Ciencias Sociales (6); el segundo corresponde al nivel Meso en Ciencias de la sostenibilidad (115) y; el tercero es el Micro con Energías Renovables (880).

Por otra parte, están algunas limitaciones de la base de datos *Web of Science*. La primera, es la restricción para el ingreso a la plataforma por medio de una suscripción institucional. Aunado al costo adicional por el uso de aplicaciones especializadas que no son accesibles para las organizaciones con poca capacidad económica. Ello implica que tanto investigadores como instituciones están en desventaja a la hora de desarrollar proyectos de investigación con mayor impacto y aceptación en el mundo científico, como recoge [Declaración de Barcelona sobre información de investigación abierta](#). La segunda, es la sobrerrepresentación del idioma inglés. Vera-Baceta et al. ([2019](#)), que debilita la integración de literatura de otras lenguas. Este hecho provoca la restricción en la cobertura de toda la ciencia

La tercera, es la cobertura de las revistas. Estas son fuentes seleccionadas por *WoS* en función de una serie de criterios mínimos para ser revisadas por pares dentro de un campo del conocimiento y en sí, poder tener un parámetro de calidad de la publicación. Lo que implica evidentemente la disminución de la cobertura dentro de la base de datos por el rechazo a revistas y sus publicaciones a raíz de estos parámetros de calidad ([Aksnes et al., 2019](#)).

En contexto, las limitaciones en la cobertura han mostrado selectividad en su cobertura y decisiones de indexación ([V. K. Singh et al., 2021](#)) que son mejorables, así como el cálculo y uso de alguno de sus indicadores como el factor de impacto de las revistas que han sido ampliamente usados para medir la calidad de la investigación y del crecimiento en las fuentes de publicación a lo largo de los años, y que han sido objeto de críticas en diversas

investigaciones ([Pastor-Ramon et al. 2023](#)), En esta línea, Codina et al. (2020), mencionan que la limitación de *WoS* con el *Journal Citation Reports* (JCR) radica en que solo incluye dos de sus ocho índices, centrados en el ámbito de las ciencias médicas, experimentales y tecnológicas, lo que implica dejar fuera a las revistas de historia y humanidades. Sin embargo, los comunicados de los delegados de Clarivate, manifiestan que para el 2024 el factor de impacto (JIF) se reducirá en un decimal para fomentar la consideración de otros indicadores y datos descriptivos, y se ofrecerá el factor de impacto de las revistas indexadas en *Arts and Humanities Citation Index* (AHCI) y *Emerging Sources Citation Index* (ESCI) ([Aksnes et al., 2019](#)).

Estos cambios buscan promover la integridad de la investigación y ofrecer una visión más completa del impacto académico de las revistas ([Quaderi, 2023](#)). Finalmente, la cuarta limitación la establece Stahlschmidt et al. (2020), al sostener que *WoS* no es inmune a la falta de referencias y enlaces inexactos, lo que se traduce en un problema común de referencias faltantes, metadatos incorrectos y coincidencias erróneas entre los documentos citados y los que citan.

3.1.2. *Scopus*

Elsevier es una empresa de alcance global que se dedica al análisis de la información científica, técnica y médica desde 1880. Uno de sus productos más destacados es *Scopus*, que desde su aparición en el 2004 ha representado un punto de inflexión para la hegemonía de *WoS* por más de 40 años ([Baas et al., 2020](#); [Moya-Anegón et al., 2007](#)). *Scopus* proporciona una mayor cobertura y contenido indexado en comparación con *WoS* ([Pranckutė, 2021](#)). Y generalmente, entra a competir con la implementación de nuevos metadatos y formas de analizar la evolución del conocimiento científico, sea en el ámbito de la cobertura ampliada, clasificación temática de nuevas revistas, nuevos indicadores de revistas, técnicas de visualización innovadoras y la integración de la altmetría ([Orduña-Malea et al., 2018](#)).

Scopus amplía el panorama de la cienciometría para tener una visión más clara y objetiva del impacto de la producción académica mediante la implementación de indicadores de impacto contextualizados a nivel mundial ([Pastor-Ramon et al., 2023](#)). Stahlschmidt et al. (2020), mencionan que esta objetividad pretende integrar elementos de investigación basados en la suficiencia de la calidad. Para ello, la armonía de calidad y cantidad es el equilibrio

ideal para ser competitivo en el mercado de las bases de datos. La evidencia de ello es el uso a nivel mundial de los actores de la ciencia que ven las bondades de una base de datos con extensa cobertura literaria, altos criterios de calidad y ofrece servicios de apoyo a grupos académicos, empresariales y desarrolladores de políticas nacionales e internacionales.

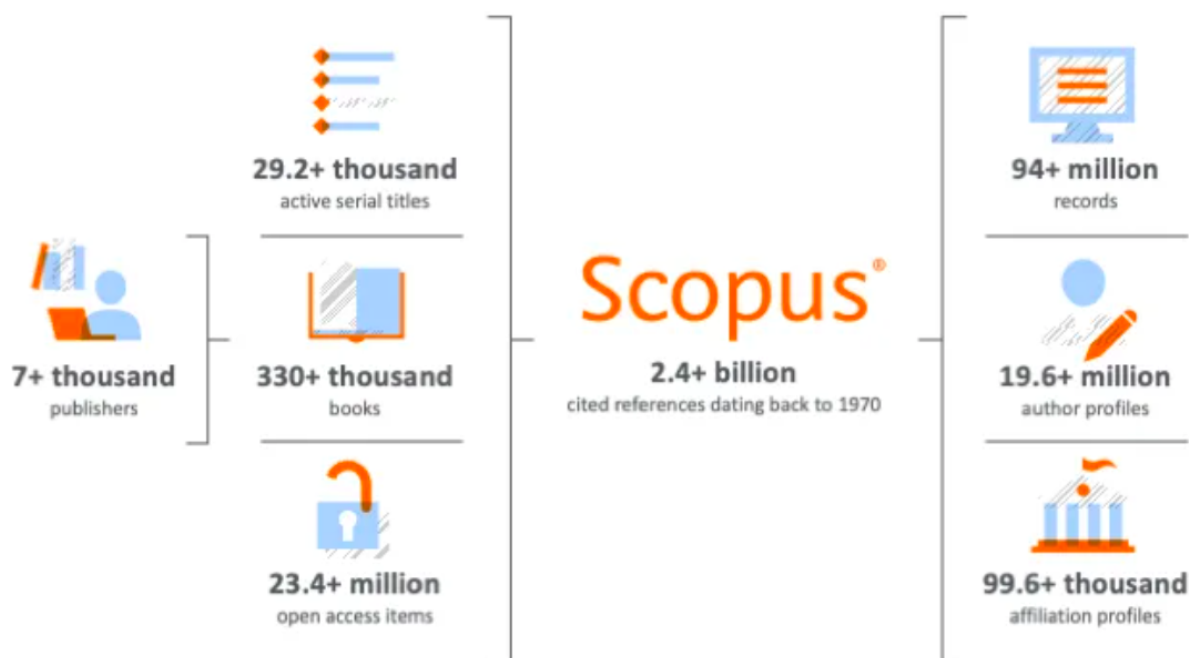
Inicialmente, la base de datos recogía las revistas de la propia editorial y las fuentes de información denominadas EMBASE y GEOBASE. La primera proviene del campo de las ciencias médicas y de la salud. La segunda, posee criterios de indexación que cubre múltiples campos como ciencias geográficas, terrestres, oceanografía, geología, humana, física, ambientales, energías alternativas, contaminación, gestión de residuos y conservación de la naturaleza ([Stahlschmidt et al., 2020](#)). Mediante su herramienta de búsqueda, *Scopus* cubre una gran cantidad de datos compuestos por revistas especializadas, libros, series de libros, actas de congresos y patentes en los campos de la ciencia, la tecnología, la medicina, las ciencias sociales y las artes y humanidades ([Baas et al., 2020](#); [Stahlschmidt et al., 2020](#)).

Tomando *Scopus* como fuente de información, el grupo SCImago creó dos portales bibliométricos: [SCImago Journal & Country Rank](#) y [SCImago Institutions Rankings](#). Rozemblum et al. ([2021](#)), sostiene que emplear las métricas establecidas en *SCImago Journal & Country Rank* ([SJ&CR](#)) para analizar las revistas de los distintos países, se requiere comprender los distintos campos de conocimiento y los grupos temáticos que los componen. En esta línea, *Scopus* ha desarrollado métricas para determinar el grado de influencia de las revistas mediante la herramienta [CiteScore](#), entre otras. Esta métrica proporciona un valor para comparar y evaluar el grado de influencia de las revistas científicas mediante la utilización de una ventana de citación de cuatro años, e incluye todas las revistas y disciplinas de la base de datos ([Codina et al., 2020](#)).

En este orden de ideas, *Scopus* en su proceso de indexación de revistas, establece una rigurosa selección de contenido y reevaluación continua. Los criterios de selección son establecidos por un Consejo Asesor y de Selección de Contenido (CSAB) para indexar a su colección las revistas, conferencias y otras publicaciones que requieren revisión ([V. K. Singh et al., 2021](#)). En igual instancia, *Elsevier* recibe el apoyo de organizaciones científicas para mejorar sus procesos en la generación de métricas de indexación. Entre ellas, destaca la ya mencionada *SCImago*, que es un grupo de investigación que se apoya con los datos de *Scopus* en la generación de métricas de factor de impacto como el *Scimago Journal Rank* (SJR). Otra

Figura 3-2

Cobertura de Scopus 2023



Nota. Imagen extraída Elsevier del contenido de *Scopus* 2024

de las organizaciones es el *Centre for Science and Technology Studies* de *Leiden University* con la métrica de *Source Normalized Impact per Paper* (SNIP).

La métrica *SJR*, desarrollada por el grupo SCImago para proporcionar un indicador de impacto mejorado con respecto al factor de impacto del JCR para *WoS*, refleja el prestigio de la revista mediante el número de citas ponderadas por la calidad de la revista que emite las citas, lo que da distinto peso a cada cita, es decir, realiza una función similar al algoritmo *Pagerank* de *Google* y realiza constantemente mejoras para detectar malas prácticas, como la autocitación ([Gonzales-Pereira et al., 2010](#); [Mavrogenis et al., 2010](#)). Otra de las métricas que ofrece *Scopus* es el *SNIP*, que establece el impacto de una revista según las características de la materia sobre la que se investiga ([Waltman & van Eck, 2013](#)). Su lógica es que en un campo de investigación científico donde hay menos frecuencia de citas, cada cita individual tiene un valor más alto que las citas en otras áreas donde se publica con mayor frecuencia ([Pastor-Ramon & Rovira, 2023](#)). De este modo, las métricas permiten evaluar y analizar los dominios científicos en distintos niveles de agregación: autores, revistas, países, regiones, etc.

La cobertura de *Scopus* fortalece el mundo científico con el aumento en los registros de datos bibliográficos de manera exponencial ([V. K. Singh et al., 2021](#)). Actualmente, el informe de cobertura de *Scopus* revisado en la plataforma de *Elsevier* ([2023](#)), notifica sobre algunas estadísticas globales con las que cuenta la base de datos. En ellas destacan, los más de 2.4 billones de referencias citadas de publicaciones indexadas que datan de 1970 y los 3 millones de registros anuales desde 1788 (Figura 3.2). Información que permite a los usuarios desarrollar análisis bibliométricos y de tendencias históricas más extensas; perfiles de autor más completos y medidas de índice “h” mejoradas para los autores ([Baas et al., 2020](#)).

Scopus emplea la clasificación temática *All Science Journal Classification* (ASJC), que se basa en los objetivos, alcance del título y contenido de publicación ([Scopus, 2023](#),

Tabla 3-1

Categorías de áreas temáticas de Scopus

Área temática	Clasificaciones de áreas temáticas
Ciencias físicas	Ingeniería Química
	Química
	Informática
	Ciencias de la Tierra y Planetarias Ingeniería
	Energética Ciencias Ambientales Ciencia de
	Materiales Matemáticas Física y Astronomía Multidisciplinar
Ciencias de la Salud	Medicina
	Enfermería Odontología
	Veterinaria Profesiones de la Salud Multidisciplinar
Ciencias Sociales	Artes y Humanidades
	Negocios, Gestión y Contabilidad
	Ciencias de la Decisión
	Economía, Econometría y Finanzas
	Psicología
	Ciencias Sociales
	Multidisciplinar
Ciencias de la vida	Ciencias Agrícolas y Biológicas
	Bioquímica, Genética y Biología Molecular
	Inmunología y Microbiología
	Neurociencia
	Farmacología, Toxicología y Farmacia
	Multidisciplinaria
Multidisciplinaria	Multidisciplinaria

Nota. Extraído de *Scopus* (2023).

párr. 1). El desarrollo de la codificación lo realizan analistas expertos sobre una temática en específico. *Scopus* plantea 5 áreas grandes temáticas y 1 adicional de carácter multidisciplinaria, que comprenden las áreas principales como: Ciencia de la Salud con 102 subáreas; Ciencia de la Vida con 51; Ciencias físicas con 115 y; Ciencia Sociales y Humanidades con 65 subáreas, para un total de 335 subáreas establecidas en el proceso de codificación (Tabla 3.1).

Gómez-Núñez et al. (2013), propusieron el refinamiento y optimización de la estructura temática de *Scopus* en función de un conjunto de categorías establecidas en el SJR. El estudio representó una estructura basada en extensas redes de citación, que incluyó 18,891 revistas de 2009 a 2010. Mediante técnicas de *clustering* y visualización procedieron a reclasificar las revistas al emplear y comparar una combinación de algoritmos y obtuvieron 219 categorías temáticas que son muy parecidas según los autores a la original del SJR.

Scopus cuenta con una lista completa de áreas temáticas mediante códigos de clasificación de revistas científicas (ASJC) actualizada anualmente. Aquí se puede buscar por criterio de nombres y códigos de campo, o filtrar y explorar por área temática. Por ejemplo, para buscar artículos en Energías Renovables, Sostenibilidad y medio ambiente se ingresa al buscador avanzado de Scopus el código SUBJTERMS(2105) y se recuperan todos los artículos relacionados a esta categoría (Tabla 3.2).

Scopus no está exento de limitaciones. La primera, garantizar la calidad por medio de la indexación y una ampliación de la cobertura más representativa a nivel geográfico. Ligada a la anterior, la segunda limitación corresponde a los sesgos que posee *Scopus* hacia la investigación de países no occidentales, idiomas distintos al inglés y limitaciones en áreas como artes, humanidades y ciencias sociales. Aunque amplía la cobertura de *WoS*, siempre hay espacio para la mejora y así se evitan análisis sesgados de la producción mundial de conocimiento. Esto es una llamada de atención para la reformulación de infraestructuras de

Tabla 3-2

Estructura de búsqueda por código del ASJC de Scopus

Código	Categoría ASJC	Área Temática
2105	Energías Renovables, Sostenibilidad, Medio Ambiente	Ciencias Físicas

Nota. Extraído de la información de ASJC de Scopus

investigación más inclusivas y controladas por la comunidad científica internacional ([Tennant, 2020](#)).

La tercera limitación se refiere a las fluctuaciones derivadas de los errores de indexación de revistas específicas. Chinchilla-Rodríguez et al. ([2024](#)), observaron la diferencia en los metadatos del autor de la correspondencia en *WoS* y *Scopus*. Los resultados muestran que discrepancias en la manera en la que se indexa la información en las dos bases de datos.

La cuarta limitación de *Scopus* enfatiza la accesibilidad de los usuarios, al solicitar la suscripción de la base de datos en su institución ([Martín-Martín et al., 2021](#)). Actualmente, los investigadores demandan este tipo de herramientas para apoyar sus investigaciones, por lo que, instituciones educativas como la UABC realizan un esfuerzo económico con otras instituciones para poder adquirir este tipo de fuente de información calificada. De hecho, existen instituciones de investigación que no cuentan en su catálogo bibliográfico con los productos de *Elsevier* y *Clarivate* por su costo. Por lo tanto, deben recurrir a las opciones de acceso abierto como *Google Scholar*, *Redalyc*, *SciELO*, *Dimensions*, *The Lens*, entre otras, para desarrollar los proyectos de investigación de manera confiable y validada por la sociedad del conocimiento ([Rozemblum et al., 2021](#)).

3.1.3. *Dimensions*

Digital Science y asociados crearon en 2018 la base de datos de investigación integrada más completa y proyectada como una infraestructura moderna e innovadora: *Dimensions*. En su momento, ésta fue una respuesta a la hegemonía de los datos bibliométricos de *WoS* y *Scopus* que emplean los datos de las publicaciones como el principal resultado científico ([Orduña-Malea et al., 2018](#)). Actualmente, *Dimensions* representa altos estándares de calidad, transparencia y accesibilidad a la información, al eliminar los repositorios de información aislados ([Führ et al., 2021](#)). Asimismo, posibilita la generación de información pertinente para el monitoreo de los sistemas científico-tecnológicos mediante información actualizada y detallada por área de interés; útil para bibliotecas, investigadores y profesionales del campo de los estudios cuantitativos de ciencia y tecnología ([Orduña-Malea et al., 2018](#)).

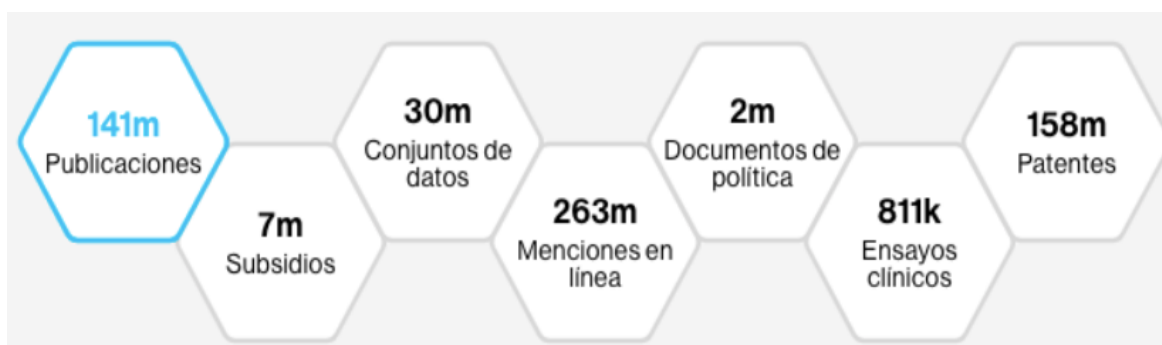
De acuerdo con Herzog et al. ([2020](#)), la esencia de *Dimensions* versa en el acceso gratuito de los datos para fines de investigación cuantitativos. Los investigadores

interesados que necesiten acceso a datos de publicaciones a gran escala pueden solicitar acceso sin costo a la versión completa de *Dimensions*. Para el proceso de solicitud de acceso a los datos se requiere del aval de un comité revisor que evalúa caso por caso ([V. K. Singh et al., 2021](#)). El contenido de *Dimensions* revisado el 25 de noviembre del 2023 en la página oficial, comprende una colección de publicaciones de investigación que supera los 1,800 millones de citas (Figura 3.3). En él destacan los 141 millones de publicaciones, provenientes de 111 mil revistas, 59 servidores de *preprints* y supera los 1.7 millones de libros. Cuenta con más de 7 millones de subvenciones de investigación valoradas en más de 2.5 billones de dólares, que conecta a millones de publicaciones, ensayos clínicos y resultados de patentes ([Dimensions, 2023](#)).

A su vez, proporciona el acceso a 30 millones de conjuntos de datos que se originan en más de 1,000 repositorios de todo el mundo. Registra 263 millones de menciones en Altmetric, con 20 millones de enlaces que las conectan con publicaciones. Los documentos políticos que muestran el impacto social del trabajo académico, están vinculados a más de 2.7 millones de publicaciones. En total, se incluyen 2 millones de documentos relacionados con las políticas a nivel mundial. Asimismo, registra 811 mil ensayos clínicos procedentes de 15 fuentes diferentes; fundamentales para las investigaciones de medicina, acompañados de enlaces a publicaciones, menciones en línea y subvenciones de apoyo. Por último, *Dimensions* registra la conexión entre patentes, publicaciones y subvenciones de apoyo. En

Figura 3-3

Número de registros de la base de datos de Dimensions 2023



Nota. Imagen extraída de la plataforma de Dimensions de: www.dimensions.ai

total, se incluyen 158 millones de patentes de la mayoría de países en el mundo ([Digital Science, 2024](#)).

El proceso de recuperación de la información se efectúa con una acción sencilla de búsqueda, sea por palabras claves, título o resumen ([Thelwall, 2018](#)). Este proceso facilita el tratamiento y el estudio de los datos para realizar análisis complejos enriquecidos con vínculos de diversas fuentes de información, incluido indicadores de actividad académica por proyecto financiado, entre otros ([Adams et al., 2018](#)). La información vinculada de *Dimensions* describe el ciclo de vida de la investigación de forma más completa que cualquier sistema similar. Su enfoque considera la diversidad de investigadores, campos de investigación, instituciones, financiadores, países y otras entidades relevantes ([Hook et al., 2018](#)). La cobertura de *Dimensions* incluye información sobre financiación de la investigación, logros académicos, desarrollos comerciales e impactos en la política nacional y regional ([Stahlschmidt et al., 2020](#)).

Los indicadores de financiación son elementales para la generación de diagnósticos pertinentes en el diseño de políticas y/o programas requeridos dentro del Sistema de Ciencia e Innovación ([Katz, 2006](#); [Dunn et al., 1987](#);). En este sentido, las métricas e indicadores de financiación permiten a los investigadores acceder a preguntas como: ¿Qué impacto tienen las estrategias de financiación mediante subvenciones? ¿Qué tipos de subvenciones son más eficientes para desarrollar un campo? y ¿La eficiencia de la financiación depende del nivel de desarrollo de un campo? ([Hook et al., 2018](#)). En respuesta a éstas preguntas, *Dimensions* contrasta los registros de subvenciones otorgadas, ensayos clínicos, documentos de políticas y las publicaciones con sus citas. Comparable con la oferta de los datos bibliográficos de las plataformas líderes de referencia ([Visser et al., 2021](#)). Dispone de información combinada con datos públicos, fuentes patentadas y del mejoramiento en el uso de identificadores y enfoques tecnológicos que proporciona la visualización de estadísticas sobre el gran número de registros que soporta la plataforma ([Führ et al., 2021](#)).

Por medio de la metodología denominada “enfoque ascendente” *Dimensions* se enriquece de los procesos de recopilación sistemática de las siguientes fuentes de información bibliográfica: *Crossref y PubMed* ([V. K. Singh et al., 2021](#); [Herzog et al., 2020](#)). Asimismo, de las fuentes de acceso abierto como: *DOAJ*, que funciona como índice único y extenso de cobertura mundial (DOAJ, 2023, párr. 1); *OpenCitations*, que publica datos y

citas bibliográficas (OpenCitations, s.f., párr. 1) y; *I4OC*, que busca la disponibilidad ilimitada de datos de citas académicas (II4OC, s.f., párr. 1). Adicionalmente, *Dimensions* incorpora los datos de repositorios de renombre como: *FIGSHARE*, que brinda a los usuarios la posibilidad de depositar sus datos de las publicaciones de manera abierta ([Travieso et al., 2019](#)) ; *DRYAD*, que se enfoca en datos de investigación en ciencias de la vida ([He & Han, 2017](#)) y ZENODO, desarrollado bajo el programa europeo *OpenAIRE* y operado por el *CERN* ([Gonzalez et al., 2019](#)).

Dimensions cuenta con el suministro de referencias de ensayos clínicos, datos abiertos de políticas públicas, identificación de instituciones, subvenciones y empresas científicas digitales ([V. K. Singh et al., 2021](#)). Entre éstas últimas, *Altmetric* rastrea la participación en línea que revela cómo y dónde las investigaciones marcan la diferencia en cuanto a su interés entre distintos públicos, más allá del académico ([Yilmaz et al., 2023](#)). Por otro lado, *IFI Claims* recopila patentes globales y ofrece servicios web para desarrolladores de aplicaciones en ciencia de datos ([IFI CLAIMS, s.f., párr. 1](#)). Además, *Dimensions* desarrolla herramientas y formas para caracterizar la investigación, lo que permite profundizar en el análisis de las publicaciones y/o métricas. Ofrece a la comunidad científica ampliar su capacidad para desarrollar debates académicos con mayor impacto práctico y de profundidad. Lo anterior, se fundamenta con métricas que superan las barreras de *WoS* y *Scopus* en la delimitación de un subconjunto de trabajos de investigación ([Herzog et al., 2020](#); [Thelwall, 2018](#)).

Dimensions ofrece acceso a la plataforma en tres versiones distintas: *Dimensions*, *Dimensions Plus* y *Dimensions Analytics* (Tabla 3.3). *Dimensions* ofrece el contexto completo de todas las publicaciones indexadas en un solo lugar; consta de 71 campos de búsqueda diferentes, entre los que se encuentran el título de publicación de la revista, afiliaciones de los autores, país de la organización de investigación, etc. ([V. K. Singh et al., 2021](#)).

Por un lado, los usuarios que acceden sin costo tienen a disposición los contenidos de publicaciones y conjuntos de datos con un límite de exportación de 500 registros por cuenta individual. Para la búsqueda y recuperación de la información, la plataforma habilita distintas funciones básicas como la búsqueda de registros por títulos, resúmenes y publicaciones por DOI, junto a un conjunto de operadores booleanos. Por otro lado, los usuarios de las versiones de pago tienen acceso a los registros completos de publicaciones, conjunto de datos,

Tabla 3-3

Versiones de acceso a Dimensions

Versiones	Acceso	Beneficios
Dimensions	Gratuito para uso personal y no comercial	- Proporciona contextos completos de las publicaciones indexadas en un solo lugar.
Dimensions Plus	De pago con acceso intermedio	- Ofrece más opciones de descarga de datos en archivos xls/xlsx/csv. - Incluye un mapeo bibliométrico VOSviewer y CiteSpace. - Proporciona información de Altmetric para referencias individuales. - Permite acceso al texto completo. - Ofrece diferentes opciones de acceso Single-Sign-On de las instituciones.
Dimensions Analytics	De pago con acceso completo	- Es la versión más completa de Dimensions. - Incluye todas las funciones de Dimensions Plus. - Ofrece ayuda para un análisis de los datos más complejos. - Permite la creación de vistas, dimensiones y métricas personalizadas por propiedad. - Dispone de más vistas, dimensiones y métricas personalizadas en comparación con Dimensions Plus.

Nota. Desarrollo propio con información de [Dimensions.freshdesk.com](https://dimensions.freshdesk.com)

subvenciones, patentes, ensayos clínicos y documentos políticos; y se puede descargar la información en un rango de 5 a 50 mil registros por cuenta. La búsqueda de información cuenta con filtros básicos y avanzados con conceptos coincidentes y campos específicos; filtros que se amplían en las versiones avanzadas de *Dimensions Plus* y *Analytics*. Éstas versiones permiten el acceso a la *Application Programming Interface* (API), que incrementa la capacidad de búsqueda y el uso de filtros especializados de los registros de la base completa.

Dimensions emplea un esquema de clasificación completamente diferente de las clasificaciones tradicionales. Utiliza herramientas de inteligencia artificial como el *machine learning* que gestiona la asignación temática a nivel del contenido del artículo en lugar de su fuente de publicación ([Porter et al., 2023](#); [P. Singh et al., 2020](#); [Orduña-Malea et al., 2018](#)). Esto implica que *Dimensions* asigna los documentos indexados a diversas categorías. Por lo

que, las categorías con mayor participación en el número total de categorías asignadas a los artículos publicados en la revista indexada deben señalar el alcance de la revista ([Jokic, 2019](#)). Este sistema de clasificación facilita el seguimiento y diagnóstico del desempeño de la investigación en áreas temáticas específicas, lo que permite una mejor consulta y recuperación de la información ([V. K. Singh et al., 2021](#)).

Las categorías empleadas por *Dimensions* fueron definidas originalmente por expertos en cada una de las materias de clasificación temática ([Dimensions, 2022, párr. 2](#)). *Dimensions* se centra principalmente en el grupo de clasificaciones de *Australian and New Zealand Standard Research Classification* ([ANZSRC](#)), que cubre diversos campos de conocimiento, áreas de investigación y estudios emergentes (Tabla 3.4).

Tabla 3-4

Categorización disponibles en Dimensiones

Campos de investigación (ANZSRC 2020)	Los campos de investigación (FoR) incluyen campos principales y subcampos de investigación relacionados y áreas de estudio emergentes. El sistema ANZSRC tiene tres niveles (códigos de 2, 4 y 6 dígitos). La
Investigación, condición y categorización de enfermedades (RCDC)	Este sistema de categorización lo utilizan los NIH para informar al Congreso y es un sistema biomédico que consta de 237 categorías, algunas de las cuales son muy específicas en su tema.
Sistema de clasificación de investigaciones en salud (HRCS)	El sistema HRCS es utilizado por un gran número de financiadores de investigaciones sanitarias en el Reino Unido y se subdivide en Clasificaciones de actividades de investigación (RAC) y Categorías de salud (HC).
Amplias Áreas de Investigación (BRA)	Un esquema de categorización utilizado por el Consejo Nacional de Investigación Médica y de Salud (NHMRC, Australia). Consta de cuatro categorías : Ciencias Básicas, Medicina y Ciencias Clínicas, Investigación de
Áreas de Investigación en Salud (HRA)	Categorías del Área de Investigación en Salud: Biomédica, Clínica, Servicios y sistemas de salud y
Códigos de esquema científico común (CSO) y tipos de cáncer	El Esquema Científico Común o 'CSO' es un sistema de clasificación organizado en seis amplias áreas de interés científico en la investigación del cáncer.
Unidades de Evaluación (UoA)	Las Unidades de Evaluación son las 34 categorías de investigación utilizadas por el Research Excellence Framework (REF) 2021 en el Reino Unido. Abarcan todas las ciencias, humanidades y ciencias sociales,
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	Este conjunto de 17 objetivos interconectados fue adoptado por los estados miembros de las Naciones Unidas en 2015, con el objetivo de abordar los desafíos

Nota. Desarrollo propio con información de Dimensiones 2022

La versión actual del ANZSRC (2020) se compone por tres grupos de clasificación: el primero, denominado [Tipo de Actividad](#) (ToA), facilita categorizar la I+D de acuerdo al tipo de esfuerzo de investigación; el segundo, denominado [Objetivos Socioeconómicos](#) (SEO), permite categorizar la I+D según el propósito o resultado previsto de la I+D tal como lo percibe el proveedor de datos o el investigador y; por último, denominado [Campos de Investigación](#) (FoR), que permite categorizar la actividad de I+D conforme al dominio de conocimiento común y/o metodológico ([ANZSRC, 2020](#)). El FoR 2020 se estructura con 23 áreas codificadas de 2 dígitos y 213 subáreas codificadas de 4 dígitos (Tabla 3.5). Por ejemplo, para el caso de las Energías Renovables corresponde al código 400803. Su división de código es el 40 de Ingeniería, prosigue el código 08 del grupo de ‘Ingeniería Eléctrica’ y el campo 03 que indica la Generación de energía eléctrica que incluye energías renovables y la fotovoltaica.

Tabla 3-5

Categorías FoR de ANZSRC 2020

División	Campos de Investigación (FoR)	Nº Grupos
30	AGRICULTURAL, VETERINARY AND FOOD SCIENCES	10
31	BIOLOGICAL SCIENCES	10
32	BIOMEDICAL AND CLINICAL SCIENCES	16
33	BUILT ENVIRONMENT AND DESIGN	5
34	CHEMICAL SCIENCES	8
35	COMMERCE, MANAGEMENT, TOURISM AND SERVICES	10
36	CREATIVE ARTS AND WRITING	7
37	EARTH SCIENCES	10
38	ECONOMICS	4
39	EDUCATION	5
40	ENGINEERING	20
41	ENVIRONMENTAL SCIENCES	7
42	HEALTH SCIENCES	9
43	HISTORY, HERITAGE AND ARCHAEOLOGY	4
44	HUMAN SOCIETY	11
45	INDIGENOUS STUDIES	20
46	INFORMATION AND COMPUTING SCIENCES	14
47	LANGUAGE, COMMUNICATION AND CULTURE	6
48	LAW AND LEGAL STUDIES	8
49	MATHEMATICAL SCIENCES	6
50	PHILOSOPHY AND RELIGIOUS STUDIES	6
51	PHYSICAL SCIENCES	11
52	PSYCHOLOGY	6

Nota. Desarrollo propio con información ANZSRC 2020

ANZSRC ofrece una alternativa a la versión de 2020 con la [versión de 2008](#). Esta última, se encuentra estructurada por 3 niveles que suman un total de 983 códigos; con 17 divisiones y 119 grupos. Para el ejemplo de energías alternativas la Tabla 3.6 muestra esta categorización específica a *Energy* con el código 85, la subcategoría de *Renewable Energy* con código 8505 y 9 tipos de energías renovables que van desde 850501 a 850509, aunque existe una clasificación especial con código 850599 relacionadas a la generación de combustibles limpios en específico la producción de hidrógeno.

Entre las limitaciones de *Dimensions* se encuentran, la indexación de revistas de mala calidad y prácticas poco éticas en la revisión por pares, como, por ejemplo, el juego de citas manipuladas ([V. K. Singh et al., 2021](#)). Por otro lado, *Digital Science* genera mecanismos de

Tabla 3-6

Nivel de energías renovables código ANZSRC 2008

85	Energy
:8501	Energy Exploration
:8502	Mining and Extraction of Energy Resources
:8503	Preparation and Production of Energy Sources
:8504	Energy Transformation
:8505	Renewable Energy
850501	Biofuel (Biomass) Energy
850502	Geothermal Energy
850503	Hydro-Electric Energy
850504	Solar-Photovoltaic Energy
850505	Solar-Thermal Electric Energy
850506	Solar-Thermal Energy
850507	Tidal Energy
850508	Wave Energy
850509	Wind Energy
850599	Renewable Energy not elsewhere classified

Nota. Información extraída de aria.stats.govt.nz

protección para los usuarios de acceso abierto e impone una serie de restricciones en el proceso de extracción de datos web para evitar los *bots spams* y efectuar una revisión continua de índices parcialmente integrales ([Thelwall, 2018](#)). La segunda limitación consiste en la carencia de resúmenes y otros artículos breves. Visser et al. ([2021](#)), mencionan que existe una fuerte diferencia de cobertura a nivel de documentos y revistas que no están en *Scopus* y, viceversa. Crítica que acusa a *Dimensions* de poseer contenido que carece de una sustancial contribución científica. Esto implica para los investigadores una ventana de oportunidad de complementariedad para el cruce, y validación de datos de distintas bases de datos, que les permitirá acceder a mayor literatura académica con garantías de fiabilidad.

La tercera limitación consiste en la clasificación de los documentos por área temática. Singh et al. ([2020](#)), realizan dos observaciones relevantes frente al sistema de clasificación de *Dimensions*. Por un lado, manifiestan que a criterio propio el sistema de clasificación no se ha desarrollado completamente y, que, aunque *Dimensions* posee un sistema de clasificación de documentos basado en inteligencia artificial, éste no está por encima de la clasificación de revistas de *WoS*. La cuarta limitación radica en el componente de funcionalidad para los usuarios de la plataforma. *Dimensions* utiliza el modelo *freemium* con características básicas de búsqueda y navegación gratuitas; sin embargo, faltan filtros especializados que dificultan la recuperación de los datos y las funcionalidades avanzadas como el acceso API que requieren pago. Esta tarifa puede no aplicarse para proyectos de investigación no comerciales y en general, es un limitante para los usuarios que puede ser superada mediante requerimientos burocráticos ([Martín-Martín et al., 2021](#)). Finalmente, Guerrero-Bote et al. ([2021](#)), compararon a *Dimensions* y *Scopus* a nivel de país e instituciones y concluyeron que la cobertura de *Dimensions*, en términos de número de documentos era superior a la *Scopus*. Sin embargo, cerca de la mitad de los documentos de *Dimensions* carecía de información sobre país o filiación institucional, y observaron una recuperación de información más eficiente por parte de *Scopus* bajo estos criterios de búsqueda a nivel de institución y de país.

3.1.4. The Lens

La base de datos *Lens* fue desarrollada a finales de los años 90 por las organizaciones australianas *Cambia* y la Universidad Tecnológica de Queensland. En su momento, contó

con la financiación de la fundación *Rockefeller*, *Bill y Melinda Gates* y otras instituciones filantrópicas con la figura de proveedora de información de literatura científica y de patentes. Bajo el enfoque de facilitar la innovación con herramientas sin costo que resaltan la relación entre la investigación y la producción científica ([Olesen et al., 2018](#)), *Lens* ofrece a sus usuarios información procesada bajo herramientas analíticas y búsquedas especializadas de metadatos tanto de literatura indexada como de patentes a nivel global ([Novytska, 2023](#)). Kirtania ([2023](#)) menciona que el acceso público a los servicios de *Lens* comprende documentos de distintos sectores empresariales, investigadores e inventores de patentes y trabajos académicos. Propicio para efectuar análisis con gran valor analítico en la comunicación científica y la interconexión documental de registros relevantes y evaluaciones del impacto de la producción científica a nivel mundial.

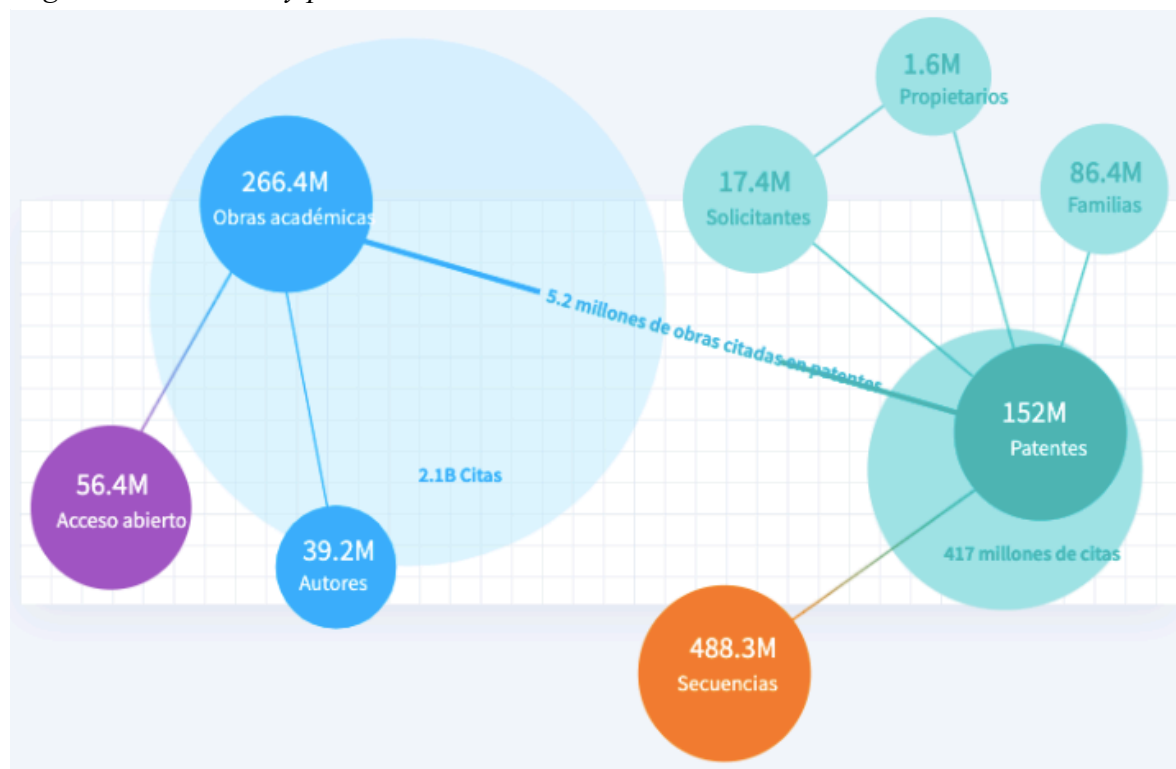
En comparación a *WoS*, *Scopus* y *Dimensions*, *Lens* es considerada actualmente como una de las bases de datos de mayor cobertura, acceso abierto y actualización ([Olesen et al., 2018](#)). Esto ha significado mayor completitud en la información y una contribución sin precedente en el universo de los metadatos ([Novytska, 2023](#)). En apoyo Raji et al. ([2023](#)), comentan que aunque *Lens* no tenga un pleno reconocimiento de algunas investigaciones, es evidente las limitaciones que poseen las bases de datos del dominio científico como *WoS* y *Scopus* en cuanto a su cobertura y en especial, la representación de los países en desarrollo. Lo que significa que *Lens* posee una plataforma enfocada en investigaciones globales en regiones poco cubiertas por las bases tradicionales como América Latina y el Caribe, especialmente en el ámbito de la salud y las ciencias sociales.

La plataforma *Lens* registra datos de distintas fuentes de información como *PubMed*, *CrossRef* y *Microsoft Academic Graph* ([Penfold, 2020](#)). Incluye artículos de revistas, ponencias en conferencias, informes, libros y otros tipos de literatura académica, y ha evolucionado hasta convertirse en una base de datos completa de más de 266 millones de artículos científicos, 152 millones de registros de patentes globales y más de 488 millones de secuencias biológicas (Figura 3.4).

Según la plataforma, cualquier usuario puede mantener el anonimato. No obstante, al suscribirse de manera gratuita, se amplían los servicios de almacenamiento, lo que permite registrar el historial de búsquedas, gestionar los registros mediante colecciones personalizadas en un espacio virtual y recuperar información que puede exportarse en

Figura 3-4

Registro de artículos y patentes en Lens 2023



Nota. Imagen extraída de Lens.org

diferentes formatos de extensión, con un límite de 50 mil registros de manera simultánea. Cuenta además con acceso a diversas visualizaciones de métricas de investigación, como autores, disciplinas, revistas, fuentes de financiación e instituciones más frecuentes. Permite establecer alertas por correo electrónico para nuevas obras citadas. Esta función es útil para notificar a los investigadores sobre las citas de sus trabajos, lo que puede ser valioso para demostrar el impacto de su investigación y fomentar nuevas colaboraciones y orientaciones (Penfold, 2020).

Lens emplea los campos de estudio de [Microsoft Academic](#) basados en el análisis de *machine learning*. Färber et al. (2022), enfatizan que el esquema de clasificación de *Microsoft Academic Knowledge Graph* (MAKG) está compuesto por 709,940 campos de estudio organizados de forma jerárquica y multinivel (Tabla 3.7). Para el 2 de febrero de 2024 la plataforma *Lens* ubica los 5 principales *campos de estudio*: medicina con aproximadamente 40.7 millones de registros; ciencia de la computación con 31.3 millones; biología con 20.5 millones; química con 19.9 millones y; ciencia de los materiales con 15.2

millones (Tabla 3.8). Sin embargo, pese a ser un esquema completo y con variedad de áreas de investigación, la deficiencia en la información de los registros impide la clasificación aproximada de los documentos a su campo de estudio ([Färber et al., 2022](#)).

Las limitaciones de *Lens* se ubican en la falta de información completa e imprecisa en los registros recuperados, lo que implica recurrir a otras bases de datos complementarias para mejorar el proceso de investigación y la validación de los datos de manera asistida. Esto incluye además mejorar características que permitan el seguimiento de citas, el examen de la evolución de diversos campos de estudio y el refinamiento de los resultados. De no tratar los datos de *Lens* con rigurosidad, afectaría los estudios y los resultados de la investigación ([Novytska, 2023](#)).

Finalmente, las cuatro fuentes de información analizadas presentaron particularidades en sus fortalezas y debilidades. Para el desarrollo de esta tesis enfocada en la producción científica en Energías Renovables de los cuatro países de la Alianza del Pacífico, se propone emplear Scopus como una fuente de información bibliográfica por su mayor cobertura con

Tabla 3-8

Jerarquía de MAKG

Nivel	# de campos de estudio
0	19
1	292
2	138,192
3	208,368
4	135,913
5	167.676

Nota. Extraído de la investigación de Färber et al. (2022).

Tabla 3-7

Campos de estudio de Lens 2023

2,703,130	7,868,856	2,375,016	5,655,552	4,558,836
Archaeology	Art	Art history	Artificial intelligence	Biochemistry
20,669,983	2,477,613	9,004,635	2,358,532	19,898,078
Biology	Botany	Business	Cell biology	Chemistry
3,736,326	31,309,111	2,252,664	3,504,623	6,030,071
Composite material	Computer science	Disease	Ecology	Economics
3,779,326	13,987,232	6,090,545	2,364,869	2,673,384
Endocrinology	Engineering	Environmental science	Epistemology	Gene
3,094,694	8,675,990	5,751,293	6,480,945	4,782,376
Genetics	Geography	Geology	History	Humanities
2,977,867	12,055,019	6,071,348	3,991,591	2,895,455
Immunology	Internal medicine	Law	Library science	Linguistics
15,257,461	2,333,799	11,056,711	2,371,391	40,729,414
Materials science	Mathematical analysis	Mathematics	Mathematics education	Medicine
3,280,794	3,372,855	4,047,028	2,249,670	8,038,036
Optics	Organic chemistry	Pathology	Pedagogy	Philosophy
12,865,004	13,776,039	2,715,491	3,550,022	14,152,451
Physics	Political science	Politics	Population	Psychology
2,912,985	2,503,785	7,968,615	5,523,609	3,281,358
Quantum mechanics	Social psychology	Sociology	Surgery	World Wide Web
>16,035,763				0

Nota. Imagen extraída de Lens.org

respecto a *WoS*, por la calidad de los metadatos con respecto a las demás bases de datos, y por el empleo de un sistema de clasificación que se acerca bastante a la temática de interés de esta tesis doctoral. Estos son los principales determinantes para su selección. En el siguiente apartado se expondrá el proceso de recuperación, tratamiento de los datos y el conjunto de metodologías que se usan para el análisis de la información

3.2. Metodología

En este apartado se presenta la descripción de los estrategias y protocolos de búsqueda, recuperación y tratamiento de los datos y, la propuesta metodológica de esta tesis que se basa en la combinación de diversas técnicas para el análisis de la producción científica, la identificación de las líneas de investigación y la generación de mapas de conocimiento para los países de la Alianza del Pacífico tomando como referente la investigación mundial en la temática.

3.2.1. Delimitaciones de la investigación

A) Niveles de agregación

Los niveles de agregación utilizados en este estudio fueron mundial, regional y por país.

B) Distribución temática

Específicamente se utilizaron los datos de la categoría temática de Energías Renovables (*Renewable Energy*), clasificación por materia de Energía (*Energy*) y área temática Ciencias Físicas (*Physical Science*).

C) Distribución geográfica

Las unidades de estudio a nivel macro fueron:

- El mundo
- El bloque económico latinoamericano denominado La Alianza del Pacífico (AP) que está conformada por los países: Chile, Colombia, México y Perú.

D) Distribución temporal

El estudio comprende los documentos indexados en el campo de las ER en el periodo de 2000 a 2022. Estos 23 años fueron fragmentados para efectuar un análisis de contexto e identificar estructuras y patrones dentro del panorama mundial y de los países de la AP. La visualización

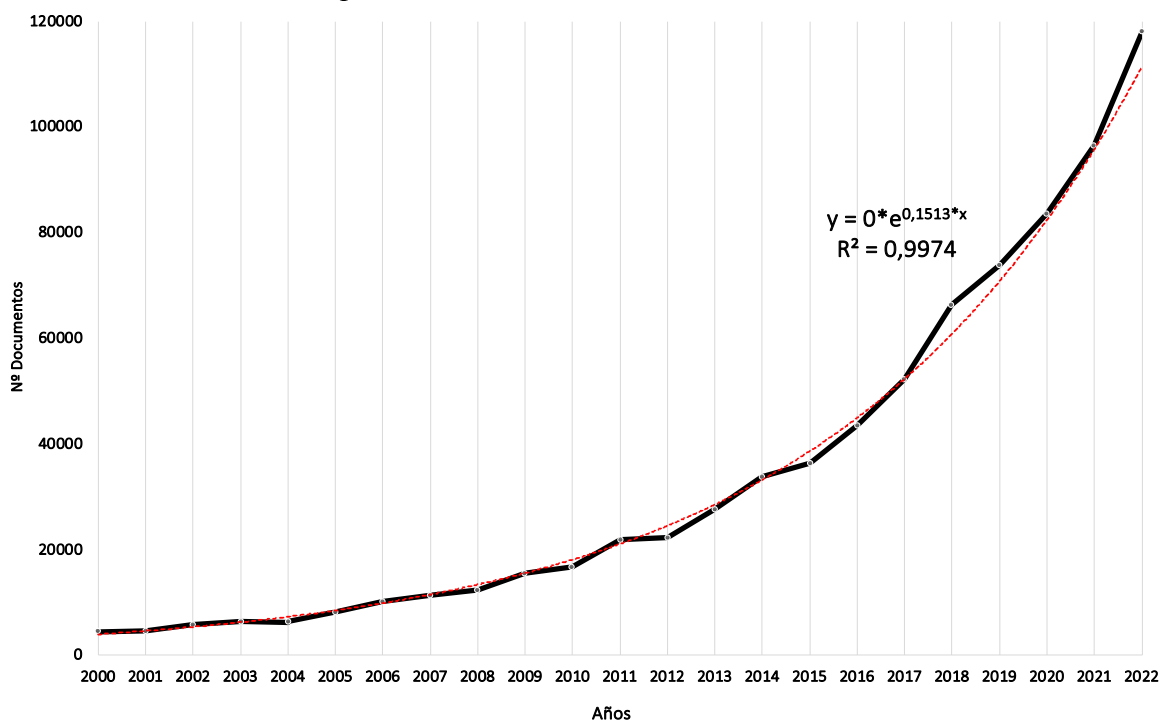
de estas estructuras por periodos, facilita comprender mejor las líneas de investigación y su evolución. Por lo tanto, se procedió a recuperar la información de la fuente de información *Scopus* de su categoría de Energías Renovables, Sostenibilidad y Medio Ambiente a nivel mundial. Los datos fueron tratados con un *software* libre para efectuar cálculos básicos de crecimiento, variación de los datos y visualización. De este modo, se procede a describir los tres pasos de la selección de los segmentos temporales:

a) Aspectos del crecimiento temporal de la producción en Energías Renovables

- i) **Tipo de función (f):** se identificó el tipo de función que representa mejor los datos observados, que son esenciales para los análisis posteriores de la producción científica en este rubro. Mediante el paquete *Tidyverse*, se desarrolló un código R

Figura 3-5

Función de crecimiento de publicaciones en ER



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*

para establecer una serie de parámetros (Anexo 1). Uno de sus resultados fue establecer el tipo de función que describe los datos de los 23 años en ER. En contraste con la función observada, el software de cálculo generó una función ajustada igual a $y = 0 * e^{0.1513 * x}$ visualizada en la Figura 3.5.

Esta función exponencial describe un crecimiento a una tasa promedio anual de 0,1513. En esencia, las funciones exponenciales representan un panorama sumamente rico y variado para examinar y modelar fenómenos en muchos campos de conocimiento. Suele ser una herramienta cuantitativa de las más utilizadas para explorar de manera analítica la grandeza y la pequeñez de los acontecimientos de estudio ([Confrey, 1991](#)).

- ii) ***Coefficiente de determinación R^2*** : parte de la medición de la función exponencial, corresponde al cálculo del coeficiente de determinación (R^2 o R cuadrado) que es una métrica que cuantifica la bondad de ajuste, al medir la proporción de la varianza en la variable dependiente que es predecible a partir de las variables independientes. Este coeficiente mide la bondad de ajuste de un modelo de regresión ([Filho, et al., 2011](#); [di Bucchianico, 2007](#)). En otras palabras, muestra qué tan bien se ajusta un modelo de regresión a un conjunto de datos e indica el porcentaje de los datos que se explican por el modelo de regresión. La ecuación R cuadrado se expresa como:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{Varianza residual}}{\text{Varianza de la viriable independiente}}$$

Donde:

- La varianza residual es la varianza de los residuos, que son las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo de regresión.
- La varianza de la variable dependiente es la varianza de los valores observados.
- Los valores de interpretación van de 0 a 1 y cuando se acerca a 1 indica que el modelo explica la función.

En este caso la función presenta un coeficiente de determinación R^2 de 0,9974 lo cual indica que el 99,74% de la variabilidad en el número de publicaciones científicas relacionadas con las Energías Renovables puede ser explicado por este modelo exponencial. Este R cuadrado es muy alto porque solo hay dos variables que explican la función. No obstante, para estudios de mayor profundidad se requiere incluir a la función mayor cantidad de variables que estén relacionadas al fenómeno de estudio. Por lo tanto, para efectos de este apartado sólo se utilizará para demostrar que existe

un crecimiento exponencial y en específico, variación temporal de los datos para continuar con el proceso de cálculo de la segunda derivada.

b) Determinación de los periodos mediante la segunda derivada

Otro de los criterios utilizados para establecer la evolución de los documentos consistió en emplear la segunda derivada de la función para analizar sus variaciones y establecer patrones en el tiempo. Esta técnica permite identificar puntos de inflexión en los datos, que son momentos en los que la tasa de crecimiento o decrecimiento del número de documentos cambia significativamente ([Shyu & Caswell, 2014](#)).

Es una alternativa metodológica que establece periodos de estudio al proporcionar información valiosa sobre su aceleración o desaceleración del cambio evolutivo. Igualmente, ha sido empleada en estudios demográficos ([Clark, 1971](#)), biológicos ([Shyu & Caswell, 2014](#)), físicos ([Easwaran, 2014](#)), entre otros campos del conocimiento. Por lo tanto, esta técnica se empleó para modelar la dinámica del crecimiento de la producción científica en Energías Renovables. De esta manera, se definieron algunos elementos conceptuales básicos y los cálculos empleados en este apartado para definir los segmentos temporales.

- i) La derivada de la función (f'):*** es la medida del cambio en Y en relación con un cambio muy pequeño en X mediante el uso de notación matemática formal, la derivada se define como:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Representa la pendiente de una línea de la tangente de un punto en función. Esta pendiente es una medida de cambio en el eje Y relativa infinitamente pequeña al cambio X . Esta magnitud de la pendiente de la tangente en cualquier punto de la línea se calcula con las primeras derivadas ([Keat, et al., 2004](#)).

- ii) La segunda derivada de una función (f''):*** básicamente es la derivada de su primera derivada. El procedimiento para encontrar la segunda derivada de una función es muy simple. Todas las reglas para encontrar la primera derivada se aplican para encontrar la segunda. Conceptualmente, se considera la segunda derivada de una función como una medida de la tasa de cambio de la primera derivada. El cálculo de la segunda derivada de la serie temporal, puede detectar cambios de signo que indican estos puntos de inflexión. Puntos que dividen la

serie temporal en segmentos distintos para efectuar un análisis más detallado de las tendencias dentro de cada segmento, y facilita la identificación de periodos de crecimiento y decrecimiento abruptos (Larson-Hostetler, et al., 1999). En el caso, la información recopilada durante estos 23 años fue dividida por segmentos para facilitar un análisis y efectuar una visualización de su evolución. Este cálculo requirió emplear los siguientes pasos:

- Se cuantifican las diferencias de los datos de "N_ Documentos" para obtener la primera derivada. La primera derivada es una aproximación de la tasa de cambio y puede calcularse como:

$$\text{Primera derivada} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Donde:

$$\Delta y = y_{i+1} - y_i$$

$$\Delta x = x_{i+1} - x_i$$

- Se calcula la segunda derivada que es una aproximación de la tasa de cambio de la primera derivada y se describe como:

$$\text{Segunda Derivada} = \frac{\Delta(\text{Primera Derivada})}{\Delta x}$$

Donde:

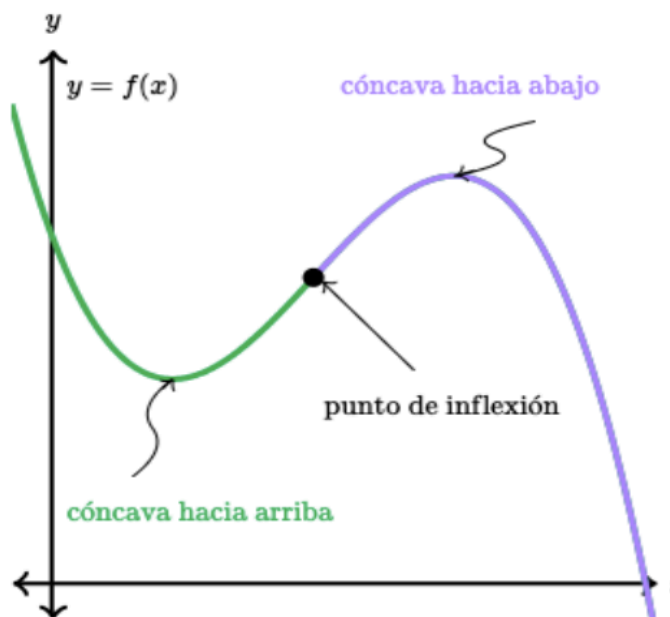
$$\Delta(\text{Primera Derivada}) = (\text{Primera Derivada})_{i+1} - (\text{Primera Derivada})_i$$

$$\Delta x = x_{i+1} - x_i$$

- Se identifican los puntos de inflexión donde la segunda derivada cambia de signo. Esto indica que los puntos de inflexión presentan un descenso y crecimiento precipitado para establecer los segmentos de análisis utilizados para esta investigación (Figura 3.6).
- Con los resultados de la segunda derivada se efectúa un procedimiento de cálculo para distinguir los valores máximos y mínimos de las funciones. Asimismo, con los resultados anteriores se genera una gráfica de barras para analizar mínimos y máximos para determinar la división del periodo por segmentos.

Figura 3-6.

Punto de inflexión y la función cambia de concavidad



Nota. Imagen recuperada de Khan Academy

- En el procedimiento se utilizó el paquete Tidyverse de R, para calcular la primera y segunda derivada en conjunto con la agrupación de los segmentos (Anexo 1). La Tabla 3.9 contiene las dos primeras columnas que corresponde la variable independiente 'Año' y la dependiente el 'N_Documentos' para el periodo 2000 a 2022. La tercera columna corresponde al cálculo de la primera derivada e indica la tasa de crecimiento por año de los documentos, sus resultados se calcularán de la segunda derivada. La cuarta columna son los resultados de la segunda derivada y componen los cambios en la aceleración de la producción científica en ER y se aprecia una variación prominente en los primeros 19 años. En efecto, se puede percibir con mayor detalle la variación de estos cambios gracias a la quinta columna que marca los signos de la curva creciente y decreciente en los primeros 12 años a un ritmo muy lento; los siguientes 7 años a una aceleración creciente y; los últimos 3 años un segmento estable. La última columna es un complemento que define los segmentos de selección temporal y emplea los mínimos y máximos de la segunda derivada. El cálculo define cuatro segmentos: 2000-2012; 2012-2013 que hace eslabón con el segmento 2013-2019 y, por último, 2020-2022. El

Tabla 3-9*Resultados de la segunda derivada y los segmentos temporales en Energías Renovables*

Año	N_Documentos	Primera derivada (f')	Segunda derivada (f'')	Signo de la f''	Segmentos
2000	4609	NA	NA		[2000,2012)
2001	4678	69	NA		[2000,2012)
2002	5874	1196	1127	1	[2000,2012)
2003	6506	632	-564	-1	[2000,2012)
2004	6472	-34	-666	-1	[2000,2012)
2005	8176	1704	1738	1	[2000,2012)
2006	10223	2047	343	1	[2000,2012)
2007	11355	1132	-915	-1	[2000,2012)
2008	12448	1093	-39	-1	[2000,2012)
2009	15519	3071	1978	1	[2000,2012)
2010	16734	1215	-1856	-1	[2000,2012)
2011	21988	5254	4039	1	[2000,2012)
2012	22257	269	-4985	-1	[2012,2013)
2013	27708	5451	5182	1	[2013,2019)
2014	33920	6212	761	1	[2013,2019)
2015	36382	2462	-3750	-1	[2013,2019)
2016	43593	7211	4749	1	[2013,2019)
2017	52324	8731	1520	1	[2013,2019)
2018	66288	13964	5233	1	[2013,2019)
2019	73967	7679	-6285	-1	[2019,2022)
2020	83733	9766	2087	1	[2019,2022)
2021	96530	12797	3031	1	[2019,2022)
2022	118150	21620	8823	1	[2019,2022)

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*

eslabón que genera el año 2013 se atribuye al segmento 2013-2019 por encontrarse más afín a los datos del crecimiento temporal.

La Tabla 3.10 pone en paralelo el análisis de máximos y mínimos de los segmentos. El primer segmento queda definido de 2000-2012; el segundo segmento de 2013 a 2019 y el tercero de 2020 a 2022. Los tres momentos requieren de una contextualización a nivel global y en efecto los países de la AP sobre las ER. Esto con el objetivo de encontrar elementos que los caracterizan y que expliquen sus patrones de cambio de segmentos.

Tabla 3-10*Análisis de segmentos de la serie de tiempo ER*

Segmentos (Puntos críticos)	Mínimo del segmento (caída)	Cambio de segmento (crecimiento)
2000- 2012	2012 = -4985	2013 = 5182
2013- 2019	2019 = -6285	2020 = 2087
2020- 2022	—	—

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

3.2.2. Mapas de conocimiento basados en el análisis de co-palabras

El análisis de co-palabras es uno de los métodos más usados por su capacidad para identificar la estructura cognitiva de un campo a nivel de especialidades de investigación ([Muñoz-Écija, et al., 2022](#)). Permite identificar relaciones entre términos o conceptos en función de su coocurrencia ([Song, et al., 2023](#)). La coocurrencia de palabras clave describe el contenido de un conjunto de documentos que utilizan índices para medir la intensidad relativa de estas coocurrencias y logra una representación simplificada en forma de redes de estas palabras ([Callon, et al., 1991](#)).

El análisis de co-palabras es empleado en los estudios longitudinales para analizarla evolución temática y desarrollar representaciones que detectan las distintas categorías temáticas o frentes de investigación. Esta visualización gráfica permite ver las dinámicas de los campos de estudio como el de las Energías Renovables e identificar los temas emergentes, desaparecidos y las áreas de investigación para futuros estudios ([Alcaide-Muñoz, et al., 2017](#)). El empleo de este método se discutirá en profundidad en los apartados del paso a paso metodológico.

3.2.3. Indicadores de influencia

En la década de 1970, Pinski y Narin buscaron mejorar las métricas de impacto de las revistas científicas. El principal objetivo era superar las limitaciones de las métricas simples de conteo de citas, como el factor de impacto, que no diferenciaban entre la calidad y la cantidad de las citas recibidas. La idea es que una cita de una revista influyente tenga más peso que una cita

de una revista menos influyente ([Pinski et al., 1976](#)). Los indicadores de influencia propuestos, son el Peso de Influencia y el Ratio Poder-Debilidad, que sirven como sustituto/proxy para la calidad de desempeño de una revista dentro de una red. Estos indicadores son independientes del tamaño y se convierten en medidas de red de prestigio y refleja la posición de la revista en base a las citas recibidas y referencias hechas dentro de la red ([Prathap, 2019](#)).

Guiados por el algoritmo de Pinsky y Narin, Larry Page y Sergey Brin mientras eran estudiantes de doctorado en la Universidad de Stanford en 1996 desarrollaron el algoritmo **PageRank**. Algoritmo implementado en Google Search para clasificar las páginas web en sus resultados de búsqueda por medio de la red de hipervínculos ([Chen, et al., 2023](#)). Posteriormente Bollen et al. ([2006](#)), desarrollaron una versión ponderada del algoritmo PageRank para obtener una métrica que refleja el prestigio, denominada el factor Y, que es una combinación simple del ISI IF y el PageRank ponderado. Entre sus resultados descubrieron que las clasificaciones de revistas resultantes corresponden bien a una comprensión general del estado de las revistas. Del mismo modo, Carl Bergstrom ([2007](#)) y su equipo aplicaron el principio de PageRank de Google para calcular su Eigenfactor, que mide la influencia total de una revista en la literatura académica con un valor total proporcionado por todos los artículos publicados en esa revista en un año.

Por su parte, en diciembre de 2007 el grupo SCImago de la Universidad de Granada en colaboración con Elsevier lanzó su indicador SCImago Journal Rank (SJR), que se basa en el Indicador y algoritmo PageRank para determinar la calidad de las revistas científicas ([Falagas, et al., 2008](#)), y que ha sido descrito previamente. El SJR, se basa en la transferencia de prestigio de una revista a otra, expresada en las citas que una revista otorga a otras revistas y viceversa, y se calcula en un proceso iterativo ([González-Pereira, et al., 2012](#)). Este indicador es usado por Scopus y ha sido implementado en las plataformas bibliométricas SCImago Journal & Country Rank y en SCImago Institutions Rankings ([SCImago, 2007](#)).

También el Centro de Estudios de Ciencia y Tecnología (CWTS) de la Universidad de Leiden es conocido por desarrollar diversas métricas y herramientas bibliométricas para evaluar la influencia y el impacto de la investigación científica. Estos indicadores se valen de la información depositada por la base de datos bibliográfica *Scopus*. Algunas de las métricas de influencia utilizadas por el CWTS se encuentran incluidas en su herramienta de

visualización VOSviewer. Esta herramienta ha sido desarrollada para la visualización y análisis de redes bibliométricas y por los investigadores Nees Jan van Eck y Ludo Waltman ([2010](#)). El empleo de los indicadores de influencia son clave para entender la estructura y el impacto de las redes de investigación.

De acuerdo con el manual de uso de VOSviewer en su versión 1.6.19., el software permite asignar atributos a elementos para visualizar su importancia y otras propiedades en redes bibliométricas. Consta de dos indicadores de atributos de peso estándar denominados atributo de vínculos (*Links attribute*) y atributo de intensidad total del vínculo (*Total link strength attribute*). Para un artículo determinado, los *Links attribute* y *Total link strength attribute* indican respectivamente, el número de vínculos de un artículo con otros artículos y la fuerza total de los vínculos de un artículo con otros artículos ([van Eck & Waltman, 2023](#)).

Uno de los indicadores de mayor relevancia para esta tesis es el *Weight Total Link Strength (Score)*, empleado en este caso en las palabras claves del autor (Author Keywords-AKs) para medir la fuerza total de los enlaces entre un nodo y todos los demás nodos en la red ([Muñoz-Écija, et al., 2017, 2022](#); [Vargas-Quesada, et al., 2017](#)). La fuerza de un enlace puede depender de varios factores, como el número de co-citaciones, la intensidad de colaboración entre autores, etc. A nivel de red, un nodo con un alto peso de fuerza total de enlace tiene fuertes conexiones con muchos otros nodos, e indica su centralidad e influencia en la red ([Vargas-Quesada et al., 2008](#)). Por ejemplo, un autor con alta fuerza total de enlaces ha colaborado extensamente con otros autores.

Otro indicador es el *Weight Occurrences* que mide la cantidad de veces que un nodo aparece en la red. En el caso de AKs, indica la frecuencia de aparición en los datos analizados. Es decir, un nodo con un alto número de ocurrencias es más prominente o frecuente en el conjunto de datos. Por ejemplo, un AKs con muchas ocurrencias es un tema de investigación muy común o popular dentro de un frente de investigación.

Por su parte, el indicador *Weight Links*, mide el número de enlaces o links entre nodos en la red. Esto puede representar una publicación, un autor, una institución, una AKs, etc. La cantidad de enlaces entre nodos indica la frecuencia de co-ocurrencias o relaciones directas. Por ejemplo, en una red de co-citaciones, el número de enlaces puede indicar cuántas veces dos artículos son citados juntos.

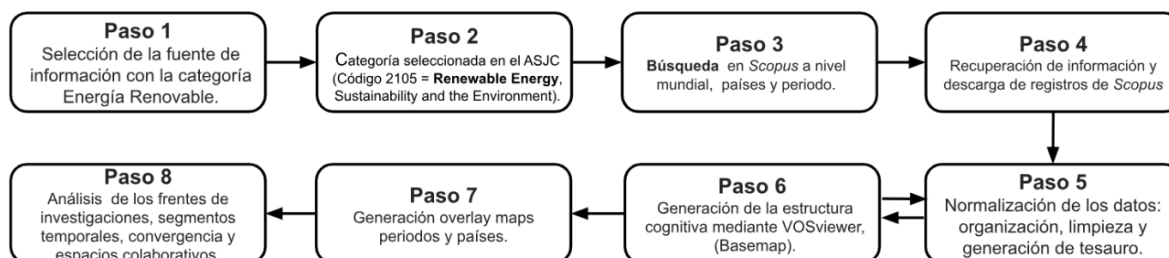
Por su parte, el indicador *Score Avg Pub Year* que calcula el año promedio de publicación de los documentos asociados con un nodo. Es decir, el año promedio de publicación ayuda a entender la temporalidad de la influencia. Por ejemplo, un nodo con un año promedio reciente indica que las publicaciones asociadas son más actuales, mientras que un año promedio más antiguo sugiere que las publicaciones son históricamente más influyentes. Por tal motivo, los indicadores de influencia de VOSviewer se establecieron para generar los análisis de redes para el caso de estudio en ER del mundo y la AP.

3.2.4. Proceso metodológico

La propuesta metodológica implementada en esta investigación involucró una variedad de técnicas para el procesamiento previo de la información. La Figura 3.7 ilustra un esquema de ocho pasos consecutivos que conforman el proceso metodológico de la investigación. Estas acciones permitieron visualizar la complejidad y evolución de las líneas de investigación en Energías Renovables en los cuatro países de la Alianza del Pacífico, así como, su posición en la producción científica mundial durante un período de veintitrés años. A continuación, se describen en detalle cada uno de los pasos metodológicos implementados en esta investigación.

Figura 3-7

Pasos metodológicos para la delimitación de los descriptores en Energía renovables



Nota. Adaptado de la estructura de Muñoz-Ecija, et al.(2019) y Cobo, et al. (2011)

Paso 1: Elección de las fuentes de información

El proceso de elección de las bases de datos corresponde al análisis de sus limitaciones. Por un lado, *Dimensions* y *Lens* son fuentes reconocidas por su acceso abierto y mayor cobertura. Cuentan con un sistema de clasificación avanzado para realizar búsquedas precisas dentro de

sus cuatro niveles, como se indicó en el ejemplo para ER. Requieren de un proceso de normalización de la información que se vuelve una tarea monumental por los vacíos en algunos ítems de sus registros; esto repercute en la validez de los datos y la fiabilidad en el análisis de los mapas científicos.

Por otro lado, *WoS* y *Scopus* contienen dentro de su sistema de clasificación el tópico de ER. *WoS* posee un micro-tópico mejor definido sólo con la categoría Renewable Energy, mientras que *Scopus* contiene otras dimensiones dentro de su campo de estudio como la Sostenibilidad y Medio Ambiente. Los términos de la categoría de *Scopus* permiten la recuperación de mayor cantidad de información y por ende la ampliación de su cobertura (Tabla 3.11). Para los fines de esta investigación se buscó el equilibrio entre los criterios de cobertura y clasificación que ampliaron el margen de descriptores relacionados con las ER. Por consiguiente y como ya se ha mencionado, se seleccionó a *Scopus* como la mejor fuente de información para desarrollar este estudio.

Tabla 3-11
Cobertura global de Scopus y WoS en ER

Fuente de Información	Categoría en Energía Renovable	Datos Recuperados
Web of Science	CWTS Renewable Energy Código=TMIC=6.115.880	26,253
Scopus	ASJC Renewable Energy, Sustainability and the Environment Código2105	1,015,160

Nota. Desarrollo propio con información de las plataformas de *Scopus* y *WoS* el 15 de abril de 2024

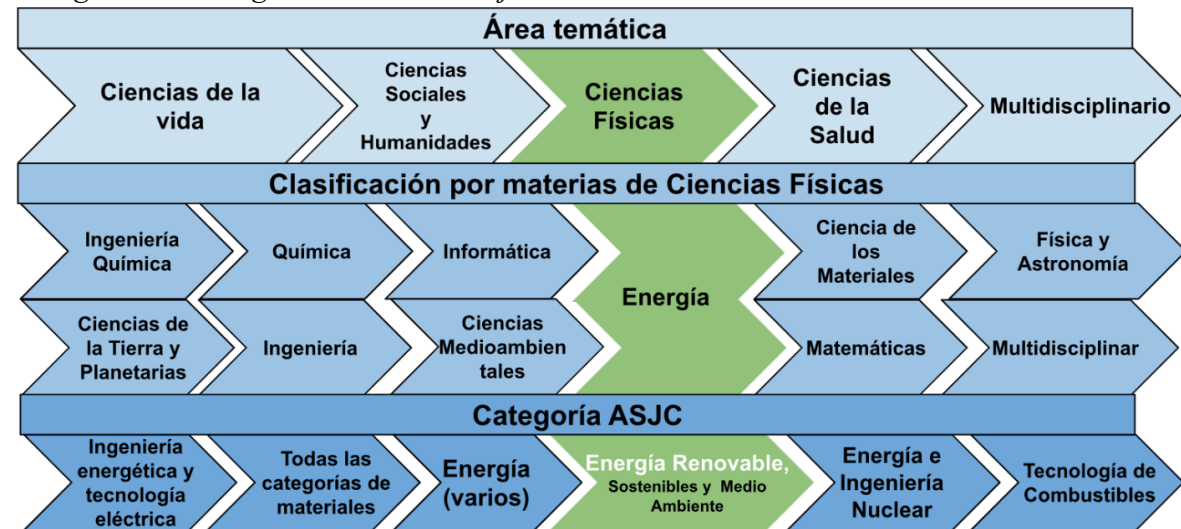
Paso 2: Categoría seleccionada ASJC para Energías Renovables

Para el caso de las Energías Renovables, se localiza dentro de las cinco áreas temáticas que clasifican los documentos *Scopus* (Tabla 3.12): Ciencias Físicas que sería el primer nivel jerárquico de la clasificación temática. Un nivel inferior, se encuentra la subcategoría de “Energía” en compañía de diez materias más que conforman esta área temática. Por último, el tercer subnivel de la materia de Energía contiene seis categorías en la que se encuentra Energías Renovables, Sostenibilidad y Medio Ambiente. Este último nivel posee el [código](#)

[ASJC](#) que corresponde al 2105 y facilita establecer los criterios de búsqueda con mayor detalle.

Tabla 3-12

Categoría en Energías Renovables bajo el Sistema ASJC



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura muestra en forma de cascada la información de la categoría temática para Energía Renovable de *Scopus*.

Paso 3: Estrategia de búsqueda para Scopus

La recuperación de la información en *Scopus* se efectuó mediante la “búsqueda avanzada de documentos” empleando el sistema de clasificación de las áreas temáticas de Scopus y los códigos de clasificación de revistas científicas ([ASJC](#)) indicada en el paso 2. De este modo, se emplea una cadena de consulta al introducir de manera abreviada el llamado de la categoría de tercer nivel SUBJTERMS(2105) en un periodo de estudio de 2000 al 2022. Los resultados de esta búsqueda global efectuada 15 de abril de 2024, 11:50 Horas, recuperó 779,088 documentos (Tabla 3.13).

Del mismo modo, se planteó la búsqueda por cada uno de los países de la Alianza del Pacífico, al incluir en la ecuación el término AFFILCOUNTRY() como indica en la Tabla 3.11. Este permitió recuperar 6,654 documentos de México, 2,989 de Colombia, 2,923 de Chile y 800 documentos de Perú. La base de datos generada, se descargó por año y por país para poder analizar posteriormente los segmentos temporales definidos.

Tabla 3-13

Estrategia de búsqueda de Scopus de la categoría ER y país

Scopus	Ecuación de búsqueda para ER	Datos Recuperados
Mundo	SUBJTERMS(2105) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2023	779,088
México	SUBJTERMS (2105) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2023 AND AFFILCOUNTRY (mexico)	6,654
Colombia	SUBJTERMS(2150) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2023 AND AFFILCOUNTRY (colombia)	2,989
Chile	SUBJTERMS(2150) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2023 AND AFFILCOUNTRY (chile)	2,923
Perú	SUBJTERMS(2150) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2023 AND AFFILCOUNTRY (peru)	800

Nota. Desarrollo propio con información de las plataformas de *Scopus* el 30 de marzo de 2023

Paso 4: Recuperación de información y descarga de registros de Scopus

La fuente de información presenta unas restricciones de descarga hasta veinte mil registros a la vez, esto requiere la combinación de distintos filtros para hacer una descarga fragmentada sea por año, tipo de documento, revista, país, entre otros. El proceso de exportación de los datos bibliométricos de *Scopus* se efectúa con la extensión de archivo CSV. Para efectuar el análisis de la evolución temática de las ER a nivel del mundo, se procedió a descargar los

Figura 3-8

Ventana emergente de criterios de exportación de Scopus

Export 779,434 documents to CSV

☐ All documents on this page

☒ Documents

1

–

779434

You can select up to 20,000 documents

What information do you want to export?

☒ Citation information
☐ Bibliographical information
☐ Abstract & keywords
☐ Funding details
☒ Other information

☒ Author(s)
☐ Affiliations
☐ Abstract
☐ Number
☐ Tradenames & manufacturers

☒ Document title
☐ Serial identifiers (e.g. ISSN)
☐ Author keywords
☐ Acronym
☐ Accession numbers & chemicals

☒ Year
☐ PubMed ID
☐ Indexed keywords
☐ Sponsor
☐ Conference information

☒ EID
☐ Publisher
☐ Funding text
☐ Include references

☒ Source title
☐ Editor(s)

☒ Volume, issues, pages
☐ Language of original document

☒ Citation count
☐ Correspondence address

☒ Source & document type
☐ Abbreviated source title

☒ Publication stage

☒ DOI

☒ Open access

Select all information
☒ Truncate to optimize for Excel

☐ Save as preference
Export

Nota. Imagen extraída de la plataforma de *Scopus*

datos por año, esto requirió la descarga de cincuenta y dos archivos en una sola carpeta con un peso aproximado a 1GB. Mientras tanto para los cuatro países de la AP se realizó esta misma descarga por año y se adjuntan por noventa y dos archivos CSV organizados por cuatro carpetas para su procesamiento.

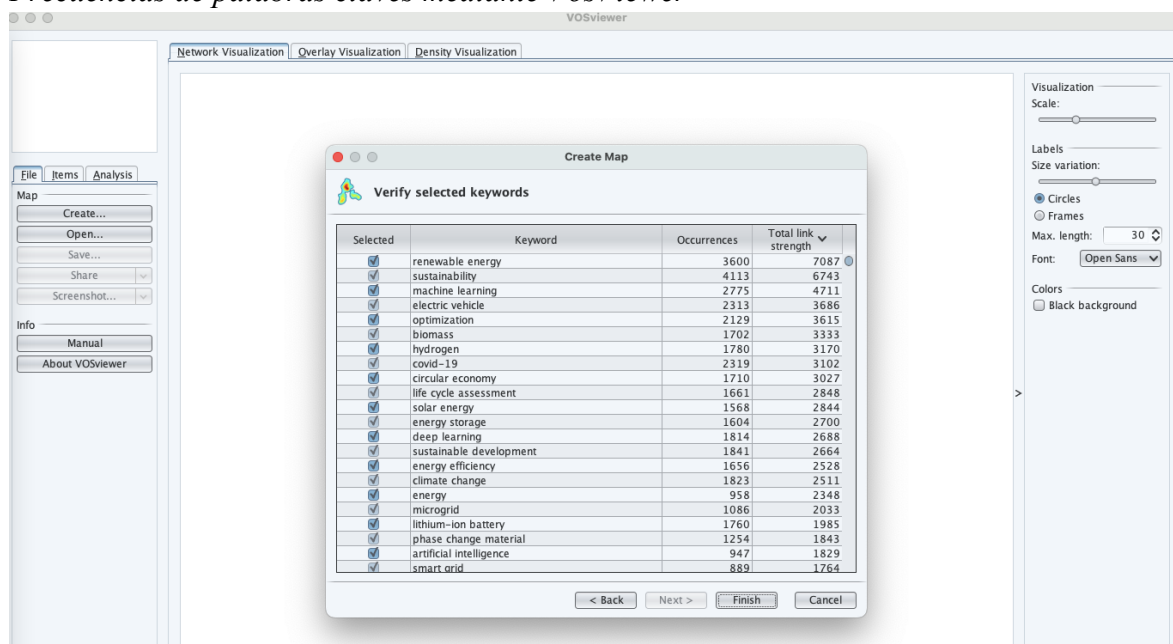
En la Figura 3.8, se visualiza la forma para la descarga total de los datos de búsqueda. No obstante, para efectos de esta investigación solo se seleccionaron los criterios de descarga de la primera comuna *Citation information* y la segunda *Bibliographic information*. La tercera columna *Abstract & Keywords* sólo se seleccionó el criterio de *Author Keywords (AKs)* debido a que es la unidad de análisis fundamental para generar los análisis de los *mapas de co-palabras* y *mapas superpuestos*.

Paso 5: Normalización de los datos

En el proceso de la normalización de los datos para las ER, se utilizaron los pasos desarrollados en la investigación de Muñoz-Écija, et al., (2022). Los autores del estudio indican que para realizar el análisis de co-palabras, se toman las palabras clave de autor y palabras clave indexadas contenidas en todos los documentos recuperados para construir una matriz de proximidad y similitud.

Figura 3-9

Frecuencias de palabras claves mediante VosViewer



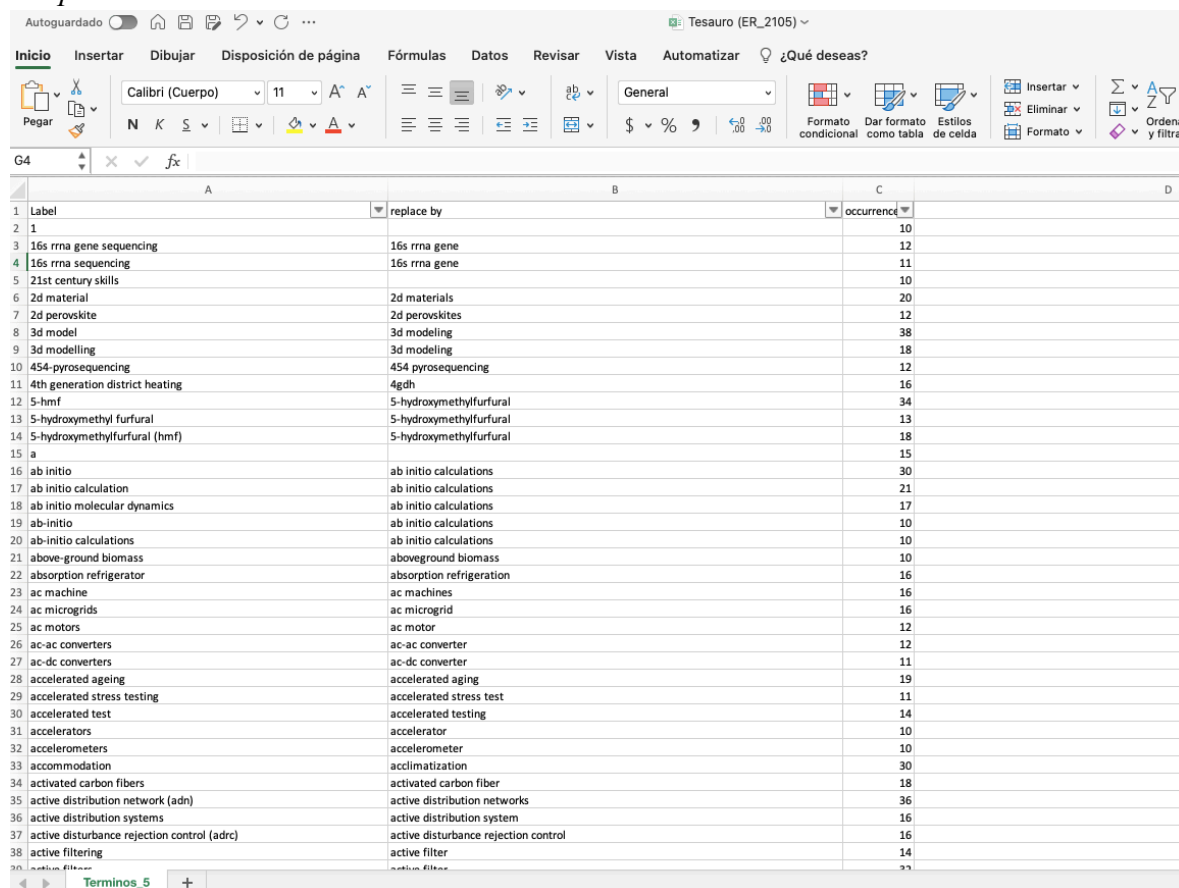
Nota. Desarrollo propio mediante la plataforma de VOSviewer

Esta investigación advierte, que para evitar problemas de sinonimia y acronimia, las palabras clave se deben normalizar tras diseñar un tesauro ad hoc o texto suplementario, que permite normalizar plural y singular, abreviatura o acrónimo, así como palabras clave completas. Obtenida la información recopilada del Paso 4, se cargaron los 52 archivos en el software libre VOSviewer para obtener el número de ocurrencias de palabras claves. Asimismo, se fijó un umbral de co-ocurrencia ≥ 10 para generar la estructura cognitiva. Este criterio de selección permitió recuperar 32,935 términos relacionados al código ASJC 2105 en conjunto con su frecuencia para efectuar la normalización de las palabras claves y generar un primer tesauro (Figura 3.9).

Mediante la opción guardar (*Save* en inglés), VOSviewer genera el tesauro como un archivo TXT. Este permite guardar dos versiones de archivos. El primer archivo guarda información de los nodos como: el id que corresponde a un identificador único para los

Figura 3-10

Limpieza de términos en Excel



	A	B	C
1	Label	replace by	occurrence
2	1		10
3	16s rna gene sequencing	16s rna gene	12
4	16s rna sequencing	16s rna gene	11
5	21st century skills		10
6	2d material	2d materials	20
7	2d perovskite	2d perovskites	12
8	3d model	3d modeling	38
9	3d modelling	3d modeling	18
10	454-pyrosequencing	454 pyrosequencing	12
11	4th generation district heating	4gdh	16
12	5-hmf	5-hydroxymethylfurfural	34
13	5-hydroxymethyl furfural	5-hydroxymethylfurfural	13
14	5-hydroxymethylfurfural (hmf)	5-hydroxymethylfurfural	18
15	a		15
16	ab initio	ab initio calculations	30
17	ab initio calculation	ab initio calculations	21
18	ab initio molecular dynamics	ab initio calculations	17
19	ab-initio	ab initio calculations	10
20	ab-initio calculations	ab initio calculations	10
21	above-ground biomass	aboveground biomass	10
22	absorption refrigerator	absorption refrigeration	16
23	ac machine	ac machines	16
24	ac microgrids	ac microgrid	16
25	ac motors	ac motor	12
26	ac-ac converters	ac-ac converter	12
27	ac-dc converters	ac-dc converter	11
28	accelerated ageing	accelerated aging	19
29	accelerated stress testing	accelerated stress test	11
30	accelerated test	accelerated testing	14
31	accelerators	accelerator	10
32	accelerometers	accelerometer	10
33	accommodation	acclimatization	30
34	activated carbon fibers	activated carbon fiber	18
35	active distribution network (adn)	active distribution networks	36
36	active distribution systems	active distribution system	16
37	active disturbance rejection control (adrc)	active disturbance rejection control	16
38	active filtering	active filter	14
39	active filtering	active filter	33

Nota. Desarrollo propio

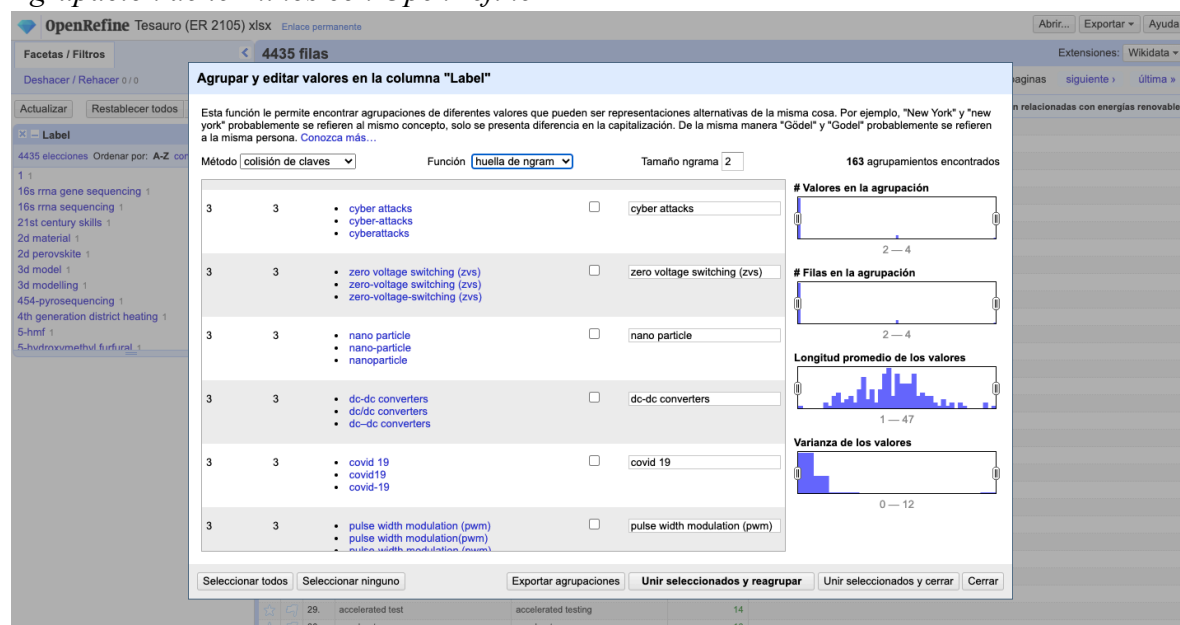
nodos; las etiquetas (label) que son los nombres de los nodos o descriptores; las coordenadas 'x' y 'y' que ubican la posición del nodo en el mapa; el número de cluster al que pertenece cada nodo, entre otros. El segundo archivo corresponde a la red de relaciones entre los nodos y son fundamentales para el Paso 7 en la generación de los *overlay maps*.

Posteriormente, se cargaron los 32,935 descriptores correspondientes al archivo de los nodos en una hoja de cálculo en Excel. Herramienta que facilita ordenar, relacionar, ajustar y limpiar términos equivalentes como: palabras plurales, singulares, siglas, acrónimos, palabras compuestas invertidas o similares. El criterio de selección de cada descriptor fue el de mayor coocurrencia. Periódicamente el producto de esta técnica fue probado paralelamente con un archivo TXT en VOSviewer para evitar inconsistencias o errores en las líneas (Figura 3.10).

Una vez terminada la base preliminar en Excel, se utilizó un software de limpieza llamado OpenRefine y la herramienta denominada faceta de texto que emplea un algoritmo de agrupación denominado “Huella y Huella ngram”, que dispone de la visualización de términos semejantes para poder corregir simultáneamente con el archivo proveniente de Excel (Figura 3.11).

Figura 3-11

Agrupación de términos con OpenRefine



Nota. Desarrollo propio

Derivado a lo anterior, se pudo refinar la base de datos inicial a unos 4,488 términos que son los que conforman el primer tesoro y queda un preliminar de 28,447 descriptores. La última limpieza generó un segundo tesoro con 2,719 descriptores adicionales, que sumados los dos archivos queda un consolidado de 7,473 descriptores para el archivo del tesoro, y restado este al archivo quedan un total de 25,728 descriptores.

Paso 6: Generación de la estructura cognitiva Basemap

Van Eck, et al. (2010) indican que los elementos que conforman los *basemap* en VOSviewer está representado por nodos que son las palabra clave. El tamaño del círculo refleja el número de veces que aparece en el documento representado. El nivel de co-ocurrencia o frecuencia de las palabras clave se expresa mediante la distancia entre dos palabras clave. Es decir, cuanto más cerca están las dos palabras clave, más fuerte es su relación. Los colores representan los distintos *clusters* que son los temas de investigación más reconocidos ([Gómez-Núñez et al., 2016](#)). La extracción de las palabras clave de alta frecuencia es la base inicial de análisis, ya que las palabras clave de esta naturaleza suelen coincidir con los *hotspots* de investigación ([Muñoz-Écija, et al., 2022](#)).

El desarrollo del *basemap* se efectuó mediante la carga de los 52 archivos (.txt) en VOSviewer, que corresponden a los 779,088 documentos relacionados a las ER. De la misma forma que se llevaron a cabo la carga de los archivos en el Paso 5, el *basemap* del mundo se desarrolló mediante VOSviewer para conformar el mapa mundial sobre ER de 2000-2022 y su red de relaciones con una coocurrencia ≥ 10 . Nuevamente, tanto la red como la información del mapa mundial se guardan con la extensión de archivo .txt para su tratamiento. Este mismo proceso se efectuó para niveles inferiores de análisis, que son los países de la Alianza del Pacífico. En VOSviewer se generó un *basemap* para los segmentos temporales del mundo de 2000-2022; 2013-2019 y 2020-2022 con una coocurrencia ≥ 5 . Y para los países de la Alianza del Pacífico y sus periodos con una relación de coocurrencia ≥ 2 . Este nivel de coocurrencia tan bajo fue con la intención de poder detectar con detalle las líneas de investigación mundiales en relación de los países de la Alianza del Pacífico (Overlay map).

Paso 7: Generación overlay maps periodos, países y mundo

Los mapas científicos por país resultan problemáticos a la hora de establecer comparaciones, ya que sus unidades o posiciones de representación no son estables dentro de la representación de las redes en VOSviewer ([Rafols, et al., 2010](#)). Una solución es tomar las etiquetas (label) y las posiciones derivadas de un mapa global ('x' y 'y') y superponer la información que se desea mostrar y analizar ([Alcaide-Muñoz, et al., 2017](#)).

Los mapas superpuestos (overlay map), es una herramienta esencial para explorar la evolución de la investigación específica y de cualquier otro tipo de disciplina o material. Ello facilita la visualización personalizada y detallada del origen, evolución comparada, colaboraciones, desarrollos y otros factores clave del esfuerzo productivo a nivel mundial ([Vargas-Quesada, et al., 2017](#); [Rafols, et al., 2010](#)). Esta técnica contribuye a la visualización, el análisis estructural de redes sociales, el análisis de la estructura cognitiva e intelectual, de los cambios a lo largo del tiempo y análisis de referencias, para cualquier tipo de dominio científico ([Vargas-Quesada, et al., 2023](#)). El proceso para generar una *overlay map*, requiere varios pasos:

- El proceso se inicia con el *basemap* del mundo de 2000-2022. Este archivo se abrió en Excel y se seleccionaron las columnas de id, *cluster* y las posiciones 'x' y 'y'. Esta información se copió y llevó a una tabla de relación en el software OpenOffice-base. Este proceso de relación de bases de datos también se puede ejecutar en SQL.
- Luego, se utilizó como por ejemplo el *basemap* de Colombia en el periodo de 2000-2012 (.txt) e igualmente se abrió en Excel para organizar la información y llevarla copiada a OpenOffice-base para generar igualmente una tabla de relaciones. En el archivo para Colombia se copió la consulta de OpenOffice-base con las etiquetas: *id, label, weight Links y weight Total link strength, weight Occurrences, score Avg. pub. year, score Avg. citations y score Avg. norm. citations*.
- Para generar el overlay map requirió relacionar las tablas anteriores y se seleccionaron las etiquetas como: el identificador automático de las etiquetas del país (id); las etiquetas de los nodos del país (label); las coordenadas 'x' y 'y' del mundo; el cluster del mundo; weight Occurrences del país y; el score Avg. pub. year del país.

- Una vez generado el Overlay map, se requirió guardar en un archivo .txt con su respectivo nombre de período y país.
- Posteriormente se abrió el Overlay map del país y periodo en VOSviewer en conjunto con el archivo de la red generado en el Paso 5 y se visualiza las líneas de investigación superpuestas en el mapa del mundo.
- Esta red se guardó como imagen png para utilizarse en el análisis conjunto de las otras redes.

Paso 8: Análisis de los frentes de investigaciones, segmentos temporales, convergencia y espacios colaborativos

En este paso, se desarrolla una discusión integradora de los resultados obtenidos. El análisis se efectuó mediante tres elementos: el primero, está enfocado en establecer un análisis de los frentes de investigación mediante un Top que involucra las *AKs* de mayor influencia (*Score*) para el mundo y los países de estudio. En segundo lugar, se repite el mismo proceso anterior para los segmentos temporales de los frentes de investigación con un Top. En el tercer paso, se establecen las convergencias de los frentes de investigación y el análisis comparativo de los frentes de colaboración en los que no se trabajan aún. Este último elemento solo se emplea la información del segmento temporal 2020-2022 de todos los países. La información actualizada, facilita la contextualización y comparación en que los países se desenvuelven.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se establecen los materiales y métodos empleados para el caso de estudio en ER para los países de la AP. En primera instancia, se detallan de manera simple las fuentes de información *WoS*, *Scopus*, *Dimensions* y *Lens* en cuanto a sus usos, cobertura, sistema de clasificación y limitaciones. El resultado de esta discusión permitió seleccionar a *Scopus* como la base de datos de mayor equilibrio en los criterios mencionados para esta investigación. Posteriormente, se establece la división de los segmentos temporales a analizar y la técnica del mapeo científico en articulación al desarrollo de los mapas superpuestos (*overlay*) para generar una base de datos de manera rigurosa. Esta información permitirá identificar las tendencias, evolución, convergencia y posibles espacios colaborativos en que los países de la AP pueden trabajar relacionados a las ER. Bajo estos elementos se procedió

en la generación de un protocolo de ocho pasos consecutivos. Proceso, que se desarrolló con detalle para posteriores investigaciones.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Introducción

En esta sección se presenta una discusión integradora de los resultados obtenidos en coordinación con los objetivos y preguntas de investigación planteados. El análisis se desarrolla con tres elementos centrales: el primero, con la descripción del crecimiento de los documentos científicos sobre ER de 2000-2022. Proceso esencial para establecer los contextos de los puntos de inflexión y su evolución mediante la segmentación temporal por la segunda derivada. Este análisis se da a nivel del mundo, país y entre países de la AP. El segundo elemento, está enfocado en establecer un análisis de los frentes de investigación mediante el análisis de las palabras claves de mayor influencia (*Score-AKs*) para el mundo y países de la AP y su evolución temporal. El tercer elemento, presenta una propuesta de los espacios colaborativos en los que los países de la AP pueden fortalecer sus Sistemas Científicos (SC) en las energías renovables (ER). Este análisis es el producto del establecimiento de las convergencias de los frentes de investigación.

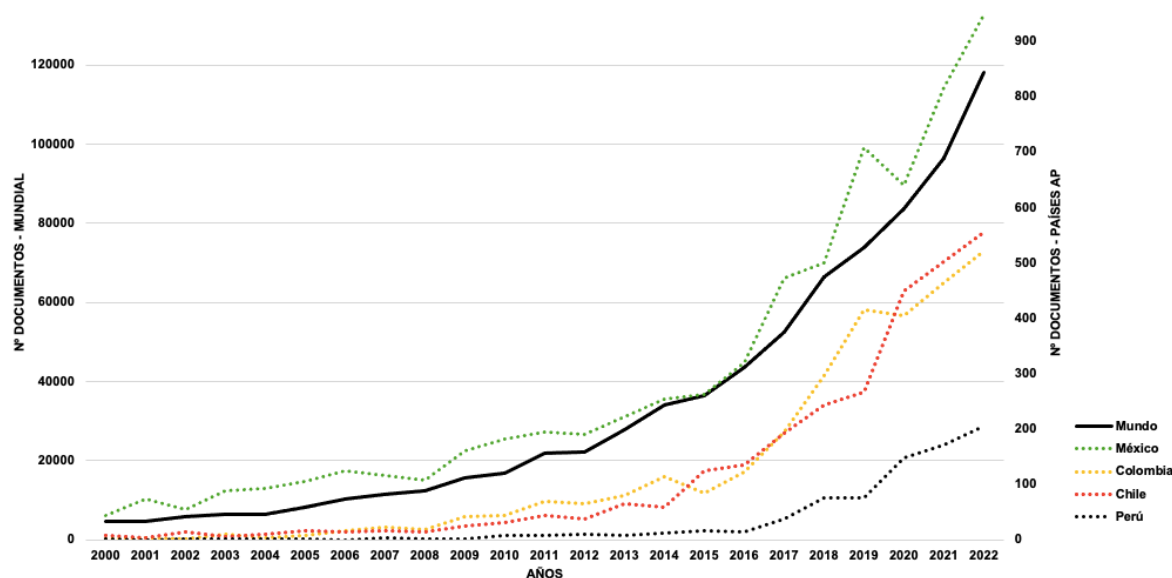
4.1. Tendencias del crecimiento de la producción científica de las energías renovables a nivel mundial y para los países de la AP de 2000 a 2022

La Figura 4.1 representa el crecimiento del número de publicaciones a nivel global en comparación con el de los países de la AP. Entre los años 2000 a 2005, la tendencia en el crecimiento muestra una etapa temprana de incipiente desarrollo en el área, seguida de una etapa de crecimiento sostenido hasta el 2011, año en el que se aprecia una etapa de consolidación en la investigación a nivel mundial sobre ER.

México presenta una tendencia de crecimiento similar a la mundial y muy distinta al resto de países, que extienden la etapa de desarrollo temprano hasta el año 2011. Excepto Perú, el resto de los países experimentan tendencias de crecimiento similares al mundo en la última década.

Figura 4-1

Evolución de los documentos en ER mundial y de los países de la Alianza del Pacífico



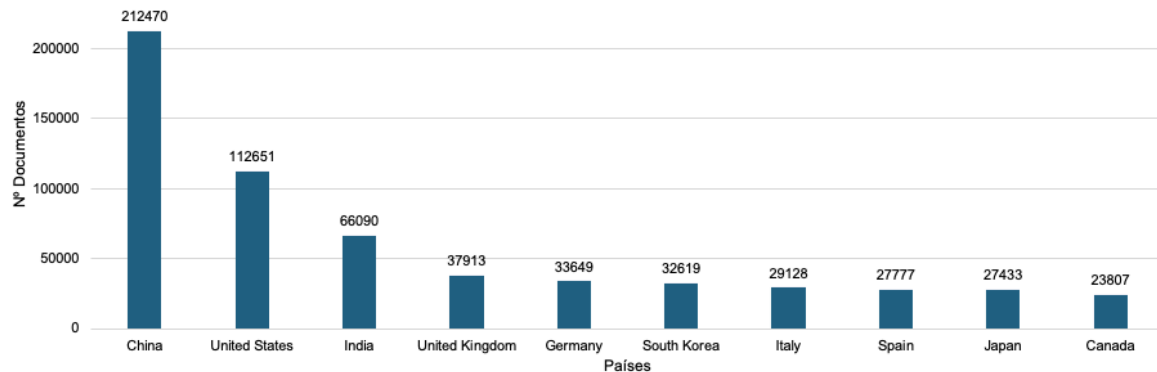
Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura hace un paralelo de la tendencia en el crecimiento del mundo y los países pertenecientes a la AP de los documentos relacionados en energías renovables. Los documentos para la AP están expresados en miles (derecho) y para el mundo en cientos de miles (izquierdo).

4.2. Los países de mayor producción en ER a nivel mundial

De acuerdo con la información analizada de *Scopus* sobre la producción de documentos relacionados con las Energías Renovables, China y Estados Unidos concentran más del 32% de la producción mundial, seguido por India (con 6.5%), Reino Unido (3,7%), Alemania (3,3%), Corea del Sur (3,3%), Italia (2,8%), España (2,7%), Japón (2,7%) y Canadá con 2,3% (Figura 4.2). Los cuatro países de la Alianza del Pacífico representan el 1,3% de la producción mundial.

Figura 4-2

Los países de mayor producción en ER a nivel mundial



Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura representa los 10 países de mayor producción científica en el mundo de acuerdo con la fuente de información analizada. Las unidades están representadas en cientos de miles de documentos científicos.

4.3. Las energías renovables en el contexto internacional. Evolución temporal

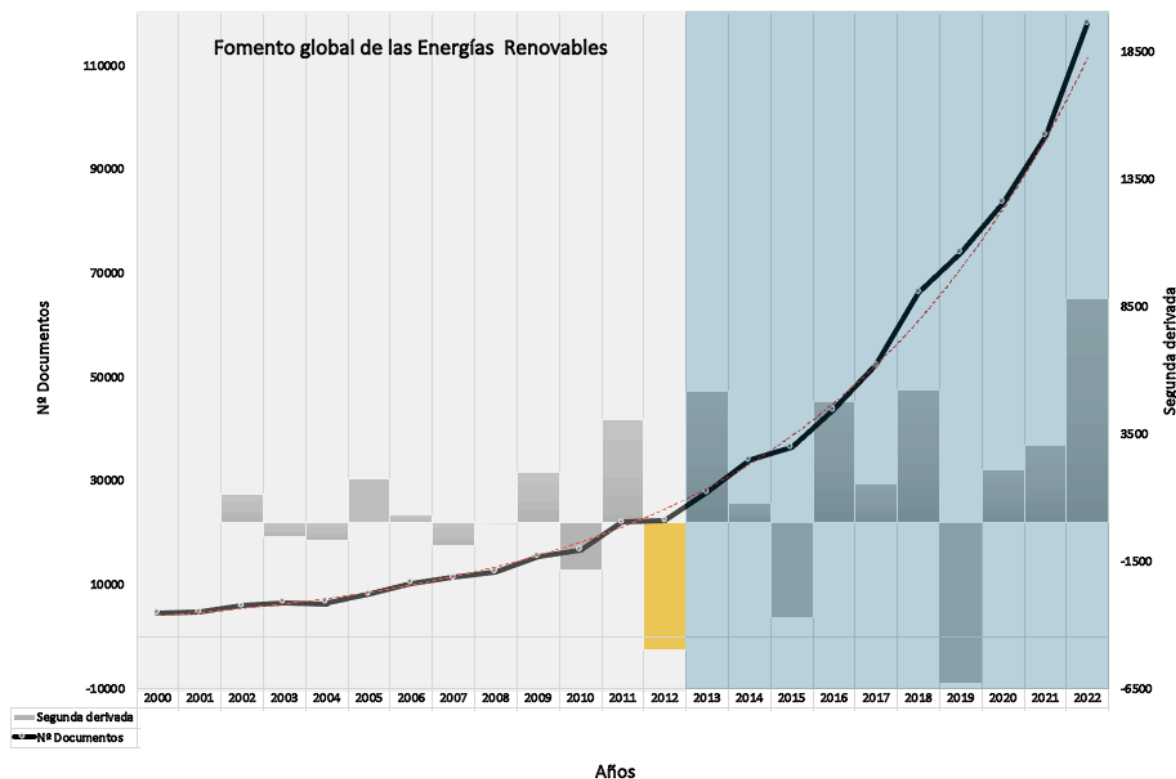
En este apartado se presenta un resumen de los principales eventos históricos que han incidido en la evolución de la investigación en ER y que se dividen en tres periodos temporales: *Fomento Global de las Energías Renovables*, *Expansión Global del Conocimiento sobre Energías Renovables*, y *Transformación Global de las Energías Renovables*.

4.3.1. Fomento Global de las Energías Renovables

Este primer segmento inicia en el año 2000 hasta el 2012 (Figura 4.3), marco temporal que coincide con varios eventos trascendentales para las ER, como por ejemplo, la hoja de ruta global que incentiva hacia una conciencia hacia la sostenibilidad desde las últimas décadas del siglo XX. Este hecho produjo los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que se declaran para el año 2000, y enfocándose principalmente en atender las necesidades básicas de los seres humanos mediante ocho objetivos ([Guibou, 2017](#)). En específico, el ODM-7 es una aproximación a implementar acciones por el planeta como garantizar la sostenibilidad en el medio ambiente. Aunque no se toca directamente la generación de ER, es un enfoque

Figura 4-3

Primer segmento de contextualización 2000 a 2012



Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura muestra el crecimiento de los documentos en relación con el primer segmento temporal que comprende los primeros 12 años (2000-2012). Existe variabilidad de la segunda derivada y donde marcar el mínimo de segmento pasa a otro delimitación temporal.

que propició el fomento de energías limpias y alternativas, alineadas con otras propuestas de sostenibilidad como el Protocolo de Kioto ([Lin & Ren, 2020](#)).

En el año 2001, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó la tercera edición de su informe titulado *Cambio Climático 2001: Informe de Síntesis*. Este informe no solo proporciona asesoría técnica y evaluaciones sobre la información científica disponible en relación a los impactos, las consecuencias y los aspectos económicos del cambio climático, sino que también explora las opciones para mitigar estos cambios y/o adaptarse a ellos. El informe concluye que la implementación de energías renovables podría contribuir significativamente a la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, hace una importante salvedad en cuanto al uso de la biomasa como sustituto de los combustibles fósiles. Aunque la biomasa puede ser un buen

sustituto, su uso puede tener un impacto sobre los suelos, la diversidad biológica y la disponibilidad del agua. Este impacto depende del tipo de uso de las tierras que la biomasa reemplace y del régimen de gestión implementados a nivel nacional ([ippc, 2001](#)).

Justamente el 2001 en Marrakech, se celebraba la Conferencia de las Partes (COP), que en su versión número 7 reconoce la importancia de las energías renovables para conseguir el objetivo de la Convención ([COP-7, 2001](#)). Parte de la historia de las COP empieza en junio de 1992 con La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Tras años de esfuerzos diplomáticos que se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo ([CNUMAD](#)), también conocida como Cumbre de la Tierra, y la creación de tres marcos: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ([CMNUCC](#)), la Convención de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica ([UNCBD](#)) y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación ([CNULD](#)).

Los gobiernos de los países firmantes se convirtieron en partes de estas convenciones legalmente vinculantes y comenzaron a reunirse periódicamente para discutir los avances con las llamadas Conferencias de las Partes (COP) sobre clima, biodiversidad y desertificación ([Caporale, et al., 2023](#)). En la COP de cada año se establece dentro de las temáticas centrales las ER, en búsqueda de una transición concertada por las naciones firmantes hacia energías limpias. No obstante, el balance de la COP 28 realizada en Dubái indicó que este proceso de transición hacia las ER ha sido lento por parte de los gobiernos interesados e implica un retraso en los compromisos internacionales de carácter ambiental ([CMNUCC, 2023](#)).

La participación de los países de la AP ha sido activa en su actuación como sedes. Por ejemplo, la COP16 de 2010 se celebró en Cancún (México), en 2014, Lima (Perú) fue anfitriona de la COP25 de 2019, Chile actuó como Presidente, pero a nivel logístico se realizó en Madrid (España). La próxima COP en su versión 29 se celebrará en Cali Colombia en octubre de 2024 ([CMNUCC, 2024](#)).

Bajo este mismo enfoque, para el año 2005 entró en vigor el “Protocolo de Kioto” que es una propuesta de diálogo originada en 1997 (COP3) para que los países industrializados se comprometieran a limitar y reducir las emisiones de GEI ([CMNUCC, s.f](#)). Propuesta que no solo se centra en la mitigación, sino que también está diseñada para ayudar a los países a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. Facilita el desarrollo y

despliegue de tecnologías que pueden ayudar a aumentar la resiliencia a los impactos del cambio climático. El Acuerdo del Protocolo de Kioto reactiva el interés mundial por el uso de recursos energéticos renovables ([Q Fu., et al., 2021](#)).

El año 2009, fue marcado por la recesión económica debido a la burbuja inmobiliaria en Estados Unidos y su impacto global durante varios años. Igualmente, se destacó como un hito en la historia de las energías renovables con la creación del Fondo de Tecnología Limpia (Clean Technology Fund - CIF). Los Fondos Estratégicos para el Clima (SCF) contaron con más de 6.3 billones de dólares y son administrados y gestionados por el Banco Mundial y los bancos regionales de desarrollo. Entre sus ejes programáticos se incluyen: los Programas de Resiliencia Climática (PPCR), la Inversión Forestal (FIP) y el Programa de Aplicación de Energías Renovables (PRES) ([Nakhouda, 2010](#)).

Desde los inicios de CIF, México fue una de las primeras naciones en aplicar como piloto de inversión a este fondo ([CIF, 2008](#)). Las líneas están enfocadas en primera medida a la FIP y en menor medida al PRES. Desde el 2010 emplea la FIP para proyectos de inversión piloto que está dividido en cuatro proyectos, dos para ser implementados a través del Banco Mundial y dos más por medio del BID ([FINDECA, s.f](#)). Actualmente, México cuenta con el presupuesto de proyectos relacionados a ER más grande entre los 4 países de la AP. En la plataforma de CIF registran 17 proyectos, con financiación aprobada CIF de 440,7 millones de dólares y 7,04 billones de dólares de cofinanciación en su mayoría proveniente del gobierno, bancos multilaterales de desarrollo (MDB), sector privado y organismos multilaterales en menor medida ([CIF, 2022](#)).

Colombia fue la segunda nación de la AP que comenzó el proceso de preparación CIF a través del Programa de Aplicación de Energías Renovables (PRES) el 27 de enero de 2009 ([CIF, 2009](#)). Ya para el 2013 fue favorecida con un préstamo de 10 millones de dólares para proyectos de inversión de eficiencia energética y cogeneración con las industrias de la hospitalidad y de los servicios de salud privados ([BID, s.f](#)). De acuerdo con la plataforma [CIF](#) consultada el 1 mayo de 2024, Colombia actualmente tiene 11 proyectos aprobados; una financiación CIF por 92,9 millones de dólares y 795,27 millones de cofinanciación de los MDB, bancos nacionales de desarrollo Bancoldex y FDN, los mercados de financiamiento de carbono, y los sectores público-privado a nivel nacional. Los proyectos objetivos están enfocados en reducir las barreras operativas y técnicas para la integración de la generación

de energía renovable en la red eléctrica; en el aumento de financiamiento para la infraestructura de integración de energía renovable y; la construcción de capacidades relacionadas en los sectores público-privado ([CIF, 2023](#)).

En enero de 2011, Perú fue la tercera nación de la AP que comenzó el proceso de preparación de la Estrategia de Inversión del FIP. La misión contó con la participación del BID, Corporación Financiera Internacional (IFC) y del Banco Mundial en discusión y socialización con los *stakeholders* para el proceso de preparación de la Estrategia de Inversión ([CIF, 2011](#)). Perú en la actualidad cuenta con 6 proyectos financiados con 65,93 millones de dólares que provienen de inversión CIF y cofinanciado 15,5 millones de dólares. Los organismos presentes en esta inversión son el Estado peruano, los MBD y otros organismos multilaterales están presente en los programas PRES, PPCR. Los proyectos de inversión FIP están enfocados en contribuir a preservar la biodiversidad del país ([CIF, 2022](#)).

Chile preparó el Plan de Inversión del Fondo de Tecnología Limpia en colaboración con el BID, la Corporación Financiera Internacional (IFC) y el Comité del Fondo Fiduciario del CTF el 3 de mayo de 2012. En ese momento, el programa de inversión incluía cuatro proyectos, que serían ejecutados por los dos MDB: el primero fue un proyecto de energía solar de concentración; el segundo, un programa fotovoltaico a gran escala; tercero, un programa de autoabastecimiento de ER y Eficiencia Energética (RESSEE) y; por último, subvención de preparación para RESSEE ([CIF, 2012](#)). De acuerdo con la plataforma de CIF ([2022](#)), Chile poseía un plan de inversión con 6 proyectos aprobados por un valor de 77 millones de dólares y un financiamiento de 970,75 millones de dólares con participación de los MDB, público-privado y otros. Una particularidad de este momento, corresponde a que el monto para Chile fue muy grande debido a que tenía un riesgo de inversión muy alto e impedía que hubiera confianza en el mercado para inversionistas en los proyectos en ER ([CIF, 2022](#)).

Otra de las organizaciones que en 2009 se estableció fue la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Esta agencia opera como un ente intergubernamental que lidera a nivel mundial la transformación energética. Sirve como plataforma principal para la cooperación internacional para el apoyo a los países en sus transiciones energéticas y el suministro de informes con análisis de última generación sobre tecnología, innovación, políticas, finanzas e inversiones ([IRENA, s.f](#)). En específico, permite monitorear y evaluar

políticas energéticas y el despliegue de energías renovables. Explora una amplia gama de temas como capacidad, generación, costos y finanzas. Información necesaria para construir reportes sobre el crecimiento, políticas y producción científica como patentes relacionadas a las ER por país ([IRENA, s.f.](#)).

Otro de los hechos relevantes corresponde a los años de finalización del segmento temporal de 2010 al 2012 de los países de la AP. Estos años representan una etapa de recuperación de la recesión económica de 2009 en la que destacan varios factores. Uno es el crecimiento acelerado del PIB de los países desarrollados y algunos en desarrollo. Entre ellos, se encuentran los países de la AP que presentaron un crecimiento por las ventas de los *commodities* ([Toro, et al., 2017](#); [Alonso, et al., 2017](#)).

El precio del petróleo ha experimentado una gran volatilidad, en específico un aumento notable en el periodo de tiempo de 2004 a 2014. En 2004 se observó un precio mínimo anual de 41,51 dólares por barril; pasó luego a un precio máximo de 139,9 dólares por barril en junio de 2008; por su parte, en diciembre de 2009 este precio se ubicó a la baja en 61,95 dólares por barril; y luego, en 2013, se ubicó en un precio a la alza de 97,98 dólares por barril. Estas variaciones han generado grandes sobresaltos en las economías de países emergentes ([FRED, 2024](#)). Sin embargo, si bien el auge petrolero tuvo impactos económicos positivos, también condujo a una dependencia significativa de este sector. Lo que activa aún más la política de transición energética y la necesidad crítica de diversificación económica para asegurar la estabilidad a largo plazo de los países del mundo y los importadores y exportadores de petróleo. Este factor efectuó un derrame de inversión en I+D, producción científica y tecnológica relacionada con ER ([Mohamued, et al., 2021](#)).

De acuerdo con las estadísticas de la plataforma de la agencia IRENA de 2023, el periodo de transición de 2012 a 2013 es un punto de inflexión que marca los indicadores relacionados con las tecnologías en ER a nivel mundial, como: incremento en la capacidad de generación de energía, empleo y la disminución de los costos de generación de energía a nivel global ([IRENA, 2022](#)). La plataforma IRENA, presenta información de la capacidad instalada por megavatios (MV) de energía renovable y la electricidad a nivel mundial, regional y/o país. La búsqueda de este criterio por los países de la AP en el intervalo de 2012-2013, figura un panorama de crecimiento en algunas ER. Las cuatro naciones históricamente

han tenido una capacidad de producción elevada de energía hidroeléctrica, en especial, el 2013 marca un año de incremento relevante.

México presentó un crecimiento de energía solar fotovoltaica tendiente a la alza desde el 2012-2013, superior a energías geotérmicas, biogás y biocombustibles que son muy bajas a su capacidad actual. Colombia es muy fuerte en energía de biocombustibles, pero con poco crecimiento en energía de viento y solar fotovoltaica en este margen de tiempo. Chile, es muy fuerte en energía solar fotovoltaica, completamente su capacidad de producción se origina en el 2012-2013. Para este mismo periodo la capacidad de producción en biocombustibles de Chile, es la más grande de la serie registrada, pero entra a la baja para el término de 2014. Por último, Perú tiene una capacidad de producción en incremento en energía solar fotovoltaica, biocombustibles y en especial de vientos que se incrementa abruptamente ([IRENA, 2024](#)).

Finalmente, este segmento se describe como la etapa en el que se estructuran de manera sistémica las políticas globales e instituciones multilaterales que harían operativo el fomento global de las estrategias de los ODM y entre ellas las Energías Renovables.

4.3.2. Expansión global del conocimiento sobre ER

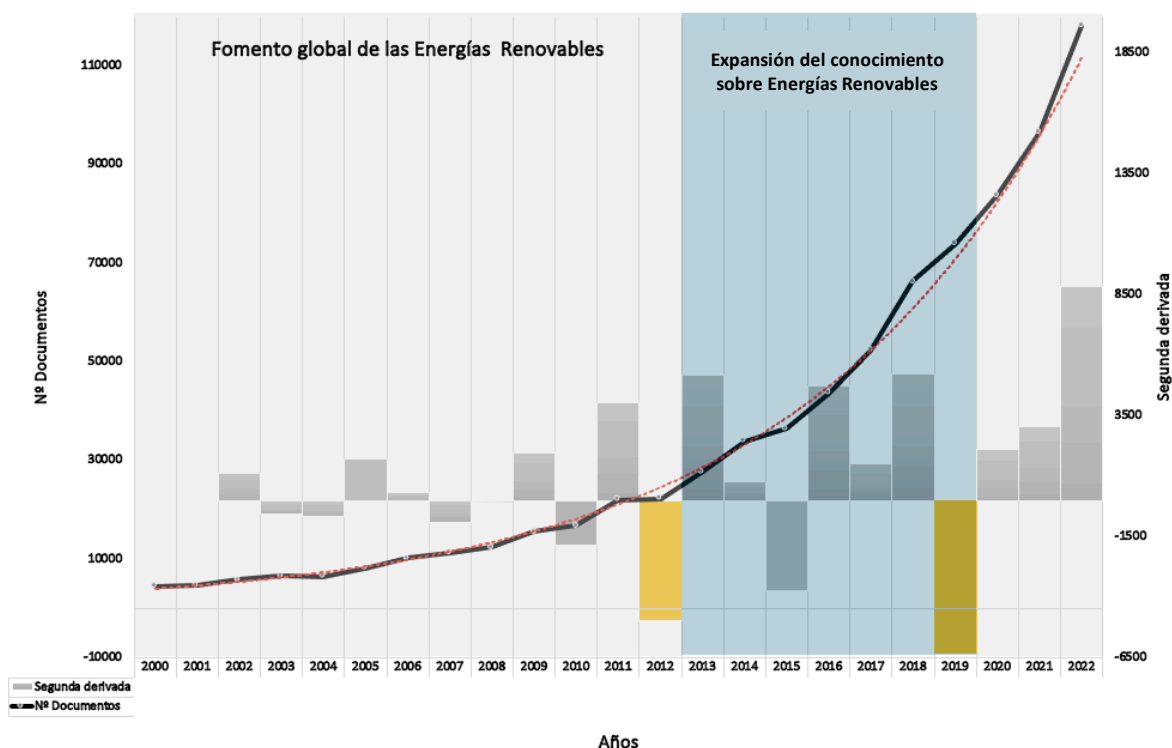
Este segmento temporal se ha denominado como la *expansión global del conocimiento sobre ER* y va de 2013 a 2019 (Figura 4.4). En esencia, los eventos más relevantes que concuerdan con la consolidación de una política global enfocada en la sostenibilidad y la integración de energías renovables como la estrategia para descarbonizar las economías industrializadas y emergentes ([Albert, 2022](#)). En efecto, los frutos de una política global, la financiación y la integración del conocimiento de los *stakeholders* sobre energías renovables ha incrementado la producción científica en el mundo.

De acuerdo con la tendencia global en energías renovables establecida con las estadísticas de IRENA ([2024](#)), el crecimiento continuo de la producción energética es notable entre 2013 y 2019. Hecho que disminuyó los costos de producción general, incrementó la eficiencia en los factores de capacidad dentro de las plantas productoras y disminuyó los costos de diferentes tecnologías en ER para la generación de la electricidad.

Otro de los hechos relevantes, es la continuidad de los ODM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el 2015. Los ODS, cuentan con 17 objetivos que son

Figura 4-4

Segundo segmento temporal de expansión del conocimiento sobre ER de 2013 a 2019



Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura presenta el segundo segmento temporal de 7 años señalado de color azul.

especializados y transversales entre sí. Es una nueva hoja de ruta que integra otras dimensiones de la sostenibilidad que abarca lo social, económico, ambiental y político. Asimismo, cuenta con el ODS-7 que integra los indicadores y la perspectiva política para desarrollar la energía asequible, no contaminante, segura, sostenible y moderna para el mundo en un margen de tiempo de 15 años (2030) ([ONU, s.f.](#)).

Este objetivo cuenta con 3 metas y 10 indicadores; su última meta cuenta con 2 subobjetivos 7.a y 7.b. El subobjetivo que está relacionado directamente con las ER es el “7.a”. Este subobjetivo menciona que de aquí a 2030, se debe aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a las energías limpias. Incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles. Al igual que, promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias ([ONU, s.f, párr. 4](#)).

Una de las páginas oficiales que contiene las estadísticas de los ODS es la plataforma UNSTATS ([2024](#)). En su ítem para el cumplimiento de los indicadores del ODS-7 por país, establece unas métricas favorables para el grupo de la AP. En síntesis, se visualiza un balance positivo hasta el 2019 para Colombia, México y Chile. Mientras que Perú se encuentra con algunos indicadores por cumplir.

El punto de inflexión de 2019-2020 está relacionado a la parálisis global debido a la pandemia de COVID-19. Periodo que impactó de forma negativa a la mayoría de las economías del mundo y en especial al sector de las ER ([Pena-Sanchez, 2022](#)). El confinamiento originó un cese de actividades industriales, interrupción de las operaciones logísticas a nivel mundial y su cadena de suministro. En efecto, los proyectos tecnológicos y la producción de energía eléctrica se vieron retrasados. A pesar de estos desafíos, existe un impacto positivo en la articulación de la reducción de emisiones de CO₂ y el aumento de las inversiones en ER ([IRENA & CPI, 2023](#)).

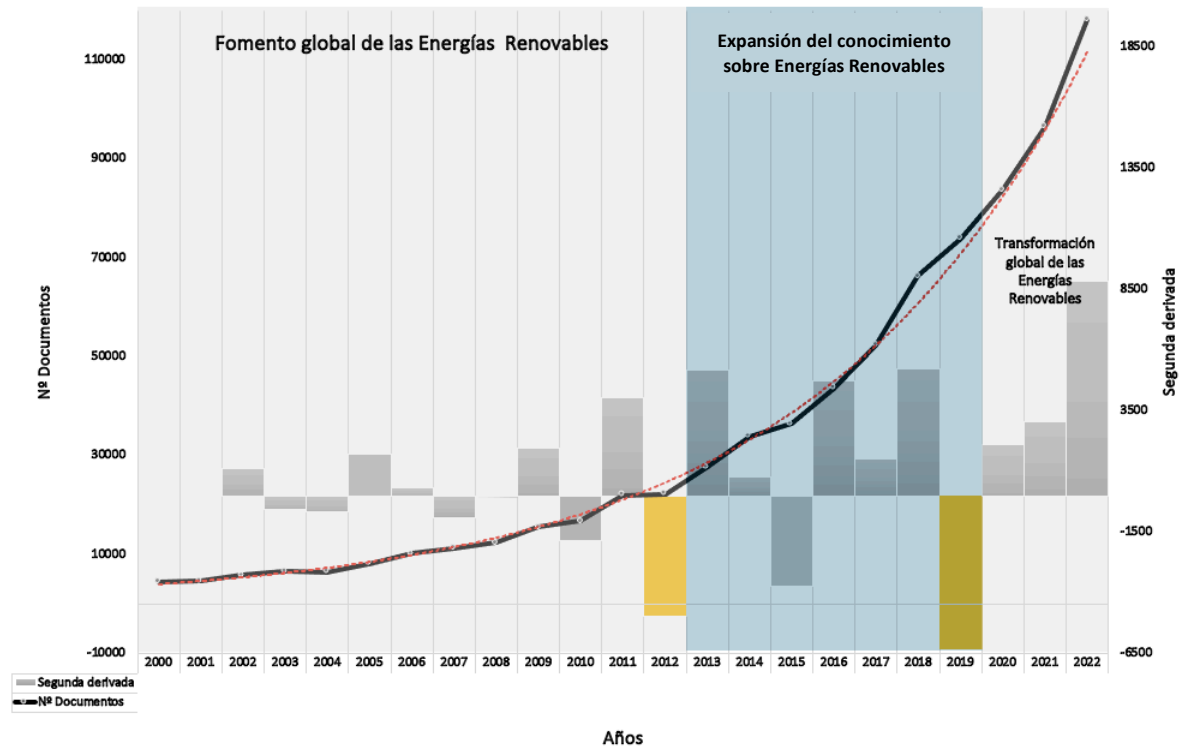
4.3.3. Transformación global de las energías renovables

El tercer segmento temporal corresponde al periodo de 2020-2022, denominado *transformación global de las energías renovables* (Figura 4.5). Los efectos de la pandemia a finales de 2019 surtieron efecto en la mayoría de los sectores económicos hasta el año 2020. Los informes de IRENA ([2021](#)), indican que el 2020 presenta resiliencia con las cadenas de suministro relacionadas a las ER y un crecimiento récord en nuevas implementaciones tecnológicas limpias. Tanto México, Chile y Colombia poseen una tendencia a la alza en la capacidad de producción de energía eléctrica por medio de la tecnología solar fotovoltaica. Mientras que Perú presenta un crecimiento pronunciado hacia la producción de energía eólica.

Derivado de la crisis energética de la Unión Europea (UE) a raíz de la guerra en Ucrania en febrero de 2022, se produjo un desabastecimiento de los combustibles fósiles provenientes de Rusia ([Cisneros, 2023](#)). La principal potencia industrial de la UE es Alemania, dependiente en gran medida del gas y el petróleo ruso, presentó implicaciones económicas y modificaciones en sus planes de sustitución de las energías fósiles por energías renovables al 2035 ([Belov, 2022](#)). Una de sus estrategias para continuar con este plan es encontrar socios comerciales que fueran proveedores de combustibles amigables con el

Figura 4-5

Tercer segmento temporal de documentos en ER 2020-2022



Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura muestra el tercer segmento temporal de 3 años que corresponde a la última de la serie temporal mediante la segunda derivada en relación a la producción científica.

medio ambiente como el hidrógeno verde ([Braude, et al., 2024](#)). Este combustible es una tecnología emergente que integra las energías renovables y el agua para producir hidrógeno mediante la electrólisis. Es una solución potencial a muchos desafíos tanto ambientales, sociales y económicos que requieren superar la dependencia de los combustibles fósiles ([Jaszczur, et al., 2023](#)).

Un panorama prometedor para los países de la Alianza del Pacífico que poseen un enorme potencial para convertirse en protagonistas de la cadena de producción mundial de hidrógeno verde. Entre sus fortalezas están los abundantes recursos naturales y una de las mejores dotaciones de energía solar y eólica del planeta, esenciales para la tecnología clave para producir hidrógeno verde ([Arruti, 2023](#)).

Chile posee el potencial solar más alto del mundo, con un recurso solar promedio superior a 2.500 kWh/m²/año ([Acosta, et al., 2022](#)). Colombia ha realizado aproximadamente

10 pilotos de hidrógeno verde con énfasis en usos finales en el sector residencial, transporte e industrial. Producidos a partir de la energía solar, eólica, biogás y pequeñas centrales hidroeléctricas ([Mincomercio, 2024, marzo 6](#)). México tiene un alto potencial solar en el norte del país y en la península de Baja California, además de recursos geotérmicos y eólicos considerables para producir hidrógeno verde ([Hernandez-Escobedo, et al., 2022](#)). Finalmente, Perú posee un alto potencial solar en la costa sur y en los Andes, además de recursos hídricos y geotérmicos que son determinantes para el desarrollo de este combustible ([Guliev, et al., 2022](#)).

En el siguiente apartado, se muestran los mapas cognitivos basados en palabras claves recogidas en la literatura científica y que muestran las principales líneas de investigación o frentes de investigación que responden a los eventos históricos-políticos descritos en este apartado.

4.4. Frentes de investigación en Energías Renovables del mundo

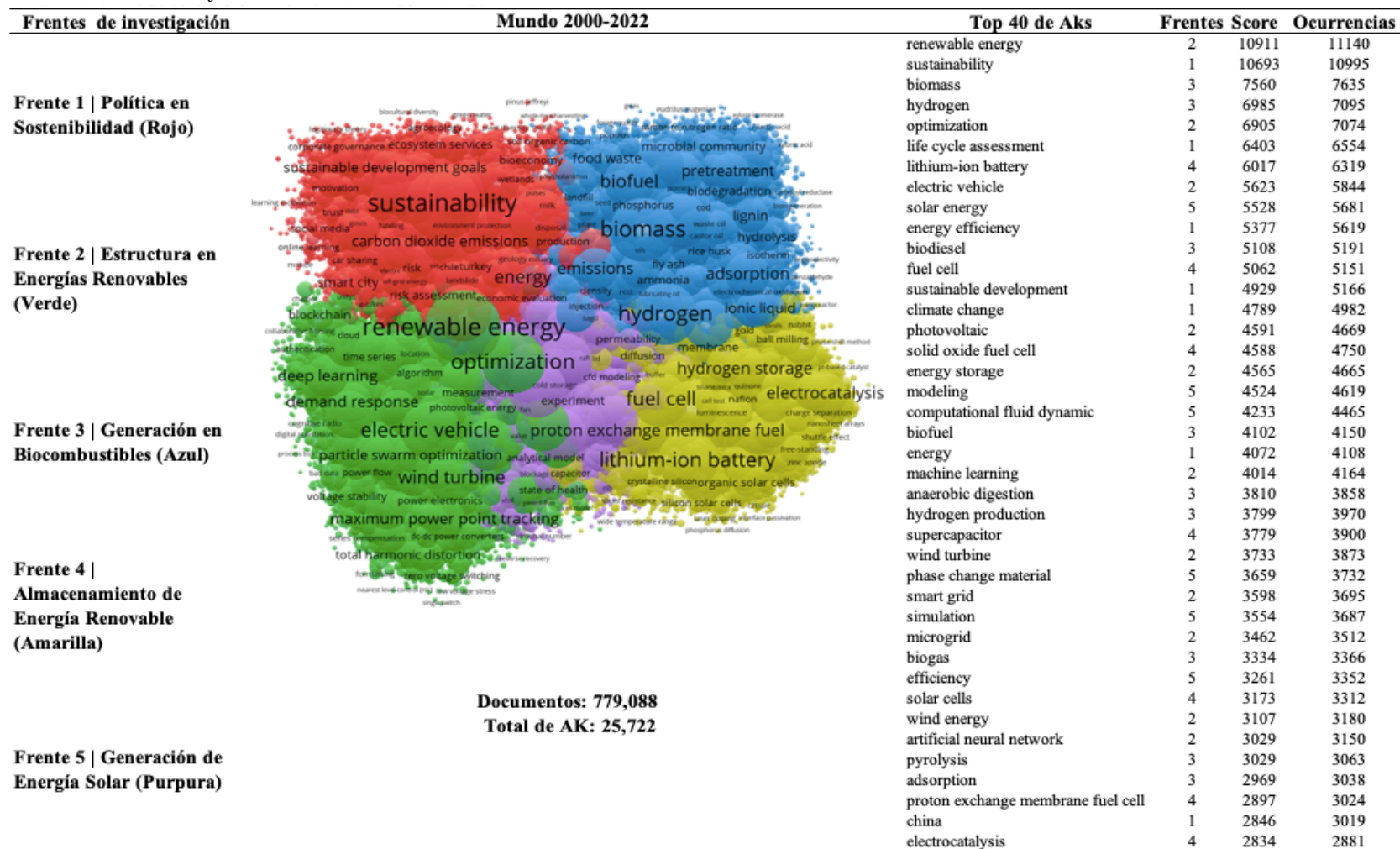
La categoría de "Energía renovable, sostenibilidad y medio ambiente" de la fuente de información *Scopus* está compuesta por términos estrechamente relacionados entre sí, representados por palabras clave de autor (*Author Keywords -AKs*), o términos que pueden proceder de un vocabulario controlado (*Index term*). A partir de las palabras clave de autor recogidas en la producción científica en energías renovables se han analizado los frentes de investigación y su evolución a lo largo del tiempo tal y como se indica en el apartado metodológico de la tesis.

De este modo, se desarrollaron dos estructuras de análisis. La primera consiste en un Top general que incluye las 40 principales palabras clave de autor (*AKs*) más influyentes, complementado por un Top 20 que permite un análisis más detallado a nivel individual de cada frente disponible. En segundo lugar, este mismo esquema se aplicó al análisis evolutivo de los frentes de investigación, pero se utilizó un Top 30 general y otro Top 30 a nivel individual. Los datos asociados a estos análisis se pueden consultar en los anexos.

La Figura 4.6 muestra el Top 40 para el mundo como un marco general de los principales frentes de investigación analizados de 2000 a 2022 en la siguiente secuencia de importancia: El primer frente de investigación se ha denominado ***Estructura en Energías***

Figura 4-6

Producción científica en ER del mundo



Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus* de la producción científica de la ER del mundo en los primeros 23 años del presente siglo. La información proveniente de *Scopus* corresponde a 779,088 documentos indexados y 25,722 palabras claves del autor (AKs) que fueron previamente normalizado. Por un lado, la red corresponde a los cinco frentes de investigación de las ER más importantes establecidos por el algoritmo de asociación de *VOSviewer*. Por otro lado, el Top de los 40 AKs fueron establecidos por un indicador de influencia (*PageRank*) denominado en esta investigación como *Score*, corresponde al peso que tiene cada una de los AKs en la red. También, se encuentra el indicador de ocurrencia de los AKs, que está estrechamente relacionado con el *Score*.

Renovables (coloreado en verde) con una puntuación de 28% de los términos más relevantes (Top 40) y representa el 23% de una red formada por 5,746 palabras clave de autor (AKs) (Anexo 2). Entre los términos más relevantes destaca el descriptor **renewable energy** (AKs de mayor *Score* = 10,911). Concepto que se enfatiza en la regeneración natural de las fuentes de ER como: energía solar-fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, biomasa y energía mareomotriz. Asimismo, el frente destaca investigaciones relacionadas con tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia de la predicción, producción y optimización del almacenamiento y la demanda de energía en los sistemas de ER. Este frente se extiende a investigaciones de productos tecnológicos relacionados con vehículos eléctricos. En contraste, el análisis de la Figura 4.3 revela que los principales productores de documentos científicos en *Scopus* son China y Estados Unidos. Esto pone de manifiesto la participación y los avances tecnológicos de ambos países, que compiten por el dominio del mercado global en el sector de energías renovables y la producción de vehículos eléctricos. Esta competencia ha llevado a que se acusen mutuamente de prácticas desleales, como se evidenció en la solicitud de consulta presentada por China ante la Organización Mundial del Comercio (OMC) en 2024.

El frente de investigación coloreado de azul se ha denominado **Generación en Biocombustibles** (coloreado en azul). Es el segundo con mayor representación a nivel mundial (23%) y se corresponde con el 21% de las palabras clave de autor. El AK de mayor influencia corresponde a **biomass** (*Score* = 7,560), que es una fuente de energía proveniente de materiales orgánicos de origen vegetal o animal. Fuente de energía alternativa que ha sido crucial para mitigar el cambio climático con la producción de biocombustibles como diésel, biogás e hidrógeno. Los biocombustibles, incluidos el biodiesel y el etanol, se consideran soluciones ecológicas y renovables para la fuerte demanda de energía, impulsada mayormente por el crecimiento demográfico y la industrialización. Ello incluye, una disminución en la utilización de combustibles fósiles y un impacto en los costos de producción y comercialización de los combustibles. Los avances en la investigación de biocombustibles, como las aplicaciones de nanotecnología y la ingeniería genética de organismos productores de biocombustibles son las tecnologías emergentes en este frente de investigación. Las energías sostenibles son un nuevo panorama de producción de energías

respetuosas con el medio ambiente y una de las soluciones del cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El frente de investigación denominado ***Política de Sostenibilidad*** (coloreado en rojo), ocupa la tercera posición con 18% del Top 40 y el 24% de las palabras clave (6,225). El *AK* de mayor influencia corresponde a ***sustainability*** (10,693) e igualmente es el segundo con mayor *Score* de la red. Este es un frente multifacético crucial para abordar los desafíos del cambio climático y promover el desarrollo sostenible como una hoja de ruta gubernamental proactiva. El propósito de esta política de orden mundial enfatiza la importancia de la coordinación entre agencias, la adaptación de las políticas a las condiciones locales, el financiamiento limitado y la participación comunitaria como desafío clave en su implementación. Adicionalmente, se destaca la necesidad de una gobernanza con transparencia y participativa, marcos jurídicos sostenibles y sistemas de rendición de cuentas para abordar eficazmente los problemas climáticos y ambientales. Las políticas de sostenibilidad se encuentran encaminadas a generar mecanismos de transición a sistemas de energía sostenibles y garantizar la justicia climática. Por ello, integran una financiación innovadora, mejora la comunicación y fomenta la colaboración para que los tomadores de decisiones puedan transitar por las complejidades de las políticas de sostenibilidad y lograr resultados efectivos.

El cuarto puesto es para la investigación en ***Almacenamiento de ER*** (coloreado en amarillo) comprende un 18% del Top 40 y posee el 16% de todas las palabras clave de autor (*AKs* =4,055). El término de mayor influencia corresponde al descriptor ***lithium-ion battery*** con un *Score* de 6,017. En este campo es crucial para la transformación energética con el enfoque de nuevos materiales para mejorar la eficiencia, durabilidad y rentabilidad de las baterías. Las baterías de iones de litio se utilizan ampliamente en electrónica portátil y vehículos eléctricos. Este frente es impulsado por la exploración de materiales innovadores para mejorar el rendimiento de la energía. Entre estas alternativas se encuentran las pilas de combustible, particularmente las de hidrógeno y óxido de sodio, con importantes avances investigativas ([IEA, 2024](#)). También, están los supercondensadores que emergen como una tecnología prometedora para sistemas de carga rápida y para extender la duración de la batería en dispositivos móviles. La investigación y el desarrollo en curso de estas áreas tienen

como objetivo la revolución de las tecnologías de almacenamiento de energía e impulsar la transición hacia soluciones energéticas sostenibles.

Por último está el frente de investigación denominado ***Generación de Energía Solar*** (coloreado en púrpura), con un 15% de participación en el Top y un 16% de la red con 4,016 AKs. El AK de mayor influencia del frente de investigación corresponde al descriptor ***solar energy*** con un *Score* de 5,528. La energía solar se posiciona como la energía de mayor impacto y crecimiento en la actualidad. Este frente de investigación es transversal, colabora con otros frentes de estudio, y está particularmente enfocado en optimizar y potencializar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos y térmicos. Para lograr esto, el modelado por computadora y la simulación son herramientas esenciales para la optimización del sistema, junto con el desarrollo de nuevos materiales para mejorar su eficiencia. La utilización de dispositivos semiconductores como el silicio con las células solares, junto con los avances en dispositivos electrónicos son clave para aumentar la potencia, generación y eficiencia en los sistemas solares fotovoltaicos. La integración de estos enfoques en el frente púrpura, tiene como objetivo impulsar la innovación y el progreso con las tecnologías de energías renovables para un futuro sostenible para la vida en el planeta.

4.4.1. Evolución de los frentes de investigación en ER del mundo

La evolución de los frentes de investigación se desarrolló con base en los segmentos temporales descritos en el apartado anterior: *Fomento Global de las Energías Renovables* (2000-2012), *Expansión Global del Conocimiento sobre ER* (2013-2019) y *Transformación Global de las Energías Renovables* (2020-2022). La segmentación temporal da cuenta de la permanencia, consolidación, desaparición y/o ausencia de los principales términos clave en la investigación en ER, de manera que se puede observar cómo evolucionan las principales líneas de investigación a nivel mundial y crear un *baseline* sobre el que comparar cómo evolucionan las líneas de investigación en cada uno de los países de la Alianza del Pacífico. Esto permite evidenciar las dinámicas de las líneas de investigación de cada frente y la conformación y/o maduración de temáticas emergentes, así como detectar ventajas competitivas y la homologación/diferenciación con las tendencias mundiales.

Para ello, se empleó a nivel general un Top 30 de *AKs* mediante el indicador de influencia (*Score*) que representa los cinco frentes de investigación en ER (Figura 4.7) y que se pueden consultar en los anexos del 3 al 8.

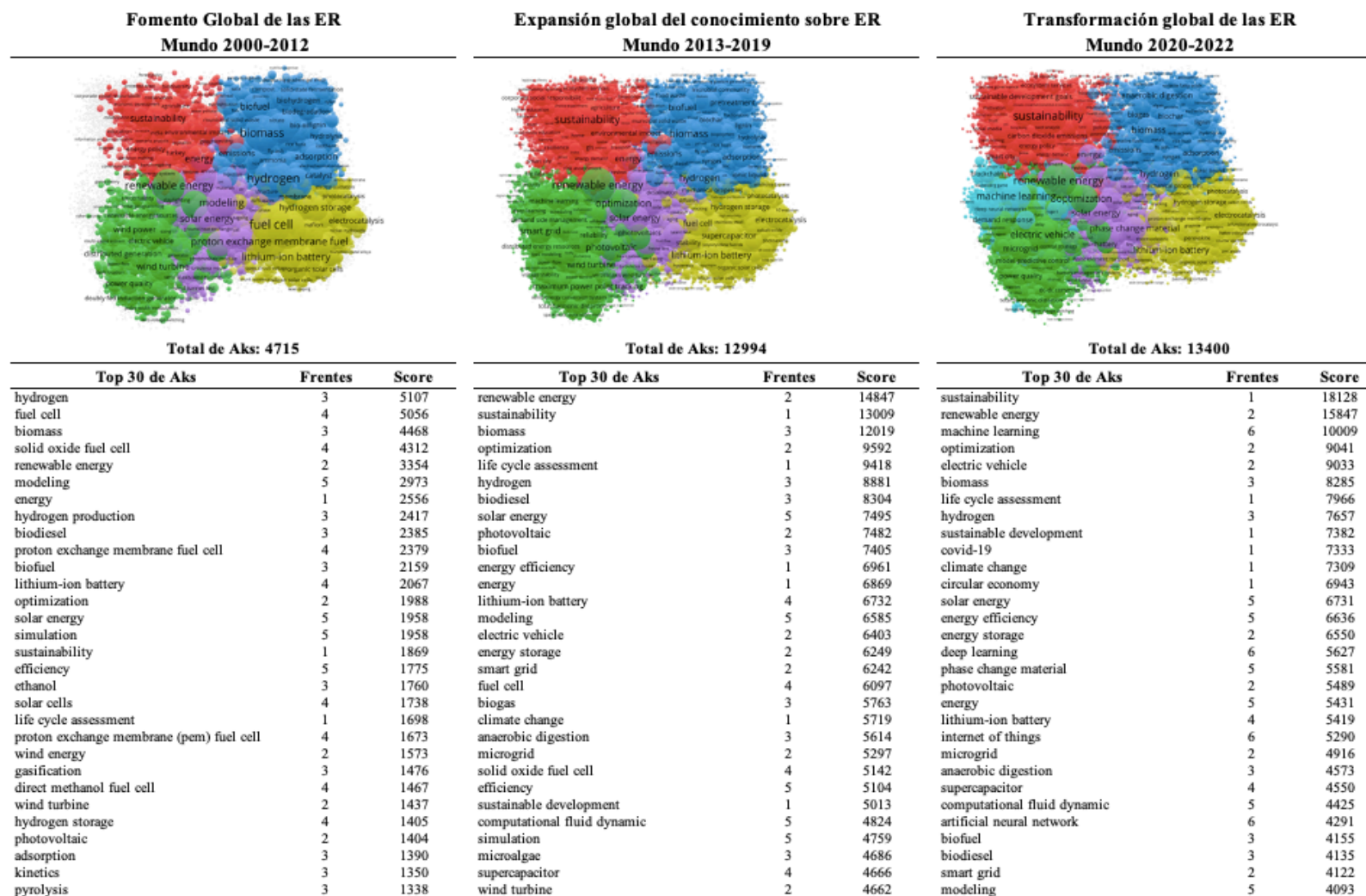
i) Fomento Global de las ER del mundo 2000-2012

El primer segmento temporal contiene 146,839 documentos y 4,715 palabras clave de autor (*AKs*). El frente más destacado corresponde a la **Generación en Biocombustibles** con un 33% de representatividad (Figura 4.8) y 1,309 *AKs* (Anexo 5). El término *hydrogen* acumula el mayor *Score* con 5,107 (Figura 4.9). La producción del hidrógeno por medio de los desechos orgánicos y otros procesos se le ha denominado biohidrógeno. Constituye una de las innovaciones de biocombustibles de mayor impulso para la sustitución de los combustibles fósiles, seguridad energética y sostenibilidad ambiental. No obstante, en la actualidad existe el desafío en sus costos de producción que requieren ser superados con la convergencia e impulso de las nuevas innovaciones tecnológicas ([Martinez-Villarreal et al., 2023](#)). Los biocombustibles derivados de la biomasa han tenido gran influencia en el segmento temporal. Principalmente en las investigaciones relacionadas con la producción de bioetanol, biodiesel y una línea emergente con las microalgas. El desarrollo de estas investigaciones es justificado por la emergencia del calentamiento global y el cambio climático que son los aspectos críticos en la sostenibilidad.

El segundo frente de mayor importancia entre el año 2000 y el 2012 es el **Almacenamiento de Energía Renovable**, con un 27% del Top 30 y 1,068 *AKs* (Anexo 6). La palabra clave más relevante es *fuel cell* (*Score* = 5,056). Las celdas de combustible son una de las soluciones de vanguardia en tecnología de conversión y almacenamiento de energía renovable. Entre ellas se destacan las celdas de combustible de hidrógeno ([Hassan et al., 2024](#)), óxido de sodio ([Shah et al., 2023](#)), microbianas ([Sharma, et al., 2024](#)), entre otras emergentes. Otro de los grupos temáticos de investigación en crecimiento es el almacenamiento de energía como las baterías de litio empleadas en los dispositivos móviles y vehículos eléctricos ([Aghmadi & Mohammed 2024](#); [Moradi 2021](#)). También están los supercapacitores que es una tecnología emergente de almacenamiento de energía con ventajas únicas por su alta densidad de potencia, carga rápida y mayor vida útil ([Abraham et al. 2023](#)). Este grupo comprende investigaciones en la ciencia de los materiales y distintas

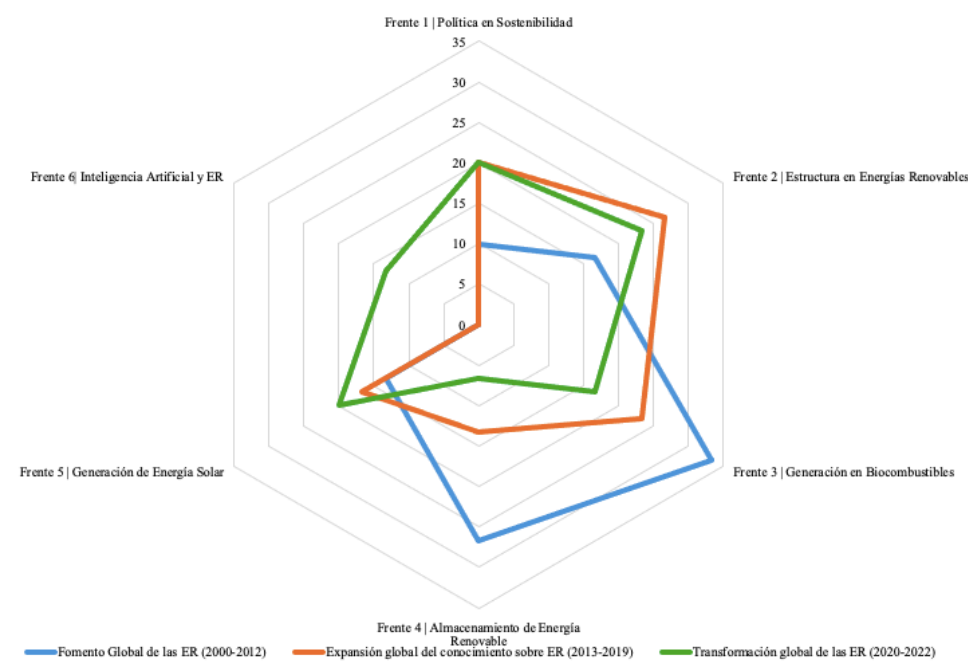
Figura 4-7

Evolución de las ER en el Mundo



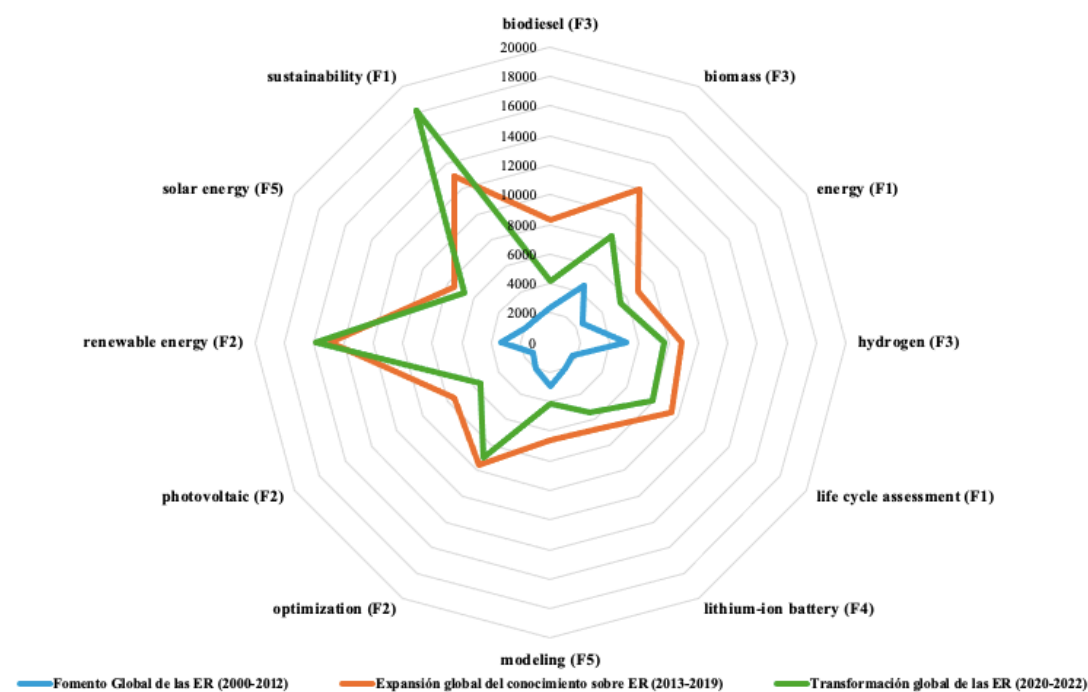
Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La tabla muestra la evolución de la producción científica de la ER del mundo segmentada por periodos temporales mediante la metodología de la segunda derivada descrita en el capítulo III.

Figura 4-9
Comportamiento de los frentes de investigación en ER en el tiempo del mundo



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Figura 4-8
Evolución de los AKs en las ER en los segmentos temporales



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

técnicas utilizadas en celdas de combustible y almacenamiento de energía. Los materiales emergentes como los nanotubos de carbono y el dióxido de titanio son materiales avanzados que pueden mejorar la eficiencia de las celdas de combustible y las baterías ([Li et al. 2021](#)). Los Sistemas Científicos (SC) relacionados a estas líneas de investigación presentan desafíos de costos, diseño y eficiencia energética, pero su crecimiento está acompañado con la convergencia tecnológica de las microrredes que integran la energía eólica, fotovoltaica y las baterías eléctricas para garantizar el suministro de energía renovables de manera sostenible y confiable para los consumidores ([Sankara et al., 2024](#)).

El tercer frente de investigación más importante en este periodo es el de **Estructura en ER** (coloreado verde) con un 17% y lo componen 726 *AKs* (Anexo 4). El *AKs* de mayor *Score* corresponde **renewable energy** (3,354). El frente de color verde presenta una tendencia a las temáticas de sistemas híbridos con energía eólica y fotovoltaica. Así como, su integración al sistema tecnológico de los vehículos eléctricos que requieren de la optimización y eficiencia en la generación de energías renovables. Esto quiere decir, que su implementación requiere de técnicas y marcos de optimización para mejorar el desempeño y rentabilidad del sistema. Igualmente, la tendencia de las investigaciones desarrolladas en el periodo, sustentan la integración de tecnologías avanzadas para mejorar el rendimiento y eficiencia de los SC en la energía híbrida. De este modo, emerge para la época la inteligencia artificial que se integra como una herramienta para la toma de decisiones de las áreas de diseño, generación, distribución e inversión en las ER ([Yu, et al, 2023](#)).

El cuarto frente es el de **Generación de Energía Solar** (coloreado en púrpura) con un 13% de representatividad del Top y lo componen 844 *AKs* (Anexo 7). Las *AKs* de mayor *Score* de este frente corresponden a **modeling** (2,973). En el frente púrpura existe un fuerte dominio de la energía solar y en menor medida la energía geotérmica, que se complementa para estructurar un SC con energía híbrida. Derivado de este SC, se establecen líneas de investigación de cogeneración y la generación de energía como fuentes eficientes para producir electricidad y calor simultáneamente ([Assad et al. 2020](#)), almacenamiento ([Li et al. 2020](#)) y propuestas de solución a los impactos al medio ambiente ([Pramanik & Ravikrishna, 2017](#)). Ambas energías evolucionan con técnicas avanzadas de modelados que garantizan la eficiencia y la optimización. Los modelos de la dinámica de fluido asistido por computador evalúan los rendimientos de las energías híbridas como las chimeneas de energía solar

asistida por energía geotérmica. El sistema híbrido garantiza una producción constante de energía, se gestionan pérdidas de energía y disminuyen los costos al consumidor ([Noorollahi et al., 2023](#); [Templeton et al., 2015](#)). La eficiencia de este sistema híbrido, muestra temáticas investigativas de transferencia de calor y almacenamiento de energía. Las bombas de calor, los intercambiadores de calor y los nanomateriales de cambio de fases son los desarrollos investigativos claves en el SC en este segmento ([Ly et al. 2024](#)).

El último frente de investigación del primer segmento temporal corresponde al de ***Política en Sostenibilidad*** (coloreado en rojo) con un 10% de participación y 768 AKs (Anexo 3). Las AKs de mayor *Score* son ***energy*** (2,556) y ***sustainability*** (1,869). Las investigaciones de este frente proponen una política sostenible en integración con las ER. Componente esencial para el desarrollo de las naciones hacia la sostenibilidad. Involucra sectores específicos de un país como la industria manufacturera y la agroindustria que son los llamados a incorporar procesos de sostenibilidad energética, generar impactos positivos con la disminución de los gases de efecto invernadero, establecer una resiliencia climática con el uso eficiente de los recursos naturales ([Chel, et al., 2011](#)). Por lo tanto, las líneas de investigación soportan iniciativas de políticas que pueden estimular eficazmente los sistemas de innovación tecnológica de manera competitiva y las tecnologías emergentes de un país como la energía solar que requieren una participación activa de los actores de la innovación ([Johnstone et al., 2010](#)). Por lo que, se evidencia una tendencia de investigaciones sobre el estímulo del capital humano mediante una educación sostenible que genere las competencias necesarias para el desarrollo de estas tecnologías y la innovación social ([Verma, et al., 2023](#)).

ii) Expansión Global de Conocimiento sobre ER del mundo 2013-2019

El segundo segmento temporal contiene 334,182 documentos y 12,994 AKs. Esto representa un incremento del 176% en un margen de 5 años. En la dinámica desarrollada en las investigaciones en ER en el mundo, se observó un cambio y tendencia hacia el frente de investigación de ***Estructuras de ER*** (coloreada de verde). Este frente posee la mayor participación con un 27% y 2,985 AKs. En relación al segmento temporal anterior presenta un incremento del 411% en las AKs. El principal término es ***renewable energy*** con un *Score* de 14,847. Es de resaltar que pasa del puesto cuatro en el segmento anterior al primer puesto con el incremento de investigaciones de energía eólica y solar fotovoltaica. Igualmente, continúan los desarrollos de investigaciones relacionadas a tecnologías en producción de

vehículos eléctricos, sistemas de almacenamiento e integración en redes de ER. Existe un incremento en las temáticas de optimización de ER con técnicas que contribuyen al sistema energético y a la gestión de la demanda. Los algoritmos genéticos y de enjambre de partículas como técnicas utilizadas para resolver problemas complejos de gestión de red eléctrica. Las temáticas de investigación del frente verde, se potencializan con la integración de tecnologías avanzadas como la IAs y el *machine learning* para la optimización de los sistemas híbridos de energía renovable.

El segundo frente de mayor importancia es el de *Generación en Biocombustible* (coloreado en azul), que es relegado al segundo lugar con un 23% de participación en el Top 30 con un incremento de *AKs* del 122% (2,908) en relación al segmento anterior. Además, la *AK Biomass* continúa en la tercera posición con un *Score* de 12,019 en relación al segmento temporal anterior. Este frente madura un SC relacionado con investigaciones de la producción de biocombustibles mediante la transformación de biomasa. Destaca el bioetanol, biodiesel, biogás y sus subproductos como el biochar y el polímero orgánico lignin. También, se incrementa la influencia de las líneas de investigación relacionadas con la producción de hidrógeno mediante procesos orgánicos como la pirólisis ([Yıldız, et al. 2023](#); [Rahimpour, et al. 2016](#)), hidrólisis enzimática ([Cai et al. 2022](#)).

El tercer puesto es para la *Política en Sostenibilidad* (coloreado de rojo) que representa el 20% del Top. Este frente de investigación posee el mejor rendimiento de influencia en la producción científica. Si se analiza en relación al segmento anterior, se encontraba en el último puesto y en este segmento gana dos puestos. Esto quiere decir que presenta un dominio científico de interés global con un incremento de 289% de *AKs* (2,990). Asimismo, la *AK* de mayor *Score* es *sustainability* (13,009) y a nivel de todo el segmento temporal es el segundo *AKs* mejor posicionado. Este frente incluye términos relacionados con la sostenibilidad, el medio ambiente y los impactos ambientales que se pueden entender en un solo grupo temático. Por un lado, la sostenibilidad ha ganado una fuerte influencia como concepto clave para el desarrollo de políticas encaminadas a la protección del medio ambiente, la mitigación del cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, existen investigaciones de políticas sobre economía circular que son determinantes para lograr la sostenibilidad mediante la disminución de la huella de carbono y la gestión de residuos. También, es evidente la influencia temática de

China e India como países que efectúan esfuerzos en sus políticas de sostenibilidad e integración de energías sostenibles ([Sakib, 2024](#)). Aunque son países reconocidos por su macro consumo de combustibles fósiles, son referentes mundiales en la integración de los ODS con las políticas relacionadas a la seguridad energética y sostenibilidad ([Hossin et al. 2023](#)).

El cuarto puesto es para el frente de **Generación en Energía Solar** (coloreado en púrpura) con el 17% de participación y conserva este puesto desde el segmento anterior. Igualmente, posee un crecimiento del 130% de *AKs* respecto del segmento anterior. En esta ocasión cambia la relevancia de *AK* por **solar energy** con un *Score* de 7,495. El frente púrpura, se caracteriza por la integración híbrida de la energía solar y geotérmica. Esta combinación, emerge como una nueva línea de investigación que se consolida en el tiempo con un SC que sigue en desarrollo. Una de las temáticas más relevantes de este frente, es la *energía solar concentrada*. Esta comprende un sistema que enfoca la luz solar con espejos y lentes para producir vapor a altas temperaturas ([Ayvaz & Bayrak, 2024](#); [Abdilmouti, 2021](#)). Y en combinación con el sistema del *ciclo orgánico de Rankine* que convierte el calor de baja temperatura en electricidad, se adecua e integra un sistema eficiente de cogeneración ([Mirjanić et al. 2023](#)). Por lo que, la producción de electricidad y calor se puede emplear en el consumo doméstico sea para calefacción y/o energía de uso común de los electrodomésticos ([Pedraza 2021](#)). Las energías híbridas del frente púrpura, se pueden distinguir mejoras en el sistema en cuanto investigaciones sobre transferencia de calor, almacenamiento térmico ([Bisariya et al. 2024](#)) y el empleo de nuevos materiales como los nanofluidos que es empleado en distintos dispositivos de los paneles solares para mejorar su rendimiento térmico ([Sonawane & Thakur 2024](#); [Fersadou et al. 2023](#)).

El último frente de investigación para este segmento temporal corresponde al **Almacenamiento de ER** con el 13% de participación en el Top. En el segmento anterior se encontraba de segundo y para éste cae tres puestos. La *AK* de mayor relevancia es **lithium-ion battery** con un *Score* de 6,732 que mejora su posición respecto de otras *AK* relacionadas al almacenamiento de energía. Igualmente, en este segmento continúan con una mayor influencia las líneas de investigación relacionadas con las baterías de sodio y los supercapacitores que requieren mejoras en su durabilidad y rendimientos en los dispositivos ([Hou et al. 2023](#)). Una de las iniciativas en experimentación para la época, es la utilización

de nuevos materiales como el grafeno y los nanocompuestos para mejorar la eficiencia y capacidad de almacenamiento de energía ([Zafar et al. 2024](#); [Kausar et al. 2024](#)). Estos materiales avanzados poseen características de alta electroconductividad, conductividad térmica y un menor impacto ambiental en comparación con otras nanotecnologías ([Kahraman et al. 2023](#)). Otro aspecto importante, es la convención y recolección de energía mediante el estudio de las reacciones químicas de las baterías como la *electrocatalisis* y el *diseño de los electrodos* para la convención eficiente de entrada y salida de la energía ([Huang et al. 2024](#); [Demirel, 2012](#)).

iii) Transformación Global ER del mundo 2020-2022

El tercer segmento presenta varias particularidades. En primer lugar solo hay un margen de tres años que supera el segmento temporal anterior con 13,400 *AKs*, pero que teniendo en cuenta el ritmo de producción científica actual recoge un porcentaje de publicaciones suficientemente significativo para realizar el análisis. La segunda particularidad corresponde a la generación de un nuevo frente de investigación en la red que se denomina ***Inteligencia Artificial y ER*** y corresponde al frente 6 de la Figura 4.7 con 1,929 *AKs* (Anexo 8). Aunque las palabras clave de este nuevo frente de investigación fueron creadas con anterioridad, las convergencias entre ellas marcan un cambio de paradigma tecnológico que continúa en desarrollo.

Las estructuras que conforman el frente de ***Inteligencia Artificial y ER*** (coloreado en celeste) son transversales, pero provienen específicamente el frente de ***Estructuras de ER*** (coloreada de verde) que procura la optimización del sistema híbrido eólico-fotovoltaico y el frente de ***Generación en Biocombustible***. Por su nivel de importancia y novedad se ubica en el quinto lugar con el 13% de participación en el Top 30. Por lo tanto, su integración con otros frentes de investigación lo ubica como un acelerador de la producción investigativa en el mundo. De este modo, se distingue la *AK machine learning* como el de mayor influencia del frente con un *Score* de 10,009. En el frente ***Inteligencia Artificial y ER***, se agrupan temáticas de algoritmos y modelos matemáticos para realizar predicciones y clasificaciones de los datos provenientes de los sistemas de las ER ([Bhutta et al. 2024](#)). Por lo que, la predicción y el pronóstico son fundamentales en diversas aplicaciones, desde la previsión de la demanda de energía hasta el diagnóstico de fallos en el sistema de producción ([Le et al. 2024](#)). Ello beneficia al sistema, al superar desafíos que incluyen un mayor rendimiento

energético, costos operativos reducidos y una mejor estabilidad de la red ([Ukoba et al. 2024](#)). Todo esto es posible gracias a la integración y avance de sensores que son componentes clave en este ecosistema. Una vez recopilados los datos del entorno se hace un análisis de datos y se genera un diagnóstico para la toma de decisión. También, hay un crecimiento de la ciberseguridad con fuerte integración de tecnología *blockchain* para evitar la pérdida o alteración de los datos proveniente de estos ecosistemas y garantiza que las transacciones relacionadas con la energía y el intercambio de información sean confiables ([Batool et al. 2024](#); [Alaguraj et al. 2024](#)).

El frente de investigación de **Estructuras en ER** (coloreado en verde) con el 23% de representación y 2,272 *AKs*, continúa en el primer puesto. La cantidad de *palabras claves de autor* registradas en este segmento disminuyó considerablemente en 24 puntos porcentuales en el Top 40, al igual que su participación el Top 30 en 4 puntos porcentuales. Esto indica que el sistema de todos los frentes de investigación a través del tiempo es dinámico. Igualmente, la *AK* de mayor *Score* corresponde a *renewable energy* (15,847) y queda relegado al segundo lugar del segmento temporal. Las investigaciones de los sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos presentan un crecimiento representativo en temáticas de generación y conducción para integrar las redes eléctricas. Los avances científicos anteriores obedecen a un crecimiento del mercado de vehículos eléctricos y el establecimiento de un SC competitivo liderado por la empresa estadounidense Tesla con notables innovaciones de inteligencia artificial y empresas chinas como BYD, Xiaopeng y NIO. Una de las características que hace competitiva a las empresas chinas, son las 605 mil empresas que hacen parte de la cadena de suministros relacionadas con las ER y los vehículos eléctricos en el 2023 ([Yang, 2024](#); [Porters, 2023](#)).

El segundo puesto es para el frente de **Política en Sostenibilidad** (coloreada en rojo) con el 20% de participación y 3,718 *AKs*. El crecimiento de *AKs* es del 24% en este segmento temporal. A nivel de representatividad el frente tiene la mejor evolución en los 23 años de análisis. El *AK* más relevante es *Sustainability* con un *Score* de 18,128. Las temáticas que se agrupan en el Top suman un proceso de integración en la política internacional por el desarrollo sostenible. La configuración de una política global toca las esferas sociales, económicas, ambientales ([Kent, 2014](#)). Parte de estas políticas transversales son los procesos de la innovación para la transición energética que deben adoptar los países mediante la

agenda 2030 y es específico el ODS-7. Asimismo, se suman temáticas de investigativos bajo el enfoque de la optimización de la energía y la competencia que el mundo empresarial debe adoptar mediante aspectos sostenibles como economía circular, responsabilidad social empresarial y el ciclo de vida del producto ([Baleta et al. 2019](#)).

El tercer lugar es para la investigación en ***Generación en Energía Solar*** (coloreada en púrpura) con el 20% del Top 30 y 1,929 *AKs*. En relación al segmento anterior decrece 0,8%. El *AKs* de mayor *Score* corresponde a ***Solar Energy*** con 6,731. Esto indica una disminución de influencia en esta línea de investigación, ya que en el segmento anterior tenía un *Score* de 7,495. El frente púrpura continúa en el desarrollo de sistemas de energía híbrida especializados en energía solar-geotérmica. Una de las tecnologías emergentes la componen los sistemas de conversión de energía que utilizan mecanismos innovadores para mejorar la eficiencia y la producción de manera sostenible. Entre estos, se encuentran las dinámicas de fluidos que se emplean en la conexión de varios sistemas para convertir la energía potencial del movimiento de fluidos en energía eléctrica ([Ghandehariun et al. 2024](#)); así como el sistema el motor de ciclo cerrado que genera energía eléctrica a través del movimiento del pistón y aprovecha las diferencias de energía térmica para impulsar el proceso de conversión ([Elkhatat, et al. 2023](#)).

El cuarto puesto le corresponde a la investigación en ***Generación en Biocombustibles*** (coloreada de azul) con el 17% de representación y 2,504 *AKs*. Este frente pierde dos puestos y pasa del segundo al cuarto lugar en este periodo temporal. En igual instancia, el *AK Biomass* con un *Score* de 8,285 prevalece como la línea de investigación histórica del frente, pero pierde a nivel general influencia por el reposicionamiento de los otros frentes. Es así como la producción de investigaciones relacionadas como bioetanol, biodiesel, biogás, las microalgas y los subproductos biochar y lignin estructuran el dominio científico. Incluso, se encuentran otras innovaciones relacionadas a la mejora de los procesos de producción mediante la hidrólisis enzimática para la producción de hidrógeno, catalizadores para la convención de biomasa y otros productos. Este frente de investigación ha presentado en los últimos 23 años una acumulación de conocimiento constante que estructura un SC reconocido. La consolidación del frente lo convierte como uno de los pilares que son determinantes en la transición energética y la reducción del calentamiento global.

En el último lugar está el frente de *Almacenamiento de ER* (coloreada de amarillo) con el 7% de representación y 1,803 *AKs*. Este frente de investigación queda relegado por el frente de investigación emergente sobre *Inteligencia Artificial en ER* (color celeste). El *AK* de mayor *Score* es *lithium-ion battery* con un valor de 5,419. Por una parte, el frente amarillo conserva las temáticas de investigación de la mejora y conservación en el almacenamiento como las baterías de iones de litio y sodio, así como supercapacitadores. Esto indica que se conserva la líneas estudios de nanocompuestos como el grafeno y se integra la línea de nanopartículas de carbono. Estas investigaciones buscan mejorar la capacidad eléctrica y la estabilidad dentro de las baterías de iones de litio ([Kausar & Ahmad 2024](#)). Por otra parte, se sostiene que la producción de investigaciones relacionadas con el almacenamiento de celdas de combustibles en específico las relacionadas a la reacción de la evolución del hidrógeno. Este proceso busca generar una mayor eficiencia de reacción electroquímica para dividir la molécula del agua y producir hidrógeno y oxígeno gaseoso ([Pan, 2024; Jia et al. 2023](#)).

En los siguientes apartados se presenta un análisis que permite establecer comparaciones entre la tendencia de la producción científica a nivel mundial con las de los países de la Alianza del Pacífico, es decir, contrastar el estado de los frentes de investigación en ER de los países de la Alianza del Pacífico en relación a la tendencia de los resultados del mundo. El orden de presentación de los resultados corresponde al país de la AP se desarrolló de manera alfabética como: Chile, Colombia, México y Perú.

4.5. Frentes de investigación en Energías Renovables de Chile

Chile ha producido 2,923 documentos y lo componen 1,393 *AKs*. En el Top 40 de la Figura 4.10 establece la palabra clave *Chile* como el de mayor *Score* (337) y una ocurrencia de 138, lo que sugiere que las investigaciones están centradas en el propio país. De manera visual se puede apreciar en el mapa cognitivo una fuerte intensidad en los frentes de investigación *Política en Sostenibilidad* y *Estructura en ER*. Para profundizar en el análisis, se establece una comparación de los avances de investigación en ER de Chile y los resultados del mundo desarrollado en apartados anteriores. Chile presenta una tendencia homologable en relación al mundo en tres frentes de investigación (Figura 4.11).

Frentes de investigación de Chile en Energías Renovables

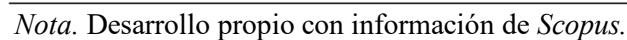
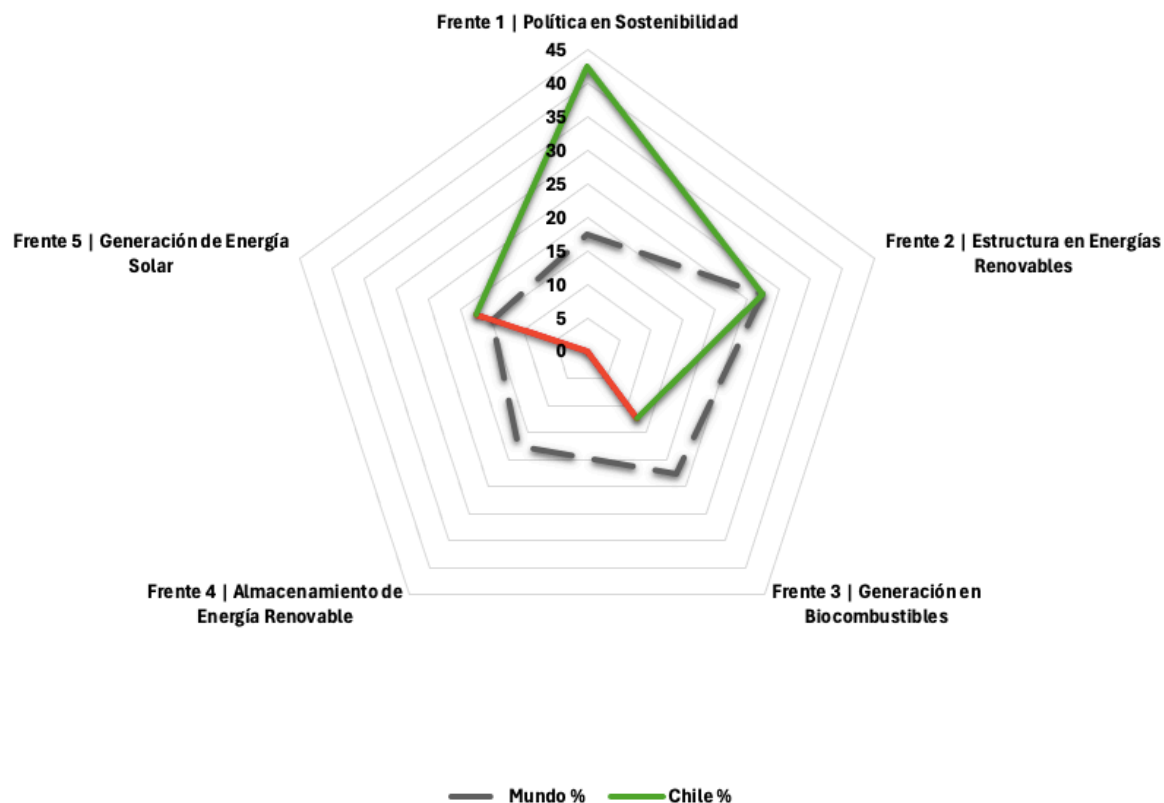


Figura 4-11

Tendencia de los frentes de investigación de Chile y el mundo 2000-2022



Legenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura señala una comparación de Chile de línea verde y el mundo de negro en relación al Top 40. La línea de color roja marca el frente de investigación en ER que se encuentra fuera de la tendencia mundial.

En primer lugar se encuentran las investigaciones sobre ***Política en Sostenibilidad*** (coloreada de rojo) con un 43%, una diferencia excepcional en comparación con el mundo (18%) lo que sugiere que puede haber una ventaja competitiva en este área. (Hay que recordar que este frente está ubicado en tercer lugar según el Top 40 del mundo). Asimismo, lo compone 531 *AKs* y el *AK* de mayor *Score* es ***Chile*** y en segundo lugar ***Sustainability*** con un *Score* de 294 (Anexo 9). Es evidente el grado de influencia que posee este frente de investigación en la gestión, desarrollo y planeación de las diversas políticas chilenas que se desarrollan ante la agenda global hacia la sostenibilidad. Este análisis entra en sintonía con el informe *Climatescope* de BloombergNEF 2023 que revisa el progreso hacia la energía limpia en 110 economías emergentes. En la edición de 2023, posiciona a Chile en el puesto

número tres gracias a sus avances con sólidas políticas en materia de energías limpias, sus ambiciosos objetivos y su compromiso general hacia las ER ([Machado et al., 2023](#)). Las temáticas de mayor relevancia en el frente rojo componen la integración de los ODS con un enfoque particular hacia la economía circular, cambio climático, impactos ambientales, gestión de los residuos, eficiencia energética y América Latina que componen estudios de contextos regionales sobre energías renovables.

El segundo frente de investigación es el de **Estructura en Energías Renovables** (coloreada de verde) con un 28% de representatividad en el Top 40 y 317 AKs. La AK de mayor *Score* corresponde a **renewable energy** (212), se asemeja a la tendencia mundial. Otra AK destacada es **wind energy** con un *Score* de 47. De acuerdo con el análisis mundial el frente verde propone una interacción de la energía eólica y fotovoltaica de manera híbrida. Esta tendencia la comparte Chile al integrar desarrollos investigativos de generación y distribución de ER mediante las **microgrid**. Este grupo se componen de iniciativas investigativas tendientes al análisis de mercado, niveles de costos, optimización, almacenamiento y gestión de las energías renovables.

El tercer frente de investigación corresponde a la **Generación de Energía Solar** (coloreado en púrpura) con 18% del Top y lo comprenden 180 AKs. Chile también presenta una ventaja competitiva ya que se encuentra con tres puntos porcentuales por encima del mundo (15%). Igualmente, comparte la tendencia del AKs de mayor influencia, **solar energy** con un *Score* de 155. El frente púrpura para Chile, es uno de los potenciales investigativos más importantes de América Latina y el mundo. Este país cuenta con una ubicación geográfica privilegiada y una de las regiones más soleadas del planeta, con altos niveles de radiación solar y baja nubosidad, lo que ofrece condiciones ideales para la producción de energía solar. En los resultados analizados en el frente púrpura en el mundo se consolida un SC de ER híbrido solar-geotérmico. En sintonía, se presentan investigaciones relacionadas al desarrollo de los *materiales de cambio de fase* y de las *sales fundidas*. Estas tecnologías son fundamentales para el almacenamiento de energía térmica en sistemas de energía solar ([Reddy et al. 2023](#)). El sistema requiere almacenar calor durante las horas pico de energía solar y liberándose cuando sea necesario. Esta recuperación de calor residual es una de los métodos de eficiencia energética de diversos procesos industriales ([Bisariya et al. 2024](#)). Así como, temáticas de optimización, simulación, predicción y rendimiento de la producción de

las ER. En este orden de ideas, Chile posee un SC de almacenamiento de energías en desarrollo e integrado a un mercado en potencia y consistente con la demanda mundial de energías renovables.

La investigación en **Generación en Biocombustibles** (coloreada de azul) con el 13% de participación y presenta una diferencia negativa de 10 puntos porcentuales en relación a la tendencia mundial (23%). La AK de mayor *Score* es el **hydrogen** con 70. Este valor está entre los más débiles de las AKs en comparación con los otros frentes de investigación. Chile apuesta en el mercado de los biocombustibles y se presenta ante el mundo como el gran proveedor mundial de hidrógeno verde a bajo costo ([Cruz et al. 2023](#)). Eso implica superar un proceso de producción, cadenas logísticas, impactos sociales y justicia ambiental de acceso a la tierra y al agua dentro del territorio chileno. Estos desafíos se convierten en fuente de investigación dentro de un SC en crecimiento ([Isidoro 2022](#)).

Por último está el frente de investigación de **Almacenamiento en ER** (coloreado de amarillo) no tiene participación el Top 40 para Chile. Sin embargo, si se observa con detalle el Top 20 (anexo 9) la relevancia de la AK **photovoltaics** presenta un *Score* de 35 y el término **lithium** con un *Score* de 12 que en contraste con la tendencia mundial presenta una gran influencia como línea de investigación. Por lo que, Chile es un actor importante en el frente amarillo ya que se encuentra en el triángulo de litio y es uno de los mayores proveedores de materia prima para fabricar las baterías eléctricas de iones de litio. Lo que indica una ventaja competitiva como proveedora de la materia prima, sin embargo, es un producto que no genera valor agregado ([Irrazaval et al. 2023](#)). De acuerdo con un reportaje de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile ([2020, March 26](#)) la investigación sobre el almacenamiento en ER presenta varios obstáculos para producir baterías de litio: la primera es la falta de gestión en el conocimiento e incentivo de mercado en este sector; segundo, es la complejidad en la I+D de alta tecnología y; tercero, son los costos de producción de las baterías que requieren componentes como grafito, aluminio, cobre, níquel, manganeso y cobalto, que son materiales de otras latitudes e incrementan su costos de producción.

4.5.1. Evolución de los frentes de investigación en ER de Chile

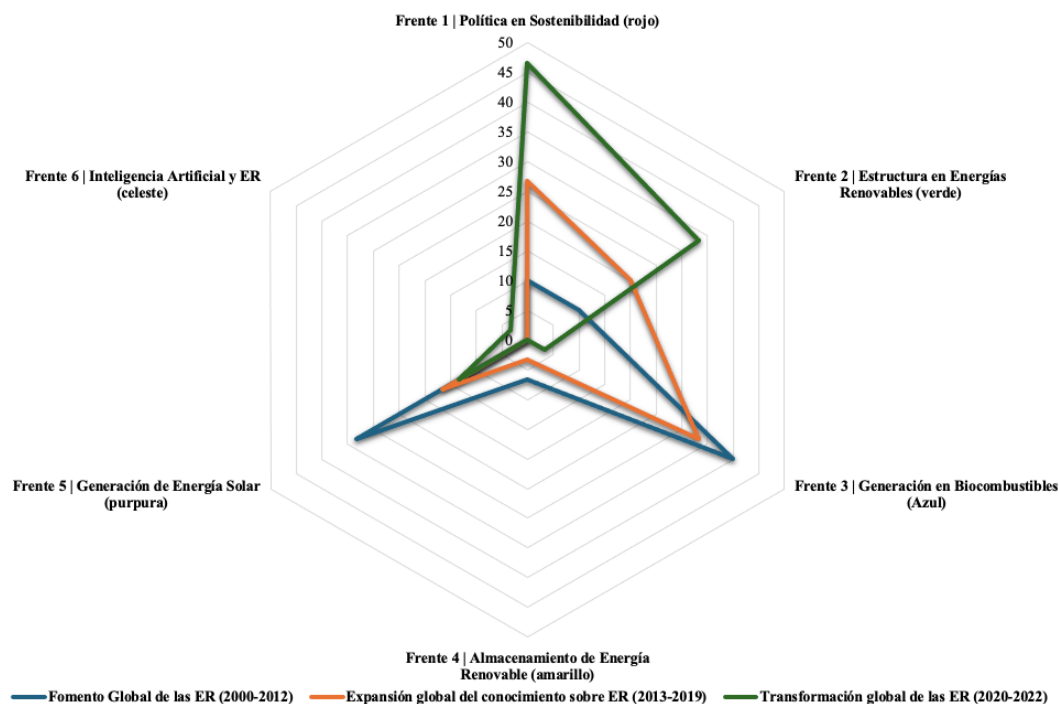
Chile presenta marcadas transformaciones en sus frentes de investigación en los tres segmentos temporales definidos para los 23 años de análisis (Figura 4.12). La Figura 4.13 representa estos frentes de manera porcentual para su clasificación y conlleva un crecimiento importante en la evolución de la investigación en **Política en Sostenibilidad y Estructura en ER** a través del tiempo. En sintonía con la tendencia de producción científica a nivel del mundo, se contrastó los tres segmentos temporales para Chile:

i) Fomento Global de las ER de Chile 2000-2012

El primer segmento temporal denominado **Fomento Global de las ER** contiene 238 documentos y lo componen 81 AKs. Los frentes de investigación de mayor influencia para este periodo son la **Generación de Biocombustibles** (coloreada de azul) y la **Generación de Energía Solar** (coloreada en púrpura) que acumulan el 73% de la producción en el Top 30.

Figura 4-12

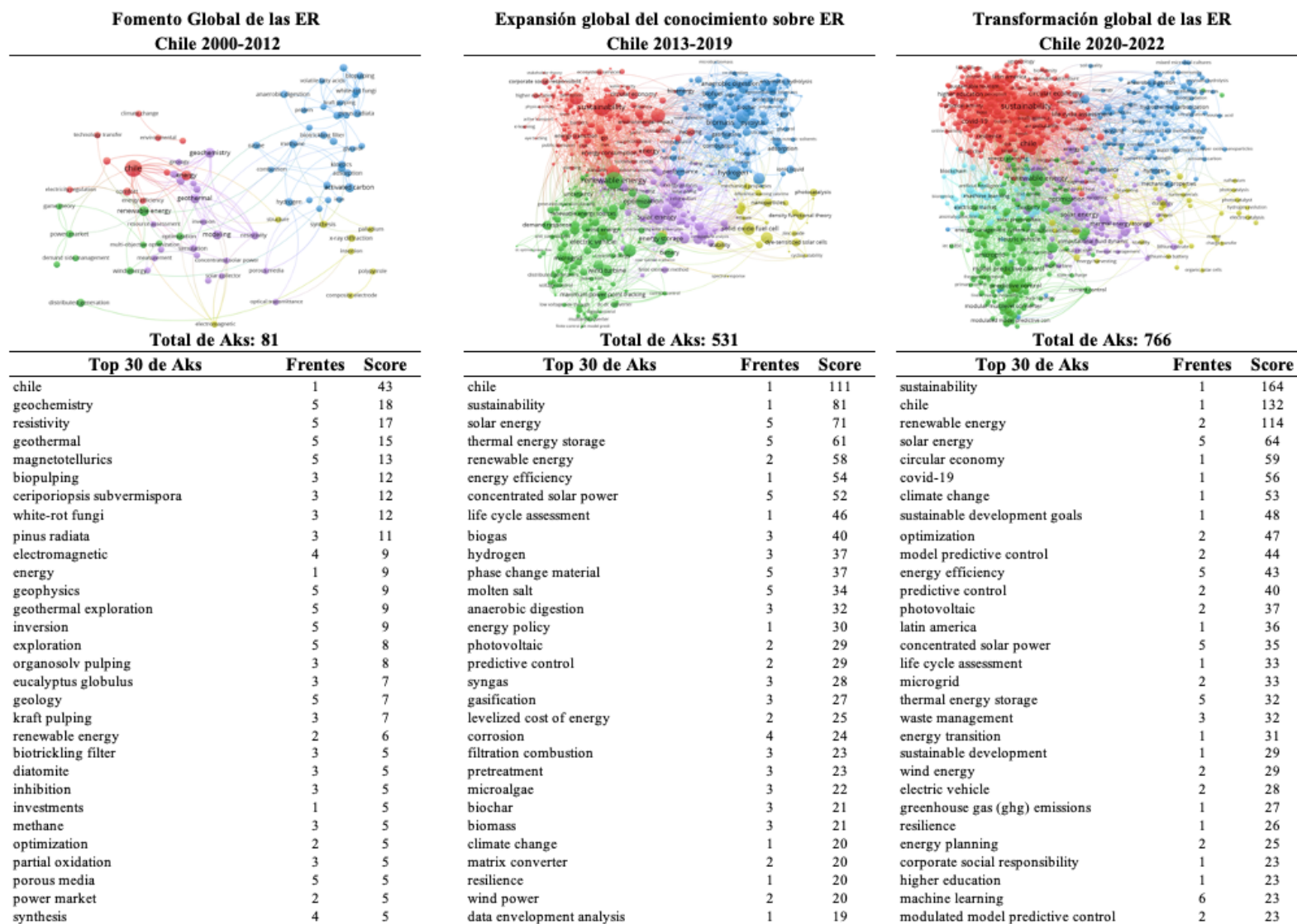
Comportamiento de los frentes de investigación en ER en el tiempo de Chile



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Figura 4-13

Evolución de las ER de Chile



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

En el frente de ***Generación en Biocombustibles*** con un 40% del Top y 31 *AKs* (Anexo 12). Existen disparidades con la producción científica mundial ya que solo hay 5 términos relacionados con la producción de biogás y metanol. La *AK* de mayor influencia es ***biopulping*** con un *Score* de 12. Las temáticas de mayor influencia son la producción de biohidrógeno mediante el proceso de la digestión anaeróbica; investigaciones en biotecnología como biopulping que es un bio-procedimiento muy utilizado en la industria de papel que requiere como insumo principal la celulosa que se obtiene por la descomposición de la madera mediante hongos ([Moya et al. 2023](#); [Wei et al. 2021](#)); y el proceso de tratamiento de aguas residuales y los residuos sólidos municipales como fuente de producción de biomasa y convertidas en biocombustibles ([Mayilswamy et al. 2024](#)).

El segundo frente es la ***Generación de Energía Solar*** (coloreada en púrpura) con un 33% de participación y 21 *AKs* (Anexo 14) en las que sólo coincide con la tendencia mundial en 4 *AKs*, destaca ***geochemistry*** (*Score* = 18) como el término de mayor relevancia. Esto sugiere que el Sistema Científico de Chile presenta otros intereses investigativos y/o obstáculos sea por aspectos políticos, económicos y/o tecnológicos que distan de las líneas de investigación internacionales en este periodo. Por un lado, Chile presenta temáticas relacionadas a las investigaciones de energía geotérmicas y solar. No obstante, se observa que no hay muchos artículos publicados en esta línea de investigación en los primeros años del periodo analizado. Ello supone, no sólo un ligero desfase con la tendencia de investigación de las energías híbridas solar-geotérmica que se desarrollan en el mundo, sino un decrecimiento considerable con respecto al primer periodo donde Chile presentaba una ventaja competitiva con respecto al mundo. La energía solar presenta una menor influencia, pero con líneas de investigaciones orientadas al desarrollo de colectores solares. Tanto la energía solar como las geotérmicas son susceptibles de mejora continua, por lo que, se contemplan temáticas que procuran soluciones mediante modelos y simulaciones matemáticas para este tipo de sistemas. Por otro lado, es reconocido que Chile es uno de los exportadores principales de minerales que son fundamentales para la transición energética como el litio y el cobre. La demanda de cobre para los sistemas producidos y conducción de ER es determinante para la transición energética. Lo que procura que Chile sea uno de los socios comerciales de mayor relevancia para garantizar el desarrollo de proyectos de energía eléctrica convencionales y renovables ([Abbas et al. 2024](#); [Herrera, 2022](#)).

El tercer frente es para **Política en Sostenibilidad** (coloreado en rojo) con el 10% de participación en el Top y 11 *AKs* (Anexo 10). Es uno de los frentes con menores investigaciones para este segmento temporal, con 5 términos claves en consonancia con la investigación a nivel mundial, principalmente en la *AK energy* con un *Score* igual a 9. Pero lo realmente significativo de este frente de investigación es que el término **Chile** es la principal palabra clave (*Score* = 43). Este resultado es muy relevante porque las investigaciones poseen un enfoque de estudio delimitado al propio país, es decir investigaciones sobre problemas locales, lo cual es relevante para la agenda científica chilena. El frente de color rojo presenta preliminarmente un enfoque temático en la regulación, la eficiencia e inversión energética. Estas temáticas se vinculan con las políticas estratégicas del impacto ambiental del país y sus posibles soluciones como la gestión y transferencia tecnológica para una transición energética eficiente.

El cuarto frente corresponde a la **Estructura en ER** (coloreado en verde) con 10% del Top y contiene 10 *AKs*, de las que 3 de ellas están en sintonía con la tendencia mundial (Anexo 11). La *AK* de mayor *Score* es **renewable energy** (6). El frente verde presenta un SC hacia las energías híbridas eólica-fotovoltaica a nivel del mundo, pero Chile en este segmento contiene líneas de investigación en la generación, distribución, optimización, análisis de mercado y gestión de la energía eólica. Esto implica un retraso evidente en el SC de Chile por el momento.

En el último lugar se encuentra la investigación sobre **Almacenamiento de ER** (coloreado en amarillo) con un 7% de participación y compuesto por 8 *AKs* (Anexo 13). El principal de estas *AKs* le corresponde a **electromagnetic** con un *Score* de 9. El frente amarillo es el de menor influencia en este segmento temporal y no presenta consistencia de *AKs* con el mundo. Esto no es algo negativo, solo sugiere intereses distintos en los temas de investigación de los investigadores chilenos que se enfocan en el uso de materiales para el desarrollo de electrodos eficientes compuestos de paladio y el uso de nanoestructuras metálicas de polipirrol. Los metales sintéticos como el polipirrol presentan interés en los investigadores por poseer propiedades fisicoquímicas, facilidad de preparación, flexibilidad en las modificaciones de superficie y relaciones únicas entre estructura molecular ([Shimoga et al. 2021](#)).

ii) Expansión Global de Conocimiento sobre ER de Chile 2013-2019

Chile ha publicado 1,122 documentos representados por 531 *AKs*. De manera comparativa se observa un crecimiento de 371% de *AKs* respecto al segmento anterior.

Las principales líneas de investigación se desarrollan en torno a la ***Generación en Biocombustibles*** (coloreado en azul), que continúa con el liderazgo en los dos segmentos temporales. El frente azul representa un 33% del Top con 133 *AKs*. Esto representa un crecimiento de 329%. La *AK* de mayor influencia corresponde a ***biogas*** con un *Score* de 40. En relación a las *AKs* del mundo y del segmento temporal presenta una coincidencia en 13 *AKs*. Esto indica que hay una sintonía con las líneas de investigación de mayor influencia en el frente azul entre el mundo y Chile. Del segmento uno continúan las investigaciones centradas en ***hydrogen*** (*Score* = 37) y ***methane*** (*Score* = 16), lo que indica una acumulación de conocimiento en temáticas de producción de biocombustibles como biohidrógeno y biogás a partir de distintas fuentes de biomasa. También, se incluye bioetanol y microalgas como otras nuevas iniciativas de investigación en este periodo, junto con los procesos de conversión de la biomasa. Entre ellos, se destacan la pirólisis y la torrefacción que son métodos termoquímicos empleados en la transformación de la biomasa en syngas, hidrógeno y otros biocombustibles ([Mei et al. 2024](#); [Wang et al. 2023](#)).

El segundo frente del periodo temporal es el de ***Política en Sostenibilidad*** (coloreado en rojo) con el 27% de participación en el Top y 155 *AKs*. Presenta un crecimiento del 1,309% en el número de palabras claves de autor registradas en los artículos de investigación. Los términos más influyentes son ***Chile, sustainability, energy efficiency*** (*Score* = 111, 81 y 54 respectivamente). Del segmento uno, coincide con 3 *AKs*: ***climate change*** (20), ***environmental*** (9) y ***environmental impact*** (9). Asimismo, coincide con 9 *AKs* del mundo en el segundo segmento temporal. Chile desarrolla líneas de investigación enfocadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Presentan iniciativas de investigación de política centradas en la eficiencia energética y el control de las emisiones contaminantes. Del mismo modo, se establecen temáticas de evaluación del ciclo de vida de los procesos de impacto ambiental y propone el empleo de técnicas para consolidar análisis de datos y diagnósticos para el contexto ambiental de Chile y de la región.

Por su parte el tercer frente corresponde a la ***Estructura en ER*** (coloreado en verde) con el 20% de participación y 122 *AKs*, esto supone un crecimiento de 1,120% respecto al

segmento uno. El frente verde, se encontraba en cuarto puesto en el periodo anterior y gana un puesto en el Top del segmento dos. De este modo, *renewable energy* es la *AK* de mayor *Score* con 58, esto es un incremento muy relevante en la tendencia en esta área de investigación, y es uno de los 9 términos más relevantes que coinciden con la investigación mundial. Chile enfoca su investigación en las energías híbridas eólica-fotovoltaica. En el segmento uno, se presentaba un especie de retraso en el desarrollo de este tipo de tecnologías híbridas. Sin embargo, el SC de Chile se actualiza para el segmento dos con iniciativas investigativas en el orden energía fotovoltaica, eólica y su integración con la producción de electricidad rural mediante *microgrid*. Chile integra investigaciones de optimización de los sistemas de operación, control de las energías híbridas. Así como, los métodos para gestionar la generación y consumo de energía de manera eficiente mediante algoritmos predictivos e inteligencia artificial.

El cuarto puesto está el frente de investigación es para la ***Generación en Energía Solar*** (coloreada en púrpura) con el 17% de participación del Top y representado por 92 *AKs* (Anexo 14). En relación al primer segmento temporal tiene un crecimiento del 329%. No obstante, este frente pierde dos puestos respecto al segmento anterior que estaba en el segundo lugar en el Top 30. La *AKs* de mayor *Score* del frente es *solar energy* (71). También, el frente presenta una debilidad en relación a la acumulación de conocimiento del primer segmento temporal. Tan solo existen 3 *AKs* que continúan en el segmento dos: *solar energy* (71), *modeling* (19) y *simulation* (14). Del mismo modo, respecto a la tendencia mundial presenta 10 *AKs* que coinciden con las líneas de investigación desarrolladas por Chile. Esto implica que el SC de las energías híbridas solar-geotérmica de Chile se alinean con las dinámicas de investigación del mundo pero a una velocidad lenta. Las líneas de investigación se centran en las tecnologías de la *energía solar concentrada* con la implementación de espejos para centrar la luz solar y producir calor. Esta tecnología se integra a un sistema de almacenamiento térmico con el empleo de *materiales de cambio de fase* como las sales fundidas ([Ali et al. 2023](#); [Alnaimat et al. 2023](#); [Imran et al. 2023](#)). Los sistemas que integran el frente púrpura presentan iniciativas de investigación con enfoque hacia la optimización. Los modelos matemáticos y simulaciones son herramientas esenciales para la predicción y control de la operación del sistema solar, al analizar distintos escenarios para establecer la eficiencia energética.

El quinto y último frente le corresponde a **Almacenamiento de ER** (coloreada de amarillo) con el 3% del Top y 29 AKs. Respecto al primer segmento temporal presenta un crecimiento del 263% y presenta una acumulación de conocimiento en la AKs **x-ray diffraction** presente en el segundo segmento temporal. Asimismo, coincide en 7 AKs del mundo relacionados con los sistemas fotovoltaicos. La principal AK corresponde a **corrosion** con un Score de 24. Esto indica una fuerte influencia de investigaciones relacionadas a la resistencia de los materiales que componen los sistemas fotovoltaicos ubicados en zonas altamente corrosivas del mundo y en especial en el desierto de Atacama en Chile con alta intensidad de radiación solar y efecto de los rayos UV. Esto garantiza la resistencia, durabilidad y eficiencia de las instalaciones de las ER ([Correa-Puerta et al. 2021](#)). Por otra parte, están los enfoques de investigación relacionados con los sistemas fotovoltaicos y los desarrollos de dispositivos de almacenamiento de energía como las celdas solares sensibilizadas con tintes y celdas de combustible de óxido sólido. Igualmente, incluye dispositivos de almacenamiento como supercapacitores, litio y mgh₂, así como el compuesto de amonio cuaternario. Todos estos sistemas son susceptibles de mejoramiento y se evidencia desde el segmento uno la continuidad de líneas de investigación en la optimización mediante modelos matemáticos y simulaciones del sistema.

iii) Transformación Global ER de Chile 2020-2022

El tercer segmento temporal para Chile lo componen 1,507 documentos y 766 palabras claves del autor (AKs) con un crecimiento del 44% con respecto al segmento anterior. Existe un predominio científico de las ER en Chile concentrados en la **Política en Sostenibilidad y Estructura en ER** que representan el 80% del tercer segmento.

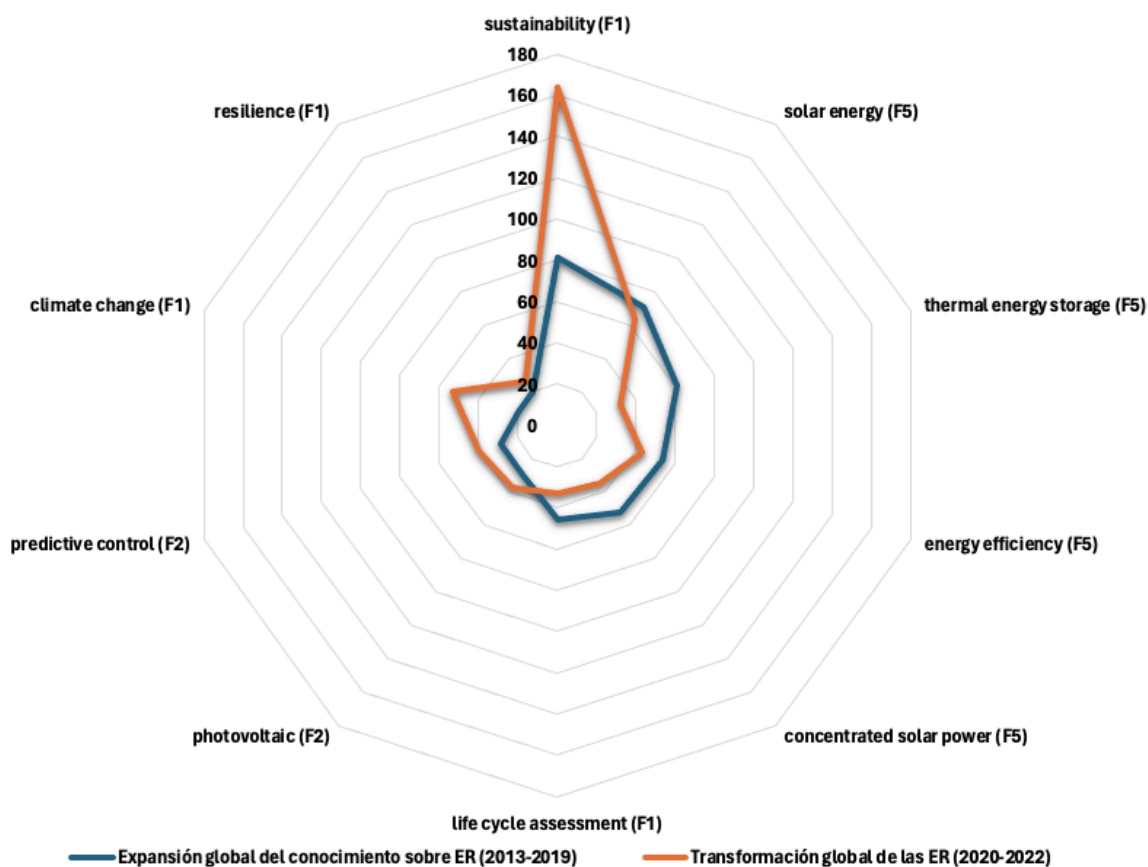
El primer frente de investigación es para la **Política en Sostenibilidad** (coloreada de rojo) con un 47% de representatividad del Top y lo constituye 338 AKs. Esto implica un crecimiento de 118% en relación al segmento dos y posee 15 AKs que corresponden a las líneas de investigación que continúan vigentes en el segmento tres. Igualmente, existe una coincidencia en 12 AKs de la tendencia mundial que establecen una articulación con el Desarrollo Sostenible. Una evidencia es que durante los dos segmentos anteriores la AK **chile** estuvo en el primer lugar, para este segmento tres es reemplazado por la AK **sustainability** con un Score de 164 y la AK de **chile** queda relegada en segundo lugar con un Score (132) (Figura 4.10). Esto indica que los avances en la investigación basados en la política aplicada

a la sostenibilidad en Chile se encuentra en armonía con la tendencia global hacia los 17 ODS y destaca las investigaciones en economía circular, responsabilidad social corporativa, descarbonización, pobreza energética y la educación superior.

El segundo frente de mayor influencia es para la **Estructura en ER** (coloreada de verde) con el 33% del Top y 154 AKs. Equivale a un crecimiento del 26% y siguen presentes 10 AKs del segmento anterior. Del mismo modo, coincide con 12 AKs del frente verde a nivel mundial, específicamente en el AK **renewable energy** que es el de mayor *Score* (114). Este frente está acompañado de otros AKs que indican una coherencia con los temas de investigación a nivel mundial, como el desarrollo temático de vehículos eléctricos, energía eólica que viene del segmento anterior con energía del viento. Esto indica la acumulación de conocimiento que evoluciona y converge con otras iniciativas de investigación del segmento anterior como **predictive control** (40) y **photovoltaic** (37) que han incrementado su influencia

Figura 4-14

Evolución de los AKs en las ER en los segmentos temporales para Chile



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

tal y como indica la Figura 4.14. El enfoque investigativo de Chile está encaminado a asimilar la tendencia del mundo hacia las energías híbridas eólica-fotovoltaica. Se encuentran en el último segmento temporal avances investigativos relacionados con la optimización mediante modelos predictivos de control de los sistemas híbridos de producción y almacenamiento. Esta información de optimización es esencial en la generación de diagnósticos útiles en la gestión de recursos energéticos, consideraciones en los costos e incertidumbres en la planificación energética de las *smart grid*.

El tercer puesto para este periodo es para la investigación sobre ***Generación en Energía Solar*** (coloreado en púrpura) con el 13% del Top y 84 *AKs*. Esto indica una disminución de representatividad de 10 puntos porcentuales en relación al segmento anterior, aunque sigue investigándose en 14 *AKs* del segmento anterior. Esto implica que existe una acumulación de conocimiento en progreso para la conformación de un SC de la energía híbrida solar-geotérmica. Por otro lado, el frente concuerda con 15 *AKs* Top mundial, concretamente en el *AKs solar energy* con un *Score* de 64. Está *AK* pierde valor en su *Score* respecto al segmento anterior que se encontraba entre los primeros tres *AKs* de importancia de la serie temporal. Las temáticas de investigación identificadas en el frente púrpura continúan en el proceso de mejora continua con la optimización de los sistemas de energía solar concentrada y los sistemas térmicos relacionados con el almacenamiento eficiente de energía. Asimismo, se identifican las temáticas para la viabilidad de los proyectos de energías renovables híbridas mediante la simulación de modelos matemáticos y de análisis de viabilidad económica.

El cuarto puesto es para el frente de la ***Generación en Biocombustibles*** (coloreado en azul) con el 3% del Top 30 y lo constituye 104 *AKs*. Esto implica un cambio de posición del frente azul que pasa del primer puesto en el segmento uno y dos al cuarto puesto, disminuye en 10 puntos porcentuales las *AKs* en relación al segmento anterior. Por su parte, existe una continuidad de 11 *AKs* del segmento anterior y una coincidencia con el Top del mundo con 8 *AKs* relacionados a la temática de biorrefinería de biohidrógeno y biogás. El término de mayor influencia del frente azul es ***waste management*** con un *Score* igual a 32. El término vincula una temática de investigación de gestión de residuos de vital relevancia en el contexto actual de acciones por el planeta por medio de la generación de biocombustibles. Existen muchos desechos derivados de los residuos de la agroindustria que

son aprovechables para la generación de energía de uso industrial, comercial y doméstico. Otra de las temáticas en desarrollo para Chile corresponde a la implementación de métodos para mejorar la producción de biocombustibles como el metano y principalmente hidrógeno mediante la fermentación oscura.

El quinto puesto le corresponde al frente emergente establecido como **Inteligencia Artificial y ER** (coloreado de celeste) con el 3% del Top y comprende 42 *AKs*. Concuerta con 13 *AKs* del Top del mundo, concretamente en **machine learning** con un *Score* de 23. La mayoría de los países en el mundo tratan de sumarse a esta nueva ola tecnológica y cambio de paradigma, por lo que un país en desarrollo como Chile no es la excepción. Son muchas las iniciativas de inversión en I+D relacionados con la IA en los distintos sectores de Chile. Las aplicaciones agrícolas como drones para el monitoreo de cultivos; la predicción de fallas en los procesos productivos; diagnósticos asistidos en el sector salud; detección de riesgos financieros e innumerables aplicaciones representan una ventana de oportunidad para incentivar un ecosistema de IA para Latinoamérica liderado por los países de la AP. La IA no es exclusiva de los países desarrollados sino que debe ser llevada de manera transparente y responsable a los contextos del mercado regional para que verdaderamente tenga sentido y se articule a las necesidades sociales, ambientales y políticas hacia la sostenibilidad energética.

El frente seis de este segmento temporal corresponde a **Almacenamiento en ER** (coloreado en amarillo) que no tiene participación en el Top 30. No obstante, presenta un crecimiento del 34% y continúan 6 *AKs* del segmento anterior que representan líneas de investigación enfocadas en nuevos procedimientos para la generación de nanopartículas. Por otro lado, el frente amarillo posee una similitud con el frente a nivel mundial en 9 *AKs*. Por lo que, coinciden principalmente en la *AK fuel cell* con un *Scores* de 11 y **hydrogen production** (8). Se desarrollan iniciativas emergentes de investigación relacionadas con el desierto de Atacama (ver Anexo 13). Es importante destacar que este lugar alberga proyectos de granjas solares y posee un gran potencial para desarrollar otras iniciativas de energías limpias, como la producción de hidrógeno verde, tema que ya hemos abordado en otros apartados del análisis de los resultados. Por consiguiente, el frente amarillo presenta una agrupación de temáticas que profundizan en los estudios de las propiedades y efectos de la atmósfera, la corrosión y durabilidad de los sistemas de energía solares ([Sameera et al. 2023](#)).

Al igual que, la evaluación ([Laaroussi et al. 2024](#)), monitoreo ([Lamrini et al. 2023](#)), planificación y rendimiento de los componentes de los sistemas fotovoltaicos, que son fundamentales para optimizar su eficiencia y sostenibilidad ([Ananto et al. 2023](#)).

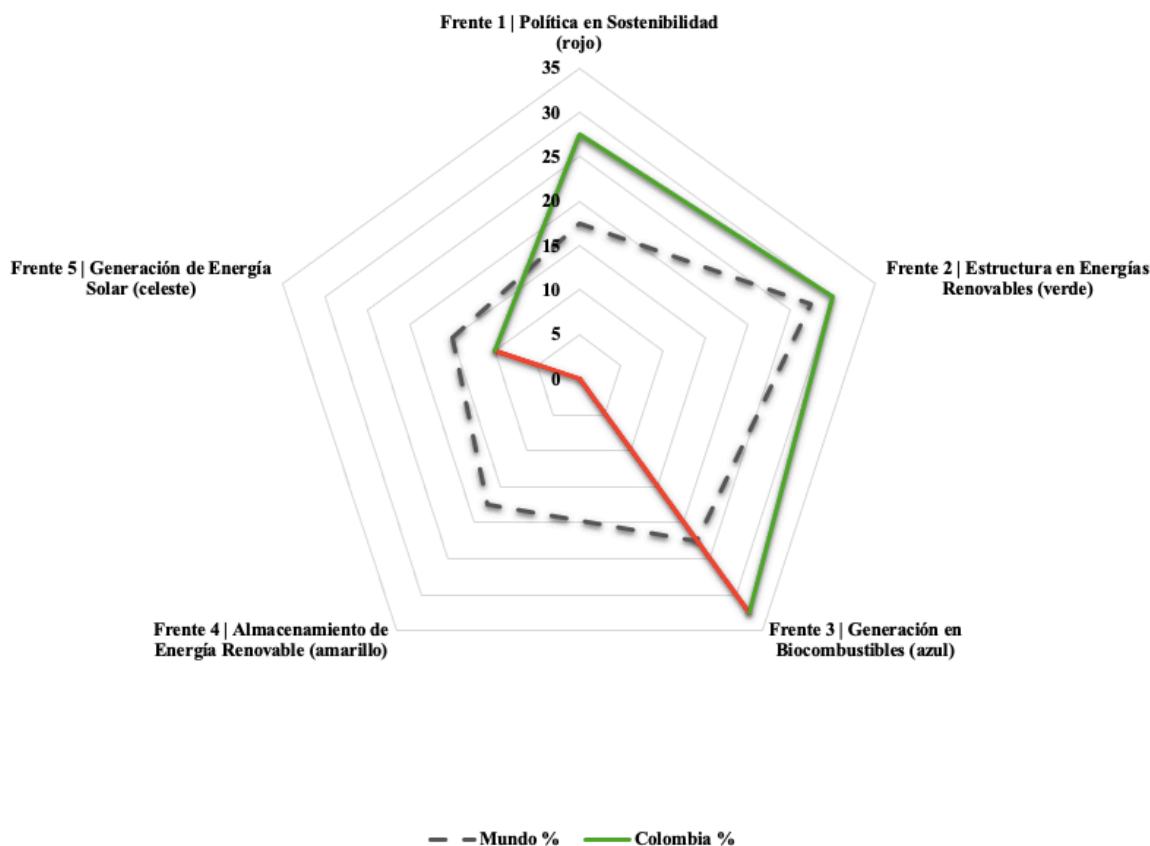
4.6. Frentes de investigación en Energías Renovables de Colombia

Colombia presenta 2,989 documentos y está constituida con 1,425 AKs (Figura 4.16). En el análisis de los frentes de investigación de Colombia ante el mundo, coinciden en varias de sus tendencias en investigación científica (Figura 4.15).

En primer lugar, la investigación centrada en **Generación en Biocombustibles** (coloreada de azul) con el 33% del Top y 361 AKs (Anexo 16). La AK de mayor relevancia le corresponde a **biomass** con un *Score* de 176 y una de las más altas ocurrencias (61).

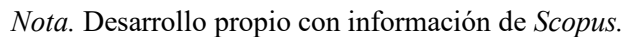
Figura 4-15

Tendencia de los frentes de investigación de Colombia y el mundo 2000-2022



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Frentes de investigación de Colombia en Energías Renovables



Colombia podría lograr emisiones netas cero mediante la expansión económica, la adopción de energía renovable y la mejora tecnológica. Uno de sus grandes avances son las biorrefinerías para la producción de distintos biocombustibles que ayudan a mitigar las emisiones causantes del cambio climático ([Raihan, 2023](#)).

Uno de los incentivos de las políticas de Colombia es la mezcla del biodiesel y bioetanol con los combustibles tradicionales. El país cuenta con grandes extensiones de monocultivos como la caña de azúcar y de palma que posibilita la generación de biocombustible a una escala industrial y bajo costo ([Palacio-Ciro et al., 2020](#)).

Esta ventaja hace que la transición de este tipo de ER pueda establecerse con naturalidad en el mercado nacional sin generar perturbaciones en distintos sectores dependientes de los hidrocarburos ([Rocha-Meneses et al. 2023](#)). Las fortalezas en investigaciones en biocombustibles de Colombia es coherente con la tendencia global y la supera por 10 puntos porcentuales, lo cual puede suponer una ventaja competitiva para el país (Figura 4.16).

El segundo frente de investigación de Colombia es **Estructura en ER** (coloreado en verde) con un 30% de participación y con 385 AKs. La AK de mayor *Score* es **renewable energy** con un valor de *Score* igual a 265. En el contexto del frente verde se encuentran diversos mecanismos de producción de ER y la articulación de alternativas para hacerlos más eficientes. Entre ellos está la red de **microgrids** (90). Son pequeñas subestaciones rurales que generan energía hidroeléctrica, solar, eólica y biomasa. Asimismo, manejan con autonomía la producción, distribución y venta de energías renovables. Al punto, que muchos de estos proyectos venden sus excedentes por medio de su conexión a la red nacional de energía eléctrica. En igual instancia, la investigación en este frente verde se corresponde con la tendencia del mundo (28%) y en específico en potencializar proyectos socio-energéticos para garantizar el acceso equitativo a fuentes de energía asequibles y confiables fundamentales para el desarrollo sostenible.

El tercer frente de investigación es para la **Política en Sostenibilidad** (coloreado en rojo) con 28% del Top y 441 AKs. La AK con mayor relevancia es para **sustainability** (*Score* = 292). Los enfoques de investigación colombiana están muy relacionados con los de Chile y el mundo. Entre las líneas más destacadas de investigación se encuentran la integración de los ODS y la disminución de los gases de efecto invernadero. Colombia y Chile presentan

una tendencia de discusiones investigativas sobre energías renovables en el contexto latinoamericano. Esta convergencia en la investigación de los dos países puede dar lugar a espacios colaborativos y alianzas estratégicas para la búsqueda de soluciones de carácter sostenible.

El cuarto lugar le corresponde al frente en la ***Generación de Energía Solar*** (coloreada en púrpura) con un 10% del Top y lo componen 166 *AKs*. Está 5 puntos porcentuales por debajo de la tendencia mundial. La *AK* de mayor influencia es ***solar energy*** con un *Score* de 86. Colombia posee una fuerte dependencia de energía generada por las hidroeléctricas, hecho que es un punto vulnerable por los distintos fenómenos naturales como las sequías y los efectos del cambio climático. Esto ha ocasionado la búsqueda de soluciones innovadoras para sustituir este tipo de energía por otras igualmente amigables con el medio ambiente, al tiempo que haya potencial para su producción. Colombia es una nación igualmente privilegiada como Chile, que cuenta con áreas de alta radiación solar en gran parte de su territorio. Por lo tanto, es un esfuerzo por parte del gobierno y los *stakeholders* que se encuentran interesados en realizar grandes inversiones en el sector de ER con énfasis en la energía solar.

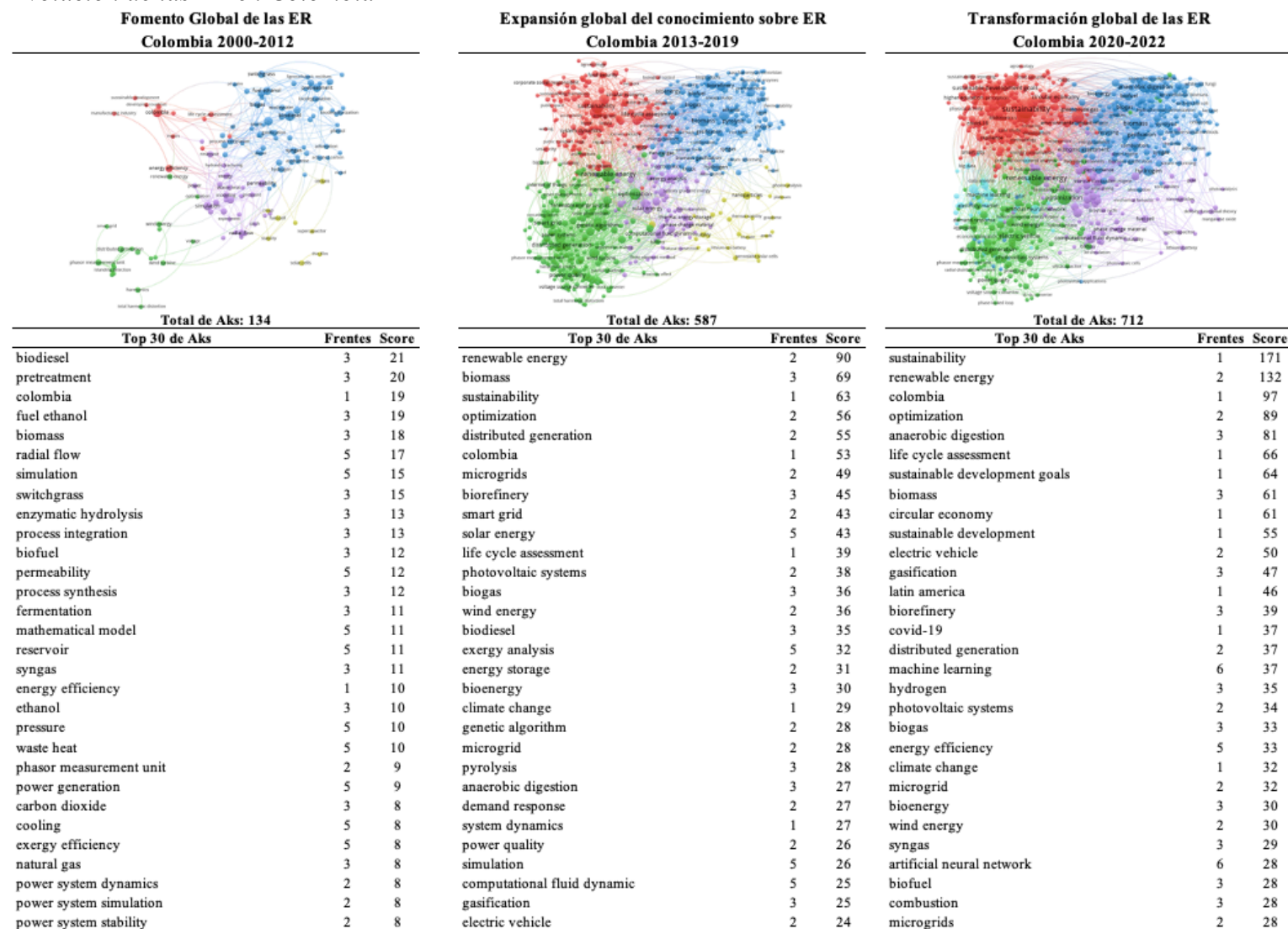
El último frente de investigación corresponde a la investigación sobre ***Almacenamiento de ER*** (coloreada de amarillo) y no se encuentra en el Top 40 para Colombia. Sin embargo, indica avances considerables en celdas de combustible, nanopartículas y supercapacitores con indicios de tecnologías emergentes de los centros de investigación de Colombia en conjunto de sus socios científicos internacionales (ver Anexo 16).

4.6.1. Evolución de los frentes de investigación en ER de Colombia

Colombia ha presentado una dinámica importante en la evolución de los frentes de investigación en ER en los 23 años de análisis (Figura 4.17). A lo largo del tiempo, el crecimiento progresivo que ha tenido históricamente la investigación en ***Generación en Biocombustibles***, ***Estructura en ER*** y ***Política en Sostenibilidad*** destacan como las temáticas con mayor producción científica (Figura 4.18). A continuación, se comenta en detalle la evolución de cada uno de los frentes de investigación:

Figura 4-17

Evolución de las ER en Colombia



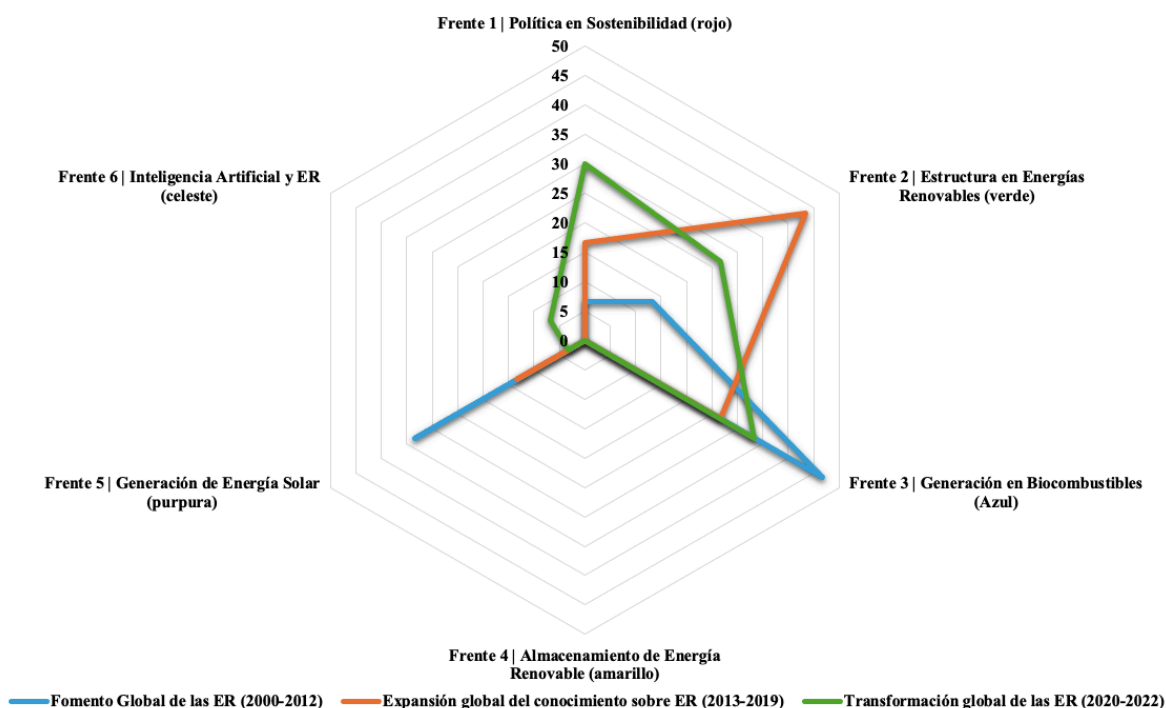
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

i) Fomento Global de las ER de Colombia 2000-2012

El primer segmento temporal para Colombia denominado **Fomento Global de ER** posee 361 documentos y 114 AKs, en el que destacan los frentes de investigación de **Generación en Biocombustibles** y **Generación de Energía Solar** que comprende un 80% en el Top del en el segmento temporal. Las dinámicas y la evolución de los frentes de investigación para Colombia presentan el siguiente orden: el frente de mayor influencia es la **Generación en Biocombustibles** (coloreada de azul) con una participación del 47% del Top y 65 AKs. El frente presenta una coincidencia de 10 AKs del mundo, en específico con **biodiesel** con *Score* de 2, **biomass** (18) **ethanol** (10). La producción de etanol se deriva de los monocultivos de maíz, yuca y caña de azúcar. El biodiésel se produce a partir de la soya, aceite de palma, colza, etc. Y el biogás se obtiene a partir de residuos orgánicos mediante procesos de digestión anaeróbica ([Morelos, 2016](#)). Desde principios del 2000, las estrategias económicas de Colombia han repercutido en la diversificación y repotencialización de los productos agrícolas, especialmente la caña de azúcar que se extiende por la región del Valle de Cauca

Figura 4-18

Comportamiento de los frentes de investigación en ER en el tiempo de Colombia



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

y el aceite de palma que se produce en diversas regiones del país. En el frente de la **Generación en Biocombustibles** hay concordancia en la tendencia mundial para este segmento, al superar Colombia en 10 puntos porcentuales, lo que indica una especialidad en los frentes de investigación en los biocombustibles. Por una parte, las temáticas están relacionadas con la conversión de biomasa para producir biodiesel de aceite de palma, bioetanol y biogás. Esto involucra investigaciones que gestionan los residuos orgánicos, y la producción de hidrógeno. Este Sistema Científico (SC) en biocombustibles se asocia con técnicas de análisis, diseño, y optimización de procesos industriales y químicos.

El segundo frente de gran influencia en el segmento temporal le corresponde a la **Generación de Energía Solar** (coloreado en púrpura) con un 33% del Top y con 29 AKs, coincide en 9 de los 30 AKs del mundo, principalmente en las temáticas de optimización del sistema de energía solar. La AK de mayor relevancia es *radial flow* (17). Esta línea de investigación se enfoca en la optimización del cálculo y diseño para garantizar la eficiencia de los dispositivos relacionados con la energía termosolar. Aunque la energía fotovoltaica ha recibido más atención recientemente, la termosolar también puede desempeñar un papel crucial en la transición hacia un modelo energético sostenible. Un proyecto termosolar y fotovoltaico son eficientes en la producción de energías limpias. No obstante, si se compara en los costos de fabricación, mantenimiento y ciclo de vida, la energía fotovoltaica es más eficiente en estos aspectos que la termosolar ([Xiao et al., 2024](#)). El frente púrpura del mundo propone la integración de un sistema de energía híbrido solar-geotérmico en el segmento uno, Colombia presenta la integración de ambas energías con la investigación en el análisis y eficiencia energética; el modelado y simulación que permite predecir el funcionamiento del sistema híbrido o individual; y la evaluación y rendimientos de los recursos energéticos del sistema.

El tercer frente está representado por la investigación en **Estructuras en ER** (coloreado de verde) con un 13% del Top y 20 AKs y coincide con la investigación mundial en 7 AKs relacionados principalmente con la optimización de los sistemas de energía renovables eólico y fotovoltaico. El término de mayor influencia es *phasor measurement unit* con un Score de 9 (Anexo 18). La investigación colombiana se centra en el análisis y predicción del comportamiento de las redes eléctricas, como la perturbación o cambios en las cargas. La tecnología utilizada para este campo facilita el monitoreo y control de estos

sistemas para garantizar el control de las perturbaciones. Otra de las temáticas emergentes es la gestión descentralizada de la energía que procura asegurar que la generación distribuida y la detección del suministro energético se gestione de manera eficiente, especialmente si las fuentes renovables están desconectadas de la red principal. En este sentido, el empleo de las smart grid en las microgrid garantiza la gestión de las ER ([Belaidi & Rabiai, 2022](#); [Garcia-Rodriguez et al., 2022](#)).

El cuarto frente es el de ***Política en Sostenibilidad*** (coloreada de rojo) con un 7% del Top, lo componen 12 AKs de las que 6 AKs coinciden con el mundo en investigaciones sobre el desarrollo sostenible. La mayor influencia de las AKs corresponde a ***Colombia*** con un *Score* de 19 y ***energy efficiency*** (10). El contexto del periodo representa los inicios de políticas relacionadas con la eficiencia energética por medio de la evaluación del ciclo de vida en la producción industrial. De igual manera, para esta época Colombia buscaba alinearse con la agenda global en desarrollo sostenible con diversos tratados de conservación del medio ambiente. El objetivo de estas políticas es estimular diversos sectores económicos que son esenciales en los SC relacionados con las tecnologías en energías renovables.

El último frente del segmento es para el ***Almacenamiento en ER*** (coloreado en amarillo). Este no tiene participación en el Top general, pero se analiza de manera individualizada (Anexo 20). Contiene 8 AKs de los cuales 5 se encuentran en línea con la tendencia mundial. Aunque las investigaciones son pocas, se identifican iniciativas relacionadas con la prueba de materiales y tecnologías para mejorar la eficiencia y viabilidad del almacenamiento. Entre ellas, se puede distinguir la investigación en las celdas solares basadas en películas delgadas (*thin film*), investigaciones con el material cerio para aumentar la capacitancia específica y estabilidad de los supercapacitores y las celdas de combustibles con el material ya comentado de óxido de sodio.

ii) Expansión Global de Conocimiento sobre ER de Colombia 2013-2019

Colombia presenta en el segundo segmento temporal 1,306 documentos con 587 AKs. Es un crecimiento de 338% de publicaciones con respecto al periodo anterior. Aunque en el segmento anterior el dominio del frente de ***Generación en Biocombustibles*** (coloreado de azul) era notable, ahora es relevado por la investigación en ***Estructura en ER*** (Coloreado de verde) con 43% del Top y 195 AKs. En relación al segmento anterior este frente presenta el segundo crecimiento de AKs con el 875%. Se identifican 7 AKs del frente de ***Estructuras en***

ER en el segmento anterior y marca una trayectoria de temáticas de optimización de los sistemas de energía eólica y fotovoltaica y su integración con las redes inteligentes. La *AK* de mayor relevancia es **renewable energy** con un *Score* de 90. Esta línea de investigación era una de las más débiles del segmento anterior, y para el actual, presenta una concordancia con la tendencia mundial. Es decir, tanto el mundo como Colombia continúan encaminados en el desarrollo de ER enfocadas en la optimización de procesos. A diferencia de Chile, Colombia continúa en desarrollo de líneas de investigación en **microgrids** (49) y **smart grid** (43). En combinación constituyen el sistema híbrido de producción y distribución de las energías renovables que debe incentivarse en el país. En relación a esto, las líneas temáticas de investigación que se desarrollan en el frente verde, convergen en la influencia de la electrificación rural para garantizar la disponibilidad energética en áreas remotas del país, la gestión de la energía para garantizar su uso y almacenamiento, y crece la producción científica en la optimización del sistema de ER con el empleo de nuevos modelos matemáticos, monitoreo y sensores para garantizar la eficiencia.

El segundo frente en el Top 40 para este segmento temporal es la **Generación en Biocombustibles** (coloreado de azul) con un 27% y 144 *AKs*. Presenta un crecimiento del 122% y una continuidad de 10 *AKs* del segmento temporal anterior. Ello indica, la consolidación de un SC en biocombustible con una acumulación de conocimiento progresivo. Asimismo, el frente azul de Colombia para este segmento coincide con la tendencia mundial en 9 *AKs* de mayor influencia. En específico, **biomass** con un *Score* de 69 y **biofuel** (22) muestran la investigación colombiana en la producción de bioetanol, biodiesel y biogás de fuerte incidencia en las investigaciones en el mundo. Otras líneas de investigación son las relacionadas con tecnologías de conversión como pirólisis y gasificación, las biorrefinerías para la producción de biocombustibles y bioproductos obtenidos a partir de recursos biológicos. Se observa una continuidad en las investigaciones del tratamiento de los residuos orgánicos con procesos de digestión anaeróbica, producción de hidrógeno, syngas y metano. También se muestran iniciativas de investigación para la optimización del sistema de producción en biocombustibles mediante métodos para evaluar la viabilidad económica y los procesos tecnológicos.

El tercer frente es para la **Política en Sostenibilidad** (coloreado en rojo) con el 17% del Top y 145 *AKs* con un crecimiento de *AKs* de un 1,108%. Esto significa a nivel de todos

los frentes de investigación y segmentos temporales de Colombia un desarrollo representativo en el manejo de la política de sostenibilidad que articula la nación. La *AK* de mayor *Score* es ***sustainability*** (63) que concuerda en muchos de los aspectos de las líneas de investigación y tendencias del mundo. Es evidente el crecimiento del frente rojo durante estos 19 años de análisis para Colombia. El enfoque político principal implica la articulación de los ODS en todos los sectores sociales, económicos, ambientales y culturales del país. Existe una tendencia muy fuerte por la agricultura sostenible y su aporte en la mitigación del cambio climático con varias posturas científicas. En particular, es notable la integración de líneas de investigación en fomentar las energías renovables con el desarrollo de la agroindustria. Esto es una evidencia que conecta directamente el frente de ***Política en Sostenibilidad*** con la tendencias del frente de ***Generación en Biocombustibles*** (véase Anexo 17).

El cuarto frente es para la investigación sobre ***Generación en Energía Solar*** (coloreado en púrpura) con 13% de participación en el Top y 74 *AKs*, que representan un crecimiento del 155% respecto al segmento temporal anterior. Del mismo modo, presenta una continuidad en 6 términos claves relacionados con la optimización de los modelos matemáticos y simulación. A nivel mundial, la investigación converge en 14 *AKs*. Entre ellos, ***solar energy*** con un *Score* de 43. La configuración de los *AKs* de Colombia, sugiere una tendencia investigativa hacia la optimización de los procesos para la generación en la energía solar y el análisis de la eficiencia en la energía geotérmica. Igualmente, en la temática de conversión de energía solar, se presentan avances en las líneas de investigación emergentes como tecnologías de almacenamiento de energía térmica y material de cambio de fase.

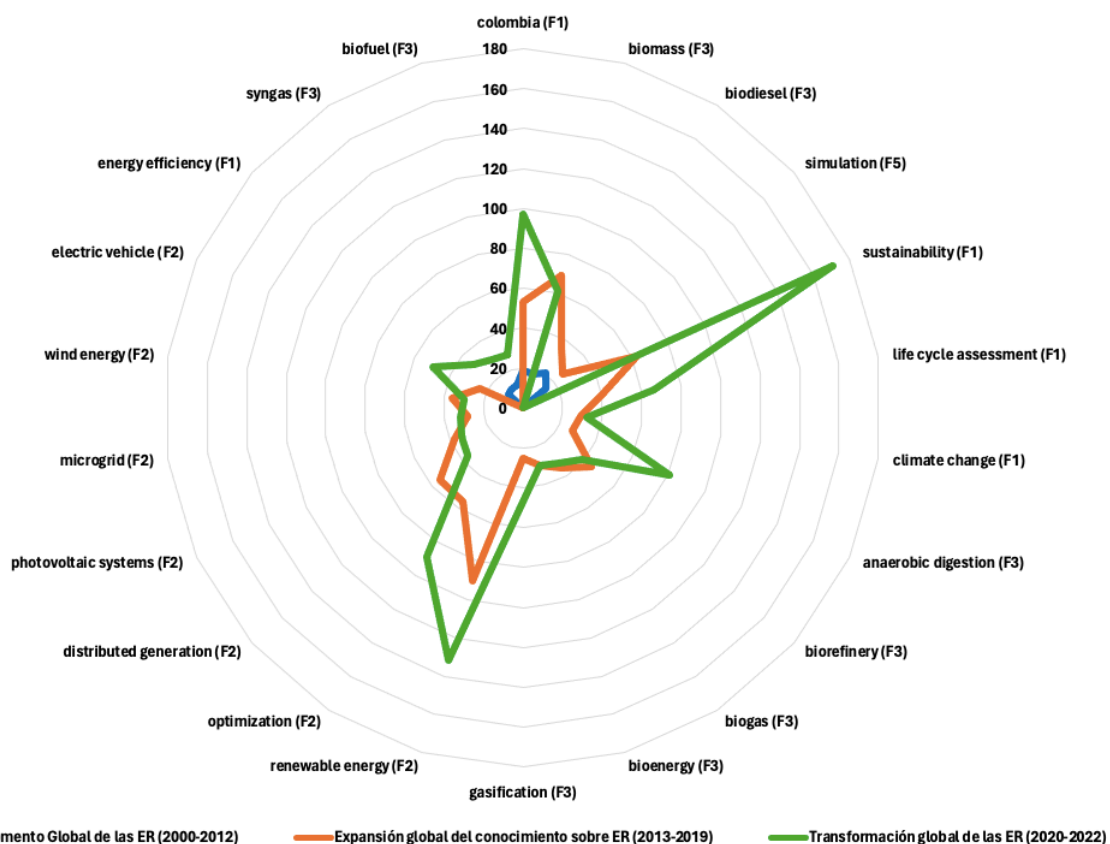
El último frente es para el ***Almacenamiento en ER*** (coloreado en amarillo). En el anexo 20, se puede evidenciar un Top especializado con 29 *AKs* que refleja un crecimiento de 229% y una coincidencia en 10 *AKs* en relación al mundo, ello muestra un crecimiento notable con respecto al primer periodo temporal. La palabra clave de investigación más relevante es ***nanoparticles*** con un *Score* de 17 y otra serie de líneas de investigación relacionado a las ciencias de los materiales que emergen en Colombia y que están posicionados en las investigaciones en el mundo como el grafeno o las pilas de combustible de óxido sólido a base de electrolitos cerámicos.

iii) Transformación Global ER de Colombia 2020-2022

El tercer segmento temporal denominado **Transformación Global de las ER** (2020-2022) posee 712 *AKs* y representa un incremento del 21% con respecto al segmento anterior en el número de términos relevantes de investigación. Igualmente, los resultados de este periodo están representados por 6 frentes de investigación. El primero corresponde al frente de **Generación en Biocombustible** (coloreado en azul) con el 33% de participación en el Top y lo compone 191 *AKs*. Esto indica un incremento del 33% y aparecen 12 *AKs* del segmento dos relacionado a los procesos de reconversión de biomasa. El frente azul para el mundo presenta coincidencia con Colombia en 14 de los principales términos de investigación. Principalmente en los *AKs* de mayor *Score* como **anaerobic digestion** (81), **biomass** (61) y **biofuel** (28) que son las que presentan mayor tendencia en los tres segmentos temporales (Figura 4.19). Estos han repercutido en la aparición de una línea emergente de investigación

Figura 4-19

Evolución de los AKs en las ER en los segmentos temporales para Colombia



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

en relación al hidrógeno. Las temáticas emergentes y de influencia relacionadas a la reconversión de la biomasa como la fermentación oscura y la carbonización hidrotermal, que es un proceso termoquímico para convertir la materia prima de biomasa húmeda en un sólido homogéneo rico en carbono y funcional para la agricultura y biocombustible y absorbente para aplicaciones ambiental ([Tm & Dubey, 2018](#)).

El segundo frente de investigación relevante corresponde a la ***Política en Sostenibilidad*** (coloreada de rojo) con un 30% del Top y sube un puesto con respecto al anterior segmento. En igual instancia, lo componen 239 *AKs* con un incremento de 65%, y refleja una continuidad de 5 *AKs* del periodo anterior de alta influencia relacionadas a las temáticas de los ODS. Esta tendencia se observa en los 15 *AKs* similares con el mundo, concentrados principalmente en: ***sustainability*** (171) y ***life cycle assessment*** (66) se mantiene desde el segmento anterior; ***sustainable development goals*** (64) es una *AKs* que emerge con influencia para este periodo y; ***circular economy*** (61) que no tenía gran influencia pero para este último periodo, pero posee trascendencia en las líneas de investigación que se desarrollan en Colombia. Las temáticas relacionadas con educación e innovación incrementan su influencia para este segmento temporal bajo el enfoque de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El tercer frente es el de ***Estructuras en ER*** (coloreado en verde) con un 27% de participación del Top y presenta 142 *AKs*. Esto representa una disminución de 27% con respecto al segmento anterior. Igualmente, continúan 14 *AKs* que representa la acumulación de conocimiento en una trayectoria hacia tecnologías en red, optimización y control de las energías híbridas eólica-fotovoltaica. También se detectan similitudes de Colombia con el mundo en 19 *AKs*. Los *AKs* con mayores influencia con respecto al segmento anterior son: ***renewable energ*** con un *Score* de 132; ***optimization*** (89); ***electric vehicle*** (50); ***microgrid*** (32). El frente verde, identifica grupos temáticos relacionados con la gestión de los sistemas de almacenamiento, y demanda responsable de energía. Igualmente, avances investigativos en la optimización de algoritmos para la eficiencia de los sistemas de producción de ER y su conexión con el mercado de vehículos eléctricos.

El cuarto frente de investigación es para el emergente frente de investigación denominado ***Inteligencia Artificial y ER*** (coloreado de celeste) con una participación del 7% y lo comprenden 42 *AKs*. Presenta una similitud con el mundo en 13 *AKs*, entre los que

destacan: *machine learning* con un *Score* 37; *artificial neural network* (28); *internet of things* (22); *artificial intelligence* (20); *big data* (16); *deep learning* (15) y *data análisis* con un *Score* de 13. Colombia ha tenido una participación importante en la adaptación del nuevo contexto que emerge en la IA. El gobierno Colombiano impulsó en el 2019 el [CONPES 3975](#) que es una política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial. Esta política pública fue vanguardista en la región, ya que funciona como un marco ético que es construido alrededor de las diferentes preocupaciones que pueda traer la implementación tecnológica avanzada proveniente de la inteligencia artificial. El gobierno no sólo busca establecer marcos regulatorios, también trabaja para fomentar la innovación en IA e integrar esta tecnología en los servicios públicos ([Departamento Nacional de Planeación, 2019](#)). Sin embargo, advierte el informe de Oxford Insights de 2023 que garantizar que la IA se adopte de manera efectiva para el bien público sigue siendo un desafío que deben experimentar y adaptar los países del mundo ([Hankins et al., 2023](#)).

El quinto frente de investigación es *Generación en Energía Solar* (coloreado en púrpura) con una participación del 3% y 74 *AKs*. Es uno de los pocos frentes que no tuvo crecimiento de los *AKs* y solo coincide con 7 *AKs* del frente anterior. Sin embargo, concuerda con la mitad de los *AKs* del mundo (15) bajo el enfoque de la optimización, la utilización de nuevos componentes y procesos involucrados en la producción de energía solar. El frente púrpura en este segmento temporal propone una capacidad instalada por parte de Colombia de proyectos ya desarrollados de granjas solares ubicadas en varias regiones del país. Por lo tanto, la experiencia adquirida sugiere establecer las mejores formas para generar rendimientos económicos e incrementos en la productividad energética. Las temáticas emergentes en el frente púrpura la componen la eficiencia energética mediante el análisis de costos de producción y la evaluación de la calidad de la energía con la herramienta *exergy analysis*.

El sexto frente correspondería a la investigación sobre *Almacenamiento de ER* (coloreado en amarillo), que no se encuentra en el Top. Sin embargo, a partir del análisis de los datos mostrados en el anexo 20 se pueden evidenciar tres elementos importantes en la investigación: el primero, el descenso en el número de *AKs* (pasa de 29 en el segmento anterior a 24); el segundo es la consistencia de las *AKs* del segmento anterior en el que continúan 5 de ellos, estos son: *fuel cell* con un *Score* de 23, *nanoparticles* (11), *stability* (7),

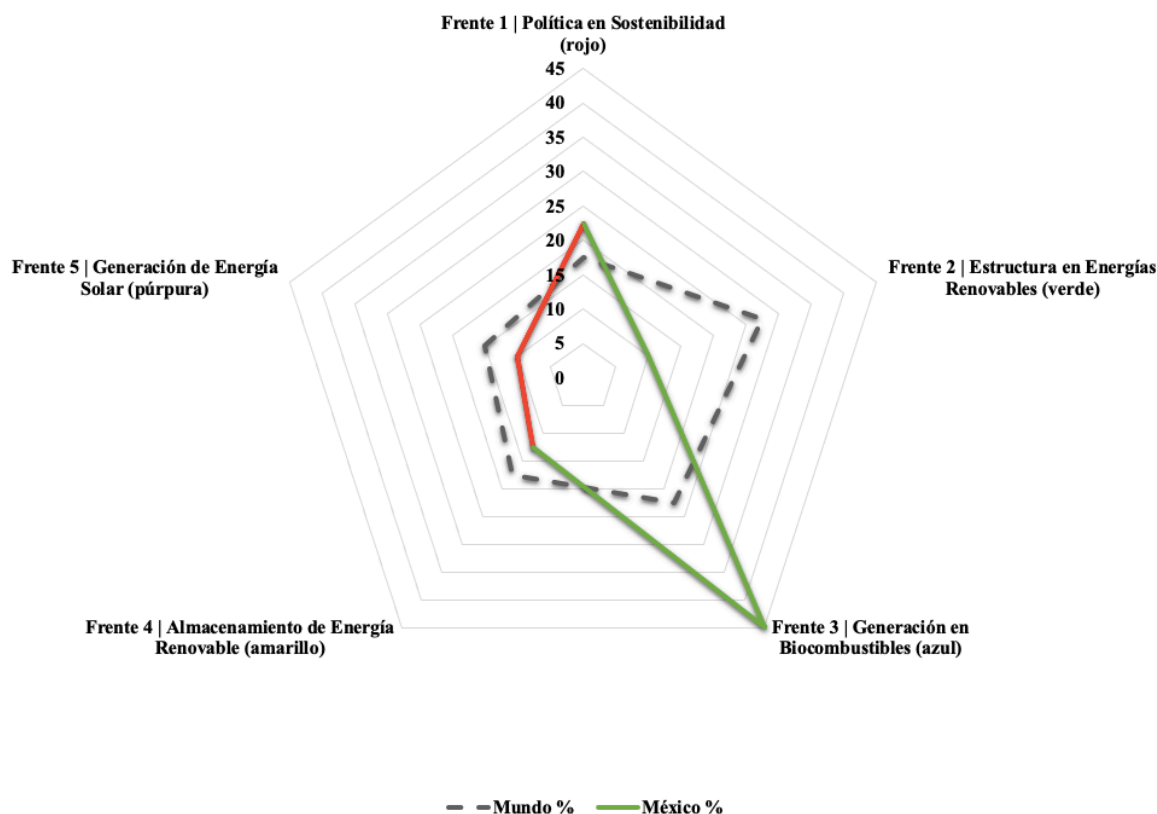
photocatalysis (2) e *hydrogen storage* (1); el tercer elemento es la convergencia en 6 temáticas de investigación en relación al mundo: *fuel cell* con un *Score* de 23, *nanoparticles* (11), *supercapacitor* (10), *carbon nanotubes* (3), *lithium-ion battery* (3) y *photocatalysis* (2). Las *AKs* que aparecen en la investigación colombiana y que no coinciden con la mundial (Anexo 20) muestran algunas singularidades de investigación, como el uso de materiales que emergen en el país, como el oro reconocido componentes de conexión electrónica, nanopartículas, óxido de titanio, entre otras materiales experimentales para el almacenamiento de ER.

4.7. Frentes de investigación en Energías Renovables de México

México es el país con más alta producción científica relacionada con las energías renovables. La fuente de información de *Scopus* registra 6,654 documentos desde 2000 a 2022, con unos 2,725 *AKs* (Figura 4.21). La Figura 4.20 muestra una fuerte influencia en los frentes de

Figura 4-20

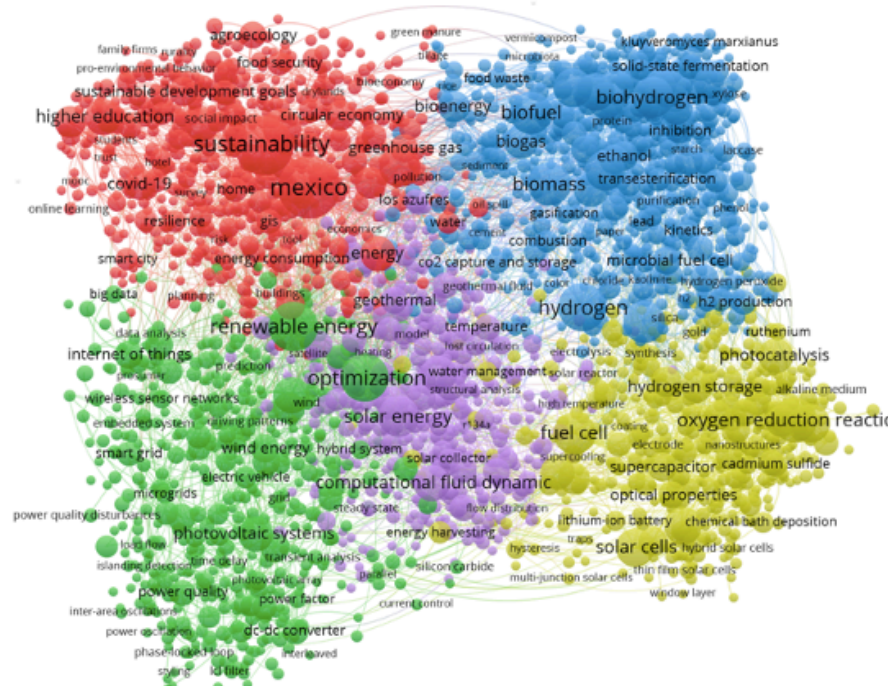
Tendencia de los frentes de investigación de México y el mundo 2000-2022



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Figura 4-21

Frentes de investigación de México en Energías Renovables

Frentes de investigación	2000-2022	Top 40 de AK	Frentes	Score	Ocurrencias
1 Política en Sostenibilidad (Rojo)		mexico	1	509	184
		sustainability	1	421	155
		renewable energy	2	299	101
		biomass	3	274	77
		optimization	2	271	98
2 Estructura en Energías Renovables (Verde)		hydrogen	3	263	98
		biofuel	3	233	71
		solar energy	5	198	67
		biohydrogen	3	197	68
		fuel cell	4	192	72
3 Generación en Biocombustibles (Azul)		biorefinery	3	181	54
		biodiesel	3	174	63
		energy	1	169	44
		higher education	1	163	48
		oxygen reduction reaction	4	163	78
4 Almacenamiento de Energía Renovable (Amarilla)		anaerobic digestion	3	162	56
		life cycle assessment	1	154	64
		dark fermentation	3	149	52
		methane	3	149	46
		electrocatalysis	4	147	56
5 Generación de Energía Solar (Purpura)		educational innovation	1	143	35
		microalgae	3	143	49
		bioethanol	3	134	44
		climate change	1	132	58
		hydrogen production	3	132	70
Total de AK: 2725		modeling	5	128	49
		computational fluid dynam	5	127	48
		biogas	3	126	43
		thin film	4	125	54
		bioenergy	3	119	35
		fermentation	3	118	35
		multi-objective optimization	2	116	49
		solar cells	4	112	58
		sustainable development	1	109	41
		enzymatic hydrolysis	3	107	34
		simulation	5	106	37
		lignocellulosic biomass	3	102	36
		photovoltaic systems	2	100	44
		covid-19	1	97	36
		pretreatment	3	95	23

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Generación en Biocombustibles y de ***Política en Sostenibilidad*** que conjuntamente acumulan el 68% del Top.

En primer lugar, está el frente de ***Generación en Biocombustibles*** (coloreado en azul) con un 45% de participación del Top y 745 AKs (Anexo 23). Este frente supera la tendencia mundial en 22 puntos porcentuales, ello sugiere un grado de madurez y especialización en la investigación mexicana con respecto a las desarrolladas a nivel mundial. En relación a esto, la AK de mayor *Score* para el frente azul es ***biomass*** con un *Score* de 274 y una ocurrencia 77. La línea de investigación en biomasa compone una serie de investigaciones que converge con otras AKs dentro del frente azul por lo que se enriquece cada vez más. Una de las líneas de investigación que ha ganado fuerza es la denominada ***biorefinery*** con un *Score* de 181. El concepto de biorrefinería hace alusión a una línea de investigación emergente enfocada en la biomasa. Comprende instalaciones con equipos y procesos de transformación de biomasa, capaces de producir una variedad de productos que incluyen biocombustibles, energía e insumos químicos de uso final ([Sacramento-Rivero et al., 2010](#)). Esto indica que las biorrefinerías son un potencial que ha estado en proceso de maduración tecnológica en México, al punto de superar los márgenes de producción científica mundial.

La investigación sobre la ***Política en Sostenibilidad*** (coloreado en rojo) ocupa el segundo lugar en importancia en el Top 40 y representa el 23% con 649 AKs. Las AKs de mayor influencia es ***México*** con un *Score* igual a 509, seguido por el AKs ***sustainability*** (421). En contexto, México ha constituido políticas de sostenibilidad enfocadas en desarrollar proyectos en biocombustibles. Yáñez-Vergara et al. ([2022](#)), han analizado de manera cronológica el marco legal de bioenergía para el país bajo el enfoque económico y de mercado. Existen tres leyes que se encuentran establecidas desde hace décadas: la primera, corresponde a la *Ley de Desarrollo Rural Sustentable* de [2001](#) establecida por La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Compone una serie de fondos para el uso de fuentes de energía renovables como el Fondo Verde, Fondo para Tecnologías Emergentes, Fondo para Electrificación Rural y el Fondo de Bioenergía. Esta iniciativa indica una asignación presupuestal para incentivar el mercado nacional en biocombustibles; la segunda, corresponde a la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos de [2008](#). De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER) tiene el objetivo en su Artículo 12 de integrar en los combustibles fósiles comerciales una mezcla de biodiesel

y etanol entre sus componentes. Esta ley no contiene objetivos obligatorios como en Colombia, por lo que implica un desafío para la promoción y creación de un mercado interno de bioenergías y; la tercera, es la Ley del Impuesto sobre la Renta de [2013](#) y establece que el SENER es responsable de regular y promover el desarrollo y uso de fuentes de energías renovables. Adicionalmente, el SENER es la encargada de proponer los estímulos correspondientes (artículo 33). Esta iniciativa es un avance por parte del gobierno de turno para incentivar un Sistema Científico (SC) relacionados a los biocombustibles con unas políticas con mayor impacto en la sostenibilidad.

El tercer frente de investigación de mayor influencia es el ***Almacenamiento en ER*** (coloreado en amarillo) con un 13% del Top 40 y 466 AKs. Este frente de investigación se encuentra 5 puntos porcentuales por debajo de la tendencia mundial. La AK de mayor influencia es ***fuel cell*** con un *Score* de 192. Las tecnologías emergentes tratan de potencializar las pilas de combustible a nivel mundial y México no es la excepción ya que presenta un enfoque de investigación tendiente a la experimentación de nuevos materiales como las nanopartículas, nanotubos de carbón y otras intervinientes en la producción y almacenamiento de hidrógeno. Además este frente en México cuenta con un capital intelectual creciente como se visualizan los reportes comparativos de RYCYT ([2024](#)) y el favor de grandes recursos naturales en todo su territorio, capacidad que facilita un avance significativo en el sector productivo ([Ríos et al., 2017](#)).

El cuarto frente corresponde a ***Estructura en ER*** (colorado en verde) con una representación del 10% y constituido por 468 AKs. Este frente igualmente se encuentra 18 puntos porcentuales por debajo de la tendencia mundial. El término más relevante es ***renewable energy*** y concuerda con 10 de las principales AKs en el Top mundial encabezado. Aunque la estructura en energías renovables no es la línea de investigación más influyente para México, se encuentra en sintonía con las tendencias de investigación mundial. Asimismo, se destacan enfoques de investigación relacionados con la optimización de la ER, al incluir aspectos emergentes como inteligencia artificial, red neuronal artificial y *machine learning*.

En el quinto lugar está la investigación en ***Generación en Energía Solar*** (coloreado en púrpura) con 10% de participación en el Top y compuesto por 397 AKs. Este frente se encuentra por debajo del estándar mundial en 5 puntos porcentuales. La AK de mayor

influencia es **solar energy** con un *Score* de 198. En este caso, el frente púrpura no es uno de los principales referentes de investigación en ER. No obstante, se encuentran en sintonía a nivel mundial ya que coinciden en 11 *AKs* provistos en el Top 30 (Anexo 23). Por su parte, el Top 40 se puede distinguir en la investigación de generación en energía solar, una particularidad en dos de sus *AKs*, que son: **los azufres** (53) y **cerro prieto** (51). Estas *AKs* corresponden a la *Planta de Energía Geotérmica Cerro Prieto* ubicada en el estado de Baja California y *Los Azufres* en Michoacán. México también cuenta con otras dos plantas geotérmicas, una ubicada en Baja California Sur llamada *Tres Vírgenes* y la otra en Puebla con el nombre de *Los Humeros*. De acuerdo con la *Comisión Federal de Electricidad* ([CFE](#)), México es el sexto país a nivel mundial con mayor capacidad geotérmica. Estos proyectos ya en funcionamiento, son unos referentes en la región en el aprovechamiento de los recursos naturales y la producción de energías renovables de manera sostenible.

4.7.1. Evolución de los frentes de investigación en ER de México

Las dinámicas de producción de documentos científicos de México relacionados a las ER han tenido una fuerte influencia por la investigación en **Generación en Biocombustibles** (clúster azul) en los últimos dos segmentos temporales. La Figura 4.22 presenta la evolución temporal de cada uno de los frentes de investigación en que facilita el análisis de representatividad investigativa para México.

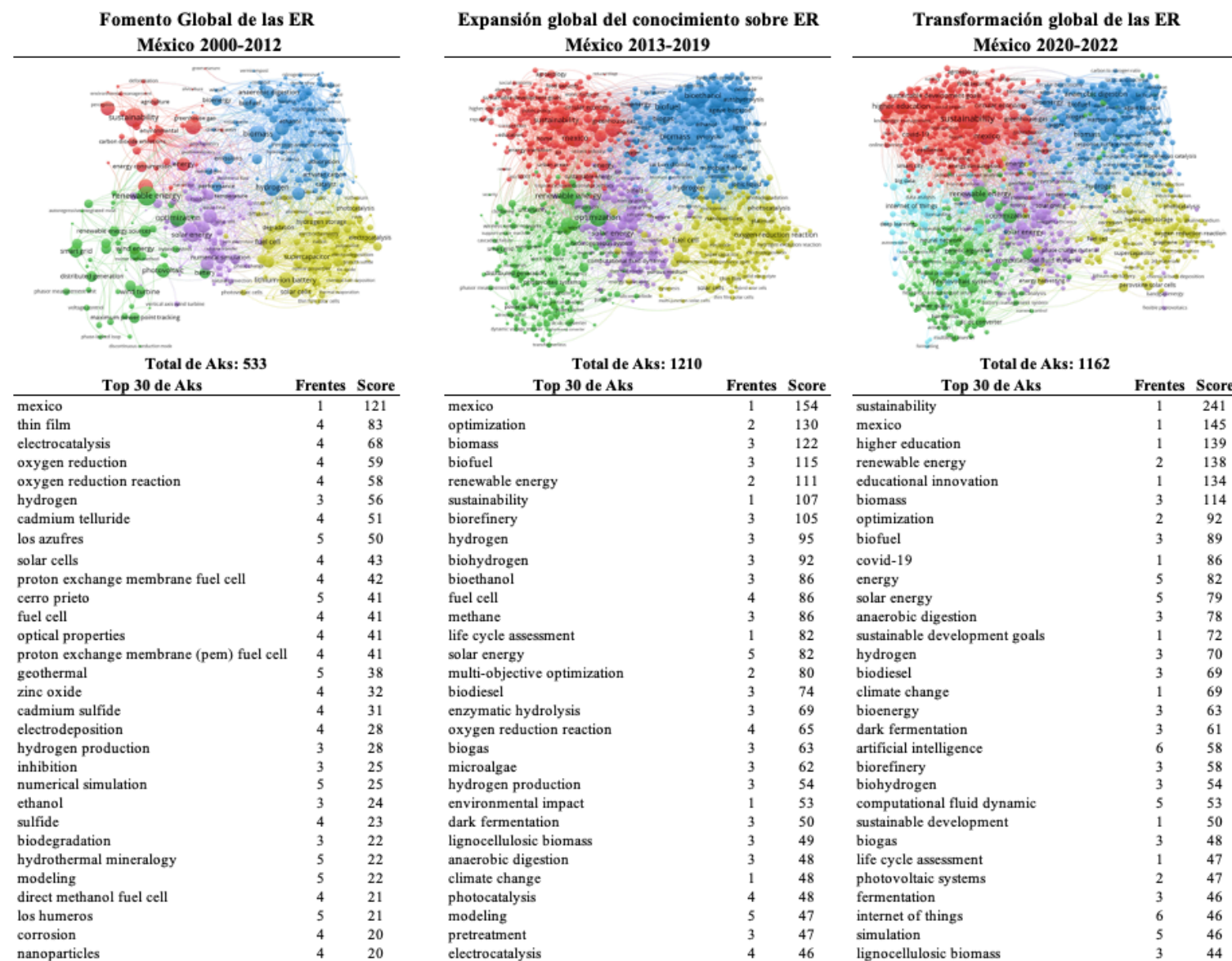
i) Fomento Global de las ER de México 2000-2012

El primer segmento temporal es **Fomento Global de las ER** con 2,841 documentos y 533 *AKs*. Acumula un 80% de la investigación que se concentra en los frentes de investigación de **Almacenamiento en ER** y **Generación en Energía Solar**.

El primer frente es **Almacenamiento de ER** (coloreada de amarillo) representa un 57% con 153 *AKs* (Figura 4.23). El término **thin film** es el más relevante (*Score* = 83). Existe una consistencia de este frente de investigación con los enfoques de la tendencia mundial en este periodo temporal. Producto de la comparación de los resultado del mundo con el frente amarillo, se encontraron 11 coincidencias del Top 30 (Anexo 27). De este modo, los *AKs* que no están relacionados en el Top se consideran como las líneas de investigación en la que México se encuentra particularmente interesado en profundizar. Entre las de mayor *Score* se

Figura 4-22

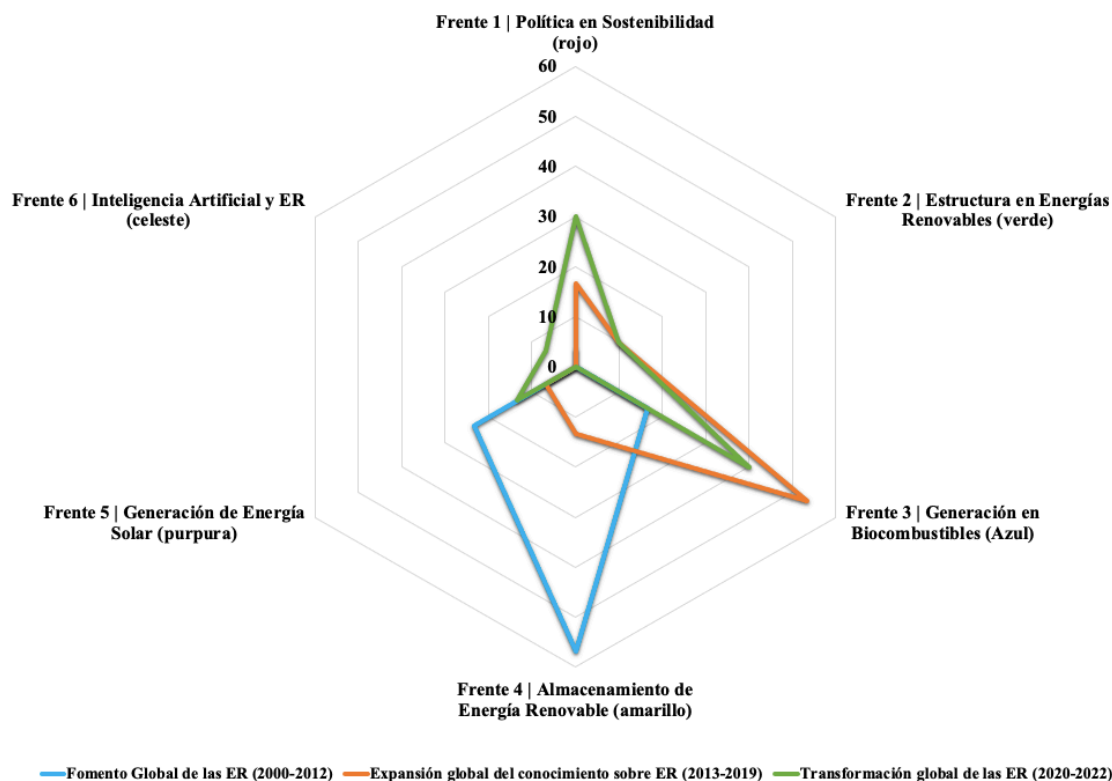
Evolución de las ER de México



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Figura 4-23

Comportamiento de los frentes de investigación en ER en el tiempo de México



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

encuentran los desarrollos de nuevos materiales que buscan la optimización de costo y la eficiencia energética. Entre el Top se encuentran el: *cadmium telluride* (51) *zinc oxide* (32) *cadmium sulfide* (31) *polypyrrole* (20). Igualmente, están relacionados los procesos que desarrollan de manera experimental para la época las ER como: *Oxygen reduction* (59) *Electrodeposition* (28) *Sol-gel* (18) *Chemical bath deposition* (14) *Hydrogen evolution reaction* (14) *Photocatalysis* (14) y *Spray pyrolysis* (14).

El segundo frente es el de *Generación de Energías Solar* (coloreada en púrpura) con una participación del 23% y 115 *AKs* (Anexo 28). El antecedente para México en la investigación en este campo ha tenido un crecimiento desde hace décadas con la producción de energía geotérmica y por ende, las investigaciones relacionadas a esta área. Las *AKs* con una mayor influencia para este segmento temporal son *los azufres* con un *Score* de 50, *cerro prieto* (41) y *geothermal* (38). Hay 7 palabras claves con la que coincide con la investigación mundial: *geothermal* (38), *numerical simulation* (25), *exploration* (17), *model* (15),

temperature (13), *mathematical model* (10) y *permeability* (8). En este grupo de términos se observan iniciativas de investigación relacionadas a la optimización del SC en energías geotérmicas de México para este segmento temporal.

El tercer puesto le corresponde al frente en *Generación en Biocombustibles* (coloreada en azul) con un 17% del Top y 170 términos. Presenta una coincidencia en 9 AKs en relación al mundo en temáticas investigativas basadas en el proceso de la producción en biocombustibles como el hidrógeno y etanol. La investigación es más intensa en lo relacionado con *Hydrogen* (Score = 56). Con respecto a términos relevantes para México que no se dan a nivel mundial, se trata de temáticas emergentes en el sistema de investigación de México en este periodo, como por ejemplo la investigación en *dark fermentation* (18) y *wastewater* (12). Estos procesos presentan una capacidad para utilizar una amplia gama de residuos orgánicos, incluido las aguas residuales para la producción de bio-hidrógeno y beneficios para el medio ambiente ya que propicia la descontaminación de las aguas residuales de agroindustria que impactan los ecosistemas.

El cuarto puesto es para la investigación sobre *Política en Sostenibilidad* (coloreada en rojo) con un 3% de participación en el Top y 39 AKs (Anexo 24). La AK de mayor relevancia es *México* con un Score de 121. En combinación con otros términos del mismo frente se pueden distinguir iniciativas investigativas que propician una política de sostenibilidad para la promoción e incentivos, entre ellas destacan las AKs de *energy* (13), *fuel cell bus* (12) y *vehicles* (12). Esta combinación de líneas de investigación componen un SC relacionado al transporte público de vehículos impulsados con pilas de hidrógeno. De igual manera, el segmento temporal evidencia una línea temática que se integra a la tendencia mundial con 6 AKs. Entre ellas, emergen investigaciones de políticas sostenibles relacionadas con la disminución de los gases efecto invernadero mediante la promoción de las ER.

El quinto lugar del segmento temporal es para el frente en *Estructura en Energía Renovable* (coloreada de verde) con 56 AKs. Este frente no posee ningún AKs en el Top 40 de México. Sin embargo, en el Top 30 del Anexo 25 presenta la evolución en el frente de investigación para México con 9 AKs que coinciden con la tendencia mundial. Estos enfoques de investigación coinciden con dos de los principales AKs a nivel mundial: *renewable energy* (15) y *optimization* (13). Por una parte, las investigaciones en este segmento temporal presentan una tendencia hacia la producción de energía eólica. Por otra parte, está la

optimización y rendimiento en la producción y generación de ER mediante procesos emergentes como la inteligencia artificial, predicción y modelos matemáticos. En este primer segmento temporal, se ha evidenciado en México importantes avances en el desarrollo de la energía eólica. Los antecedentes del primer proyecto eólico datan desde 1992 con X-calack en Quintana Roo y a la fecha según la [Asociación Mexicana de Energía Eólica](#) están ya en operación 70 parques eólicos presentes en 15 Estados. Este crecimiento del sector eólico en México es un referente mundial y es la base para un futuro hacia el cambio de las energías renovables que apuesta el país.

ii) Expansión Global de Conocimiento sobre ER de México 2013-2019

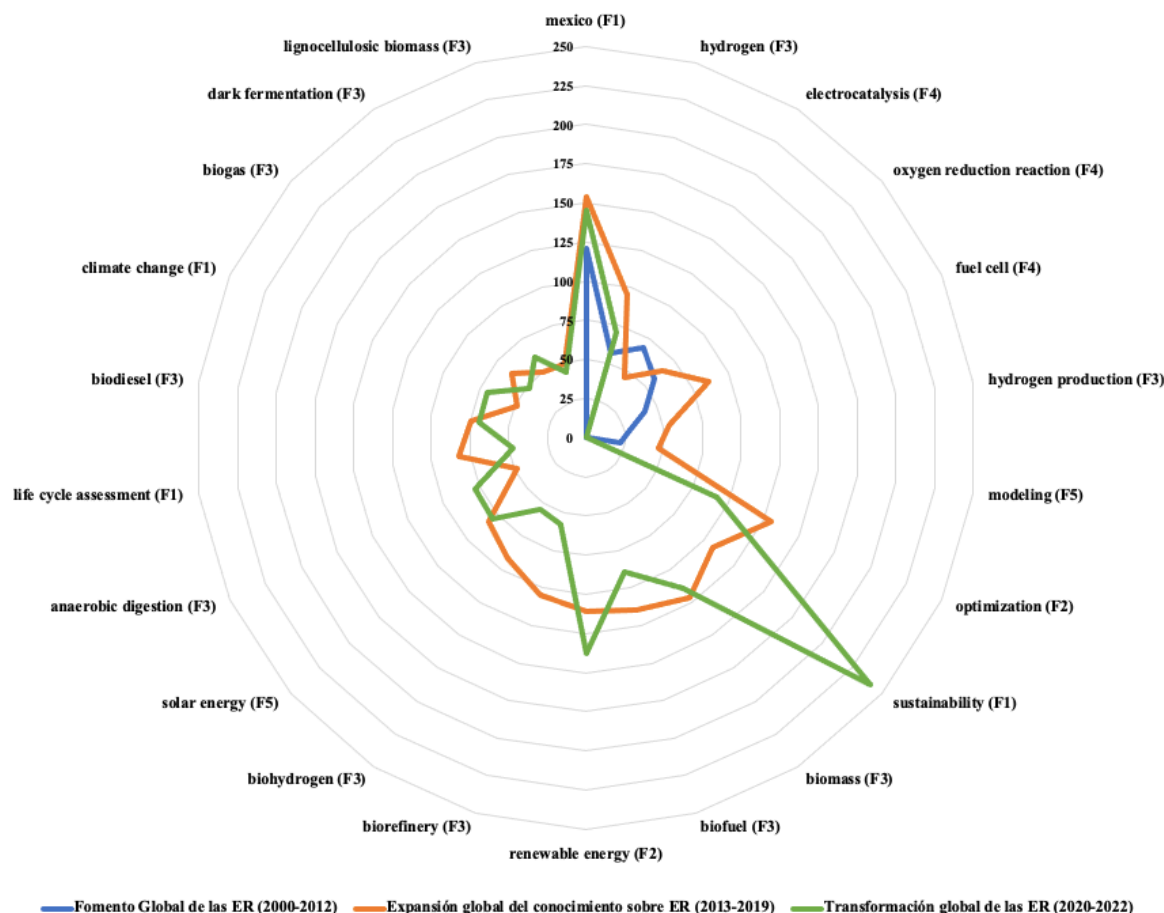
El segundo segmento de análisis es para la ***Expansión Global del Conocimiento sobre ER*** que contiene 2,739 documentos y 1,210 AKs. En relación al segmento anterior se observa un crecimiento en el número de AKs del 127%.

El primer frente de investigación de mayor relevancia en este segmento es ***Generación en Biocombustibles*** (coloreado en azul) que representa el 53% y lo constituyen 376 AKs. Esto indica un crecimiento de 36 puntos porcentuales de AKs respecto al segmento anterior y presenta 20 AKs coincidentes con el mundo. El AK de mayor influencia y coincidente con la tendencia mundial, es ***biomass*** con un *Score de* 122. La biomasa se encontraba en los últimos lugares en el segmento anterior y para este segmento lidera el grupo de Top 30 (Figura 4.24). Las AKs del frente azul presentan gran influencia en los procesos y productos para generar biocombustibles. Dentro de los procesos se encuentra una gran influencia de investigaciones sobre biorrefinerías para la producción de bio-hidrógeno, bioetanol y biodiesel. En particular México, se encuentra un interés por investigaciones relacionadas a la fermentación oscura, celdas de combustibles microbianas y aguas residuales que es una acumulación de conocimiento del segmento anterior y presente en el análisis del actual.

El segundo frente de importancia es para ***Política en Sostenibilidad*** (coloreado en rojo) con 17% de participación en el Top de las AKs de mayor influencia y constituye este frente 251 AKs. El frente rojo tuvo un crecimiento del 544% y una coincidencia con el mundo en 15 AKs que son líneas de investigación enfocadas a la sostenibilidad energética. Dentro de esta tendencia, se encuentran enfoques investigativos relacionados con tres de los AKs de

Figura 4-24

Evolución de los AKs en las ER en los segmentos temporales para México



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

mayor influencia: *México* (154); *sustainability* (107) y *life cycle assessment* (82). Se observan investigaciones concernientes a las problemáticas relacionadas al cambio climático, el impacto medioambiental y los gases de efecto invernadero. Estos desarrollos de investigación han llevado a México a la integración global de políticas de desarrollo sostenible y de hecho a la aplicación de los ODM y los ODS vigentes hasta el 2030.

El tercer frente es para la investigación sobre *Almacenamiento en ER* (coloreado en amarillo) con un 13% de participación y 213 AKs. El frente amarillo presenta un crecimiento del 39% y una convergencia a nivel mundial en 15 AKs. La AK de mayor *Score* es para *fuel cell* con 86, seguido por *oxygen reduction reaction* (65). Estas dos AKs coinciden con los AK de mayor influencia a nivel mundial. Las agrupaciones de los AKs proponen temáticas de investigación relacionadas con el proceso de producción de celdas de combustible de

hidrógeno por medio de la *photocatalysis* o *electrocatalysis* bajo la reacción de óxido-reducción. También produce hidrógeno por medio del proceso de celdas de combustible de membrana de intercambio de protones. Por otra parte, está presente la temática de la ciencia de materiales como los nanomateriales, nanopartículas, nanotubos de carbono y el óxido de grafeno para generar eficiencia en el almacenamiento de ER. Todos las *AKs* nombrados en este frente amarillo son avances científicos que estuvieron presente en el Top del segmento anterior, esto indica acumulación de conocimiento en el que el SC de México continúa en desarrollo.

El cuarto puesto es para el frente en ***Estructura en ER*** (coloreado en verde) con un 10% de participación y constituido con 210 *AKs*. Esto representa un incremento de 275% en relación al segmento anterior. Igualmente, posee 15 *AKs* que se encuentran en el Top mundial y destacan *optimization* (130) y *renewable energy* (111) como las *AKs* de mayor influencia para México. Estas dos líneas temáticas de investigación estuvieron en los primeros puestos en el segmento anterior, lo que indica un crecimiento por unas tecnologías particulares como la fotovoltaica y la eólica. Esto se sustenta en la influencia del grupo de *AKs* del frente verde en tres aspectos: primero, una tendencia definida las ER en fotovoltaica y eólica que ha evolucionado; segundo, las líneas de investigación emergentes que buscan relacionar y articular las ER mediante los sistemas *smart grid* y *microgrid*; tercero, es la optimización y eficiencia de los procesos relacionados a la generación de ER mediante inteligencia artificial, redes neuronales artificiales y modelos matemáticos que son enfoques investigativos en evolución en México. Estos tres elementos componen la evolución de un SC en ER como el fotovoltaico y eólico.

El quinto frente de investigación está representado por la ***Generación de Energía Solar*** (coloreado en púrpura) con un 7% de participación en el Top y 160 *AKs*. Un incremento de *AKs* del 39% respecto al segmento anterior. La *AK* de mayor *Score* es la denominada *solar energy* con 82. El frente púrpura presenta varias particularidades para este segmento: primero, se incrementa las convergencias con la tendencia mundial en este frente y temporalidad en 15 *AKs*, ello indica, una fuerte incidencia y articulación con la innovación de otros sistemas de innovación; segundo, es evidente el desplazamiento del dominio científico de la energía geotérmica por la energías solar de un segmento a otro. Ambas energías presentan fundamentos científicos distintos, pero en la práctica implica dos Sistemas

de energía que se complementan y representan para el caso de México un desarrollo relevante para la maduración de un Sistema Científico y productivo de la nación; el tercero es un crecimiento de temáticas de investigación relacionadas con modelos, sistemas, nuevos materiales y optimización de los procesos que aportan al crecimiento de las dos ER.

iii) Transformación Global ER de México 2020-2022

El último segmento temporal para México es ***Transformación Global de ER*** y lo componen 2,405 documentos y 1,162 *AKs*. En comparación con el segmento anterior presenta un descenso de 4 puntos porcentuales en la cantidad de *AKs*. Hay que recordar que este último segmento tan solo es de 3 años en los que se produjeron cambios considerables en el mundo científico. Ahora bien, desde el principio se advirtió para México la existencia del dominio científico en el frente ***Generación en Biocombustibles y Política en Sostenibilidad***, que conjuntamente representan el 70% del segmento temporal.

El frente de ***Generación en Biocombustibles*** (coloreado de azul) está en el primer lugar en el Top con el 40% de participación y 291 *AKs*. Implica una disminución de 23 puntos porcentuales respecto al segmento anterior. Se mantienen 20 de los *AKs* del segmento dos, lo que implica acumulación del conocimiento. Del mismo modo, presenta una disminución de líneas de investigación en los procesos de innovación que incentivan las tecnologías emergentes. Los *AKs* de mayor *Score* son ***biomass*** (114) y ***biofuel*** (89), pero han perdido influencia en relación al segmento temporal anterior (Figura 4.23). En este frente se observa un incremento en la producción de hidrógeno, biodiesel, metanol y etanol mediante distintos procesos de biorefinería como: la fermentación oscura ya comentada en esta documento; una línea emergente con el término ***seaweed*** que es un proceso que emplea las algas marinas como biomasa para distintos biocombustibles; las ***biochar*** para generar biogás por pirólisis. Por lo tanto, México presenta un sistema científico consolidado y en crecimiento en biocombustibles referente en el mundo y con capacidad de transferencia de conocimiento para los países de la Alianza del Pacífico.

El segundo frente es para la ***Política en Sostenibilidad*** (coloreado en rojo) con el 30% de participación y 347 *AKs* que corresponde a un crecimiento de 38% en relación al periodo anterior. Se mantienen términos relevantes del periodo anterior (13 *AKs*) y coinciden en 12 de los *AKs* del Top del mundo. El término más relevante es ***sustainability*** (*Score* de 241) que ha ganado influencia a lo largo de los años. México adopta la agenda 2030 en el 2015 como

eje articulador de la política de sostenibilidad bajo 17 objetivos. Es por ello, que la investigación sobre *Política en Sostenibilidad* presenta una tendencia importante hacia el objetivo de educación de calidad (ODS 4), seguido por el ODS 13 llamado Acción por el Clima. Estos dos enfoques son los de mayor influencia para las investigaciones relacionadas a las políticas sostenibles en ER.

El tercer puesto del Top es para el frente en ***Generación en Energía Solar*** (coloreado en púrpura) con 13% de participación y 151 *AKs*. Representa una disminución de *AKs* de 6 puntos porcentuales respecto al periodo anterior. Asimismo, coincide con 13 *AKs* del segmento dos y posee una coincidencia en 17 *AKs* respecto al Top mundial. El análisis sobre las tendencias temáticas de investigación releva un dominio científico orientado hacia la energía solar y sus modelos de optimización para la generación de ER. Esto indica una consolidación del SC en energía solar para México. Mientras tanto la energía geotérmica sostiene algunas líneas de investigación pero con poca influencia en el segmento temporal, lo que indica una retracción en este tipo de investigaciones.

El cuarto puesto es para el frente en ***Estructura en ER*** (coloreado en verde) con una participación del 10% y 174 *AKs*. Esto refleja una disminución de 17 puntos porcentuales respecto al periodo anterior. La investigación mexicana coincide con 18 *AKs* del Top mundial y con 14 *AKs* provenientes del periodo anterior. Entre ellos están ***renewable energy*** (138) y ***optimization*** (92) que continúan como los principales *AKs* del frente verde en los tres segmentos temporales. El frente verde presenta una SC consolidado en la energía eólica y su proceso de sistematización y optimización para la generación de energías. También, este sistema ha incluido los ***smartgrid*** y ***microgrid*** para su abastecimiento y generar procesos de equidad de energías renovables.

El quinto frente es para la ***Inteligencia Artificial y ER*** (coloreado en celeste) con una participación del 7% y 45 *AKs*. Es un frente emergente para México que converge en la investigación sobre 13 *AKs* respecto al Top mundial. Los *AKs* de mayor *Score* son: ***artificial intelligence*** con 58; ***internet of things*** (46); ***machine learning*** (42); ***artificial neural network*** (40) y ***big data*** (30). Entre las particularidades en el frente celeste para México, están los enfoques de investigación como la automatización y control de algunos procesos electrónicos, sensores, distintos tipos de señales, análisis de datos, *cloud computing*, entre

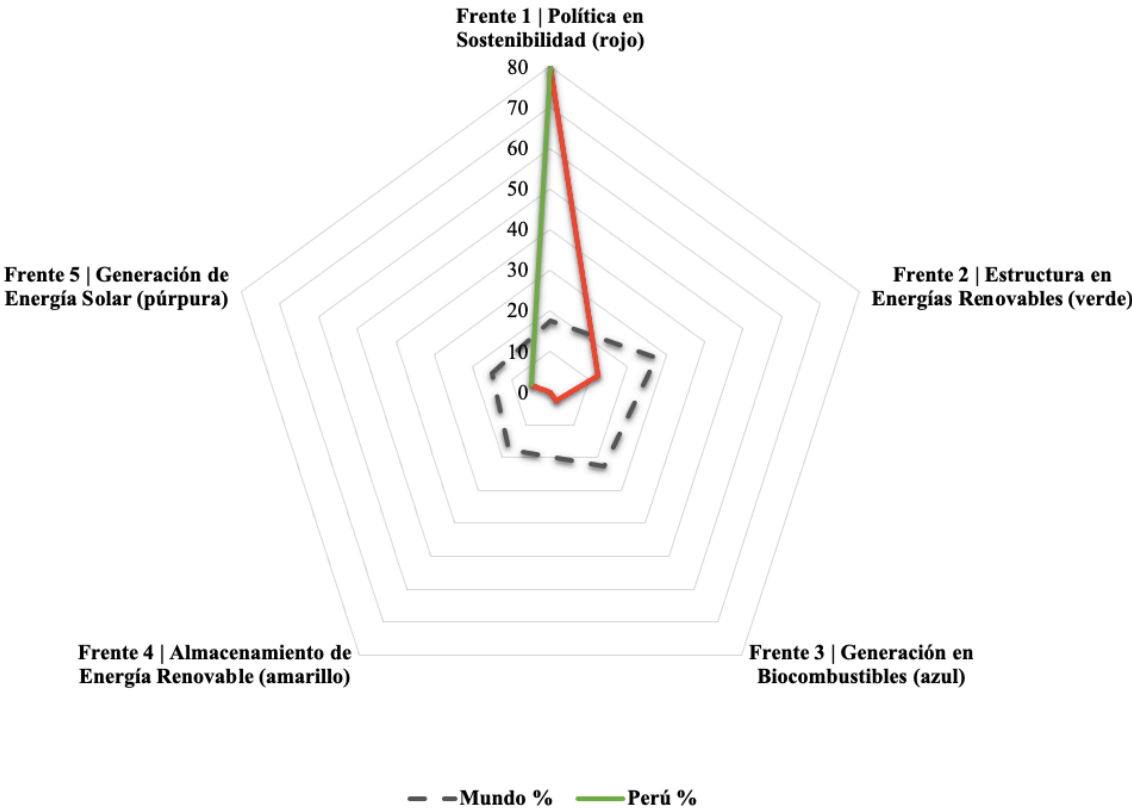
otras tecnologías 4.0 que se articulan con todos los frentes de investigación para mejorar y optimizar los proceso en las energías renovables.

4.8. Frentes de investigación en Energías Renovables de Perú

Perú es el país de la AP con menores desarrollos en su producción científica relacionados a energías renovables. Presenta 800 documentos y 363 *AKs* con un enfoque orientado a ***Política en Sostenibilidad*** (coloreado en rojo) de 2000 a 2022 y representa el 80% del Top 40 con 189 *AKs* (Figura 4.25). La investigación peruana en este frente supera en 62 puntos porcentuales a la mundial, lo que apunta a un grado de especialización y madurez de la políticas sostenibles, pero con poca presencia en los otros frentes de investigación (Figura 4.26). Los términos más relevantes son ***Perú*** con 154 y ***sustainability*** (98) (Anexo 30). A nivel general, existen cinco temáticas relevantes. La primera corresponde a la

Figura 4-25

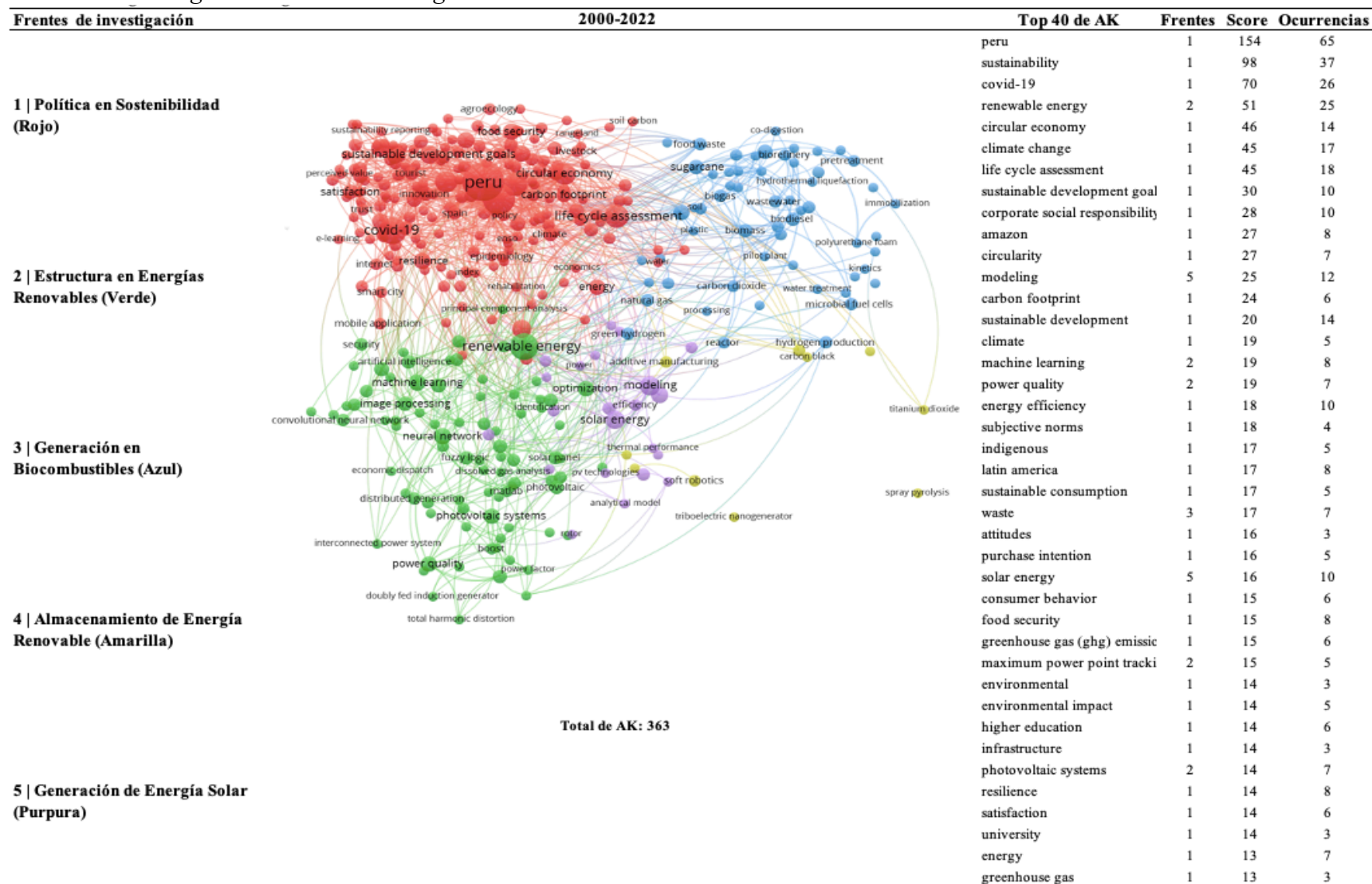
Tendencia de los frentes de investigación de Perú y el mundo 2000-2022



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Figura 4-26

Frentes de investigación de Perú en Energías Renovables



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

implementación de manera transversal de políticas con enfoques de los ODS. Por lo que da cuenta que tanto Perú como el resto de países de la AP han integrado la agenda global 2000-2015 y su continuidad 2015-2030. La investigación se centra en establecer métricas nacionales para valorar sus avances, generar diagnósticos de contexto y adecuar estrategias para cumplir con los parámetros fijados por la ONU en una política de sostenibilidad de integración global. La segunda temática propone líneas de investigación relacionados a las políticas de sostenibilidad en el ámbito empresarial, industrial e institucional. Desde la implementación de enfoques estratégicos sobre la economía circular que aprovecha los productos para darle una segunda vida útil; la implementación de una metodología de optimización de los recursos, que son el resultado del ciclo de vida del producto para generar una eficiencia energética dentro de la empresa; y otras políticas que incentiven la innovación social hacia los procesos de consumo sostenible.

El segundo bloque temático de Perú en el frente rojo se enfoca en el establecimiento de normas derivadas de políticas para mitigar el cambio climático y preservar la selva amazónica. Precisamente, muchas de las demandas de los países amazónicos como Perú y Colombia, es el reconocimiento de una política global que compense los esfuerzos de preservación del mayor sistema de absorción de CO₂ mediante bonos de carbono y la contribución al desarrollo de estos países con proyectos sostenibles. El tercer grupo temático son los asuntos indígenas relacionados con la preservación de sus territorios ancestrales y el reconocimiento de derechos de los pueblos originarios de América latina y su papel en la transformación hacia las energías renovables. La concertación con la población es una de las estrategias para dar viabilidad a los proyectos en ER. El cuarto tema está relacionado con el Covid-19 que ocasiona una parálisis en la economía mundial con la disminución de la demanda de energía por la industria y el crecimiento a nivel doméstico por el confinamiento. Su impacto generó una interrupción en la cadena de suministros necesaria para llevar a cabo los proyectos en ER a nivel nacional e internacional.

El segundo frente de investigación es para *Estructura en Energías Renovables* (coloreado en verde) con un 13% de participación del Top y 84 AKs. Este frente está 15 puntos porcentuales por debajo de la media mundial. Los cuatro grupos temáticos más destacados son: 1) la implementación de la optimización de los procesos de la ER mediante *machine learning* e inteligencia artificial; 2) la eficiencia de la producción mediante la

calidad, rentabilidad, distribución y el análisis de otros factores relacionados a las ER; 3) la energía solar fotovoltaica como principal ER usada en Perú seguida en menor medida por la investigación en energía. Ambas con participación en el sistema de producción eléctrica en el país. La energía eólica posee una participación del 3% y la solar el 6% según las estadísticas a mayo de 2024 de la [Asociación peruana de ER](#). Ello implica que Perú está en el camino de sustitución de energía fósiles, pero presenta desafíos de inversión nacional y extranjera para facilitar esta transición; 4) sustenta la estructura en ER como las redes rurales de conexión que se encuentran a lo largo del litoral Pacífico de Perú. Estos proyectos se encuentran en operación y se registran 56 de eólicos y 64 de solares. Lo anterior supone un crecimiento de la investigación en las energías renovables solar y eólica, pero continúa el predominio de la producción de ER como las hidroeléctricas y termoeléctricas en el país.

El tercer frente de mayor influencia es para la **Generación de Energía Solar** (coloreado en púrpura) con el 5% del Top y 22 AKs. El frente púrpura se encuentra por debajo de la media mundial en 10 puntos porcentuales. Las AKs de mayor *Score* son **modeling** con 25 y **solar energy** (16). Esta investigación se enfoca en el modelado y diseños de sistemas fotovoltaicos para mejorar su potencia y posible evaluación de riesgos. Igualmente, se distinguen otras dos temáticas de gran relevancia: la primera trata sobre la eficiencia de los sistemas de la energía solar y geotérmica mediante la modelización matemática y simulación; y la segunda se corresponde con el análisis económico y el ahorro de energía. Estas líneas de investigación están estrechamente relacionadas con las políticas de sostenibilidad energética del país en la actualidad.

El cuarto frente es para **Generación en Biocombustibles** (coloreada en azul) con un 3% y 58 AKs. La AKs de mayor influencia es **waste** con un *Score* de 17 y **food waste** (12). El desarrollo de la energía de la biomasa es producto de la gestión de los residuos orgánicos provenientes de la agroindustria. La biomasa posee una participación importante en el sistema eléctrico del Perú, al 2024 posee ocho centrales termoeléctricas que utilizan bagazo de azúcar y otros residuos orgánicos como fuente de energía. Entre las más destacadas se encuentran: Central Termoeléctrica de Biomasa Callao que se encuentra ubicada en Ventanilla, Callao, con una potencia nominal de 2.4 MW; Central de Biomasa Paramonga, situada en Barranca, Lima, esta central de cogeneración tiene una potencia efectiva instalada de 23 MW. Central Termoeléctrica de Huaycoloro, en el distrito de Huaycoloro, Lima, con

3 unidades de generación diésel de 1.6 MW ([Asociación peruana de ER](#), 2024). Las investigaciones sobre generación de combustibles se enfocan en la producción de biocombustibles como bioetanol, biogás, biodiesel e hidrógeno mediante innovaciones tecnológicas originadas por el sistema científico de Perú. Igualmente que Colombia, Perú presenta una mezcla del 5% de biodiesel en sus hidrocarburos con el diésel. Aprobado bajo el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles en el Decreto Supremo Número [013-2005-EM](#).

El quinto frente corresponde a ***Almacenamiento de Energía Renovable*** (coloreada en amarillo) Este frente no presenta participación porcentual en el Top 40. Sin embargo, se pueden distinguir un total de 10 *AKs* que aunque no tienen mucha representación constituyen líneas emergentes que se pueden incentivar (Anexo 30). Las innovaciones en nuevos materiales a base de carbón, óxido de titanio, carbón negro y el oro son convergentes para generar baterías de alto rendimiento en conjunto con las baterías de iones de litio y supercondensadores.

4.8.1. Evolución de los frentes de investigación en ER de Perú

La investigación en los últimos 23 años muestra que el frente de investigación sobre ***Política en Sostenibilidad*** acumula el mayor número de publicaciones científicas relacionadas. A continuación se describen los principales hallazgos.

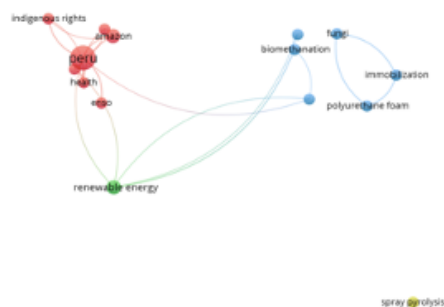
i) Fomento Global de las ER de Perú 2000-2012

En el primer segmento temporal se producen 40 documentos con 15 *AKs* (Figura 4.27). Presenta la particularidad de no presentar coincidencias temáticas con el Top mundial. Por lo tanto, sus líneas investigativas obedecen a intereses del contexto nacional y no globales para el enfoque de energías renovables. No obstante, la influencia del frente de ***Política en Sostenibilidad*** tuvo un crecimiento en todos los segmentos temporales de manera continua mientras que los demás frentes presentan una etapa temprana de desarrollo. De este modo, el frente de investigación de mayor influencia en el segmento es para la ***Política en Sostenibilidad*** (coloreada en rojo) representa el 47% con 7 *AKs* (Figura 4.28). Las *AKs* de mayor *Score* del frente son ***Perú*** con 13 y ***amazon*** (6) (Anexo 31).

Figura 4-27

Evolución de las ER de Perú

Fomento Global de las ER Perú 2000-2012



Total de Aks: 15

Top 15 de Aks	Frentes	Score
peru	1	13
amazon	1	6
health	1	6
indigenous rights	1	4
developing countries	1	3
indigenous	1	3
enso	1	2
renewable energy	2	6
biomethanation	3	4
fungi	3	4
immobilization	3	4
polyurethane foam	3	4
methane	3	3
anaerobic digestion	3	2
spray pyrolysis	4	0

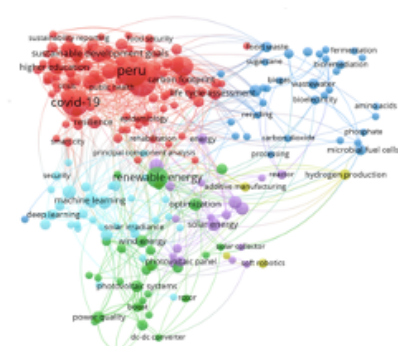
Expansión global del conocimiento sobre ER Perú 2013-2019



Total de Aks: 74

Top 30 de Aks	Frentes	Score
peru	1	31
life cycle assessment	1	20
modeling	5	12
renewable energy	2	11
amazon	1	10
sustainability	1	9
biomass	3	8
bolivia	1	7
climate	1	7
climate change	1	7
industrial ecology	1	7
solar panel	2	7
cleaner production	1	6
greenhouse gas (ghg) emissions	1	6
land use	1	6
livestock	1	6
south america	1	6
viticulture	1	6
waste management	1	6
carbon	4	6
solar energy	5	6
decision making	1	5
latin america	1	5
precipitation	1	5
resilience	1	5
spain	1	5
simulation	5	5
amazonia	1	4
environmental	1	4

Transformación global de las ER Perú 2020-2022



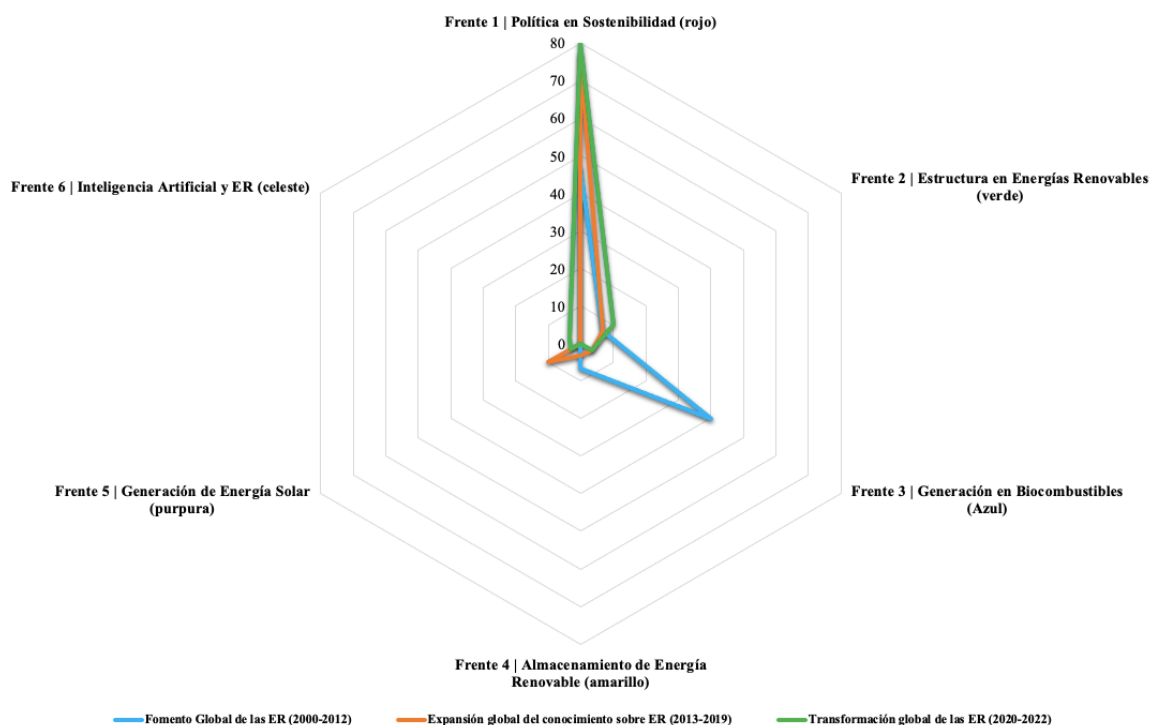
Total de Aks: 231

Top 30 de Aks	Frentes	Score
peru	1	83
sustainability	1	75
covid-19	1	65
circular economy	1	44
climate change	1	30
sustainable development goals	1	29
circularity	1	27
renewable energy	2	25
carbon footprint	1	22
corporate social responsibility	1	20
subjective norms	1	18
attitudes	1	16
purchase intention	1	16
sustainable consumption	1	16
machine learning	6	16
power quality	2	15
sustainable development	1	14
consumer behavior	1	13
environmental impact	1	13
satisfaction	1	13
university	1	13
waste	3	13
maximum power point tracking	2	13
modeling	5	13
higher education	1	12
pandemic	1	12
greenhouse gas	1	11
life cycle assessment	1	11
mortality	1	11
validity	1	11

Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Figura 4-28

Comportamiento de los frentes de investigación en ER en el tiempo de Perú



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Las iniciativas de investigación proponen una política sostenible enfocada en las ER que contribuyan al manejo ambiental amazónico en cuanto a su diversidad y su relación con sus pueblos originarios. Destaca también el fenómeno del niño (*enso*) y la contribución por parte de políticas sostenibles en ER para disminuir sus efectos e impacto en el país. Por último, la *AK developing countries* con poca influencia en el segmento, aparece en una línea de investigación que profundiza en la política en ER para el desarrollo sostenible de Perú.

El segundo frente de importancia es para **Generación en Biocombustibles** (coloreada en azul) con un 40% de participación y 6 *AKs*, de las que 2 *AKs* convergen con la investigación a nivel mundial en este frente: *methane* (3) y *anaerobic digestion* (2) (Anexo 33). Los términos más relevantes en la investigación peruana son *biomethanation* con 4, *fungi* (4), *immobilization* (4) y *polyurethane foam*. Este grupo establece líneas de investigación en la generación de biocombustibles como el metano y los procesos que interfieren los sistemas de producción de energía.

El tercer frente le corresponde a **Estructura en ER** (coloreada en verde) con un 7% de participación y solo le representa la **AK renewable energy** con un *Score* de 6 (Anexo 32). Esto es una divergencia con los términos más relevantes a nivel mundial y junto a la escasa producción científica da cuenta de investigaciones en sus etapas tempranas.

El cuarto frente es para **Almacenamiento de ER** (coloreado en amarillo) con un 7% de participación y solo representado por el término **spray pyrolysis** que es una técnica que se emplea con diversos usos industriales, como por ejemplo, para generar películas para paneles solares ([Adeleke et al. 2024](#); [Sudha et al. 2024](#)). Implica una versatilidad para el desarrollo de nuevos materiales al igual que una disminución de los costos de experimentación. En este periodo no se recoge producción relevante para la investigación en **Generación de Energía Solar** (Anexo 35).

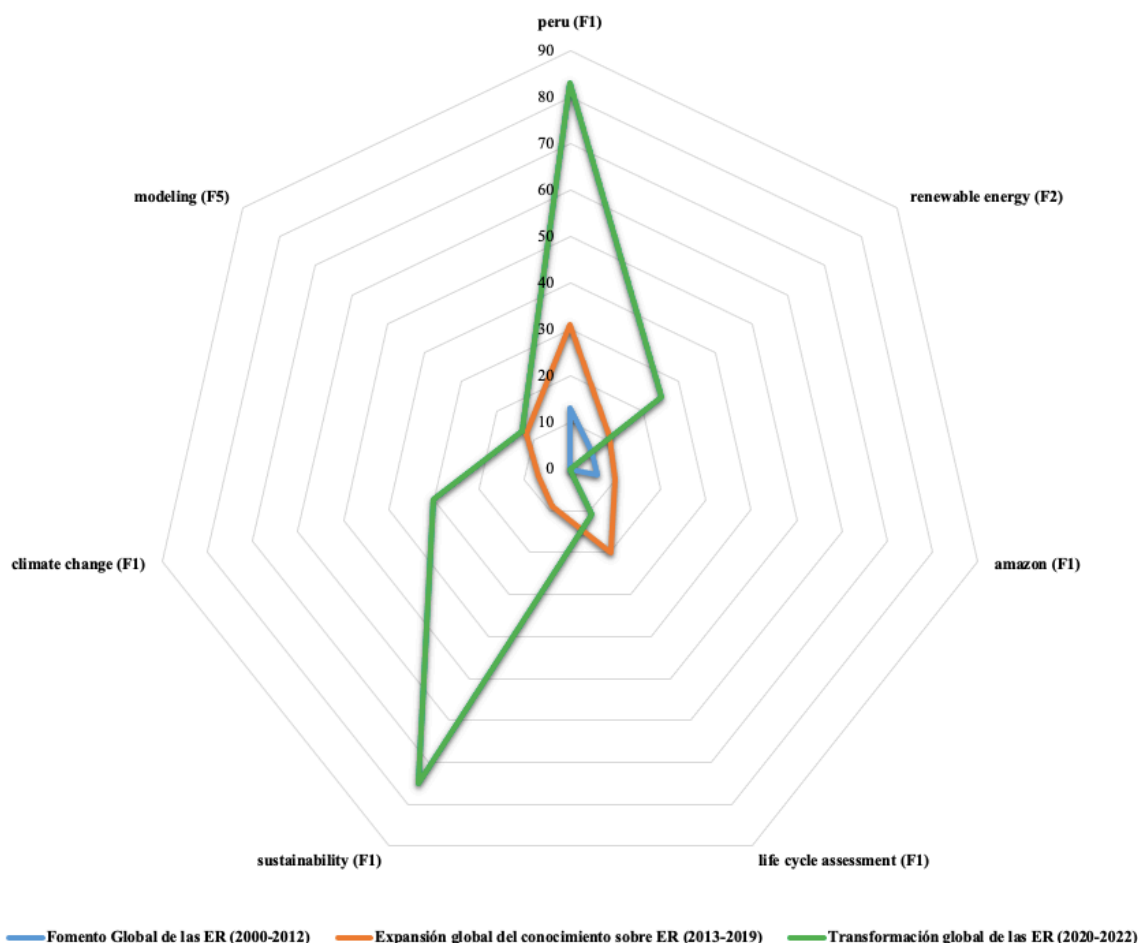
ii) Expansión Global de Conocimiento sobre ER de Perú 2013-2019

El segundo segmento temporal es el de **Expansión Global del Conocimiento sobre ER** con 238 documentos y 74 *AKs*, lo que supone un incremento del 393% en términos relevantes para todos los frentes de investigación. En este periodo, el frente de investigación con mayor influencia continua enfocado en la **Política de Sostenibilidad** (coloreado en rojo) con un 77% del Top 30 y 47 *AKs*. Tiene una coincidencia en 7 *AKs* a nivel mundial que se enfocan principalmente en política relacionadas con acciones por el planeta y el cambio climático. En relación al periodo anterior, el número de *AKs* tuvo un crecimiento de 671% y presenta una continuidad en la investigación sobre **Peru** (24) y **amazon** (9) (Figura 4.29). Esta línea de investigación presenta durante varias décadas una discusión de política de conservación por el Amazonas con cuatro temáticas de gran relevancia: 1) distingue la influencia sobre política sostenible en tres espacios regionales como América del Sur, América Latina e Iberoamérica; 2) políticas relacionadas con acciones por el planeta como la adaptación del cambio climático, mitigación a los gases de efecto invernadero, sostenibilidad ambiental y la biodiversidad; 3) agricultura sostenible que involucra temáticas de investigación relacionada con la gestión de los residuos producto de la agroindustria, el uso de la tierra con los distintos tipos de ganado y la seguridad alimentaria y 4) la industria sostenible en la manufacturera, el turismo y la optimización de recursos energéticos y ecológicos.

El segundo frente de investigación más desarrollado en este periodo es **Generación de Energía Solar** (coloreada en púrpura) con un 10% de participación y 5 *AKs* que coinciden

Figura 4-29

Evolución de los AKs en las ER en los segmentos temporales para Perú



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

con el Top de los AKs del mundo. Este frente de investigación no posee antecedentes para valorar su continuidad y evolución. El término de mayor influencia es **modeling** con un *Score* de 12, y en conjunto, la investigación peruana se enfoca en la optimización de la energía solar mediante modelos matemáticos y simulación computacional. Estas temáticas han tomado fuerza en Perú ya que son carentes de la gestión del conocimiento relacionadas con la energía solar.

El tercer frente corresponde a **Estructura en ER** (coloreado en verde) con un 7% de participación en el Top y 15 AKs. Respecto al periodo anterior, **renewable energy** se posiciona en primer lugar. Las temáticas relevantes de este frente se centran en investigaciones sobre energía solar fotovoltaica, electrificación rural y la optimización de los

procesos de las ER mediante inteligencia artificial. Perú trabaja en líneas emergentes de investigación para consolidar su producción científica, lo que tiene el potencial de facilitar su integración en muchos de los procesos industriales, en específico la reconocida capacidad logística que integra la cadena de suministros de Perú y la optimización de la inteligencia artificial alimentada con energías renovables.

El cuarto frente es para la **Generación en Biocombustibles** (coloreado en azul) con una participación del 3% del Top y 10 AKs (crecimiento del 66% respecto al periodo anterior). No presenta una continuidad con las investigaciones del periodo anterior pero existen investigaciones en 3 términos relevantes a nivel mundial. El más relevante es **biomass** con un *Score* de 8. Entre las principales líneas de investigación se pueden distinguir una tendencia hacia la gestión de los desechos orgánicos producto de la agricultura y su aprovechamiento con los biocombustibles como etanol, biodiesel y el gas natural.

El quinto frente es el **Almacenamiento en ER** (coloreado en amarillo) con una representación del 3% del Top y una única palabra clave del autor: **carbón** con un *Score* de 6. Igualmente, no posee similitudes con la tendencia mundial ni antecedentes de investigación con el segmento anterior.

iii) Transformación Global ER de Perú 2020-2022

El tercer segmento temporal de Perú corresponde a la **Transformación Global sobre ER** con 522 documentos y 231 AKs. Esto implica un crecimiento de AKs respecto al segmento anterior de 312%.

El frente de mayor relevancia es **Política en Sostenibilidad** (coloreado en rojo) con el 80% del Top y 110 AKs. Ello implica un crecimiento de AKs de 234% respecto al segmento anterior y establece la continuidad en las AKs como **peru** (83) y **life cycle assessment** (11) con los de mayor influencia en el periodo. El frente rojo presenta coincidencia en 9 de las AKs que representan los de mayor influencia con el mundo y presenta investigación en los 23 años del periodo analizado. Las principales líneas de investigación se centran en: 1) las políticas de integración de los ODS en todos los ámbitos sociales; 2) asuntos económicos con iniciativas para modificar los hábitos de consumo e incentivar la economía circular dentro del mundo corporativo, así como el establecimiento de políticas de responsabilidad social con el enfoque de sostenibilidad en todos los procesos de fabricación y venta del producto dentro de las empresas; 3) la emergencia sanitaria de carácter global como el Covid-19.

Hecho sin precedente que afectó todos los aspectos de la humanidad y requirió medidas de adaptación sustentada en la política de sostenibilidad; 4) el análisis de políticas relacionadas con acciones por el planeta que involucren el cambio climático e impacto ambiental a causa por los gases efecto invernadero y 5) la educación sostenible necesaria para hacer estas transformaciones sociales, económicas y ambientales. Es una educación orientada a la innovación desde grados básicos en la formación de profesionales cualificados de los contextos actuales.

El segundo frente de investigación es la **Estructura en ER** (coloreado en verde) con un 10% de participación y 34 *AKs*. Con un crecimiento del 207% respecto al periodo anterior y 6 *AKs* que presentan continuidad. Asimismo, coincide con el mundo en 10 *AKs*, específicamente en su principal *AK*: **renewable energy** con un *Score* de 25. En el frente verde hay tres grupos temáticos de gran influencia: 1) las ER eólicas y fotovoltaicas, ambas energías están encausadas para la producción de hidrógeno verde en que Perú posee una gran capacidad de producción; 2) sistemas de optimización, producción y calidad de la ER; 3) la red de conexión de ER desde lo rural a lo urbano como un sistema de integración eléctrica de Perú. Estas líneas de investigación son claves para la evolución de la ER de Perú y representa una ventana de oportunidad gracias a sus recursos humanos y naturales para desarrollar un SC competitivo en la región y el mundo.

El tercer frente corresponde al frente emergente denominado **Inteligencia Artificial y ER** (coloreado en celeste) con un 3% de participación y 33 *AKs*, de las que 11 coinciden a nivel mundial destacando **Machine learning** con un *Score* de 16. En el Top se encuentran las siguientes líneas de investigación de gran influencia para el Perú: 1) el empleo de las IAs en todos los procesos de las ER, en específico la utilización de aprendizaje automático, redes neuronales e internet de las cosas; 2) el empleo de las IAs en muchos aspectos de la producción de ER como los sistemas de monitoreo, procesamiento de imágenes, soporte y seguridad de estos sistemas; 3) modelos de predicción encaminados en la eficiencia energética y alimentados con diversas métricas de los instrumentos que componen los sistemas de las ER.

El cuarto frente es **Generación en Biocombustibles** (coloreado en azul) con una participación del 3% del Top y 34 *AKs*. Presenta un incremento del 240% y destaca el término **biodiesel** que continúa desde el periodo anterior. En comparación con el mundo, presenta una coincidencia de 10 *AKs* con interés por líneas de investigación que se orientan hacia los

contextos y particularidades de ámbito nacional: 1) la gestión de los residuos orgánicos producto de la agroindustria. Ello involucra el tratamiento de residuos líquidos, sólidos y desechos de alimentos para la producción de biogás; 2) investigaciones emergentes relacionadas con generación de bio-electricidad mediante celdas de combustibles microbianas o con microalgas; 3) el proceso de fermentación para la producción de biocombustibles como biodiesel, así como la biorrefinación para obtener diversos productos y materias primas en distintos sectores de la industria peruana.

El quinto frente es para **Generación de Energía Solar** (coloreado en púrpura) con el 3% de representatividad en el Top y 19 *AKs*, lo que supone un incremento del 280% y continuidad en 4 *AKs* del periodo anterior. A nivel mundial existe una coincidencia de 10 *AKs*, entre las que destacan **modeling** (13) y **energy efficiency** (8). Las investigaciones se centran en temáticas relacionadas con la optimización de la energía solar mediante un modelo matemático, seguido de la simulación para encontrar eficiencia energética mediante estos modelos y la implementación de dispositivos que proveen esta información.

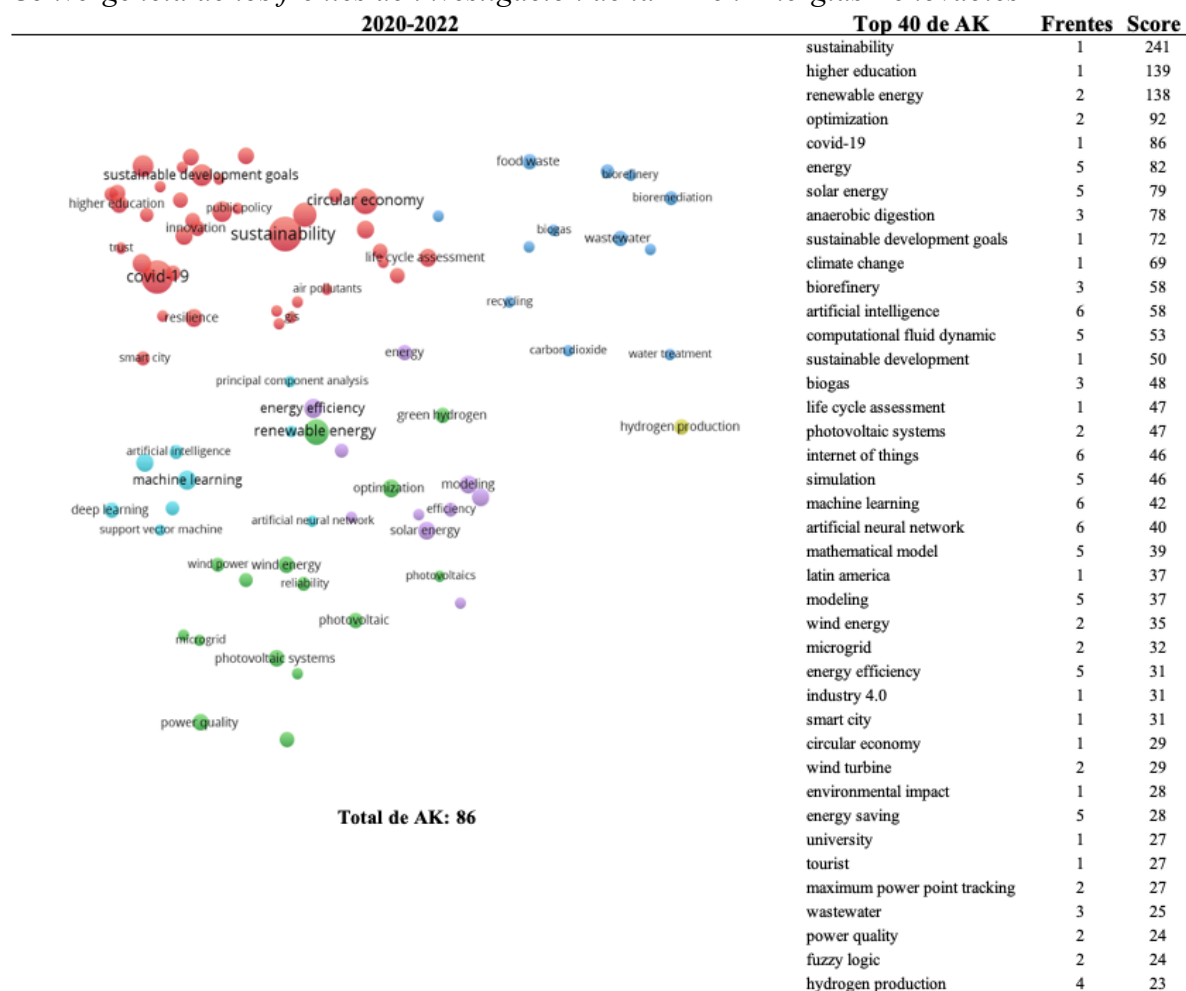
El sexto frente es para **Almacenamiento en Energía Renovable** (coloreado en amarillo) sin representación en el Top y con 4 *AKs*. La investigación en este frente se centra en **hydrogen production** (*Score* = 8) poniendo de relieve la importancia de mejorar las tecnologías de almacenamiento. Por otra parte, Perú propone investigaciones con el desarrollo de **soft robotics** que buscan converger en las tecnologías de almacenamiento y producción de nuevos materiales para buscar la eficiencia en las investigaciones de almacenamiento de ER. Uno de los antecedentes para dinamizar el frente de investigación amarillo en Perú, es que por parte del gobierno se han establecido leyes para incentivar el desarrollo de baterías eléctricas. La última iniciativa es la promoción de la Ley que modifica la Ley Número 28832, mediante la Resolución del Ministerio de Minas y Energía [N° 227-2022-MINEM-DM](#) con el objetivo de asegurar el desarrollo eficiente de la generación de energía eléctrica. Así como mejorar la competencia en el mercado eléctrico y en la predictibilidad de las inversiones en generación eléctrica. En la exposición de motivos de la Ley manifiestan el incentivo de las energías renovables y la promoción de tecnología que faciliten su almacenamiento.

4.9. Convergencia tecnológica de los frentes de investigación en ER del Alianza del Pacífico

Durante este capítulo, se ha discutido sobre la presencia y evolución de las líneas de investigación en distintos frentes de investigación de los Sistemas Científicos (SC) de los cuatro países de la Alianza del Pacífico (AP). Estos sistemas presentan similitudes o diferencias que les permiten apoyarse para buscar nuevas formas de integración tecnológica emergente, enfoques innovadores, análisis de aprendizaje y el desarrollo de competencias necesarias para avanzar hacia sistemas de energías sostenibles. Estas convergencias pueden

Figura 4-30

Convergencia de los frentes de investigación de la AP en Energías Renovables



Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

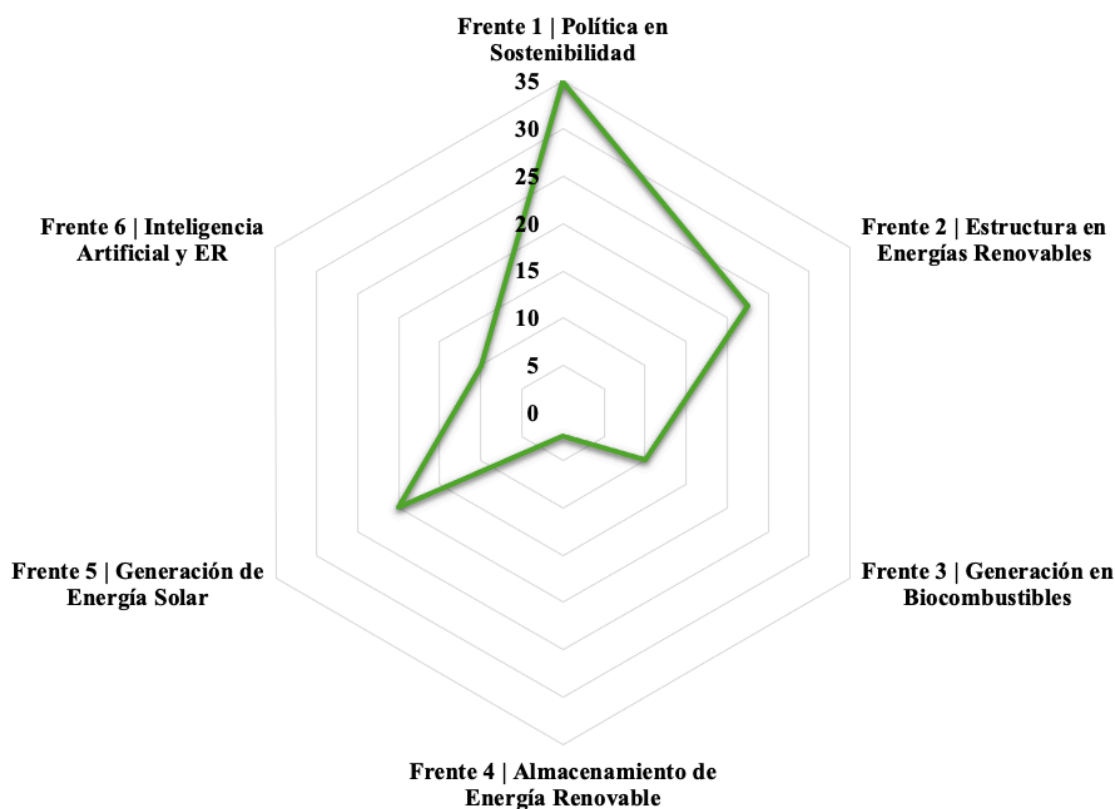
dar lugar a la integración y colaboración en diversas disciplinas y sectores lo que presenta desafíos y oportunidades claves para establecer los espacios colaborativos en los que la AP permita desarrollar una política de integración regional sostenible.

La Figura 4.30 establece los frentes de investigación en los que los cuatro países de la AP coinciden en el último segmento temporal de 2020 a 2021. La AP manifiesta en conjunto, unas 86 *AKs* que convergen principalmente en las *AKs sustainability* con un *Score* de 241, *higher education* (139) y *renewable energy* (138). Estas líneas de investigación ponen de manifiesto la relevancia de la sostenibilidad en todos los aspectos políticos que proponen una educación superior con enfoque hacia las energías renovables.

En la AP la investigación científica sobre *Política en Sostenibilidad, Estructura en ER y Generación de Energía Solar* representa el 78% de las convergencias registradas en el Top (Figura 4.32). La investigación sobre *Política en Sostenibilidad* (coloreada en rojo)

Figura 4-31

Participación en la convergencia de los frentes de investigación en las ER en los de la AP



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

acumula el 35% y es la temática más convergente en los cuatro países, con la integración de los ODS como las acciones por el planeta, impacto ambiental y climático; economía sostenible que integra el manejo del ciclo de vida del producto, industria 4.0, economía circular y turismo sostenible; así como, la educación sostenible que busca profundizar en la educación superior; por último están las líneas de investigación que tratan los efectos de la pandemia y sus acciones para modificar muchas de sus políticas, estrategias y protocolos para enfrentar una emergencia sanitaria de alcance global. No obstante, la convergencia presenta mayor afinidad entre Perú, Chile y Colombia en un promedio del 66% (Figura 4.32). Entre Chile y Perú la mayor convergencia la define la economía circular y la responsabilidad social corporativa (Anexo 39). Mientras que Colombia y Perú presentan mayor convergencia por las políticas de integración de los ODS (Anexo 41).

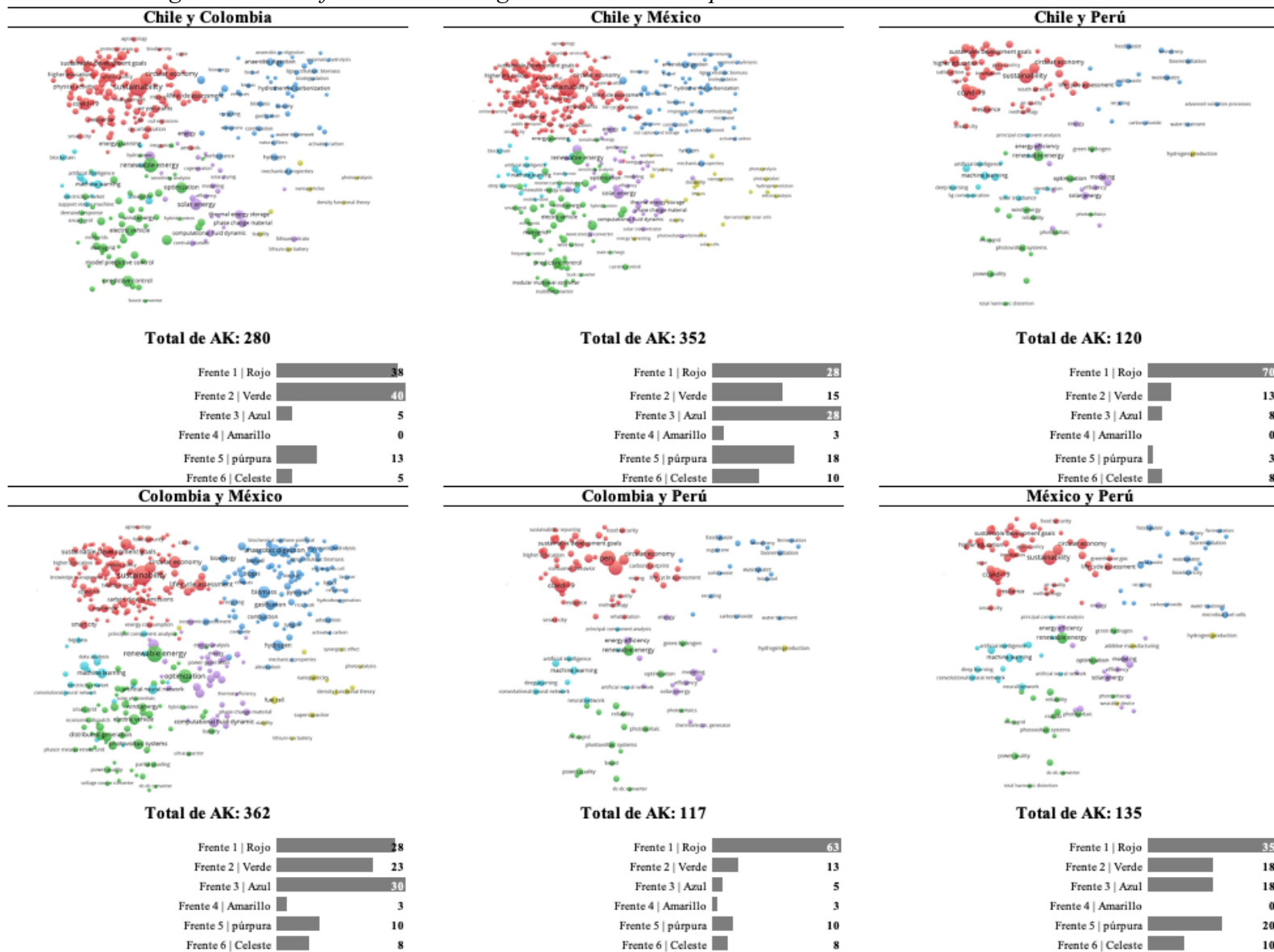
En cuanto a la producción científica en **Estructura en ER** (coloreada en verde) que representa el 35% del Top. Se distinguen dos líneas de investigación relevantes: 1) investigaciones relacionadas con los modelos predictivos para optimizar los sistemas de ER y 2) las investigaciones en la energía fotovoltaica y en la eólica. Aunque los cuatro países presentan convergencia en este frente, Chile y Colombia son los más afines (40%) en la investigación sobre modelos predictivos de los sistemas de energías fotovoltaicas y eólicas, y sistemas de almacenamiento, procesos de gestión y redes de distribución de las energías renovables (Anexo 37).

La investigación que producen los países de la Alianza del Pacífico en **Generación de Energía Solar** (coloreada de púrpura) supone un 20% y está especializada en energía solar y geotérmica. Sus temáticas de investigación están enfocadas en la optimización y simulación de los modelos matemáticos que buscan el ahorro y la eficiencia energética. Los cuatro países poseen convergencia en su producción científica, aunque los países más afines son México, Chile y Perú (Anexo 38 y 43).

La investigación del cluster azul en **Generación en Biocombustibles** (un 10% del Top) está especializada en la producción de bioenergía a través de la biorrefinería de biocombustibles. Una de las líneas de investigación que integra los cuatro países de la AP son los procesos de fermentación como la digestión anaeróbica y el tratamiento de aguas residuales.

Figura 4-32

Posibles convergencias de los frentes de investigación en ER de los países de la AP



Leyenda. Desarrollo propio con información de *Scopus*. La figura es el producto del análisis de los mapas superpuestos (*overlay*) de los cuatro países de estudio. Esta información se encuentran en los anexos 37 al 42 que es el Top de las convergencias de los países. La unidades establecidas son porcentuales en relación a los frentes de mayor influencia.

Los países que presentan mayor convergencia son México, Colombia y Chile (promedio de 28,6%). Por un lado, Colombia-México (convergencia del 30%), investigan en biomasa y la producción de biocombustibles como el biogás, syngas y la generación de hidrógeno por medio de pirólisis (Anexo 40). Por otro lado, la convergencia entre Chile a México (Anexo 38) y de México a Chile (Anexo 42) comparten las mismas temáticas de Colombia-México pero con un peso de influencia distinto. Esto indica que se le ha dado prioridad a investigaciones de bioenergía de acuerdo a la capacidad instalada dentro de cada territorio. El caso de Colombia-México se diferencia de Chile en la línea de investigación en Syngas.

El quinto frente de investigación que mejor converge entre los países de la Alianza del Pacífico es el de **Inteligencia Artificial y ER** (clúster celeste) con el 10% del Top. Todos los países hacen investigación en este frente (promedio de 8.2%). La optimización de los sistemas y la predicción de las variables para la eficiencia energética busca incrementar los márgenes de utilidad y producción. Las investigaciones crecen rápidamente y México podría constituirse como un aliado estratégico con el que establecer colaboraciones. La convergencia entre México-Chile (Anexo 38) y México-Perú (Anexo 42) presenta un 10%. Mientras que Colombia-México comprende un 8%, con la salvedad de la investigación sobre **Artificial Intelligence** no se encuentra en el Top pero se encuentra en la base que propone la convergencia para el conjunto de países.

En la investigación del clúster amarillo sobre **Almacenamiento en ER** (3% de participación). Colombia converge con México y Perú en la investigación sobre **fuel cell** e **hydrogen production**, mientras que Chile-México lo hacen en **fuel cell**.

En esta tesis se plantea que los países de la Alianza del Pacífico presentan grandes fortalezas que emergen con la capacidad en producción científica en energías renovables y su utilización para generar su almacenamiento con las celdas de combustible. La producción de hidrógeno verde se convierte en una política de Estado para Colombia con la “Hoja de Ruta para el Hidrógeno” desde el año 2021 ([MinEnergía, 2020](#)). El gobierno de Chile impulsa el “[Plan de Acción Hidrógeno Verde 2023-2030](#)” ([Ministerio de Energía, 2024](#)). México y Perú, presentan política a nivel de Estado y federal de esta Hoja de Ruta, mediante los organismos como la Asociación Mexicana de Hidrógeno en conjunto con PwC ([PricewaterhouseCoopers México](#)) desde el 2022 y Perú con el [Proyecto de Ley de](#)

[promoción del Hidrógeno Verde](#) de 2023. La alineación de políticas a nivel de Estado permite dinamizar el proceso de colaboración investigativa y conformar sistemas científicos que sean capaces de transferir conocimiento a los sectores productivos que incrementen su capacidad para atender la fuerte demanda por las ER.

Conclusiones del capítulo

Este estudio se ha centrado en el análisis comparativo y evolutivo de la estructura cognitiva de la producción científica en energías renovables para los países de la Alianza del Pacífico con el objetivo de identificar fortalezas y debilidades en la producción científica de cada país.

También se han presentado los principales eventos histórico-políticos desde el año 2000 a hasta el 2022 en contexto. Se han delimitado las distintas fases de desarrollo de la investigación en el campo mediante el cálculo de la segunda derivada a partir de la presencia y evolución de las palabras claves del autor (*AKs*) recogidas en la literatura científica. Las tres fases de desarrollo muestran una tendencia histórica hacia la investigación sobre las políticas de desarrollo sostenible con la integración de las ER como elemento fundamental dentro de la agenda global.

Dado que diversas agencias internacionales incentivan el desarrollo de los sistemas científico y tecnológicos de los países mediante procesos de cooperación como la generación y transferencia de conocimiento y fondos de inversión para materializar proyectos de ER, los resultados de esta investigación pueden ser útiles para orientar esfuerzos coordinados entre las instituciones y los gobiernos. Esto implica, sumarse a las lógicas globales que permean todas las instituciones del Estado hacia al diseño estándar de los ODS y adaptarlo a las necesidades de cada nación ([Gallegos, 2019](#)). Sin embargo, ya van 24 años de una agenda global pero con evidentes retrasos para revertir la emergencia global por el cambio climático. Los resultados recuperados de *Scopus*, muestran a Estados Unidos y China como los mayores productores científicos en ER, pero su liderazgo se ha visto empañado por una rivalidad en los aspectos económicos y geopolíticos que ha polarizado el mundo ([Kou et al., 2023](#)). El daño mutuo de los líderes de la ER supone un incremento de costos de producción, altos aranceles y barreras para la transferencia de tecnología ([Asmelash, 2022](#)). La incertidumbre, es una ventana de oportunidad para los países de la AP para incrementar sus capacidades de investigación y extenderlas a procesos productivos que enriquezcan a los países o al menos,

que permita aprovechar las ventajas competitivas y alcanzar una mayor autonomía para crear espacios colaborativos.

Dado que uno de los postulados de los estudios del desarrollo global es tratar de comprender y abordar las complejidades del mundo bajo las dinámicas de sostenibilidad ([Istiadji et al. 2024](#)), comunicar esta complejidad de la producción científica en forma de mapas cognitivos, facilita transmitir información a los grupos de interés y tomadores de decisiones de los posibles puntos a discutir dentro del desarrollo de las agendas científicas en las políticas nacionales y regionales ([Muñoz-Écija et al., 2019](#)). Por tanto, creemos que estos resultados son relevantes y contribuyen a la propuesta de debates informados y reflexivos sobre las convergencias científicas y potencialmente tecnológicas en las que los países de la Alianza del Pacífico pueden centrar sus esfuerzos ([Chinchilla-Rodríguez et al., 2018](#)).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

5.1. Conclusiones

El objetivo general de esta investigación fue identificar las principales líneas temáticas de la producción científica mediante la comparación de mapas cognitivos a fin de fortalecer los espacios colaborativos de los Sistemas Científicos de la Alianza del Pacífico.

En el primer objetivo, se ha esquematizado la evolución del dominio científico de la producción científica de energías renovables en los países de la AP. Se ha presentado un crecimiento en varios frentes de investigación bajo la delimitación temporal establecida por la técnica de la segunda derivada que propone tres segmentos temporales para visualizar la evolución de las ER. Los segmentos temporales son: Fomento Global de las Energías Renovables (2000-2012), Expansión Global del Conocimiento sobre Energías Renovables (2013-2019) y Transformación Global de las Energías Renovables (2020-2022).

Chile destaca en la investigación sobre Política en Sostenibilidad y Estructura en ER, con una tendencia al crecimiento en los tres segmentos temporales, mientras que Colombia lo hace en Política en Sostenibilidad, Estructura en ER y con un fuerte predominio histórico en el frente de Generación de Biocombustibles. México evoluciona continuamente en el frente de Política en Sostenibilidad, con predominio en la Generación de Biocombustibles. Perú presenta un dominio constante en el frente de Política en Sostenibilidad.

La investigación en energías renovables en el mundo y los países de la AP presentan una consistencia en las temáticas de mayor influencia: Política en Sostenibilidad, Estructura en ER y Generación de Biocombustibles. Mientras que, los frentes de Inteligencia Artificial y ER, Generación de energía Solar y Almacenamiento de ER son los más emergentes y novedosos. Sin embargo, también se encontró que los países de la AP se les dificulta seguir la tendencia del mundo en el resto de frentes de investigación, lo que genera en la actualidad una brecha en sus Sistemas Científicos y Sistemas de Innovación. A diferencia de la AP, en la tendencia mundial existe un equilibrio en el crecimiento de los frentes a través del tiempo.

El segundo objetivo identificó los frentes de investigación de la producción científica en energías renovables generadas por los países de la AP en el periodo de 2000 a 2022. Se identificaron cinco frentes de investigación y uno emergente: 1) la Política en Sostenibilidad (coloreado en rojo), que agrupa las investigaciones relacionadas con los ODS y las energías renovables; 2) la Estructura en Energía Renovable (coloreado en verde), que comprende investigaciones de energías híbridas eólica y fotovoltaica. El desarrollo y complementariedad de este frente se sustenta en la optimización y la eficiencia energética en forma de red; 3) Generación de Biocombustibles (coloreado en azul) enfocado en la biorrefinería de biomasa para producir biodiesel, bioetanol, biogás, biohidrógeno y sus derivados para generar electricidad; 4) Almacenamiento de Energías Renovables (coloreado en amarillo) especializado en el almacenamiento de energía que sustenta los avances tecnológicos de los nuevos materiales, procesos de optimización, eficiencia de almacenamiento de energía eléctrica y térmica; 5) Generación de Energía Solar (coloreado en púrpura), que agrupa de manera híbrida la energía solar y geotérmica. Aunque los avances tecnológicos de las dos energías se han dado por separado, en la actualidad, se complementan en un solo sistema para lograr la continuidad y eficiencia energética y 6) Inteligencia Artificial y Energías Renovables (coloreado en celeste), que es un frente de investigación emergente que aparece en el tercer segmento temporal dando cuenta de cómo la inteligencia artificial que ha impactado todos los aspectos de la sociedad y el mundo científico. De manera transversal, este frente interactúa con los otros frentes de investigación en la optimización de los sistemas de energía renovable.

En el tercer objetivo se ha contrastado la producción científica del Sistema Científico de los países de la AP. Se encontró convergencia en las temáticas de los cuatro países de la AP en investigaciones relacionadas con los ODS. Esto hace que la comunicación dentro de la organización sea coherente, progresiva y reconocida para aprobar proyectos de cooperación sobre cualquier aspecto de la política de sostenibilidad.

Sumado a ello, los cuatro países presentan convergencia en sus líneas de investigación en energía eólica y fotovoltaica. Aunque los avances en el mundo integren de manera híbrida estas dos ER y se optimicen en un sistema en forma de red, los cuatro países poseen una capacidad instalada y pueden en conjunto lograr la integración a nivel regional y mundial.

Por su parte, México, Chile y Colombia convergen en desarrollos de investigaciones en biocombustibles. Un elemento clave en el desarrollo agroindustrial de los tres países es el aprovechamiento eficiente de sus desechos orgánicos con las biorrefinerías.

Estos resultados permiten comprender los desafíos, oportunidades y áreas de mejora en la colaboración científica entre los países de la AP. Y tienen implicaciones políticas ya que la competitividad de los países no se limita únicamente a las inversiones en Ciencia, Tecnología e Innovación, sino que también depende de la gestión eficaz del conocimiento. En este sentido creemos que podrían ser útiles para informar sobre aspectos estratégicos en el desarrollo de mecanismos de acción en torno a los objetivos de la AP, como por ejemplo:

¿De qué manera se puede adaptar el marco de la AP para mejorar la transferencia de conocimiento entre Chile, Colombia, México y Perú? ¿Cuáles son las barreras principales que enfrentan estos países en términos de políticas públicas para impulsar la innovación y cooperación científica? ¿Qué papel juegan los incentivos económicos y regulatorios en el éxito de la colaboración científica dentro del bloque de la AP?

Por otro lado, surgen interrogantes en torno al desarrollo de las energías renovables, tales como: ¿Qué factores limita el desarrollo de innovaciones tecnológicas conjuntas entre estos países en el ámbito de las energías limpias? ¿Cómo podrían los países de la AP fortalecer su competitividad en el sector de las ER mediante una mayor colaboración científica? ¿Qué impactos a largo plazo puede tener la colaboración científica en ER sobre la economía y la sostenibilidad de cada país? ¿Qué áreas de investigación o tecnología en ER podrían generar mayores beneficios si se desarrollan a través de proyectos conjuntos entre estos países? ¿Cómo podría la colaboración científica internacional en energías renovables impactar la reducción de la dependencia de combustibles fósiles en la región?

Todas estas preguntas representan posibles focos de investigación que tienen el potencial de contribuir al establecimiento de mecanismos de cooperación entre los países de la AP de manera sistemática, rigurosa y pertinente. A medida que se exploran estas cuestiones, se abrirán oportunidades para desarrollar políticas más efectivas y sostenibles que beneficien al conjunto de países.

5.2. Limitaciones

Esta investigación utilizó *Scopus* como la fuente principal de información, ya que cumplía con una serie de requisitos esenciales para el desarrollo de esta tesis. Sin embargo, somos conscientes de las limitaciones de la base de datos como se ha detallado en el apartado de Fuentes de información.

Por otro lado, durante el desarrollo de esta tesis se comenzó un análisis de la base de datos Lens con información sobre patentes. Sin embargo, por cuestiones de tiempo no se ha incluido en esta tesis.

5.3. Investigaciones futuras

La identificación de limitaciones abre una ventana de oportunidad para realizar investigaciones complementarias. En primer lugar, se plantea el uso de una fuente de información alternativa como Dimensions, que ofrece un sistema de clasificación especializado y una mayor cobertura de otros tipos documentales, como patentes, artículos indexados e informes de asignación presupuestaria para proyectos. De esta manera se, enriquece el análisis de los resultados con información de otras actividades científicas implicadas en la transferencia de conocimiento y de financiación y se amplía el universo de actores implicados y audiencias interesadas en la toma de decisiones. De esta manera se complementarían los datos usados en esta tesis.

La segunda propuesta se relaciona con el procesamiento de la información para identificar los principales socios colaboradores a nivel regional y mundial a partir de redes de colaboración entre los países de la Alianza del Pacífico. Este análisis es útil para orientar alianzas estratégicas, convenios y programas de investigación, por ejemplo.

La tercera propuesta se centra a nivel metodológico y consiste en utilizar un método heurístico para clasificar las ingente cantidad de palabras clave (*AKs*) relacionadas con las energías renovables en la literatura científica. El proceso incluiría el uso de varias inteligencias artificiales reconocidas y de acceso abierto para generar una matriz de clasificación y asignar las *AKs* a cada ER. Este método se complementará con supervisión humana a través de verificaciones aleatorias, para asegurar la calidad de la clasificación.

Estos conjuntos de datos permitirán refinar las búsquedas y las relaciones entre los países de la AP en relación con cada tipo de energía renovable.

5.4. Referencias

- Abbas, S., Saqib, N., & Shahzad, U. (2024). Global export flow of Chilean copper: The role of environmental innovation and renewable energy transition. *Geoscience Frontiers*, 15(3), 101697. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101697>
- Abdilmouti, H. (2021, November). Producing Electricity by Concentrated Solar Energy. <https://doi.org/10.11159/icaera21.102>
- Abraham, T. R., Sunil, K., Shah, M., Ashok, N., & Thomas, S. (2023). Energy storage devices: batteries and supercapacitors. In *Nanobiohybrids for Advanced Wastewater Treatment and Energy Recovery* (pp. 61–84). IWA Publishing. https://doi.org/10.2166/9781789063592_0061
- Adams, J., Jones, P., Porter, S., Szomszor, M., Draux, H., & Osipov, I. (2018). Dimensions-A collaborative approach to enhancing research discovery. In Retrieved July (Vol. 21). doi.org/10.6084/m9.figshare.5783160.v1
- Adeleke, K. M., Fadara, T. G., Ojetoye, A., Oyerinde, A. Y., & Soji–adekunle, A. R. (2024). Mechanical properties of boron-doped-zinc oxide thin films using spray pyrolysis technique. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 12(2), 265–276. <https://doi.org/10.21923/jesd.1304303>
- Aghmadi, A., & Mohammed, O. A. (2024). Energy Storage Systems: Technologies and High-Power Applications. *Batteries*, 10(4), 141. <https://doi.org/10.3390/batteries10040141>
- AIE. (2024). Trends in electric vehicle batteries. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
- Aksnes, D. W., & Sivertsen, G. (2019). A Criteria-based Assessment of the Coverage of Scopus and Web of Science. *Journal of Data and Information Science*, 4(1), 1–21. <https://doi.org/10.2478/jdis-2019-0001>
- Alaguraj, R., & Kathirvel, C. (2024). Integration of Edge Computing-Enabled IoT Monitoring and Sharded Blockchain in a Renewable Energy-Based Smart Grid System. *Electric Power Components and Systems*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/15325008.2023.2293944>
- Alam, Md. M., & Murad, Md. W. (2020). The impacts of economic growth, trade openness and technological progress on renewable energy use in organization for economic co-operation and development countries. *Renewable Energy*, 145, 382–390. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.054>
- Albert, M. J. (2022). The global politics of the renewable energy transition and the non-substitutability hypothesis: towards a ‘great transformation’? *Review of International Political Economy*, 29(5), 1766–1781. <https://doi.org/10.1080/09692290.2021.1980418>

- Alcaide–Muñoz, L., Rodríguez–Bolívar, M. P., Cobo, M. J., & Herrera–Viedma, E. (2017). Analysing the scientific evolution of e-Government using a science mapping approach. *Government Information Quarterly*, 34(3). <https://doi.org/10.1016/j.giq.2017.05.002>
- Ali, K., & Song, J. (2023). Design of Concentrated Solar Power Plant with Molten Salt Thermal Energy Storage. In *Advanced Theory and Applications of Engineering Systems Under the Framework of Industry 4.0* (pp. 187–197). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9825-6_15
- Alianza del Pacífico. (2014). Oportunidades de Colaboración en Investigación sobre Cambio Climático en los países de la Alianza del Pacífico. MINAM. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/541?show=full>
- Alianza del Pacífico. (2018). Visión estratégica de la Alianza del Pacífico al año 2030. <https://alianzapacifico.net/?wpdmdl=14189>
- Alnaimat, F., & Rashid, Y. (2023). Thermal energy storage in concentrated solar power plants. In *Energy Storage for Multigeneration* (pp. 275–294). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821920-1.00001-7>
- Alonso, J. C., & Quintero, D. A. M. (2017). Impacto del precio del petróleo sobre el PIB de los países de la Alianza del Pacífico*. *Revista Finanzas y Política Económica*, 9(2). <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2017.9.2.3>
- Ananto, R. A., Handani, G. P. C., Santoso, A. H., & Gumilang, B. S. (2023). Analisis Beberapa Jenis PLTS di Khatulistiwa Menggunakan Prototype alat ukur PV. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(3), 208–211. <https://doi.org/10.33795/elposys.v10i3.4527>
- ANZSRC. (2020, June 30). Clasificación de investigación estándar de Australia y Nueva Zelanda (ANZSRC). <https://www.abs.gov.au/statistics/classifications/australian-and-new-zealand-standard-research-classification-anzsrc/latest-release>
- AP. (2019). Potenciales Encadenamientos Productivos entre los Países de la Alianza del Pacífico y China, Japón, Corea y Tailandia. https://alianzapacifico.net/wp-content/uploads/Estudio_Potenciales_Encadenamientos_Productivos_entre_Paises_AP_y_Mercados_de_China_Japon_Corea_y_Tailandia_2019.pdf
- Aprueban Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles DECRETO SUPREMO No 013-2005-EM, (2005).
- Arencibia Jorge, R., Vega Almeida, R. L., Chinchilla Rodríguez, Z., Corera Álvarez, E., & de Moya Anegón, F. (2012). Patrones de especialización de la investigación cubana en salud. *Revista Cubana de Salud Pública*, 38(SUPPL. 5), 734–747. <https://doi.org/10.1590/S0864-34662012000500007>
- Arencibia-Jorge, R., Leydesdorff, L., Chinchilla-Rodríguez, Z., Rousseau, R., & Paris, S. W. (2009). Retrieval of very large numbers of items in the Web of Science: an

- exercise to develop accurate search strategies. *De La Información*, 18(5), 555–559. <http://arxiv.org/abs/0911.1305>
- Arruti, C. (2023). The Pacific Alliance: Towards a Model of Sustainable Development. *Beijing Law Review*, 14(01), 199–214. <https://doi.org/10.4236/blr.2023.141011>
- Arthur, W. B. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, 99(394), 116. <https://doi.org/10.2307/2234208>
- Asheim, B. (2007). Sistemas regionales de innovación y bases de conocimiento diferenciadas: un marco teórico analítico. In *Sistemas regionales de innovación: nuevas formas de análisis y medición* (FUNDACIÓN, pp. 65–86).
- Asmelash, H. (2022). The Turn to Safeguard Measures in the Solar Trade War. *Journal of World Trade*, 56(Issue 5), 803–830. <https://doi.org/10.54648/TRAD2022033>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019
- Backhaus, J. G. (2003). *Joseph Alois Schumpeter: Entrepreneurship, Style and Vision*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/b101851>
- Baleta, J., Mikulčić, H., Klemeš, J. J., Urbaniec, K., & Duić, N. (2019). Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1424–1436. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.035>
- Batool, S., & Channi, H. K. (2024). Role of Blockchain IoT in Smart Building for Distributed Renewable Power (pp. 63–80). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1586-6.ch004>
- Belaidi, H., & Rabiai, Z. (2022). Decentralized Energy Management System Enhancement for Smart Grid. In *Research Anthology on Smart Grid and Microgrid Development* (pp. 77–90). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-3666-0.ch004>
- Belov, V. B. (2022). A Paradigm Change in Energy Cooperation between Germany and Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 92(S6), S512–S520. <https://doi.org/10.1134/S1019331622120024>
- Bergstrom, C. (2007). Eigenfactor: Measuring the value and prestige of scholarly journals. *College & Research Libraries News*, 68(5). <https://doi.org/10.5860/crln.68.5.7804>
- Bhutta, M. S., Li, Y., Abubakar, M., Almasoudi, F. M., Alatawi, K. S. S., Altimania, M. R., & Al-Barashi, M. (2024). Optimizing solar power efficiency in smart grids using hybrid machine learning models for accurate energy generation prediction. *Scientific Reports*, 14(1), 17101. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68030-5>

- Bianchi, C., Galaso, P., & Palomeque, S. (2023). Absorptive capacities and external openness in underdeveloped innovation systems: a patent network analysis for Latin American countries 1970–2017. *Cambridge Journal of Economics*, 47(6), 1139–1170. <https://doi.org/10.1093/cje/bead034>
- BID. (s.f.). Programa del Fondo para una Tecnología Limpia para el Financiamiento de Proyecto. Retrieved May 24, 2024, from <https://www.iadb.org/es/proyecto/CO-L1124>
- Bilgen, H. (2021). A global comparison methodology to determine critical requirements for achieving industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 172, 121036. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121036>
- Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 363–376. https://doi.org/10.1162/qss_a_00018
- Bisariya, A., Kumar, R., Singh, D. K., Shukla, S. K., Rathore, P. K. S., & Ali, H. M. (2024). Phase Change Materials for Thermal Energy Storage Systems. In *Phase Change Materials for Thermal Energy Management and Storage* (pp. 304–323). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003331957-13>
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3(Jan), 993–1022. <https://www.jmlr.org/papers/volume3/blei03a/blei03a.pdf?ref=https://githubhelp.com>
- Bollen, J., Rodriquez, M. A., & van de Sompel, H. (2006). Journal status. *Scientometrics*, 69(3). <https://doi.org/10.1007/s11192-006-0176-z>
- Boschma, R., & Lambooy, J. (1999). Evolutionary Economics and Economic Geography. *Journal of Evolutionary Economics*, 9, 411–429. <https://doi.org/10.1007/s001910050089>
- Bouncken, R. B., & Reuschl, A. J. (2018). Coworking-spaces: how a phenomenon of the sharing economy builds a novel trend for the workplace and for entrepreneurship. *Review of Managerial Science*, 12(1), 317–334. <https://doi.org/10.1007/s11846-016-0215-y>
- Braude, H., Castro Demiryi, V., & Fiorentin, F. (2024). Estrategias, políticas e instrumentos para la innovación verde en América Latina. In *Documentos de Proyectos (LC/TS.2023/177)*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/515b4b04-e021-40ca-8363-9abafb2de6e8/content>
- Cabrera-Flores, M., López Leyva, S., & Serrano Santoyo, A. (2017). Relevancia, pertinencia y socialización del conocimiento, ¿cómo contribuyen los investigadores a la innovación de Ensenada, México? *Investigaciones Regionales*, 2017(37), 31–53. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6042504>

- Cai, J., Wang, Y., Liu, J., Zhang, X., & Li, F. (2022). Pretreatment enhanced structural disruption, enzymatic hydrolysis, fermentative hydrogen production from rice straw. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(23), 11778–11786. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.214>
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: The case of polymer chemistry. *Scientometrics*, 22(1). <https://doi.org/10.1007/BF02019280>
- Campenhoudt, L., Marquet, J., & Quivy, R. (2017). *Manuel de recherche en sciences sociales* (DUNOD). DUNOD. <https://www.gisnt.org/pdf/6006cded2aecdfeuillete6.pdf>
- Campenhoudt, V., & Quivy, R. (2011). *Manuel de recherche en sciences sociales* (4th ed.). Dunod. <https://www.fapyd.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2015/09/manual-de-investigacion-en-ciencias-sociales-quivy-campenhoudt.pdf>
- Caporale, G. M., Spagnolo, N., & Almajali, A. (2023). Connectedness between fossil and renewable energy stock indices: The impact of the COP policies. *Economic Modelling*, 123, 106273. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2023.106273>
- Carayannis, E. G., & Campbell, D. F. J. (2006). Knowledge Creation, Diffusion, and Use in Innovation Networks and Knowledge Clusters: Introduction and Chapter Summaries. In *Knowledge Creation Diffusion and Use in Innovation Networks and Knowledge Clusters A Comparative Systems Approach across the United States Europe and Asia*. Praeger Publishers. https://www.academia.edu/3000561/Knowledge_creation_diffusion_and_use_in_innovation_networks_and_knowledge_clusters_a_comparative_systems_approach_across_the_United_States_Europe
- Carayannis, E. G., & Campbell, D. F. J. (2009). “Mode 3” and “Quadruple Helix”: toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, 46(3/4), 201. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.023374>
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), 93–118. <https://doi.org/10.1007/BF01224915>
- Carneiro, D. K. de O., Isidro, A., & Criado, J. I. (2022). Actors in the Public Sector Innovation Ecosystem: A Comparative Qualitative Approach Brazil-Spain. *New Trends in Qualitative Research*, 14(e726). <https://doi.org/10.36367/ntqr.14.2022.e726>
- Carvache-Franco, O., Carvache-Franco, M., & Carvache-Franco, W. (2022). Barriers to Innovations and Innovative Performance of Companies: A Study from Ecuador. *Social Sciences*, 11(2), 63. <https://doi.org/10.3390/socsci11020063>
- CFE. (s.f.). MÉXICO, POTENCIA EN GEOTERMIA. Retrieved September 29, 2024, from <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2502>

- Chaves, J. (2004). Desarrollo tecnológico en la Primera Revolución Industrial. <http://dehesa.unex.es/handle/10662/10305>
- Chel, A., & Kaushik, G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 91–118. <https://doi.org/10.1051/agro/2010029>
- Chen, Y., Koch, T., Zakiyeva, N., Liu, K., Xu, Z., Chen, C. H., Nakano, J., & Honda, K. (2023). Article's scientific prestige: Measuring the impact of individual articles in the web of science. *Journal of Informetrics*, 17(1). <https://doi.org/10.1016/j.joi.2023.101379>
- Chinchilla-Rodríguez, Z., Costas, R., Robinson-García, N., & Larivière, V. (2024). Examining the quality of the corresponding authorship field in Web of Science and Scopus. *Quantitative Science Studies*, 5(1), 76–97. https://doi.org/10.1162/qss_a_00288
- Chinchilla-Rodríguez, Z., Miao, L., Murray, D., Robinson-García, N., Costas, R., & Sugimoto, C. R. (2018). A Global Comparison of Scientific Mobility and Collaboration According to National Scientific Capacities. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 3, 17. <https://doi.org/10.3389/frma.2018.00017>
- Chinchilla-Rodríguez, Z., Miguel, S., Perianes-Rodríguez, A., & Sugimoto, C. R. (2018). Dependencies and autonomy in research performance: examining nanoscience and nanotechnology in emerging countries. *Scientometrics*, 115(3), 1485–1504. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2652-7>
- Chinchilla-Rodríguez, Zaida, Ocaña-Rosa, Kevin, Vargas-Quesada, Benjamín. (2016). How to Combine Research Guarantor and Collaboration Patterns to Measure Scientific Performance of Countries in Scientific Fields: Nanoscience and Nanotechnology as a Case Study. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 1:2. <https://doi.org/10.3389/frma.2016.00002>
- Chuprov, A. I. (1889). On the Nature and Causes of the Current Industrial Crisis in Western Europe. Moscow: Moscow University. In Russian.
- CIF. (2024). INVESTING IN MEXICO. <https://www.cif.org/country/mexico>
- Cimoli, M., & Dosi, G. (1995). Technological paradigms, patterns of learning and development: An introductory roadmap. *Journal of Evolutionary Economics*, 5(3), 243–268. <https://core.ac.uk/download/pdf/45624259.pdf>
- Cisneros Lavaller, A. (2023). Renewables and hydrocarbon price climbing: implications for Latin America and the world. In *A Research Agenda for Energy Politics* (pp. 35–54). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781789901764.00012>
- Clarivate. (2022). Top 100 Global Innovators 2022 report. <https://clarivate.com/thanks-download/?org=172415>

- Clarivate. (2022a). Web of Science Journal Evaluation Process and Selection Criteria. <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/web-of-science-core-collection/editorial-selection-process/editorial-selection-process/>
- Clarivate. (2023, December 12). Journal Citation Reports Categories by Groups. Online. <https://jcr.help.clarivate.com/Content/category-profile.htm?Highlight=immediacy%20index>
- Clark, J. P. (1971). The Second Derivative and Population Modeling. *Ecology*, 52(4), 606–613. <https://doi.org/10.2307/1934148>
- CMNUCC. (2023). ¿Qué es el Protocolo de Internet? United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/network-layer/internet-protocol/>
- CMNUCC. (2024). Conferencia de las Partes (COP). <https://unfccc.int/es/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
- Coates, V., Farooque, M., Klavans, R., Lapid, K., Linstone, H. A., Pistorius, C., & Porter, A. L. (2001). On the Future of Technological Forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 67(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(00\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(00)00122-0)
- Codina, L., Morales-Vargas, A., Rodríguez-Martínez, R., & Pérez-Montoro, M. (2020). Uso de Scopus y Web of Science para investigar y evaluar en comunicación social: análisis comparativo y caracterización. *Index.Comunicación*, 10(3), 235–261. <https://doi.org/10.33732/ixc/10/03Usodes>
- Collier, J. (1986). Entropy in evolution. *Biology and Philosophy*, 1, 5–24. <https://doi.org/10.1007/BF00127087>
- Confrey, J. (1991). The Concept of Exponential Functions: A Student's Perspective. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3178-3_8
- COP-7. (2001). Convención Marco sobre el Cambio Climático. <https://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop7/cp713a01s.pdf>
- Corrales, C. A. (2012). Destrucción Creativa: Journal of Strategic Studies. *Revista Ciencias Estratégicas*, 20(28), 213–216. <https://www.redalyc.org/pdf/1513/151326917001.pdf>
- Correa-Puerta, J., Ferrada, P., Häberle, P., Díaz-Almeida, D., Sanz, A., Zubillaga, O., Marzo, A., Portillo, C., & del Campo, V. (2021). Comparing the effects of ultraviolet radiation on four different encapsulants for photovoltaic applications in the Atacama Desert. *Solar Energy*, 228, 625–635. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.003>
- Cruz, O., Konstantinou, E., & McArthur, J. (2024). Legitimising the Emerging Green Hydrogen Industry: The Case of Chile (pp. 203–213). https://doi.org/10.1007/978-3-031-59703-9_15

- Daim, T., Bukhari, E., Bakry, D., VanHuis, J., Yalcin, H., & Wang, X. (2021). Forecasting Technology Trends through the Gap Between Science and Technology: The Case of Software as an E-Commerce Service. *Foresight and STI Governance*, 15(2), 12–24. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.2.12.24>
- de Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Vargas-Quesada, B., Corera-Álvarez, E., Muñoz-Fernández, F. J., González-Molina, A., & Herrero-Solana, V. (2007). Coverage analysis of Scopus: A journal metric approach. *Scientometrics*, 73(1), 53–78. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1681-4>
- de Moya-Anegón, F., Vargas-Quesada, B., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Muñoz-Fernández, F. J., & Herrero-Solana, V. (2007). Visualizing the Marrow of Science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58(14), 2167–2179. <https://doi.org/10.1002/ASI.20683>
- de Oliveira, L. S., Soares Echeveste, M. E., Cortimiglia, M. N., & Gularte, A. C. (2019). Open Innovation in Regional Innovation Systems: Assessment of Critical Success Factors for Implementation in SMEs. *Journal of the Knowledge Economy*, 10(4), 1597–1619. <https://doi.org/10.1007/s13132-019-00619-y>
- Demirel, Y. (2012). Energy Conversion (pp. 229–303). https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2372-9_7
- Denter, N. M., Aaldering, L. J., & Caferoglu, H. (2022). Forecasting future bigrams and promising patents: introducing text-based link prediction. *Foresight*. <https://doi.org/10.1108/FS-03-2021-0078>
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). Documento Conpes 3975: Política Nacional Para La Transformación Digital e Inteligencia Artificial. In Consejo Nacional de Política Económica y Social - República de Colombia. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3975.pdf>
- di Bucchianico, A. (2007). Coefficient of Determination (R^2). In *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470061572.eqr173>
- Diario Oficial de la Federación. (2001). Ley de Desarrollo Rural Sustentable. In *Diario Oficial de la Federación*. https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LEY_DE_DESARROLLO_RURAL_SUSTENTABLE.pdf
- Dimensions. (2022, October 6). ¿Qué categorías de investigación y esquemas de clasificación están disponibles en Dimensions? <https://plus.dimensions.ai/support/solutions/articles/23000018820-which-research-categories-and-classification-schemes-are-available-in-dimensions->
- Dimensions. (2023, March 1). What's the difference between Dimensions Free and Dimensions Analytics? <https://dimensions.freshdesk.com/support/solutions/articles/23000025193-what-s-the-difference-between-dimensions-free-and-dimensions-analytics->

- Dong, X., Yu, Y., & Zhou, J. (2023). Innovation System BT - Cisco: Integration of Innovation and Operation (X. Dong, Y. Yu, & J. Zhou, Eds.; pp. 87–110). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7870-8_4
- Dopfer, K., Foster, J., & Potts, J. (2004). Micro-meso-macro. *Journal of Evolutionary Economics*, 14(3), 263–279. <https://doi.org/10.1007/s00191-004-0193-0>
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, 11(3), 147–162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(84\)90018-0](https://doi.org/10.1016/0048-7333(84)90018-0)
- Dunn, W. N., Holzner, B., Shahidullah, M., & Hegedus, A. M. (1987). The Architecture of Knowledge Systems. *Knowledge*, 9(2), 205–232. <https://doi.org/10.1177/0164025987009002004>
- Easwaran, K. (2014). Why Physics Uses Second Derivatives. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 65(4), 845–862. <https://doi.org/10.1093/bjps/axt022>
- Edquist, C. (2006). Systems of Innovation: Perspectives and Challenges. *The Oxford Handbook of Innovation*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0007>
- Effoduh, J. O. (2023). Book Review: The Fourth Industrial Revolution, by Klaus Schwab. <https://doi.org/doi.org/10.32920/24242932.v1>
- el Haj Assad, M., Al-Shabi, M., Sahlolbei, A., & Khuwaileh, B. (2020). Analysis of hybrid geo-solar power plant. In A. K. Dutta & P. Balaya (Eds.), *Energy Harvesting and Storage: Materials, Devices, and Applications X* (p. 41). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2566216>
- Elkhatat, A., & Al-Muhtaseb, S. A. (2023). Combined “Renewable Energy–Thermal Energy Storage (RE–TES)” Systems: A Review. *Energies*, 16(11), 4471. <https://doi.org/10.3390/en16114471>
- Elsevier. (2023). Contenido de Scopus. Cobertura de Scopus. <https://www.elsevier.com/es-es/products/scopus/content#0-cobertura-de-contenido>
- Espinosa, M., Carvajal, F. M., & Pesantez, J. (2021). Teoría evolucionista, revolución tecnológica y paradigma tecno-económico: una mirada a la economía de la innovación. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2681>
- Etzkowitz, H., & Klofsten, M. (2005). The innovating region: toward a theory of knowledge-based regional development. *R&D Management*, 35(3), 243–255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2005.00387.x>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)

- Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2018). Innovation incommensurability and the science park. *R&D Management*, 48(1), 73–87. <https://doi.org/10.1111/radm.12266>
- Fairlie, A., & Portocarrero, J. (2020). Políticas para promover la ciencia, tecnología e innovación en la era digital. *UDA AKADEM*, 5, 61–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.33324/udaakadem.vi5.273>
- Falagas, M. E., Kouranos, V. D., Arencibia-Jorge, R., & Karageorgopoulos, D. E. (2008). Comparison of SCImago journal rank indicator with journal impact factor. *The FASEB Journal*, 22(8). <https://doi.org/10.1096/fj.08-107938>
- Färber, M., & Ao, L. (2022). The Microsoft Academic Knowledge Graph enhanced: Author name disambiguation, publication classification, and embeddings. *Quantitative Science Studies*, 3(1), 51–98. https://doi.org/10.1162/qss_a_00183
- Feng, L., Wang, Q., Wang, J., & Lin, K.-Y. (2022). A Review of Technological Forecasting from the Perspective of Complex Systems. *Entropy*, 24(6), 787. <https://doi.org/10.3390/e24060787>
- Ferreira, V., & Lisboa, A. (2019). Innovation and Entrepreneurship: From Schumpeter to Industry 4.0. *Applied Mechanics and Materials*, 890, 174–180. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.890.174>
- Fersadou, B., Nessab, W., & Kahalerras, H. (2024). Nanofluids–Magnetic field interaction for heat transfer enhancement. In *Advanced Materials-Based Fluids for Thermal Systems* (pp. 101–133). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21576-6.00007-8>
- Filho, D. B., Silva Júnior, J. A., & Rocha, E. C. (2011). What is R2 all about? *Leviathan (São Paulo)*, 3, 60. <https://doi.org/10.11606/issn.2237-4485.lev.2011.132282>
- FRED. (2024, May 22). Precios del petróleo crudo: West Texas Intermediate (WTI) - Cushing, Oklahoma [DCOILWTICO]. <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILWTICO>
- Freeman, C. (1987). *Technology, Policy, and Economic Performance: Lessons from Japan* (P. Publishers, Ed.; reimpressa). Pinter Publishers. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.1989.tb00649.x>
- Freeman, C. (1995). The ‘National System of Innovation’ in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), 5–24. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035309>
- Freeman, C., & Johnson, H. G. (1976). Technology and Economic Interdependence. *The Economic Journal*, 86(343), 636. <https://doi.org/10.2307/2230821>
- Frohmann, A., & Olmos, X. (2023). Sinergias para un comercio inclusivo y sostenible: el caso de la Alianza del Pacífico. In *CEPAL*. CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/49049/1/S2300367_es.pdf

- Fu, Q., Álvarez-Otero, S., Sial, M. S., Comite, U., Zheng, P., Samad, S., & Oláh, J. (2021). Impact of Renewable Energy on Economic Growth and CO2 Emissions—Evidence from BRICS Countries. *Processes*, 9(8), 1281. <https://doi.org/10.3390/pr9081281>
- Führ, F., Bisset Alvarez, E., & Araújo, P. C. de. (2021). A produção científica sobre ciência da informação e humanidades digitais indexada nas bases de dados Dimensions, Scopus e Web of Science. *Anales de Documentación*, 24(2). <https://doi.org/10.6018/analesdoc.480201>
- Furtado, A. T., Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2020). Of actors, functions, and fuels: Exploring a second generation ethanol transition from a technological innovation systems perspective in Brazil. *Energy Research and Social Science*, 70, 101706. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101706>
- Gallegos Zúñiga, J. R. (2019). La Alianza del Pacífico, aspectos jurídicos organizacionales y de su sistema de solución de controversias. *Estudios Internacionales*, 51(194), 75–94. <https://doi.org/10.5354/0719-3769.2019.55654>
- Garcia-Rodriguez, S., & Sleiman, H. (2022). Towards a Robust, Distributed and Decentralised Smart Energy Management of Microgrids. *Proceedings of the 14th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 15–25. <https://doi.org/10.5220/0010748900003116>
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Ghandehariun, A. M., & Ghandehariun, S. (2024). Hybrid Geothermal and Solar Energy Systems. In *Encyclopedia of Renewable Energy, Sustainability and the Environment* (pp. 185–196). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00225-5>
- Gómez-Núñez, A. J., Batagelj, V., Vargas-Quesada, B., Moya-Anegón, F., & Chinchilla-Rodríguez, Z. (2014). Optimizing SCImago Journal & Country Rank classification by community detection. *Journal of Informetrics*, 8(2), 369–383. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2014.01.011>
- Gómez-Núñez, A. J., Vargas-Quesada, B., Muñoz-Écija, T., & Moya Anegón, F. D. (2013). Visualización y análisis de la estructura de la base de datos Scopus. *International Society for Knowledge Organization*. <https://digital.csic.es/handle/10261/100214>
- Gómez-Núñez, A.J., Vargas-Quesada, B., Chinchilla-Rodríguez, Z., Batagelj, V. and Moya-Anegón, F. (2016), "Visualization and analysis of SCImago Journal & Country Rank structure via journal clustering", *Aslib Journal of Information Management*, Vol. 68 No. 5, pp. 607-627. <https://doi.org/10.1108/AJIM-12-2015-0205>

- González Merino, A., & Castañeda Zavala, Y. (2008). Biocombustibles, biotecnología y alimentos. Impactos sociales para México. Argumentos Nueva Epoca, 21(57). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>
- González-Pereira, B., Guerrero-Bote, V. P., & Moya-Anegón, F. (2010). A new approach to the metric of journals' scientific prestige: The SJR indicator. *Journal of Informetrics*, 4(3), 379–391. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.03.002>
- Grable, J. E. (2019). An Introduction to Kondratieff Waves. *Journal of Financial Service Professionals*, 73(3), 19–22. <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagd%3A10%3A782762/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aagd%3A136192762&crl=c>
- Green, K., Hull, R., McMeekin, A., & Walsh, V. (1999). The construction of the techno-economic: networks vs. paradigms. *Research Policy*, 28(7), 777–792. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00021-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00021-9)
- Gregorio Chaviano, O., López Mesa, E. K., & Limaymanta, C. H. (2021). Web of Science como herramienta de investigación y apoyo a la actividad científica: luces y sombras de sus colecciones, productos e indicadores. *E-Ciencias de La Información*. <https://doi.org/10.15517/eci.v12i1.46660>
- Grinin, L. E., Korotaev, A., & Bondarenko, V. M. (2017). ND Kondratiev: Crisis y previsiones a la luz de la teoría de la onda larga. Una visión desde el presente (Uchitel). ООО" Издательство" Учитель". https://inecon.org/docs/2017/Kondratjev_book_20170924-28.pdf
- Guerrero-Bote, V. P., Chinchilla-Rodríguez, Z., Mendoza, A., & de Moya-Anegón, F. (2021). Comparative Analysis of the Bibliographic Data Sources Dimensions and Scopus: An Approach at the Country and Institutional Levels. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 5. <https://doi.org/10.3389/frma.2020.593494>
- Guibou, V. N. (2017). Critical Analysis of the Millennium Development Goals (MDGs). *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2954987>
- Guliev, I. A., & Solovova, Yu. v. (2022). Peru's energy policy in the context of energy transition. *Cuadernos Iberoamericanos*, 9(4), 120–133. <https://doi.org/10.46272/2409-3416-2021-9-4-120-133>
- Gutiérrez, C., & Baumert, T. (2018). Smith, Schumpeter y el estudio de los sistemas de innovación. *Economía y Política*, 5(1), 93–111. DOI: 10.15691./07194714.2018.003
- Hankins, E., Martinescu, L., Fuentes Nettel, P., Grau, G., & Rahim, S. (2023). Government AI Readiness Index. Oxford Insights. <https://oxfordinsights.com/wp-content/uploads/2023/12/2023-Government-AI-Readiness-Index-1.pdf>
- Hassan, M. H., Batool, S. Y., Ishfaq, H. A., & Rehman, S. (2024). Role of Hydrogen and Fuel Cells in Energy Transition. In *Handbook of Energy and Environment in the 21st Century* (pp. 150–174). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032715438-8>

- He, L., & Han, Z. (2017). Do usage counts of scientific data make sense? An investigation of the Dryad repository. *Library Hi Tech*, 35(2), 332–342.
<https://doi.org/10.1108/LHT-12-2016-0158>
- Heaton, S., Siegel, D. S., & Teece, D. J. (2019). Universities and innovation ecosystems: a dynamic capabilities perspective. *Industrial and Corporate Change*, 28(4), 921–939.
<https://doi.org/10.1093/icc/dtz038>
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413–432.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>
- Henderson, R. M., & Clark, K. B. (1990). Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 9. <https://doi.org/10.2307/2393549>
- Hernandez-Escobedo, Q., Franco, J. A., & Perea-Moreno, A.-J. (2022). GIS-Based Wind and Solar Power Assessment in Central Mexico. *Applied Sciences*, 12(24), 12800.
<https://doi.org/10.3390/app122412800>
- Herrera, M. N. (2022). The contribution of the Chilean mining industry to the achievement of the 17 sustainable development goals. *Geosystem Engineering*, 25(3–4), 64–82.
<https://doi.org/10.1080/12269328.2022.2147588>
- Herzog, C., Hook, D., & Konkiel, S. (2020). Dimensions: Bringing down barriers between scientometricians and data. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 387–395.
https://doi.org/10.1162/qss_a_00020
- Hodgson, G. M., & Knudsen, T. (2006). Dismantling Lamarckism: Why descriptions of socio-economic evolution as Lamarckian are misleading. *Journal of Evolutionary Economics*, 16(4), 343–366. <https://doi.org/10.1007/s00191-006-0019-3>
- Holgersson, M., Granstrand, O., & Bogers, M. (2018). The evolution of intellectual property strategy in innovation ecosystems: Uncovering complementary and substitute appropriability regimes. *Long Range Planning*, 51(2), 303–319.
<https://doi.org/10.1016/j.lrp.2017.08.007>
- Hook, D. W., Porter, S. J., & Herzog, C. (2018). Dimensions: Building Context for Search and Evaluation. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 3.
<https://doi.org/10.3389/frma.2018.00023>
- Hou, Y., Jin, J., Huo, C., Liu, Y., Deng, S., & Chen, J. (2023). New insights into the critical role of inactive element substitution in improving the rate performance of sodium oxide cathode material. *Energy Storage Materials*, 56, 87–95.
<https://doi.org/10.1016/j.ensm.2023.01.005>
- Huang, C.-K. (Karl), Neylon, C., Brookes-Kenworthy, C., Hosking, R., Montgomery, L., Wilson, K., & Ozaygen, A. (2020). Comparison of bibliographic data sources:

- Implications for the robustness of university rankings. *Quantitative Science Studies*, 1–34. https://doi.org/10.1162/qss_a_00031
- Huang, J. D., Meisel, C., Sullivan, N. P., Zakutayev, A., & O’Hayre, R. (2024). Rapid mapping of electrochemical processes in energy-conversion devices. *Joule*, 8(7), 2049–2072. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.05.003>
- Huang, J., Chai, J., & Cho, S. (2020). Deep learning in finance and banking: A literature review and classification. *Frontiers of Business Research in China*, 14(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s11782-020-00082-6>
- Hussien, M. T.-A. S., Dardeer, H. A. M., & Ali, M. A. G. (2023). Diagnostic Value of Upper and Lower Endoscopy in Assessment of Patients with Microcytic Hypochromic Anaemia without Site-specific Gastrointestinal Manifestations. *SVU-International Journal of Medical Sciences*, 6(2), 140–151. <https://doi.org/DOI: 10.21608/svuijm.2023.199049.1550>
- Ibáñez, J. (2016). Perspectivas de la investigación social: el diseño en las tres perspectivas. In Alianza Editoria (Ed.), *El análisis de la realidad social: métodos y técnicas de investigación* (pp. 42–75).
- IFI CLAIMS. (s.f.). Plataforma líder para análisis de datos de patentes. <https://www.ificlaims.com/start.htm>
- Imer, S. T. (2021). The System of Innovation With the Case of USA (pp. 176–195). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3901-9.ch009>
- Imran Khan, M., Asfand, F., & Al-Ghamdi, S. G. (2023). Progress in research and development of phase change materials for thermal energy storage in concentrated solar power. *Applied Thermal Engineering*, 219, 119546. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119546>
- Ipcc. (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report*. R. T. Watson). Cambridge: Cambridge University Press. IPCC, 1. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/front-1.pdf>
- Irarrazaval, F., & Carrasco, S. (2023). One step forward, two steps back? Shifting accumulation strategies in the lithium production network in Chile. *The Extractive Industries and Society*, 15, 101327. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101327>
- IRENA & CPI. (2023). Global landscape of renewable energy finance. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Feb/IRENA_CPI_Global_RE_finance_2023.pdf?rev=8668440314f34e588647d3994d94a785
- IRENA. (2022). About IRENA. <https://www.irena.org/About>
- IRENA. (2024). Estadísticas de capacidad renovable 2024. <https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/>

- Isidoro Losada, A. M. (2022). Green hydrogen: Chances and barriers for the Energiewende in Chile. *Science Talks*, 4, 100088. <https://doi.org/10.1016/j.sctalk.2022.100088>
- Jaffe, A. B., Trajtenberg, M., & Henderson, R. (1993). Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations*. *The Quarterly Journal of Economics*, 108(3), 577–598. <https://doi.org/10.2307/2118401>
- Jaszczur, M., Hassan, Q., Sameen, A. Z., Salman, H. M., Olapade, O. T., & Wieteska, S. (2023). Massive Green Hydrogen Production Using Solar and Wind Energy: Comparison between Europe and the Middle East. *Energies*, 16(14), 5445. <https://doi.org/10.3390/en16145445>
- Jevons, W. S., & Foxwell, H. S. (1884). *Investigations in Currency and Finance* (Herbert Somerton Foxwell, Ed.). Macmillan and Company. <https://books.google.com.co/books?id=4ckJAAAAIAAJ>
- Jia, X., He, G., & Liu, K. (2023). Simulation Research of the Energy Storage System based on Unitized Regenerative Fuel Cell. *Journal of Physics: Conference Series*, 2584(1), 012085. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2584/1/012085>
- Johnstone, N., Haščič, I., & Popp, D. (2010). Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts. *Environmental and Resource Economics*, 45(1), 133–155. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9309-1>
- Jokic, D. (2019). Field classification in Dimensions: A case study of textile technology. *Textile & Leather Review*, 2(3), 145–153. <https://doi.org/10.31881/TLR.2019.31>
- Kahraman Döğüşcü, D., Sarı, A., & Hekimoğlu, G. (2024). Effects of graphene doping on shape stabilization, thermal energy storage and thermal conductivity properties of PolyHIPE/PEG composites. *Journal of Energy Storage*, 76, 109804. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109804>
- Katz, J. S. (2006). Indicators for complex innovation systems. *Research Policy*, 35(7), 893–909. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.03.007>
- Kausar, A., & Ahmad, I. (2024). Imprints of Graphene Nanocomposites Towards Energy Storage Potential of Lithium Ion Batteries—State of the Art and Perspectives. *Advances in Materials Science*, 24(2), 35–60. <https://doi.org/10.2478/adms-2024-0011>
- Keat, P. G., Young, P. K. Y., & Jasso Hernand, E. M. (2004). *Economía de empresa*. In TA - TT - (4a ed). Pearson Educación. <https://doi.org/LK> - <https://worldcat.org/title/56947871>
- Kent, A. (2014). Implementing the principle of policy integration: institutional interplay and the role of international organizations. *International Environmental*

- Agreements: Politics, Law and Economics, 14(3), 203–224.
<https://doi.org/10.1007/s10784-013-9224-3>
- Khorsheed, M. (2017). Learning from Global Pacesetters to Build the Country Innovation Ecosystem. *Journal of the Knowledge Economy*, 8(1), 177–196.
<https://doi.org/10.1007/s13132-016-0362-z>
- Kim, G., & Bae, J. (2017). A novel approach to forecast promising technology through patent analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 228–237.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.023>
- Kim, Y. G., Suh, J. H., & Park, S. C. (2008). Visualization of patent analysis for emerging technology. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 1804–1812.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.01.033>
- Kirtania, D. K. (2023). Network Visualization of ChatGPT Research: a study based on term and keyword co-occurrence network analysis. *ArXiv Preprint ArXiv:2304.01948*.
<https://arxiv.org/abs/2304.01948>
- Kondratiev, N. D. (1925). The major economic cycles. *Voprosy Konjunktury*, 1(1), 28–79.
- Korotayev, A., Grinin, L., Thompson, W., Devezas, T., Bernard, L., Sr, W., Tausch, A., Jourdon, P., Berry, B., & Herrmann, P. (2014). Kondratieff Waves. *Juglar – Kuznets – Kondratieff*. <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/58921>
- Kou, G. (2019). Introduction to the special issue on FinTech. *FINANCIAL INNOVATION*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-019-0161-1>
- Krugman, P. (1995). Development, Geography, and Economic Theory. In *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography* (Vol. 78, Issue 2). The MIT Press.
<https://doi.org/10.7551/mitpress/2389.001.0001>
- Kucharavy, D., Damand, D., & Barth, M. (2023). Technological forecasting using mixed methods approach. *International Journal of Production Research*, 61(16), 5411–5435. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2102447>
- Kucharska, W., & Erickson, G. S. (2023). Tacit knowledge acquisition & sharing, and its influence on innovations: A Polish/US cross-country study. *International Journal of Information Management*, 71, 102647.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102647>
- Kuri, A. (2003). Aspectos teóricos del desarrollo regional. *Economía Informa*, 321, 54–63.
<http://www.economia.unam.mx/publicaciones/reseconinforma/pdfs/321/07%20Kuri.pdf>
- Laaroussi, K., Jemjami, S., Harkani, A., Benabdelouahab, T., Moufti, A., & el Aissaoui, A. (2024). Evaluation of Photovoltaic Systems Performance Using Satellites and Drones Digital Imaging (pp. 223–236). https://doi.org/10.1007/978-3-031-56292-1_18

- Laitner, J., & Stolyarov, D. (2003). Technological Change and the Stock Market. *American Economic Review*, 93(4), 1240–1267.
<https://doi.org/10.1257/000282803769206287>
- Lamrini, N., Barraz, Z., Abdelmoula, I. A., Ouachakradi, Z., el Mehdi, A., & Sebari, I. (2023). A Hybrid and Scalable Architecture of a Monitoring System for Photovoltaic Installations. *2023 IEEE 11th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, 153–159.
<https://doi.org/10.1109/SEGE59172.2023.10274540>
- Larson-Hostetler, Robert P. Hostetler, & Bruce H. Edwards. (1999). *Calculo y geometría analítica Vol1*. MCGRAW-HILL, 1.
- Le, T. T., Paramasivam, P., Adril, E., Nguyen, V. Q., Le, M. X., Duong, M. T., Le, H. C., & Nguyen, A. Q. (2024). Unlocking renewable energy potential: Harnessing machine learning and intelligent algorithms. *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(4), 783–813. <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.60387>
- Leydesdorff, L. (2012). The Triple Helix, Quadruple Helix, ..., and an N-Tuple of Helices: Explanatory Models for Analyzing the Knowledge-Based Economy? *Journal of the Knowledge Economy*, 3(1), 25–35. <https://doi.org/10.1007/s13132-011-0049-4>
- Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1996). Emergence of a Triple Helix of university—industry—government relations. *Science and Public Policy*, 23(5), 279–286.
<https://doi.org/10.1093/spp/23.5.279>
- Leydesdorff, L., & Meyer, M. (2006). Triple Helix indicators of knowledge-based innovation systems - Introduction to the special issue. *RESEARCH POLICY*, 35(10), 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.016> WE - Social Science Citation Index (SSCI)
- Leydesdorff, L., Park, H. W., & Lengyel, B. (2014). A routine for measuring synergy in university-industry-government relations: Mutual information as a Triple-Helix and Quadruple-Helix indicator. *Scientometrics*, 99(1), 27–35.
<https://doi.org/10.1007/s11192-013-1079-4>
- Li, D., Alkemade, F., Frenken, K., & Heimeriks, G. (2023). Catching up in clean energy technologies: a patent analysis. *The Journal of Technology Transfer*, 48(2), 693–715. <https://doi.org/doi:10.1007/s10961-021-09912-y>
- Li, K., Liu, C., Jiang, S., & Chen, Y. (2020). Review on hybrid geothermal and solar power systems. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119481.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119481>
- Li, S., Garces, E., & Daim, T. (2019). Technology forecasting by analogy-based on social network analysis: The case of autonomous vehicles. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 119731. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119731>

- Li, Y., Zhang, J., Chen, Q., Xia, X., & Chen, M. (2021). Emerging of Heterostructure Materials in Energy Storage: A Review. *Advanced Materials*, 33(27).
<https://doi.org/10.1002/adma.202100855>
- Lin, R., & Ren, J. (2020). Renewable Energy and Sustainable Development. *Renewable Energy and Sustainable Development*, 6(1), 3.
<https://doi.org/10.21622/resd.2020.06.1.003>
- List, F. (1941). *The National System of Political Economy* (and C. Longmans, Green, Ed.).
<https://oll.libertyfund.org/title/lloyd-the-national-system-of-political-economy>
- List, F. (2017). *The National System of Political Economy: New Edition*. Vernon Art and Science Incorporated. <https://books.google.com.mx/books?id=Uyu8AQAACAAJ>
- Lopez-Leyva, S., Martínez, J.G., 2024. Isomorphism. A Pathway to Institutionalize Intellectual Property in the Pacific Alliance. *Management Dynamics in the Knowledge Economy* 12, 285–301. <https://doi.org/10.2478/mdke-2024-0017>
- Lovera, M. I., Castro, E., Smith, H., Mujica, M., & Marín, F. (2008). Evolucionismo económico desde la perspectiva de Nelson y Winter. *Multiciencias*, 8, 48–54.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90411691007>
- Lukianenko, O., Dvornyk, I., & Kolehko, D. (2018). Intellectual Capital in the Structure of Global Economy. *International Economic Policy*, 28, 88–107.
<https://www.proquest.com/openview/e58ebc283331adca39dc54b3dc80f7a4/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=2042906>
- Lundvall, B.-A. (1992). Introduction. In B.-A. Lundvall (Ed.), *National Systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning* (pp. 1–22).
[https://doi.org/10.1016/0048-7333\(95\)90017-9](https://doi.org/10.1016/0048-7333(95)90017-9)
- Lundvall, B.-Å. (2016). From User Producer Interaction to National systems of Innovation. In *The Learning Economy and the Economics of Hope*. NATHEN PRESS.
<https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/31613/626406.pdf>
- Lundvall, B.-Å., & Rikap, C. (2022). China's catching-up in artificial intelligence seen as a co-evolution of corporate and national innovation systems. *Research Policy*, 51(1), 104395. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104395>
- Lundvall, B.-Å., Johnson, B., Andersen, E. S., & Dalum, B. (2002). National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 31(2), 213–231.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00137-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00137-8)
- Ly, D. V., Kishi, Y., Nakayama, T., & Yamada, N. (2024). Thermal performance of polymer gyroid heat exchangers combined with phase change materials as a latent heat thermal energy storage system: An experimental investigation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 226, 125531.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125531>

- Machado, M. E., Maia, M. S., Foroni, L., & Fonseca, A. P. (2023). Climatescope 2023. <https://www.global-climatescope.org/blog/press-release-climatescope-2023-es/>
- Magradze, N. (2009). CIF Admin Unit. https://www.cif.org/sites/cif_enc/files/CTF_Colombia_joint_mission_notification.pdf
- Mäkinen, S. J., Kannianen, J., & Dedehayir, O. (2013). Adoption dynamics of increasing-return technologies in systemic contexts. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(6), 1140–1146. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.004>
- Malik, A., Sharma, P., Pereira, V., & Temouri, Y. (2021). From regional innovation systems to global innovation hubs: Evidence of a Quadruple Helix from an emerging economy. *Journal of Business Research*, 128, 587–598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.009>
- Mamikutty, R., Aly, A. S., & Marhazlinda, J. (2021). Databases Selection in a Systematic Review of the Association between Anthropometric Measurements and Dental Caries among Children in Asia. *Children*, 8(7), 565. <https://doi.org/10.3390/children8070565>
- Martín-Martín, A., Thelwall, M., Orduna-Malea, E., & Delgado López-Cózar, E. (2021). Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. *Scientometrics*, 126(1), 871–906. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03690-4>
- Martinez-Villarreal, S., Kammoun, M., & Richel, A. (2023). The critical role of hydrogen in the development of new biofuels. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 39, 100716. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100716>
- Martino, J. P. (1980). Technological Forecasting-an Overview. *Management Science*, 26(1), 28–33. <http://www.jstor.org/stable/2630742>
- Mavrogenis, A. F., Ruggieri, P., & Papagelopoulous, P. J. (2010). Editorial: Self-citation in Publishing. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 468(10), 2803–2807. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1480-8>
- Mayilswamy, N., & Kandasubramanian, B. (2024). Various Biomasses from Wastewater and Possibilities of Conversion to Energy Resources. In *Sewage and Biomass from Wastewater to Energy* (pp. 259–281). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781394204502.ch10>
- Mazzucato, M. (2019). *El Estado emprendedor: mitos del sector público frente al privado (RBA)*. rba Libros. http://www.economia.unam.mx/academia/inae/images/ProgramasyLecturas/lecturas/inae_iv/mazzucato2017.pdf
- Mei, Y., Zheng, Y., Chai, H., & Chen, Y. (2024). Effect of torrefaction on biomass pyrolysis based on thermogravimetric analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery*,

- Utilization, and Environmental Effects, 46(1), 6685–6695.
<https://doi.org/10.1080/15567036.2024.2353843>
- Metcalfe, J. S. (2009). Equilibrium and Evolutionary Foundations of Competition and Technology Policy: New Perspectives on the Division of Labour and the Innovation Process. *Revista Brasileira de Inovação*, 2(1), 111.
<https://doi.org/10.20396/rbi.v2i1.8648870>
- Miguel, S., & González, C. (2023). La bibliometría en la política y gestión de la ciencia y la tecnología. In Universidad Nacional de La Plata (Ed.), *Políticas de información Una mirada desde Argentina y América Latina* (1a ed., pp. 162–175).
<https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.5928/pm.5928.pdf>
- Mincomercio. (2024, March 6). Colombia y Alemania crean el Comité Directivo del Grupo de Alto Nivel de Hidrógeno Verde para impulsar energías limpias.
- MinEnergía. (2021). Hoja de Ruta del Hidrogeno Colombia. Banco Interamericano de Desarrollo.
https://www.minenergia.gov.co/documents/5861/Hoja_Ruta_Hidrogeno_Colombia_2810.pdf
- Ministerio de Energía – Plan de Acción Hidrógeno Verde. (2024). Plan de Acción Hidrógeno Verde.
https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_de_accion_hidrogeno_verde_2023-2030.pdf
- Mirjanić, D., Pavlović, T., Radonjić, I., & Sazhko, G. (2023). Solar Energy and Climate Change. ОДРЖИВИ РАЗВОЈ И УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ, 8(8). <https://doi.org/10.7251/EORU2308041M>
- Moradi, M., Borhani, S., & Pooriraj, M. (2022). Lithium-Ion Based Hybrid Devices. In *Handbook of Energy Materials* (pp. 1–33). Springer Nature Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-16-4480-1_25-1
- Morales Pedraza, J. (2022). Solar energy for electricity generation. In *Non-Conventional Energy in North America* (pp. 137–174). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823440-2.00006-8>
- Morelos Gómez, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios Gerenciales*, 32(139), 120–126.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.01.001>
- Morgan Asch, J. (2020). La resiliencia: habilidad esencial para hacerle frente a la cuarta revolución industrial. *Revista Nacional de Administración*, 11(1).
<https://doi.org/10.22458/rna.v11i1.2970>
- Moritz, M., Schönfisch, M., & Schulte, S. (2023). Estimating global production and supply costs for green hydrogen and hydrogen-based green energy commodities.

- International Journal of Hydrogen Energy, 48(25), 9139–9154.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.046>
- Moya, R., Tenorio, C., Puente-Urbina, A., Rosales-López, C., & Vega-baudrit, J. (2023). Production of Paper Using Biopulping of Pineapple Leaves Fibers (PALF) Followed by Chemical and Xylanase-Enzymatic Processing. *Journal of Natural Fibers*, 20(1). <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2163025>
- Muñoz-Écija, T., Vargas-Quesada, B., & Chinchilla Rodríguez, Z. (2019). Coping with methods for delineating emerging fields: Nanoscience and nanotechnology as a case study. *Journal of Informetrics*, 13(4), 100976.
<https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.100976>
- Muñoz-Écija, T., Vargas-Quesada, B., & Chinchilla-Rodríguez, Z. (2017). Identification and visualization of the intellectual structure and the main research lines in nanoscience and nanotechnology at the worldwide level. *Journal of Nanoparticle Research*, 19(2), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s11051-016-3732-3>
- Muñoz-Écija, T., Vargas-Quesada, B., & Chinchilla-Rodríguez, Z. (2022). Unveiling cognitive structure and comparative advantages of countries in knowledge domains. *Journal of Information Science*, 01655515221084607.
<https://doi.org/10.1177/01655515221084607>
- Muñoz-Écija, T., Vargas-Quesada, B., & Chinchilla-Rodríguez, Z. (2024). Unveiling cognitive structure and comparative advantages of countries in knowledge domains. *Journal of Information Science*, 50(1), 145-161.
<https://doi.org/10.1177/01655515221084607>
- Muñoz, G. M. (2014). La economía política nacional. *Ensayos de economía*, 23(44), 7-12.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6291105.pdf>
- Myrdal, G., & Sitohang, P. (1957). *Economic theory and under-developed regions* (G. Duckworth, Ed.; Vol. 66). Duckworth London.
- Nakhooda, S. (2010). The Clean Technology Fund: Insight for development and climate finance. World Resources Institute Working. <http://www.wri.org/gfi>
- Narin, F., Hamilton, K. S., & Olivastro, D. (1997). The increasing linkage between U.S. technology and public science. *Research Policy*, 26(3), 317–330.
[doi.org/10.1016/S0048-7333\(97\)00013-9](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(97)00013-9)
- Narkus, S. (2012). Kondratieff, N. and Schumpeter, Joseph A. long-waves theory Analysis of long-cycles theory. <https://core.ac.uk/download/pdf/30907274.pdf>
- Navarro, C. P. (2018). Reconstruction of the process of elaboration of the Organic Constitutional Law of Education: Actors, projects and ideological disputes. Chile, 1973-1990. In *Espacio, Tiempo y Educacion* (Vol. 5, Issue 2, pp. 179–195).
<https://doi.org/10.14516/ete.170>

- Nees, J. van E., & Ludo, W. (2023). Manual for VOSviewer version 1.6.19. In Universidad de Leiden (Ed.), Univeristeit Leiden (Issue 11).
https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf
- Nelson, R. R. (1992). National Innovation Systems: A Retrospective on a Study. *Industrial and Corporate Change*, 1(2), 347–374. <https://doi.org/10.1093/icc/1.2.347>
- Nelson, R. R., & Rosenberg, N. (1993). Technical Innovation and National Systems. *National Innovation Systems. A Comparative Analysis*, 3–22.
- Noorollahi, Y., Pakzadmanesh, M., Kashani, A., Pouyaei, A., Yousefi, F., Roumi, S., & Jalilinasrabady, S. (2023). Reliable renewable power production by modeling of geothermal assisted solar chimney power plant. *Geothermics*, 111, 102701.
<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2023.102701>
- Novytska, T. (2023). База даних Lens—відкритий онлайн сервіс для пошуку наукових джерел.
https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://lib.iitta.gov.ua/735117/&hl=es&a=T&oi=gsc&ct=res&cd=0&d=4517796269187999915&ei=o4idZYGsAe-Jy9YP3sqgAo&scisig=AFWwaeaRBfyu_M8XMeMyarIk08M
- Olesen, A. P., Amin, L., & Mahadi, Z. (2018). Researchers experience of misconduct in research in Malaysian higher education institutions. *Accountability in Research*, 25(3), 125–141. <https://doi.org/10.1080/08989621.2018.1429925>
- OMC. (2024). Estados Unidos - determinadas bonificaciones fiscales en virtud de la ley de reducción de la inflación. Solicitud de celebración de consultas presentada por hina. <https://docs.wto.org/dol2fe/Pages/SS/directdoc.aspx?filename=s:/WT/DS/623-1.pdf&Open=True>
- OMPI. (2022). Datos y cifras de la OMPI sobre PI, edición de 2022.
https://www.wipo.int/pressroom/es/articles/2021/article_0011.html
- ONU. (2022). Avance regional respecto a las metas de los ODS. Los ODS En América Latina y El Caribe: Centro de Gestión Del Conocimiento Estadístico.
<https://agenda2030lac.org/estadisticas/avance-regional-metas-ods.html>
- ONU. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Retrieved May 28, 2024, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Orduña-Malea, E., & Delgado-López-Cózar, E. (2018). Dimensions: redescubriendo el ecosistema de la información científica. *El Profesional de La Información*, 27(2), 420. <https://doi.org/10.3145/epi.2018.mar.21>
- Ostrovsky, Y., & Picot, G. (2021). Innovation in immigrant-owned firms. *Small Business Economics*, 57(4), 1857–1874. <https://doi.org/10.1007/s11187-020-00376-2>
- Oyelaran-Oyeyinka, B., & Gehl, P. (2009). *Latecomer Development* (Routledge, Ed.; 1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203865729>

- Palacio-Ciro, S., & Vasco-Correa, C. A. (2020). Biofuels policy in Colombia: A reconfiguration to the sugar and palm sectors? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110316. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110316>
- Pan, Y. (2024). The Study of Hydrogen Energy Storage and Release. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 99, 128–135. <https://doi.org/10.54097/rv83c975>
- Pastor Ramon, E., & Rovira, C. (2023). Comunicación académica y buscadores científicos: “Scoping Review.” *Index.Comunicación*, 13(1), 79–103. <https://doi.org/10.33732/ixc/13/01Comun2>
- Pástor, L., & Veronesi, P. (2009). Technological Revolutions and Stock Prices. *American Economic Review*, 99(4), 1451–1483. <https://doi.org/10.1257/aer.99.4.1451>
- Peces-Aguado, J. A. (2022). Taller de búsqueda de patentes. https://www.suschemes.org/docum/pb/2022/Presentacion_Taller_Patentes_OEPM_2022.pdf
- Pena-Sanchez, R. (2022). Renewable Energy Consumption During Covid-19 Pandemic. *Archives of Business Research*, 10(12), 60–66. <https://doi.org/10.14738/abr.1012.13575>
- Penfold, R. (2020). Using the Lens database for staff publications. *Journal of the Medical Library Association*, 108(2). <https://doi.org/10.5195/jmla.2020.918>
- Pérez, C. (1986). LAS NUEVAS TECNOLOGIAS: UNA VISION DE CONJUNTO. *Estudios Internacionales*, 19(76), 420–459. <http://www.jstor.org/stable/41391220>
- Pérez, C. (2001). Technological change and opportunities for development as a moving target. In *Trade and development: Directions for the 21st century* (CEPAL, pp. 109–130). Economic Commission for Latin America and the Caribbean Mexico. <https://core.ac.uk/download/pdf/45624259.pdf>
- Pérez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 185–202. <https://doi.org/10.1093/cje/bep051>
- Perianes-Rodríguez, A., Olmeda-Gómez, C., Antonia Ovalle-Perandones, M., Chinchilla-Rodríguez, Z., & Moya-Anegón, F. (2011). R&D collaboration in 50 major Spanish companies. *Aslib Proceedings*, 63(1), 5–27. <https://doi.org/10.1108/00012531111103759>
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 5–26. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Pinski, G., & Narin, F. (1976). Citation influence for journal aggregates of scientific publications: Theory, with application to the literature of physics. *Information Processing & Management*, 12(5), 297–312. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0306-4573\(76\)90048-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0306-4573(76)90048-0)

- Pique, J. M., Berbegal-Mirabent, J., & Etzkowitz, H. (2018). Triple Helix and the evolution of ecosystems of innovation: the case of Silicon Valley. *Triple Helix*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40604-018-0060-x>
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (2020, March 26). Chile apuesta por producir litio de calidad, más que a fabricar baterías. Dirección de Educación Profesional Escuela de Ingeniería. <https://educacionprofesional.ing.uc.cl/chile-apuesta-por-producir-litio-de-calidad-mas-que-a-fabricar-baterias/>
- Porters, M. W. (2023). Strategic Innovation Management in U.S. Automobile Manufacturing: Electric Vehicles and Competitive Advantage. *Journal of Strategic Management*, 7(6), 13–26. <https://doi.org/10.53819/81018102t4189>
- Powell, W. W., & DiMaggio, P. J. (1999). El nuevo institucionalismo en el análisis organizacional. In U. A. del E. de México. (Ed.), *Nuevas lecturas de política y gobierno* (México, D.). Fondo de Cultura Económica, Colegio Nacional de Ciencias Políticas y Administración, UAM.
- Pramanik, S., & Ravikrishna, R. V. (2017). A review of concentrated solar power hybrid technologies. *Applied Thermal Engineering*, 127, 602–637. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.038>
- Pranckutė, R. (2021). Web of Science (WoS) and Scopus: The Titans of Bibliographic Information in Today's Academic World. *Publications*, 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Prathap, G. (2019). The Pinski–Narin influence weight and the Ramanujacharyulu power-weakness ratio indicators revisited. *Scientometrics*, 119(2). <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03046-7>
- Quaderi, N. (2023, March 7). Mapping the path to future changes in the Journal Citation Reports. Clarivate. <https://clarivate.com/blog/mapping-the-path-to-future-changes-in-the-journal-citation-reports/>
- Rafols, I., Porter, A. L., & Leydesdorff, L. (2010). Science overlay maps: A new tool for research policy and library management. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(9), 1871–1887. <https://doi.org/10.1002/asi.21368>
- Rahimpour, M. R., & Nategh, M. (2016). Hydrogen production from pyrolysis-derived bio-oil using membrane reactors. In *Membrane Technologies for Biorefining* (pp. 411–434). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100451-7.00016-5>
- Raihan, A. (2023). The influences of renewable energy, globalization, technological innovations, and forests on emission reduction in Colombia. *Innovation and Green Development*, 2(4), 100071. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100071>

- Raji, S. A., & Demehin, M. O. (2023). "Long walk to 2030": A bibliometric and systematic review of research trends on the UN sustainable development goal 3. In *Dialogues in Health* (Vol. 2, p. 100132). <https://doi.org/10.1016/j.dialog.2023.100132>
- Ranga, M., & Etzkowitz, H. (2013). Triple Helix Systems: An Analytical Framework for Innovation Policy and Practice in the Knowledge Society. *Industry and Higher Education*, 27(4), 237–262. <https://doi.org/10.5367/ihe.2013.0165>
- Reddy, L. K., Biswal, P., & Pujari, A. K. (2023). Latent heat thermal energy storage solution for CSPs: Integration of PCM heat exchangers. *Journal of Energy Storage*, 73, 109150. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109150>
- Ríos Flores, J. A., & Ocegueda Hernández, J. M. (2017). Capacidad innovadora y crecimiento regional en México: un enfoque espacial. *Economía Sociedad y Territorio*, 1, 743. <https://doi.org/10.22136/est2017705>
- Rocha-Meneses, L., Luna-delRisco, M., González, C. A., Moncada, S. V., Moreno, A., Sierra-Del Rio, J., & Castillo-Meza, L. E. (2023). An Overview of the Socio-Economic, Technological, and Environmental Opportunities and Challenges for Renewable Energy Generation from Residual Biomass: A Case Study of Biogas Production in Colombia. *Energies*, 16(16), 5901. <https://doi.org/10.3390/en16165901>
- Rohe, S. (2020). The regional facet of a global innovation system: Exploring the spatiality of resource formation in the value chain for onshore wind energy. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 36, 331–344. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2020.02.002>
- Rokicki, T., Bórawski, P., & Szeberényi, A. (2023). The Impact of the 2020–2022 Crises on EU Countries’s Independence from Energy Imports, Particularly from Russia. In *Energies* (Vol. 16, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/en16186629>
- Rosenberger, L. (2023). The Energy War: How Europe Turned the Tables on Russia BT - The Great Power Competition Volume 5: The Russian Invasion of Ukraine and Implications for the Central Region (A. Farhadi, M. Grzegorzewski, & A. J. Masys, Eds.; pp. 255–282). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40451-1_13
- Rozemblum, C., Alperin, J. P., & Unzurrunzaga, C. (2021). Las limitaciones de Scopus como fuente de indicadores: Buscando una visibilidad integral para revistas argentinas en ciencias sociales. *E-Ciencias de La Información*, 11(2), 35–58. <https://doi.org/10.15517/eci.v11i2.44300>
- RYCYT. (s.f.). Recursos Humanos (PF). Retrieved September 29, 2024, from https://app.rieyt.org/ui/v3/bycountry.html?country=MX&subfamily=CTI_HP&start_year=2012&end_year=2021
- Sábato, J., & Botana, N. (1968). La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. *Revista de La Integración*.

- Sacramento-Rivero, J. C., Romero, G., Cortés-Rodríguez, E., Pech, E., & Blanco-Rosete, S. (2010). Diagnóstico del desarrollo de biorrefinería IAs en México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9.
- Sakib, S. M. N. (2024). *Energy Subsidies and Sustainability: A Comparative Analysis of India and China*. Cambridge Open Engage.
- Sameera, Tariq, M., & Rihan, M. (2023). Investigating the Impact of Atmospheric Factors on Solar PV Panel Performance. *2023 International Conference on Power, Instrumentation, Energy and Control (PIECON)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PIECON56912.2023.10085772>
- Sánchez, L., & Pedroza, A. (2014). Análisis del sistema nacional de innovación de México: un enfoque de entornos. *XV Congreso Internacional de Investigación En Ciencias Sociales*. http://acacia.org.mx/busqueda/pdf/10_08_Ssitema_Nacional_de_Innovacion.pdf
- Sánchez, P. J. R., González, M. H., & Arias, J. C. B. (2018). Eco-Innovation And Sustainable Production In Developing Countries. *Cases Colombia And Mexico. Economy & Business Journal*, 12(1). <https://www.researchgate.net/publication/327671202>
- Sankara Prasad, S., Bhagya Lakshmi, M., Hara, P. P., Wod, K. R., Kumar, M. S., & Nagendra, S. (2024). Applications of Fuel Cell in Standalone Microgrid Powered by Renewable Energy Sources. *2024 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, 777–781. <https://doi.org/10.1109/ICICT60155.2024.10544860>
- Schumpeter, J. A. (1976). Teoría del desenvolvimiento económico : una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico. In *Sección de Obras de Economía* (4th ed.). Fondo de Cultura Económica,.
- Scopus. (2023, September 21). ¿Qué son las categorías de áreas temáticas de Scopus y los códigos ASJC? https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/12007/supporthub/scopus/
- Secretaria de hacienda y crédito público. (2013). *Ley del Impuesto sobre la Renta*. DIARIO OFICIAL.
- Şen Ayvaz, B., & Bayrak, A. (2024). ELECTRICITY GENERATION METHODS FROM SOLAR ENERGY. *Mühendis ve Makina*. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.1398947>
- Sharma, P., Kumar, R., Nagabhooshanam, N., & Bhatia, H. (2024). Exploring the Role of Microbial Fuel Cells in Sustainable Wastewater Treatment and Energy Generation. *Global NEST Journal*, 1–9. <https://doi.org/10.30955/gnj.06011>
- Sharma, P., & Tripathi, R. C. (2017). Patent citation: A technique for measuring the knowledge flow of information and innovation. *World Patent Information*, 51, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2017.11.002>

- Shimoga, G., Palem, R. R., Choi, D.-S., Shin, E.-J., Ganesh, P.-S., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Lee, S.-H., & Kim, S.-Y. (2021). Polypyrrole-Based Metal Nanocomposite Electrode Materials for High-Performance Supercapacitors. *Metals*, 11(6), 905. <https://doi.org/10.3390/met11060905>
- Shubbak, M. H. (2019). The technological system of production and innovation: The case of photovoltaic technology in China. *Research Policy*, 48(4), 993–1015. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.003>
- Shyu, E., & Caswell, H. (2014). Calculating second derivatives of population growth rates for ecology and evolution. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(5), 473–482. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12179>
- Singh, P., Piryani, R., Singh, V. K., & Pinto, D. (2020). Revisiting subject classification in academic databases: A comparison of the classification accuracy of Web of Science, Scopus Dimensions. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 39(2), 2471–2476. <https://doi.org/DOI:10.3233/JIFS-179906>
- Singh, P., Singh, V. K., & Piryani, R. (2023). Scholarly article retrieval from Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis of retrieval quality. *Journal of Information Science*. <https://doi.org/10.1177/01655515231191351>
- Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, 126(6), 5113–5142. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>
- Smith, A. (1776). *La riqueza de las naciones*. OrbisxF.
- Soete, L., Verspagen, B., & ter Weel, B. (2010). Chapter 27 - Systems of Innovation. In B. H. Hall & N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the Economics of Innovation*, Volume 2 (Vol. 2, pp. 1159–1180). North-Holland. [doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02011-3](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02011-3)
- Sonawane, S. S., & Thakur, P. P. (2024). *Nanofluids*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003404767>
- Song, Y., Sun, X., & Duan, W. (2023). Co-Word Analysis of First-Authored Publications Written by Top Cited Scholars of Social Work. *Research on Social Work Practice*, 33(8), 929–943. <https://doi.org/10.1177/10497315221148661>
- Stahlschmidt, S., & Stephen, D. (2020). Comparison of web of science, scopus and dimensions databases. *KB Forschungspoolprojekt*, 1–37. <https://www.bibliometrie.info/downloads/DZHW-Comparison-DIM-SCP-WOS.PDF>
- Stahlschmidt, S., & Stephen, D. (2022). From indexation policies through citation networks to normalized citation impacts: Web of Science, Scopus, and Dimensions as varying resonance chambers. *Scientometrics*, 127(5), 2413–2431. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04309-6>

- Storper, M. (2018). Separate Worlds? Explaining the current wave of regional economic polarization. *Journal of Economic Geography*, 18(2), 247–270.
<https://doi.org/10.1093/jeg/lby011>
- Sudha, M., Madhan, A. B., Geetha, E., & Satheeskumar, R. (2024). Synthesis of zinc oxide thin films by spray pyrolysis technique. *Journal of Ovonic Research*, 20(2), 267–272. <https://doi.org/10.15251/JOR.2024.202.267>
- Suurs, R. A. A., & Hekkert, M. P. (2009). Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(8), 1003–1020.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.03.002>
- Swati, M. (2021). Global Value Chains and Innovation Systems: Exploring the Inter-relations. *Seoul Journal of Economics*, 34(2), 203–235.
<https://doi.org/DOI:10.22904/sje.2021.34.2.003>
- Tarapuez, E., & Botero, J. J. (2007). Algunos aportes de los neoclásicos a la teoría del emprendedor. *Cuadernos de Administración*, 20(34), 39–63.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922007000200003&lang=en
- Templeton, J. D., Ghoreishi-Madiseh, S. A., Hassani, F., & Al-Khawaja, M. J. (2015). Study of the Performance of Solar-Enhanced Closed Loop Geothermal Systems. *World Geothermal Congress 2015*, April.
https://www.researchgate.net/profile/Ferri-Hassani/publication/282925672_Study_of_effective_solar_energy_storage_using_a_double_pipe_geothermal_heat_exchanger/links/56bfc47b08aeeba0562f28d/Study-of-effective-solar-energy-storage-using-a-double-pipe-geothermal-heat-exchanger.pdf
- Tennant, J. (2020). Web of Science and Scopus are not global databases of knowledge. *European Science Editing*, 46, 1–3. <https://doi.org/10.3897/ese.2020.e51987>
- Thelwall, M. (2018). Dimensions: A competitor to Scopus and the Web of Science? *Journal of Informetrics*, 12(2), 430–435. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.03.006>
- Tm, N., & Dubey, P. K. (2018). Hydrothermal carbonisation of biomass and its potential applications in various fields. ~ 1132 ~ *The Pharma Innovation Journal*, 7(4).
https://www.researchgate.net/profile/Pramod-Dubey-2/publication/326460812_Hydrothermal_carbonisation_of_biomass_and_its_potential_applications_in_various_fields_Neethu_TM_and_PK_Dubey/links/5b4edf440f7e9b240fe8b752/Hydrothermal-carbonisation-of-biomass-and-its-potential-applications-in-various-fields-Neethu-TM-and-PK-Dubey.pdf
- Toro, J., Garavito, A., López, D. C., & Montes, E. (2017). El choque petrolero y sus implicaciones en la economía colombiana. *Borradores de Economía*, 65.
http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be_906.pdf

- Trunina, A., Liu, X., & Chen, J. (2019). Small and medium technology enterprises in Zhongguancun and Silicon Valley. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 10(1), 35–57. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-01-2018-0006>
- Ukoba, K., Olatunji, K. O., Adeoye, E., Jen, T.-C., & Madyira, D. M. (2024). Optimizing renewable energy systems through artificial intelligence: Review and future prospects. *Energy & Environment*. <https://doi.org/10.1177/0958305X241256293>
- UNESCO. (2010). *Sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación en América Latina y el Caribe; Estudios y documentos de política científica de ALC* (G. Lemarchand, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000187122>
- UNSTATS. (2024). Department of Economic and Social Affairs. <https://unstats.un.org/sdgs/dataportal/countryprofiles/COL#goal-7>
- Valencia, M. del P., & Patlán, J. (2011). El Empresario Innovador y su Relación con el Desarrollo Económico (The innovating entrepreneur and its relation to economic development). *Tec Empresarial*, 5(3), 21–27. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5761528.pdf>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vargas-Quesada, B., Arroyo-Machado, W., Muñoz-Écija, T., & Chinchilla-Rodríguez, Z. (2023). Science overlay maps: A tribute to Loet Leydesdorff. *El Profesional de La Información*. <https://doi.org/10.3145/epi.2023.dic.05>
- Vargas-Quesada, B., Chinchilla-Rodríguez, Z., & Rodríguez, N. (2017). Identification and Visualization of the Intellectual Structure in Graphene Research. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 2, 7. <https://doi.org/10.3389/frma.2017.00007>
- Vargas-Quesada, B., De Moya-Anegón, F., Chinchilla-Rodríguez, Z., Corera-Álvarez, E., Guerrero-Bote, V., 2008. Evolución de la estructura científica española: <i>ISI Web of Science</i> 1990-2005. *El profesional de la información* 17, 22–37.. <https://doi.org/10.3145/epi.2008.ene.03>
- Vera-Baceta, M.-A., Thelwall, M., & Kousha, K. (2019). Web of Science and Scopus language coverage. *Scientometrics*, 121(3), 1803–1813. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03264-z>
- Verma, S., & Nadeem, Md. R. (2023). Role of Human Capital Accumulation in the Adoption of Sustainable Technology: An Overlapping Generations Model with Natural Resource Degradation. *Nature Environment and Pollution Technology*, 22(4), 1765–1780. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2023.v22i04.006>
- Vicente-Gomila, J. M., Artacho-Ramírez, M. A., Ting, M., & Porter, A. L. (2021). Combining tech mining and semantic TRIZ for technology assessment: Dye-

- sensitized solar cell as a case. *Technological Forecasting and Social Change*, 169, 120826. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120826>
- Viné, R., Sulstarova, A., Casellab, B., & Trentinib, C. (2022). International project finance deals as indicators of productive cross-border investment: UNCTAD's approach. *Transnational Corporations*, 29(3), 161. <https://doi.org/https://doi.org/10.18356/2076099x-29-3-6>
- Visser, M., van Eck, N. J., & Waltman, L. (2021). Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. *Quantitative Science Studies*, 2(1), 20–41. https://doi.org/10.1162/qss_a_00112
- Vysotsky, D. (2023). Conceptual Approaches to Defining the Concept of a National Innovation System. *Law and Innovations*, 1 (41), 15–21. [https://doi.org/10.37772/2518-1718-2023-1\(41\)-2](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2023-1(41)-2)
- Walsh, P. P., Murphy, E., & Horan, D. (2020). The role of science, technology and innovation in the UN 2030 agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 154, 119957. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119957>
- Waltman, L., & van Eck, N. J. (2013). Source normalized indicators of citation impact: an overview of different approaches and an empirical comparison. *Scientometrics*, 96(3), 699–716. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0913-4>
- Wang, Y., & Wu, J. J. (2023). Thermochemical conversion of biomass: Potential future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 187, 113754. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113754>
- Wei, S., Liu, K., Ji, X., Wang, T., & Wang, R. (2021). Application of enzyme technology in biopulping and biobleaching. *Cellulose*, 28(16), 10099–10116. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04182-1>
- Xiao, H., Lai, W., Chen, A., Lai, S., He, W., Deng, X., Zhang, C., & Ren, H. (2024). Application of Photovoltaic and Solar Thermal Technologies in Buildings: A Mini-Review. *Coatings*, 14(3), 257. <https://doi.org/10.3390/coatings14030257>
- Yáñez Vergara, A. G., Sotelo-Navarro, P. X., Poggi-Varaldo, H. M., Calderón-Salinas, J. V., Sánchez-Pérez, R., & Matsumoto-Kuwahara, Y. (2022). Análisis de legislación sobre biorrefinerías en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38(mambiente y Bioenergía), 111–142. <https://doi.org/10.20937/RICA.54314>
- Yang, G. (2024). A Financial Analysis and Valuation of Electric Vehicle Companies. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 102(1), 232–237. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/102/2024ED0089>
- Yıldız, C., Olcay, A. B., & Özilgen, M. (2023). Comparison of hydrogen production with the help of the plastic digesting organisms and by pyrolysis. *International Journal of Global Warming*, 29(4), 395. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2023.130138>

- Yılmaz, M., & Polat, O. A. (2023). Altmetric and Bibliographic Analysis of the Most Popular Articles on Vitreoretinal Surgery Between 2010 and 2020. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.36465>
- Yoguel, G. L. (2019). La teoría evolucionista y schumpeteriana de la innovación. *Revista Brasileira de Inovação*, 18(2), 387–416. <https://doi.org/10.20396/rbi.v18i2.8655621>
- Yoon, J., & Kim, K. (2011). Identifying rapidly evolving technological trends for R&D planning using SAO-based semantic patent networks. *Scientometrics*, 88(1), 213–228. <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0383-0>
- Yu, S., You, L., & Zhou, S. (2023). A review of optimization modeling and solution methods in renewable energy systems. *Frontiers of Engineering Management*, 10(4), 640–671. <https://doi.org/10.1007/s42524-023-0271-3>
- Yu, X., & Zhang, B. (2019). Obtaining advantages from technology revolution: A patent roadmap for competition analysis and strategy planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 145, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.10.008>
- Zacca-González, G., Chinchilla-Rodríguez, Z., & Vargas-Quesada, B. (2018). Medical scientific output and specialization in Latin American countries. *Scientometrics*, 115(3), 1635–1650. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2717-7>
- Zafar, M., Muhammad Imran, S., Iqbal, I., Azeem, M., Chaudhary, S., Ahmad, S., & Kim, W. Y. (2024). Graphene-based polymer nanocomposites for energy applications: Recent advancements and future prospects. *Results in Physics*, 60, 107655. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2024.107655>
- Zartha, J. W., López, O. H., Acosta, J. C., Zartha Sossa, J. W., López Montoya, O. H., & Acosta Prado, J. C. (2021). Determinants of a sustainable innovation system. *Business Strategy and the Environment*, 30(2), 1345–1356. <https://doi.org/10.1002/bse.2689>
- Zurbano, M., Bidaurratzaga, E., & Martinez, E. (2014). Las transformaciones de los modelos territoriales de desarrollo en el contexto de la globalización. *Aportaciones desde la perspectiva del desarrollo humano local. Revista de Estudios Regionales*, 99, 103–133. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75531857004>

Siglas y Acrónimos

ALC	América Latina y el Caribe
AP	Alianza del Pacífico
ARS	Análisis de Redes Sociales
CH	Chile
CI	Centros de Investigación
Col	Colombia
CTI	Ciencia, Tecnología e Innovación
EC	Espacios Colaborativos
ER	Energía Renovable
GTI	Grupo Técnico de Innovación
I+D	Investigación y Desarrollo
IA	inteligencia artificial
MVA	Valor Añadido del Sector Manufacturero
Mx	México
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODS-9	Desarrollo Sostenible número nueve
OMC	Organización Mundial del Comercio
OMPI	Organización Mundial de Propiedad Intelectual
PCT	Tratado de Cooperación en Materia de Patentes
PI	Propiedad Intelectual
PIB	Producto Interno Bruto
PR	Perú
SC	Sistema Científico
SI	Sistemas de Innovación
SIC	Sistemas de Innovación Corporativo
SIG	Sistemas de Innovación Global
SIN	Sistemas Nacionales de Innovación
SIR	Sistema de Innovación Regional
SIT	Sistemas de Innovación Tecnológicos
TH	Triple Hélice
USD	Dólares Estadounidenses – Sigla en Inglés
VT	Vigilancia Tecnológica

Anexo 1. Cálculo del segmento temporal en ER

Código de R

```
# install.packages("tidyverse")
# install.packages("ggplot2")
# install.packages("broom")
library(tidyverse)
library(ggplot2)
library(broom)

# Crear un data frame con los datos
datos <- data.frame(Año = c(2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014,
2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022),
  N_Documentos = c(4609, 4678, 5874, 6506, 6472, 8176, 10223, 11355, 12448, 15519, 16734, 21988, 22257,
27708, 33920, 36382, 43593, 52324, 66288, 73967, 83733, 96530, 118150))

# Calcular la primera y segunda derivada
datos <- datos %>%
  mutate(diff1 = c(NA, diff(N_Documentos)),
    diff2 = c(NA, NA, diff(diff(N_Documentos))))

# Detectar puntos de inflexión (donde la segunda derivada cambia de signo)
puntos_inflexion <- datos %>%
  filter(!is.na(diff2) & sign(diff2) != sign(lag(diff2)))

# Seleccionar los puntos de inflexión más prominentes (uso de la segunda derivada)
puntos_inflexion_top3 <- puntos_inflexion %>%
  top_n(3, abs(diff2)) %>%
  arrange(Año)

# Crear segmentos en relación a los puntos de inflexión
segmentos <- c(2000, puntos_inflexion_top3$Año, 2022)
segmentos <- sort(unique(segmentos))

# Asignar periodos según los puntos de inflexión
datos <- datos %>%
  mutate(Periodo = cut(Año, breaks = segmentos, right = FALSE, include.lowest = TRUE))

# Calcular estadísticas descriptivas por segmento
estadisticas_por_segmento <- datos %>%
  group_by(Periodo) %>%
  summarise(
    Media = mean(N_Documentos, na.rm = TRUE),
    Mediana = median(N_Documentos, na.rm = TRUE),
    Desviacion_Estandar = sd(N_Documentos, na.rm = TRUE),
    Minimo = min(N_Documentos, na.rm = TRUE),
    Maximo = max(N_Documentos, na.rm = TRUE),
    Crecimiento_Promedio = mean(diff1, na.rm = TRUE)
  )

# Ajustar una función exponencial a los datos
modelo_exponencial <- lm(log(N_Documentos) ~ Año, data = datos)
datos <- datos %>%
  mutate(ajuste_exponencial = exp(predict(modelo_exponencial, newdata = datos)),
    residuals = N_Documentos - ajuste_exponencial)

# Calcular R cuadrado para el modelo exponencial
r2_exponencial <- summary(modelo_exponencial)$r.squared
```

```
# Extraer los coeficientes del modelo exponencial
```

```
coeficientes <- coef(modelo_exponencial)
```

```
intercepto <- exp(coeficientes[1])
```

```
coeficiente_anio <- coeficientes[2]
```

```
# Crear la anotación de la ecuación de la línea de tendencia exponencial
```

```
equation_text <- paste0("y = ", round(intercepto, 2), " * exp(", round(coeficiente_anio, 4), " * x)")
```

```
# Identificar los mínimos de la segunda derivada por segmento
```

```
minimos_segunda_derivada <- datos %>%
```

```
  group_by(Periodo) %>%
```

```
  filter(diff2 == min(diff2, na.rm = TRUE))
```

```
# Crear un gráfico de la serie de tiempo con los puntos de inflexión y la línea de tendencia exponencial
```

```
grafico <- ggplot(datos, aes(x = Año, y = N_Documentos)) +
```

```
  geom_line(color = "blue") +
```

```
  geom_point(data = puntos_inflexion_top3, aes(x = Año, y = N_Documentos), color = "red", size = 3) +
```

```
  geom_line(aes(y = ajuste_exponencial), color = "green", linetype = "dashed") +
```

```
  annotate("text", x = 2010, y = 5e4, label = equation_text, color = "black", size = 4, hjust = 0) +
```

```
  labs(title = "Serie de Tiempo de Número de Documentos con Puntos de Inflexión",
```

```
        subtitle = paste("Ajuste Exponencial ( $R^2 =$ ", round(r2_exponencial, 2), ")",
```

```
        x = "Año",
```

```
        y = "Número de Documentos") +
```

```
  theme_minimal()
```

```
# Crear un cuadro con los datos de los puntos de inflexión
```

```
cuadro_puntos_inflexion <- puntos_inflexion_top3 %>%
```

```
  select(Año, N_Documentos) %>%
```

```
  rename(Punto_de_Inflexión = N_Documentos) %>%
```

```
  mutate(Punto_de_Inflexión = paste("Punto de inflexión:", Punto_de_Inflexión))
```

```
# Crear un gráfico de la segunda derivada y destacar los mínimos por segmento
```

```
cuadro_segunda_derivada <- ggplot(datos, aes(x = Año, y = diff2)) +
```

```
  geom_col(fill = "skyblue", color = "skyblue") +
```

```
  geom_point(data = minimos_segunda_derivada, aes(x = Año, y = diff2), color = "red", size = 3) +
```

```
  labs(title = "Segunda Derivada de Número de Documentos",
```

```
        x = "Año",
```

```
        y = "Segunda Derivada") +
```

```
  theme_minimal() +
```

```
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 45, vjust = 0.2, hjust = 1))
```

```
# Crear un gráfico de estadísticas descriptivas por segmento con colores diferentes
```

```
grafico_estadisticas <- ggplot(estadisticas_por_segmento, aes(x = Periodo, y = Media, fill = Periodo)) +
```

```
  geom_col(color = "black", position = position_dodge(width = 0.7)) +
```

```
  geom_point(aes(y = Mediana), color = "red", size = 3, position = position_dodge(width = 0.7)) +
```

```
  geom_errorbar(aes(ymin = Media - Desviacion_Estandar, ymax = Media + Desviacion_Estandar), width = 0.2, color = "black", position = position_dodge(width = 0.7)) +
```

```
  labs(title = "Estadísticas Descriptivas por Segmento",
```

```
        x = "Segmento",
```

```
        y = "Número de Documentos") +
```

```
  scale_fill_brewer(palette = "Set3") +
```

```
  theme_minimal()
```

```
# Mostrar los gráficos y cuadros
```

```
print(grafico)
```

```
print(cuadro_puntos_inflexion)
```

```
print(cuadro_segunda_derivada)
```

```
print(grafico_estadisticas)
```

```
print(estadisticas_por_segmento)
```

Gráfico de la Primera Derivada (Tasa de Crecimiento Anual)

```
grafico_primera_derivada <- ggplot(datos, aes(x = Año, y = diff1)) +  
  geom_bar(stat = "identity", fill = "lightblue", color = "black") +  
  labs(title = "Tasa de Crecimiento Anual de Documentos",  
        x = "Año",  
        y = "Cambio en el Número de Documentos") +  
  theme_minimal()
```

Boxplot por Segmento

```
grafico_boxplot_segmento <- ggplot(datos, aes(x = Periodo, y = N_Documentos, fill = Periodo)) +  
  geom_boxplot() +  
  labs(title = "Distribución del Número de Documentos por Segmento",  
        x = "Segmento",  
        y = "Número de Documentos") +  
  scale_fill_brewer(palette = "Set3") +  
  theme_minimal()
```

Gráfico de Residuos del Modelo Exponencial

```
grafico_residuos <- ggplot(datos, aes(x = Año, y = residuals)) +  
  geom_point(color = "blue") +  
  geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "red") +  
  labs(title = "Residuos del Modelo Exponencial",  
        x = "Año",  
        y = "Residuo (N_Documentos - Ajuste Exponencial)") +  
  theme_minimal()
```

Histograma de la Distribución de Documentos

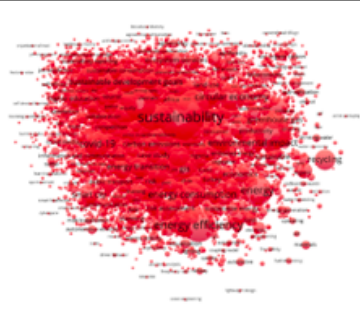
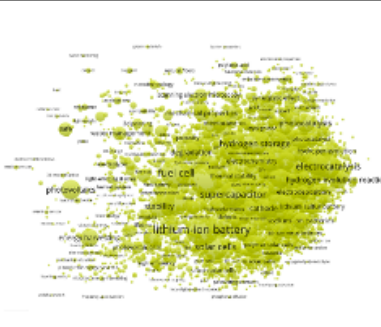
```
grafico_histograma <- ggplot(datos, aes(x = N_Documentos)) +  
  geom_histogram(binwidth = 5000, fill = "lightgreen", color = "black") +  
  labs(title = "Histograma de la Distribución de Documentos",  
        x = "Número de Documentos",  
        y = "Frecuencia") +  
  theme_minimal()
```

Mostrar los gráficos adicionales

```
print(grafico_primera_derivada)  
print(grafico_boxplot_segmento)  
print(grafico_residuos)  
print(grafico_histograma)
```

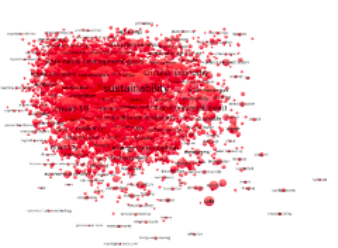
Nota. Desarrollo propio.

Anexo 2. Frentes de investigación en ER del mundo

1) Política en Sostenibilidad	Top 20 de Aks	Score
	- sustainability - life cycle assessment - energy efficiency - sustainable development - climate change - energy - china - circular economy - covid-19 - energy consumption - environmental impact - greenhouse gas (ghg) emissions - environmental - carbon dioxide emissions - recycling - sustainable development goals - gis - energy transition - greenhouse gas - resilience	10693 6403 5377 4929 4789 4072 2846 2793 2543 2480 2009 1976 1847 1777 1603 1534 1295 1280 1256 1233
Total de Aks: 6525		
2) Estructura en Energías Renovables	- renewable energy - optimization - electric vehicle - photovoltaic - energy storage - machine learning - wind turbine - smart grid - microgrid - wind energy - artificial neural network - internet of things - genetic algorithm - distributed generation - maximum power point tracking - battery - deep learning - photovoltaic systems - power quality - demand response	10911 6905 5623 4591 4565 4014 3733 3598 3462 3107 3029 2602 2585 2477 2457 2436 2406 2385 2350 2278
Total de Aks: 5746		
3) Estructura en Energías Renovables	- biomass - hydrogen - biodiesel - biofuel - anaerobic digestion - hydrogen production - biogas - pyrolysis - adsorption - emissions - microalgae - bioenergy - kinetics - combustion - performance - pretreatment - gasification - biochar - ethanol - methane	7560 6985 5108 4102 3810 3799 3334 3029 2969 2832 2620 2406 2368 2246 2212 2085 2065 1969 1940 1922
Total de Aks: 5380		
4) Almacenamiento de Energía Renovable	Top 20 de Aks	Score
	- lithium-ion battery - fuel cell - solid oxide fuel cell - supercapacitor - solar cells - proton exchange membrane fuel cell - electrocatalysis - hydrogen storage - stability - oxygen reduction reaction - photovoltaics - nanoparticles - graphene - li-ion battery - proton exchange membrane (pem) fuel cell - dye-sensitized solar cells - photocatalysis - hydrogen evolution reaction - carbon nanotubes - degradation	6017 5062 4588 3779 3173 2897 2834 2576 2157 1955 1738 1669 1652 1631 1606 1534 1533 1495 1477 1476
Total de Aks: 4055		
5) Generación de Energía Solar	- solar energy - modeling - computational fluid dynamic - phase change material - simulation - efficiency - numerical simulation - thermal energy storage - heat transfer - exergy - temperature - mathematical model - energy saving - organic ranking cycle - nanofluid - heat pump - economic analysis - thermal conductivity - geothermal - solar	5528 4524 4233 3659 3554 3261 2570 2265 2138 1932 1648 1621 1617 1614 1314 1241 1227 1175 1165 1155
Total de Aks: 4016		

Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 3. Evolución de la política en sostenibilidad en ER del mundo

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Política en Sostenibilidad Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 768		Total de Aks: 2990		Total de Aks: 3718	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
energy	2556	sustainability	13009	sustainability	18128
sustainability	1869	life cycle assessment	9418	life cycle assessment	7966
life cycle assessment	1698	energy efficiency	6961	sustainable development	7382
sustainable development	1294	energy	6869	covid-19	7333
energy efficiency	1120	climate change	5719	climate change	7309
environmental	994	sustainable development	5013	circular economy	6943
climate change	941	china	3243	sustainable development goals	3833
economics	759	energy consumption	3054	energy consumption	3040
greenhouse gas	624	greenhouse gas (ghg) emissions	2891	environmental	2955
electricity	603	environmental impact	2753	energy transition	2943
environmental impact	573	environmental	2611	china	2896
china	571	greenhouse gas	2108	environmental impact	2700
greenhouse gas (ghg) emissions	549	carbon dioxide emissions	2061	resilience	2667
turkey	528	circular economy	1961	carbon dioxide emissions	2595
policy	510	recycling	1880	greenhouse gas (ghg) emissions	2549
energy consumption	487	policy	1821	smart city	2350
energy policy	462	electricity	1726	decarbonization	2085
water	455	agriculture	1593	agriculture	2070
gis	428	energy policy	1548	innovation	1877
recycling	424	gis	1512	energy policy	1747
global warming	344	economics	1470	corporate social responsibility	1662
agriculture	313	innovation	1412	industry 4.0	1637
production	311	resilience	1373	economic growth	1617
cost	292	water	1356	gis	1532
energy conservation	275	corporate social responsibility	1346	air pollutants	1515
innovation	261	carbon footprint	1303	policy	1511
fossil fuels	259	waste management	1219	carbon footprint	1401
carbon dioxide emissions	253	smart city	1122	greenhouse gas	1380
development	253	energy transition	1075	higher education	1363
renewable	238	india	1075	food security	1331

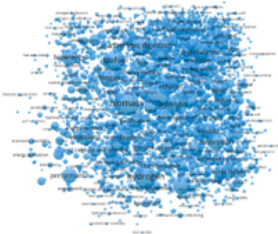
Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 4. Evolución de la estructura en ER del mundo

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 726		Total de Aks: 2985		Total de Aks: 2272	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
renewable energy	3354	renewable energy	14847	renewable energy	15847
optimization	1988	optimization	9592	optimization	9041
wind energy	1573	photovoltaic	7482	electric vehicle	9033
wind turbine	1437	electric vehicle	6403	energy storage	6550
photovoltaic	1404	energy storage	6249	photovoltaic	5489
battery	1048	smart grid	6242	microgrid	4916
wind power	945	microgrid	5297	smart grid	4122
energy storage	862	wind turbine	4662	wind turbine	3871
distributed generation	835	wind energy	4307	battery	3407
smart grid	808	maximum power point tracking	3938	renewable energy sources	3229
power quality	722	distributed generation	3881	demand response	3147
genetic algorithm	688	battery	3878	wind energy	3139
artificial neural network	613	photovoltaic systems	3631	multi-objective optimization	2901
reliability	568	artificial neural network	3407	genetic algorithm	2881
wind	566	power quality	3202	energy management	2766
electric vehicle	564	genetic algorithm	3158	photovoltaic systems	2454
wind farm	505	demand response	3126	power quality	2448
photovoltaic systems	499	wind power	3033	energy storage system	2448
neural network	479	energy management	2692	maximum power point tracking	2359
wind power generation	479	renewable energy sources	2579	uncertainty	2312
hybrid system	448	reliability	2490	distributed generation	2254
control	441	uncertainty	2386	particle swarm optimization	2171
maximum power point tracking	434	multi-objective optimization	2082	photovoltaics	2057
microgrid	426	particle swarm optimization	2026	solar photovoltaic	2046
storage	408	doubly fed induction generator	2003	wind power	1965
uncertainty	381	solar photovoltaic	1894	reliability	1875
doubly fed induction generator	378	internet of things	1890	sensitivity analysis	1842
energy management	371	machine learning	1889	battery energy storage system	1801
dynamic model	330	demand side management	1811	model predictive control	1726
optimisation	305	sensitivity analysis	1718	distributed energy resources	1721

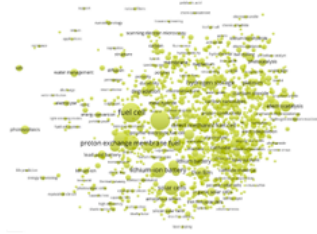
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 5. Evolución de la generación en biocombustibles del mundo

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 1309		Total de Aks: 2908		Total de Aks: 2504	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
hydrogen	5107	biomass	12019	biomass	8285
biomass	4468	hydrogen	8881	hydrogen	7657
hydrogen production	2417	biodiesel	8304	anaerobic digestion	4573
biodiesel	2385	biofuel	7405	biofuel	4155
biofuel	2159	biogas	5763	biodiesel	4135
ethanol	1760	anaerobic digestion	5614	biogas	3854
gasification	1476	microalgae	4686	emissions	3573
adsorption	1390	bioenergy	4553	pyrolysis	3567
kinetics	1350	pyrolysis	4507	biochar	3279
pyrolysis	1338	emissions	4307	adsorption	3055
anaerobic digestion	1273	hydrogen production	4247	combustion	2650
emissions	1268	pretreatment	3954	performance	2555
biogas	1249	adsorption	3623	microalgae	2505
methane	1243	kinetics	3541	bioenergy	2437
bioenergy	1236	combustion	3493	biorefinery	2411
catalyst	1159	gasification	3237	gasification	2357
performance	1049	performance	3226	recycling	2329
pretreatment	1009	ethanol	3213	carbon dioxide	2205
combustion	1004	methane	3056	food waste	2164
carbon dioxide	989	biorefinery	2859	co2 capture and storage	2037
fermentation	901	bioethanol	2780	kinetics	1988
biohydrogen	835	lignin	2724	pretreatment	1951
activated carbon	806	carbon dioxide	2717	response surface methodology	1950
steam reforming	805	biochar	2601	techno-economic analysis	1950
hydrolysis	803	ionic liquid	2562	methane	1922
methanol	796	catalyst	2511	waste management	1875
bioethanol	788	transesterification	2457	lignin	1793
transesterification	764	enzymatic hydrolysis	2353	wastewater	1598
cellulose	692	bio-oil	2232	wastewater treatment	1571
microalgae	658	response surface methodology	2156	catalyst	1530

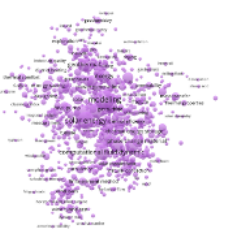
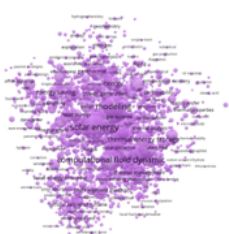
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 6. Evolución en almacenamiento de ER del mundo

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 1068		Total de Aks: 2164		Total de Aks: 1803	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
fuel cell	5056	lithium-ion battery	6732	lithium-ion battery	5419
solid oxide fuel cell	4312	fuel cell	6097	supercapacitor	4550
proton exchange membrane fuel cell	2379	solid oxide fuel cell	5142	fuel cell	3841
lithium-ion battery	2067	supercapacitor	4666	electrocatalysis	3125
solar cells	1738	solar cells	4383	hydrogen production	2975
proton exchange membrane (pem) fuel cell	1673	electrocatalysis	3220	stability	2273
direct methanol fuel cell	1467	graphene	3116	solid oxide fuel cell	2227
hydrogen storage	1405	hydrogen storage	2913	proton exchange membrane fuel cell	2077
cathode	1254	stability	2709	nanoparticles	1931
thin film	1123	photovoltaics	2707	hydrogen evolution reaction	1863
electrocatalysis	1099	proton exchange membrane fuel cell	2604	solar cells	1846
anode	1034	oxygen reduction reaction	2512	oxygen evolution reaction	1844
carbon nanotubes	830	nanoparticles	2410	hydrogen storage	1762
degradation	829	degradation	2179	photocatalysis	1691
proton exchange membrane	824	carbon nanotubes	2127	water splitting	1642
supercapacitor	818	thin film	2005	density functional theory	1596
lithium battery	770	anode	1992	oxygen reduction reaction	1578
stability	769	dye-sensitized solar cells	1964	energy harvesting	1545
li-ion battery	740	water splitting	1874	graphene	1447
platinum	731	cathode	1834	metal-organic frameworks	1441
titanium dioxide	704	photocatalysis	1812	li-ion battery	1397
gas diffusion layer	693	li-ion battery	1746	degradation	1353
electrochemical impedance spectroscopy	690	nanocomposite	1633	perovskite solar cells	1297
membrane	665	silicon	1580	triboelectric nanogenerator	1179
photovoltaics	620	proton exchange membrane (pem) fuel cell	1504	nanocomposite	1161
silicon	607	energy harvesting	1476	carbon nanotubes	1146
nanoparticles	606	titanium dioxide	1470	perovskite	1134
carbon	605	sodium-ion batteries	1464	sodium-ion batteries	1066
electrolyte	592	hydrogen evolution reaction	1448	durability	1038
oxygen reduction reaction	589	perovskite	1423	anode	915

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 7. Evolución Generación en Energía Solar del mundo

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 844		Total de Aks: 1944		Total de Aks: 1929	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
modeling	2973	solar energy	7495	solar energy	6731
solar energy	1958	modeling	6585	energy efficiency	6636
simulation	1958	efficiency	5104	phase change material	5581
efficiency	1775	computational fluid dynamic	4824	energy	5431
computational fluid dynamic	1295	simulation	4759	computational fluid dynamic	4425
exergy	1293	phase change material	3738	modeling	4093
geothermal	1254	exergy	3252	efficiency	3936
heat transfer	822	thermal energy storage	2763	simulation	3588
solar	804	heat transfer	2465	thermal energy storage	3258
model	790	organic rankine cycle	2405	numerical simulation	2571
cogeneration	728	temperature	2350	heat transfer	2458
numerical simulation	723	solar	2181	exergy	2347
phase change material	709	numerical simulation	2108	organic rankine cycle	2032
mathematical model	645	energy saving	1906	temperature	1860
temperature	626	nanofluid	1877	nanofluid	1788
heat pump	586	mathematical model	1740	solar	1768
power generation	532	geothermal	1580	energy saving	1716
energy saving	503	economic analysis	1562	economic analysis	1704
exergy analysis	479	heat pump	1499	heat pump	1696
enhanced geothermal system	478	power generation	1359	mathematical model	1581
thermal energy storage	462	thermal conductivity	1352	desalination	1460
design	446	exergy analysis	1335	thermal conductivity	1455
solar radiation	415	model	1333	thermal comfort	1366
geothermal energy	401	desalination	1302	waste heat recovery	1355
exploration	354	cogeneration	1259	energy conversion/systems	1293
heat exchanger	346	solar radiation	1246	geothermal energy	1249
gas turbine	340	design	1244	concentrated solar power	1241
absorption	337	waste heat recovery	1223	exergy analysis	1202
cooling	320	district heating	1195	thermodynamics	1165
permeability	314	concentrated solar power	1183	thermal management	1135

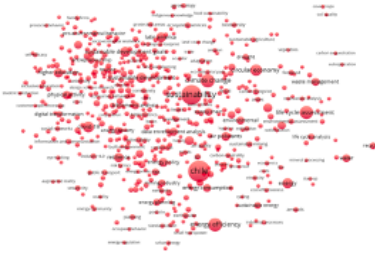
Nota. desarrollo propio con información de Scopus

Anexo 8. Evolución en Inteligencia Artificial y ER del mundo

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks:		Total de Aks:		Total de Aks: 1929	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
				machine learning	10009
				deep learning	5627
				internet of things	5290
				artificial neural network	4291
				artificial intelligence	3888
				neural network	2877
				convolutional neural network	2273
				blockchain	2185
				support vector machine	2094
				long short-term memory	2074
				forecasting	1721
				random forest	1542
				big data	1506
				classification	1400
				prediction	1351
				security	1255
				sensors	1228
				fault diagnosis	1129
				principal component analysis	1052
				clustering	1035
				convolutional neural networks	1034
				monitoring	1010
				transformer	970
				fault detection	921
				unmanned aerial vehicle	894
				image processing	865
				cyber security	798
				transfer learning	789
				data mining	786
				wireless sensor networks	773

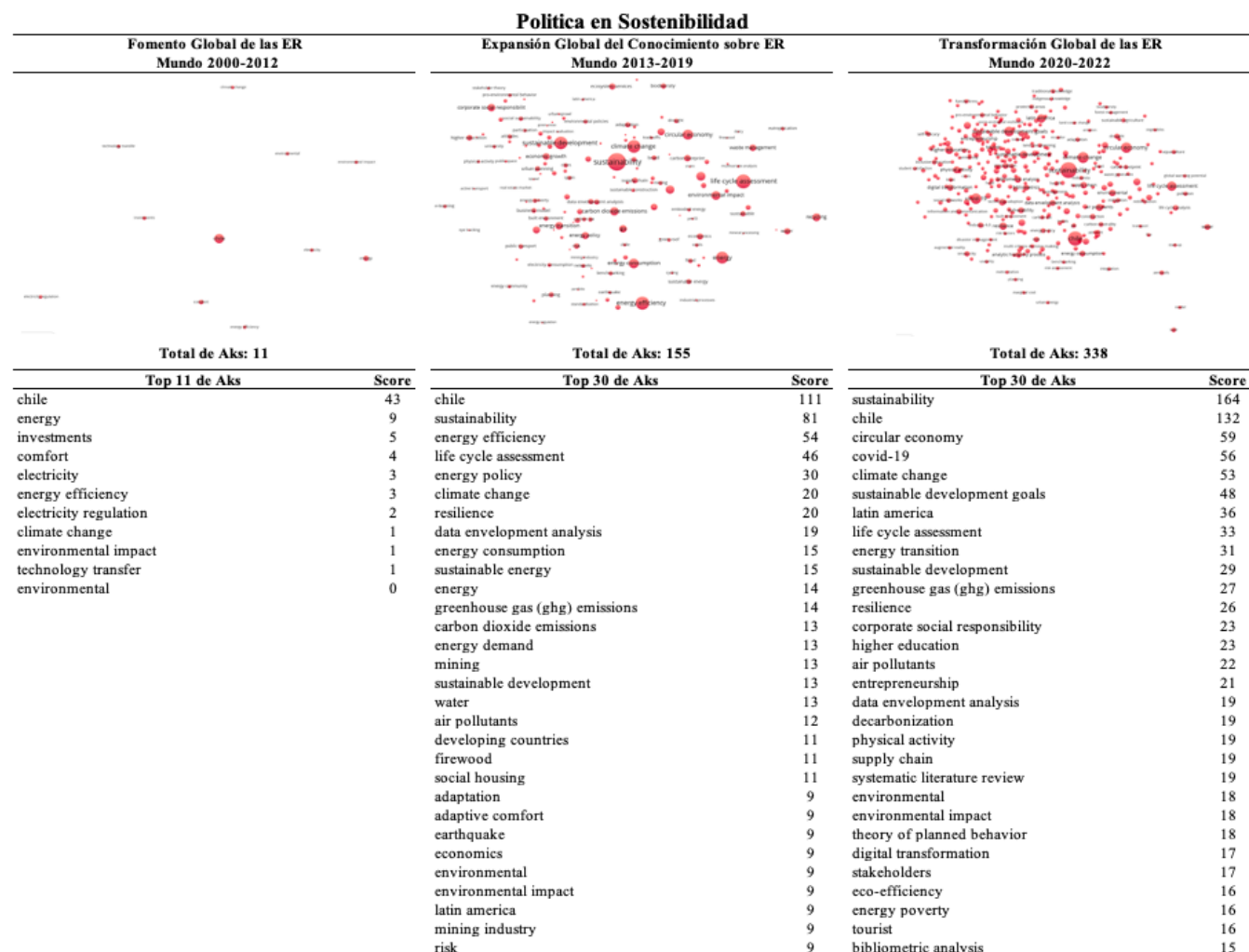
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 9. Frentes de investigación en ER de Chile

Frente 1 Política en Sostenibilidad  Total de Aks: 531	Top 20 de Aks <table><tr><td>chile</td><td>337</td></tr><tr><td>sustainability</td><td>294</td></tr><tr><td>energy efficiency</td><td>111</td></tr><tr><td>life cycle assessment</td><td>97</td></tr><tr><td>climate change</td><td>94</td></tr><tr><td>circular economy</td><td>69</td></tr><tr><td>covid-19</td><td>61</td></tr><tr><td>energy</td><td>55</td></tr><tr><td>resilience</td><td>55</td></tr><tr><td>sustainable development goals</td><td>52</td></tr><tr><td>energy policy</td><td>50</td></tr><tr><td>greenhouse gas (ghg) emissions</td><td>49</td></tr><tr><td>sustainable development</td><td>48</td></tr><tr><td>latin america</td><td>47</td></tr><tr><td>air pollutants</td><td>44</td></tr><tr><td>data envelopment analysis</td><td>40</td></tr><tr><td>energy transition</td><td>37</td></tr><tr><td>environmental impact</td><td>34</td></tr><tr><td>waste management</td><td>33</td></tr><tr><td>higher education</td><td>32</td></tr></table>	chile	337	sustainability	294	energy efficiency	111	life cycle assessment	97	climate change	94	circular economy	69	covid-19	61	energy	55	resilience	55	sustainable development goals	52	energy policy	50	greenhouse gas (ghg) emissions	49	sustainable development	48	latin america	47	air pollutants	44	data envelopment analysis	40	energy transition	37	environmental impact	34	waste management	33	higher education	32	Frente 4 Almacenamiento de Energía Renovable  Total de Aks: 85	Top 20 de Aks <table><tr><td>photovoltaics</td><td>35</td></tr><tr><td>corrosion</td><td>32</td></tr><tr><td>mechanical properties</td><td>28</td></tr><tr><td>nanoparticles</td><td>17</td></tr><tr><td>water management</td><td>17</td></tr><tr><td>durability</td><td>14</td></tr><tr><td>boron</td><td>13</td></tr><tr><td>natural fibers</td><td>13</td></tr><tr><td>electrochemical impedance spectroscopy</td><td>12</td></tr><tr><td>fuel cell</td><td>12</td></tr><tr><td>lithium</td><td>12</td></tr><tr><td>safe</td><td>11</td></tr><tr><td>cycling stability</td><td>10</td></tr><tr><td>solid oxide fuel cell</td><td>10</td></tr><tr><td>electromagnetic</td><td>9</td></tr><tr><td>porosity</td><td>9</td></tr><tr><td>degradation</td><td>8</td></tr><tr><td>differential scanning calorimetry</td><td>8</td></tr><tr><td>photocatalysis</td><td>8</td></tr><tr><td>stainless steel</td><td>8</td></tr></table>	photovoltaics	35	corrosion	32	mechanical properties	28	nanoparticles	17	water management	17	durability	14	boron	13	natural fibers	13	electrochemical impedance spectroscopy	12	fuel cell	12	lithium	12	safe	11	cycling stability	10	solid oxide fuel cell	10	electromagnetic	9	porosity	9	degradation	8	differential scanning calorimetry	8	photocatalysis	8	stainless steel	8
chile	337																																																																																		
sustainability	294																																																																																		
energy efficiency	111																																																																																		
life cycle assessment	97																																																																																		
climate change	94																																																																																		
circular economy	69																																																																																		
covid-19	61																																																																																		
energy	55																																																																																		
resilience	55																																																																																		
sustainable development goals	52																																																																																		
energy policy	50																																																																																		
greenhouse gas (ghg) emissions	49																																																																																		
sustainable development	48																																																																																		
latin america	47																																																																																		
air pollutants	44																																																																																		
data envelopment analysis	40																																																																																		
energy transition	37																																																																																		
environmental impact	34																																																																																		
waste management	33																																																																																		
higher education	32																																																																																		
photovoltaics	35																																																																																		
corrosion	32																																																																																		
mechanical properties	28																																																																																		
nanoparticles	17																																																																																		
water management	17																																																																																		
durability	14																																																																																		
boron	13																																																																																		
natural fibers	13																																																																																		
electrochemical impedance spectroscopy	12																																																																																		
fuel cell	12																																																																																		
lithium	12																																																																																		
safe	11																																																																																		
cycling stability	10																																																																																		
solid oxide fuel cell	10																																																																																		
electromagnetic	9																																																																																		
porosity	9																																																																																		
degradation	8																																																																																		
differential scanning calorimetry	8																																																																																		
photocatalysis	8																																																																																		
stainless steel	8																																																																																		
Frente 2 Estructura en Energías Renovables  Total de Aks: 317	Top 20 de Aks <table><tr><td>renewable energy</td><td>212</td></tr><tr><td>optimization</td><td>82</td></tr><tr><td>photovoltaic</td><td>81</td></tr><tr><td>predictive control</td><td>76</td></tr><tr><td>microgrid</td><td>61</td></tr><tr><td>model predictive control</td><td>56</td></tr><tr><td>levelized cost of energy</td><td>54</td></tr><tr><td>wind energy</td><td>47</td></tr><tr><td>electric vehicle</td><td>43</td></tr><tr><td>uncertainty</td><td>43</td></tr><tr><td>matrix converter</td><td>38</td></tr><tr><td>artificial neural network</td><td>35</td></tr><tr><td>current control</td><td>35</td></tr><tr><td>energy management system</td><td>34</td></tr><tr><td>energy storage</td><td>33</td></tr><tr><td>energy storage system</td><td>32</td></tr><tr><td>distributed generation</td><td>31</td></tr><tr><td>renewable energy sources</td><td>29</td></tr><tr><td>flexibility</td><td>28</td></tr><tr><td>electricity market</td><td>27</td></tr></table>	renewable energy	212	optimization	82	photovoltaic	81	predictive control	76	microgrid	61	model predictive control	56	levelized cost of energy	54	wind energy	47	electric vehicle	43	uncertainty	43	matrix converter	38	artificial neural network	35	current control	35	energy management system	34	energy storage	33	energy storage system	32	distributed generation	31	renewable energy sources	29	flexibility	28	electricity market	27	Frente 5 Generación de Energía Solar  Total de Aks: 180	Top 20 de Aks <table><tr><td>solar energy</td><td>155</td></tr><tr><td>thermal energy storage</td><td>103</td></tr><tr><td>concentrated solar power</td><td>95</td></tr><tr><td>phase change material</td><td>63</td></tr><tr><td>molten salt</td><td>47</td></tr><tr><td>simulation</td><td>42</td></tr><tr><td>modeling</td><td>40</td></tr><tr><td>soiling</td><td>36</td></tr><tr><td>atacama desert</td><td>34</td></tr><tr><td>solar resource assessment</td><td>30</td></tr><tr><td>geothermal</td><td>29</td></tr><tr><td>geochemistry</td><td>27</td></tr><tr><td>heat transfer fluid</td><td>23</td></tr><tr><td>thermal comfort</td><td>23</td></tr><tr><td>solar radiation</td><td>21</td></tr><tr><td>trnsys</td><td>21</td></tr><tr><td>atmospheric extinction</td><td>20</td></tr><tr><td>concentrating solar power</td><td>19</td></tr><tr><td>dust</td><td>19</td></tr><tr><td>economic analysis</td><td>19</td></tr></table>	solar energy	155	thermal energy storage	103	concentrated solar power	95	phase change material	63	molten salt	47	simulation	42	modeling	40	soiling	36	atacama desert	34	solar resource assessment	30	geothermal	29	geochemistry	27	heat transfer fluid	23	thermal comfort	23	solar radiation	21	trnsys	21	atmospheric extinction	20	concentrating solar power	19	dust	19	economic analysis	19
renewable energy	212																																																																																		
optimization	82																																																																																		
photovoltaic	81																																																																																		
predictive control	76																																																																																		
microgrid	61																																																																																		
model predictive control	56																																																																																		
levelized cost of energy	54																																																																																		
wind energy	47																																																																																		
electric vehicle	43																																																																																		
uncertainty	43																																																																																		
matrix converter	38																																																																																		
artificial neural network	35																																																																																		
current control	35																																																																																		
energy management system	34																																																																																		
energy storage	33																																																																																		
energy storage system	32																																																																																		
distributed generation	31																																																																																		
renewable energy sources	29																																																																																		
flexibility	28																																																																																		
electricity market	27																																																																																		
solar energy	155																																																																																		
thermal energy storage	103																																																																																		
concentrated solar power	95																																																																																		
phase change material	63																																																																																		
molten salt	47																																																																																		
simulation	42																																																																																		
modeling	40																																																																																		
soiling	36																																																																																		
atacama desert	34																																																																																		
solar resource assessment	30																																																																																		
geothermal	29																																																																																		
geochemistry	27																																																																																		
heat transfer fluid	23																																																																																		
thermal comfort	23																																																																																		
solar radiation	21																																																																																		
trnsys	21																																																																																		
atmospheric extinction	20																																																																																		
concentrating solar power	19																																																																																		
dust	19																																																																																		
economic analysis	19																																																																																		
Frente 3 Generación en Biocombustibles  Total de Aks: 280	Top 20 de Aks <table><tr><td>hydrogen</td><td>70</td></tr><tr><td>anaerobic digestion</td><td>67</td></tr><tr><td>biogas</td><td>55</td></tr><tr><td>biomass</td><td>39</td></tr><tr><td>gasification</td><td>39</td></tr><tr><td>methane</td><td>36</td></tr><tr><td>performance</td><td>36</td></tr><tr><td>biochar</td><td>32</td></tr><tr><td>syngas</td><td>30</td></tr><tr><td>microalgae</td><td>29</td></tr><tr><td>pretreatment</td><td>29</td></tr><tr><td>filtration combustion</td><td>28</td></tr><tr><td>municipal solid waste</td><td>26</td></tr><tr><td>zeolite</td><td>25</td></tr><tr><td>biohydrogen</td><td>24</td></tr><tr><td>biorefinery</td><td>24</td></tr><tr><td>eucalyptus globulus</td><td>23</td></tr><tr><td>sewage sludge</td><td>23</td></tr><tr><td>water treatment</td><td>22</td></tr><tr><td>hydrogen production</td><td>21</td></tr></table>	hydrogen	70	anaerobic digestion	67	biogas	55	biomass	39	gasification	39	methane	36	performance	36	biochar	32	syngas	30	microalgae	29	pretreatment	29	filtration combustion	28	municipal solid waste	26	zeolite	25	biohydrogen	24	biorefinery	24	eucalyptus globulus	23	sewage sludge	23	water treatment	22	hydrogen production	21																																										
hydrogen	70																																																																																		
anaerobic digestion	67																																																																																		
biogas	55																																																																																		
biomass	39																																																																																		
gasification	39																																																																																		
methane	36																																																																																		
performance	36																																																																																		
biochar	32																																																																																		
syngas	30																																																																																		
microalgae	29																																																																																		
pretreatment	29																																																																																		
filtration combustion	28																																																																																		
municipal solid waste	26																																																																																		
zeolite	25																																																																																		
biohydrogen	24																																																																																		
biorefinery	24																																																																																		
eucalyptus globulus	23																																																																																		
sewage sludge	23																																																																																		
water treatment	22																																																																																		
hydrogen production	21																																																																																		

Nota: Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 10. Evolución de la política en sostenibilidad en ER de Chile



Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 11. Evolución de la Estructura en ER de Chile

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Estructura en Energía Renovable Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
Total de Aks: 10		Total de Aks: 122		Total de Aks: 154	
Top 10 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
renewable energy	6	renewable energy	58	renewable energy	114
optimization	5	photovoltaic	29	optimization	47
power market	5	predictive control	29	model predictive control	44
distributed generation	4	levelized cost of energy	25	predictive control	40
game theory	4	matrix converter	20	photovoltaic	37
wind energy	4	wind power	20	microgrid	33
deregulation	2	frequency control	19	wind energy	29
multi-objective optimization	2	unit commitment	19	electric vehicle	28
sensors	2	inertial response	17	energy planning	25
demand side management	0	microgrid	17	modulated model predictive control	23
		rural electrification	17	flexibility	22
		uncertainty	16	energy management system	21
		optimization	15	energy storage	21
		photovoltaic generation	15	photovoltaics	21
		current control	14	levelized cost of energy	20
		wind turbine	14	renewable energy sources	20
		genetic algorithm	13	current control	19
		performance ratio	13	energy storage system	19
		energy storage	11	power system planning	19
		power system dynamics	11	space vector modulation	18
		solar photovoltaic	11	power systems	17
		wind power generation	11	uncertainty	17
		control strategy	10	energy management	15
		frequency regulation	10	photovoltaic systems	15
		frequency stability	10	distributed generation	14
		neural network	10	electricity market	14
		partial shading	10	fuzzy logic	14
		sensitivity analysis	10	smart grid	14
		stochastic programming	10	induction motor	13
		artificial neural network	9	matrix converter	12

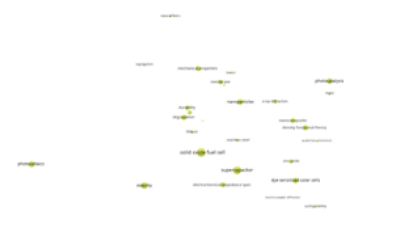
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 12. Evolución de la Generación en Biocombustibles de Chile

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Generación en Biocombustibles Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 31		Total de Aks: 133		Total de Aks: 104	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
biopulping	12	biogas	40	waste management	32
ceriporiopsis subvermisporea	12	hydrogen	37	hydrogen	19
white-rot fungi	12	anaerobic digestion	32	municipal solid waste	16
pinus radiata	11	syngas	28	recycling	16
organosolv pulping	8	gasification	27	biorefinery	14
eucalyptus globulus	7	filtration combustion	23	mechanical properties	13
kraft pulping	7	pretreatment	23	anaerobic digestion	12
biotrickling filter	5	microalgae	22	biohydrogen	12
diatomite	5	biochar	21	biomass	12
inhibition	5	biomass	21	hydrothermal carbonization	12
methane	5	sewage sludge	17	performance	11
partial oxidation	5	methane	16	emissions	10
zeolite	5	performance	16	toxicity	10
activated carbon	4	bioenergy	13	waste	10
hydrogen	4	lactose	13	water treatment	10
kinetic model	4	pyrolysis	13	compressive strength	9
syngas production	4	β-galactosidase	13	gasification	9
volatile fatty acids	4	bioethanol	12	biogas	8
ethanol	3	lignocellulosic biomass	12	combustion	8
hydrogen production	3	torrefaction	12	flexural strength	8
hydrolysis	3	biogas upgrading	11	natural fibers	8
kinetics	3	biohydrogen	10	wastewater treatment	8
protein	3	enzymatic hydrolysis	10	adsorption	7
adsorption	2	immobilization	10	dark fermentation	7
anaerobic digestion	2	nannochloropsis gaditana	10	four-leg inverter	7
combustion	2	autohydrolysis	9	methane	7
escherichia coli	2	biorefinery	9	zeolite	7
ozone	2	nitrogen	9	microbial community	6
glycerol	1	solid-state fermentation	9	predictive	6
iron	1	steam explosion	9	torrefaction	6

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 13. Evolución en Almacenamiento de ER de Chile

Almacenamiento en Energía Renovable					
Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 8		Total de Aks: 29		Total de Aks: 39	
Top 8 de Aks	Score	Top 29 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
electromagnetic	9	corrosion	24	atacama desert	20
synthesis	5	photovoltaics	9	atmospheric extinction	17
insertion	4	cycling stability	8	solar spectral irradiance	16
composite electrode	2	stainless steel	8	water management	13
palladium	2	mechanical properties	7	atmospheric attenuation	11
polypyrrole	2	nanoparticles	7	fuel cell	11
structure	2	boron	6	hydrogen production	8
x-ray diffraction	1	differential scanning calorimetry	6	nanoparticles	8
		electrochemical impedance spectroscopy	6	boron	7
		spectral response	6	corrosion	6
		durability	5	electrochemical impedance spectroscopy	6
		membrane	5	photocatalyst	6
		supercapacitor	5	applications	5
		lithium	4	cogeneration plant	5
		mgh2	4	electrolysis	5
		natural fibers	4	lithium	5
		neutron powder diffraction	4	water splitting	5
		segregation	4	3d printing	4
		young's modulus	4	charge transfer	4
		degradation	3	density functional theory	4
		nanocomposite	2	molecular dynamics	4
		photocatalysis	2	nanomaterials	4
		solid oxide fuel cell	2	optical properties	4
		zinc oxide	2	organic solar cells	4
		dye-sensitized solar cells	1	photocatalysis	4
		quaternary ammonium	1	durability	3
		stability	1	dye-sensitized solar cells	3
		x-ray diffraction	1	electrocatalysis	3
		density functional theory	0	hydrogen evolution	3
				mxene	3

Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 14. Evolución Generación en Energía Solar de Chile

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Geneación en Energía Solar Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 21		Total de Aks: 92		Total de Aks: 84	
Top 31 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
geochemistry	18	solar energy	71	solar energy	64
resistivity	17	thermal energy storage	61	energy efficiency	43
geothermal	15	concentrated solar power	52	concentrated solar power	35
magnetotellurics	13	phase change material	37	thermal energy storage	32
geophysics	9	molten salt	34	energy	20
geothermal exploration	9	modeling	19	simulation	19
inversion	9	multi-effect distillation	19	solar resource assessment	19
exploration	8	polygeneration	16	phase change material	18
geology	7	thermal comfort	15	soiling	16
porous media	5	simulation	14	solar radiation	13
solar energy	4	soiling	14	building	12
measurement	3	trnsys	13	central receiver	12
pyrheliometer	3	heat transfer fluid	12	concentrating solar power	12
resource assessment	3	atacama desert	11	lithium nitrate	11
simulation	3	latent heat	11	cogeneration	10
optical transmittance	2	solar resource assessment	11	computational fluid dynamic	10
concentrated solar power	1	desalination	10	dust	10
modeling	1	mathematical model	10	heat transfer fluid	10
solar collector	1	absorption refrigeration	9	molten salt	10
thermal response test	1	geothermal energy	9	modeling	9
solar radiation	0	thermal conductivity	9	concentrating solar power plant	8
		dust	8	economic analysis	8
		exergy	8	mathematical model	8
		heating	8	parabolic trough collector	8
		nearly zero energy building	8	thermal comfort	8
		numerical	8	thermoeconomic analysis	8
		refrigeration	8	geothermal energy	7
		solar	8	photovoltaic performance	7
		solar desalination	8	efficiency	6
		solar salt	8	energy saving	6

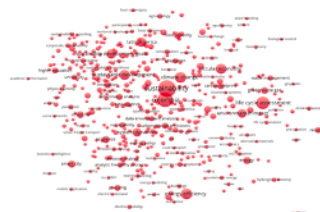
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*

Anexo 15. Evolución en Inteligencia Artificial y ER de Chile

Inteligencia Artificial y ER					
Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks:		Total de Aks:		Total de Aks: 42	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
				machine learning	23
				artificial neural network	21
				internet of things	17
				artificial intelligence	16
				direct normal irradiance	13
				blockchain	12
				clustering	10
				forecasting	10
				smart contract	10
				big data	9
				maintenance	9
				partial least squares	9
				aerosol optical depth	8
				support vector machine	8
				time series	8
				deep learning	7
				transformer	7
				data science	6
				image processing	6
				principal component analysis	6
				scalability	6
				solar irradiance	6
				monitoring	5
				monitoring system	5
				multiple linear regression	5
				regression	5
				time series analysis	5
				5g communication	4
				accuracy	4
				extreme learning machine	4

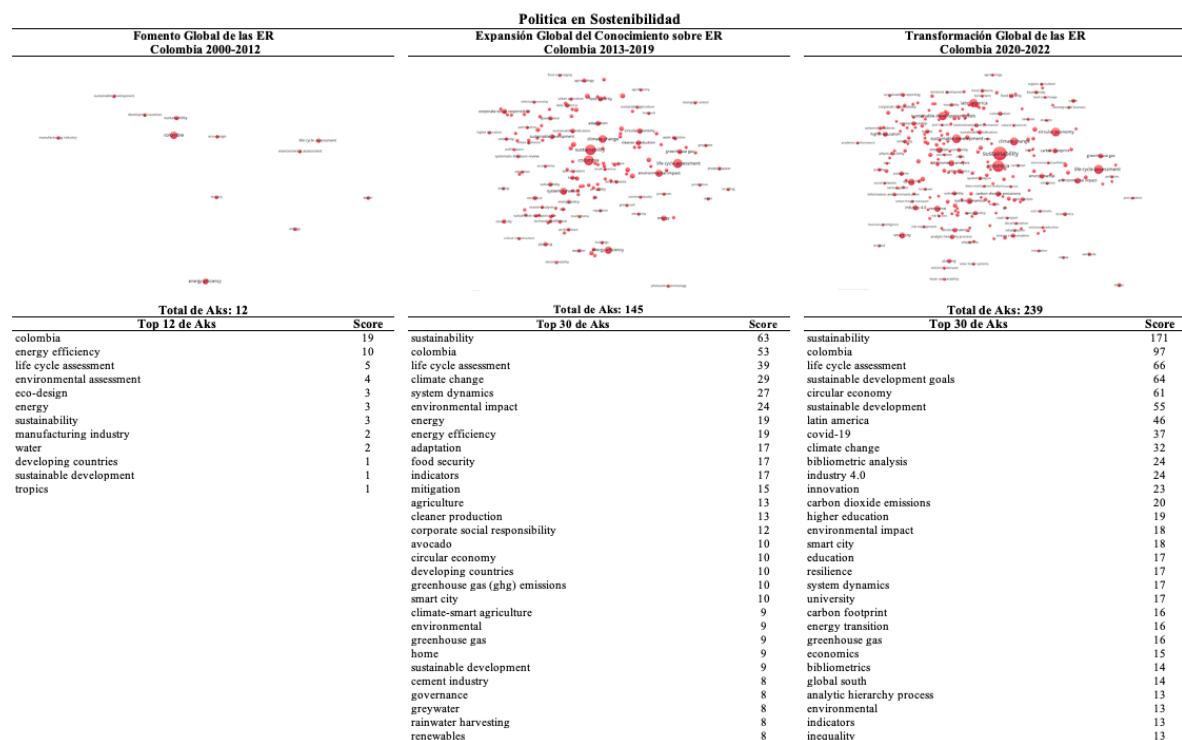
Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 16. Frentes de investigación en ER de Colombia

Frente 1) Política en Sostenibilidad  Total de Aks: 441	Top 20 de Aks <table><tr><td>sustainability</td><td>292</td></tr><tr><td>colombia</td><td>200</td></tr><tr><td>life cycle assessment</td><td>130</td></tr><tr><td>circular economy</td><td>86</td></tr><tr><td>sustainable development</td><td>79</td></tr><tr><td>energy efficiency</td><td>78</td></tr><tr><td>climate change</td><td>76</td></tr><tr><td>sustainable development goals</td><td>74</td></tr><tr><td>latin america</td><td>58</td></tr><tr><td>system dynamics</td><td>55</td></tr><tr><td>environmental impact</td><td>51</td></tr><tr><td>energy</td><td>45</td></tr><tr><td>covid-19</td><td>41</td></tr><tr><td>food security</td><td>38</td></tr><tr><td>innovation</td><td>34</td></tr><tr><td>indicators</td><td>33</td></tr><tr><td>smart city</td><td>32</td></tr><tr><td>agriculture</td><td>31</td></tr><tr><td>greenhouse gas</td><td>30</td></tr><tr><td>environmental</td><td>29</td></tr></table>	sustainability	292	colombia	200	life cycle assessment	130	circular economy	86	sustainable development	79	energy efficiency	78	climate change	76	sustainable development goals	74	latin america	58	system dynamics	55	environmental impact	51	energy	45	covid-19	41	food security	38	innovation	34	indicators	33	smart city	32	agriculture	31	greenhouse gas	30	environmental	29	Frente 4) Almacenamiento de Energía Renovable  Total de Aks: 72	Top 20 de Aks <table><tr><td>fuel cell</td><td>44</td></tr><tr><td>nanoparticles</td><td>32</td></tr><tr><td>stability</td><td>24</td></tr><tr><td>photovoltaics</td><td>22</td></tr><tr><td>supercapacitor</td><td>19</td></tr><tr><td>photocatalysis</td><td>11</td></tr><tr><td>solar cells</td><td>11</td></tr><tr><td>solid oxide fuel cell</td><td>11</td></tr><tr><td>gold</td><td>9</td></tr><tr><td>lithium battery</td><td>9</td></tr><tr><td>anode</td><td>8</td></tr><tr><td>cerium</td><td>8</td></tr><tr><td>composites</td><td>8</td></tr><tr><td>cancer</td><td>7</td></tr><tr><td>electrochemical impedance spectroscopy</td><td>7</td></tr><tr><td>lead-acid battery</td><td>7</td></tr><tr><td>mechanical properties</td><td>7</td></tr><tr><td>photovoltaic cells</td><td>7</td></tr><tr><td>photovoltaic performance</td><td>7</td></tr><tr><td>safe</td><td>7</td></tr></table>	fuel cell	44	nanoparticles	32	stability	24	photovoltaics	22	supercapacitor	19	photocatalysis	11	solar cells	11	solid oxide fuel cell	11	gold	9	lithium battery	9	anode	8	cerium	8	composites	8	cancer	7	electrochemical impedance spectroscopy	7	lead-acid battery	7	mechanical properties	7	photovoltaic cells	7	photovoltaic performance	7	safe	7
sustainability	292																																																																																		
colombia	200																																																																																		
life cycle assessment	130																																																																																		
circular economy	86																																																																																		
sustainable development	79																																																																																		
energy efficiency	78																																																																																		
climate change	76																																																																																		
sustainable development goals	74																																																																																		
latin america	58																																																																																		
system dynamics	55																																																																																		
environmental impact	51																																																																																		
energy	45																																																																																		
covid-19	41																																																																																		
food security	38																																																																																		
innovation	34																																																																																		
indicators	33																																																																																		
smart city	32																																																																																		
agriculture	31																																																																																		
greenhouse gas	30																																																																																		
environmental	29																																																																																		
fuel cell	44																																																																																		
nanoparticles	32																																																																																		
stability	24																																																																																		
photovoltaics	22																																																																																		
supercapacitor	19																																																																																		
photocatalysis	11																																																																																		
solar cells	11																																																																																		
solid oxide fuel cell	11																																																																																		
gold	9																																																																																		
lithium battery	9																																																																																		
anode	8																																																																																		
cerium	8																																																																																		
composites	8																																																																																		
cancer	7																																																																																		
electrochemical impedance spectroscopy	7																																																																																		
lead-acid battery	7																																																																																		
mechanical properties	7																																																																																		
photovoltaic cells	7																																																																																		
photovoltaic performance	7																																																																																		
safe	7																																																																																		
Frente 2) Estructura en Energías Renovables  Total de Aks: 385	renewable energy 265 optimization 169 distributed generation 113 microgrids 90 photovoltaic systems 90 electric vehicle 83 smart grid 78 wind energy 78 microgrid 66 power quality 57 genetic algorithm 56 machine learning 50 energy storage 49 demand response 45 internet of things 44 phasor measurement unit 41 multi-objective optimization 40 reliability 40 battery 39 energy management 39	Frente 5) Generación de Energía Solar  Total de Aks: 166	solar energy 86 simulation 72 modeling 65 computational fluid dynamic 52 exergy analysis 48 internal combustion engine 42 mathematical model 41 enhanced oil recovery 38 numerical simulation 38 efficiency 37 phase change material 35 power generation 29 organic rankine cycle 28 solar radiation 28 exergy 27 fuel consumption 26 thermal energy storage 26 energy analysis 24 waste heat recovery 23 alternative energy sources 22																																																																																
Frente 3) Generación en Biocombustibles  Total de Aks: 361	biomass 176 anaerobic digestion 117 biodiesel 103 biorefinery 97 gasification 90 biofuel 86 biogas 82 hydrogen 82 bioenergy 69 pyrolysis 62 syngas 62 combustion 51 pretreatment 50 fermentation 47 ethanol 46 bioethanol 40 natural gas 40 energy balance 36 sugarcane 34 lignocellulosic biomass 32																																																																																		

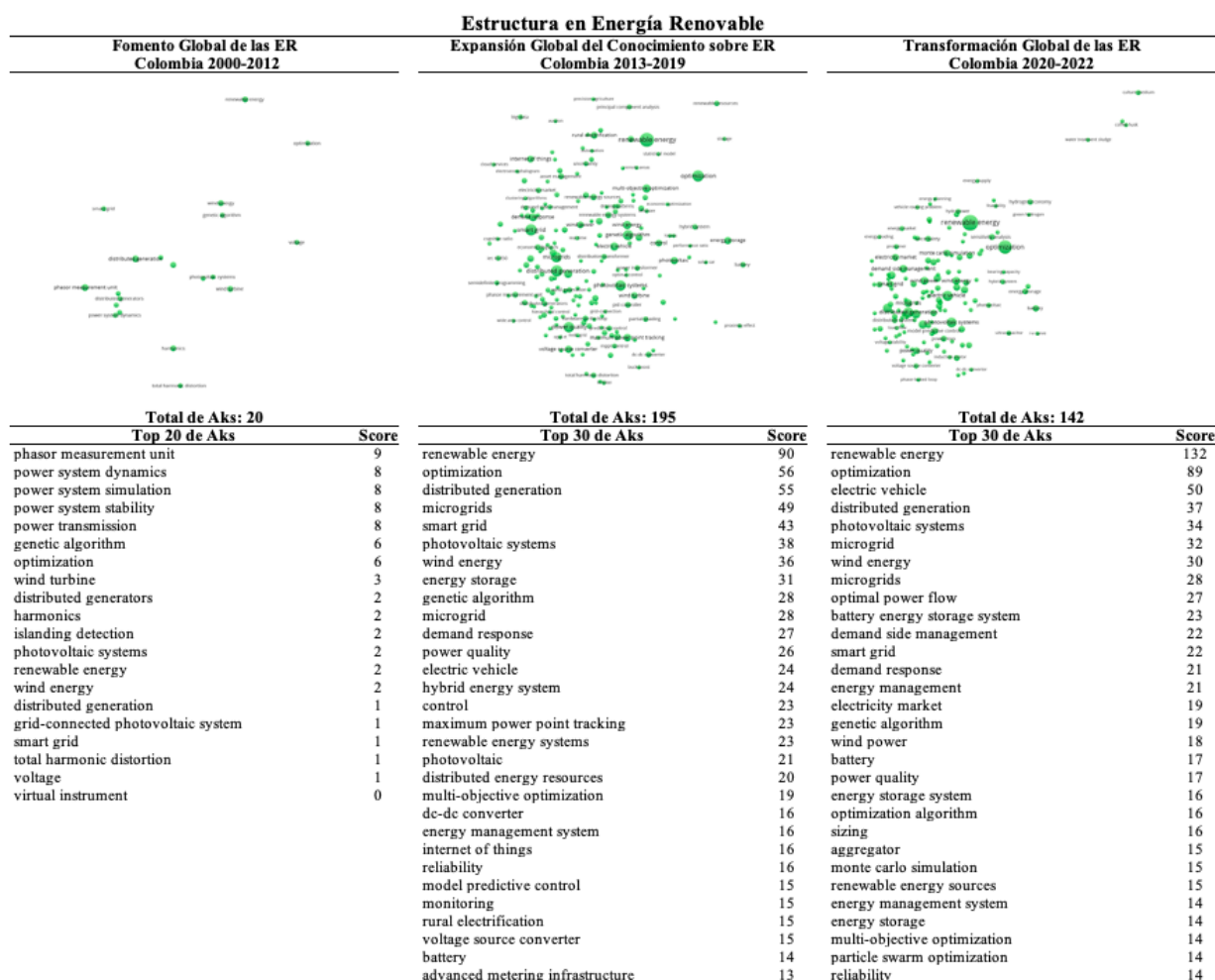
Nota: Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 17. Evolución de la Política en Sostenibilidad en ER de Colombia



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 18. Evolución de la Estructura en ER de Colombia



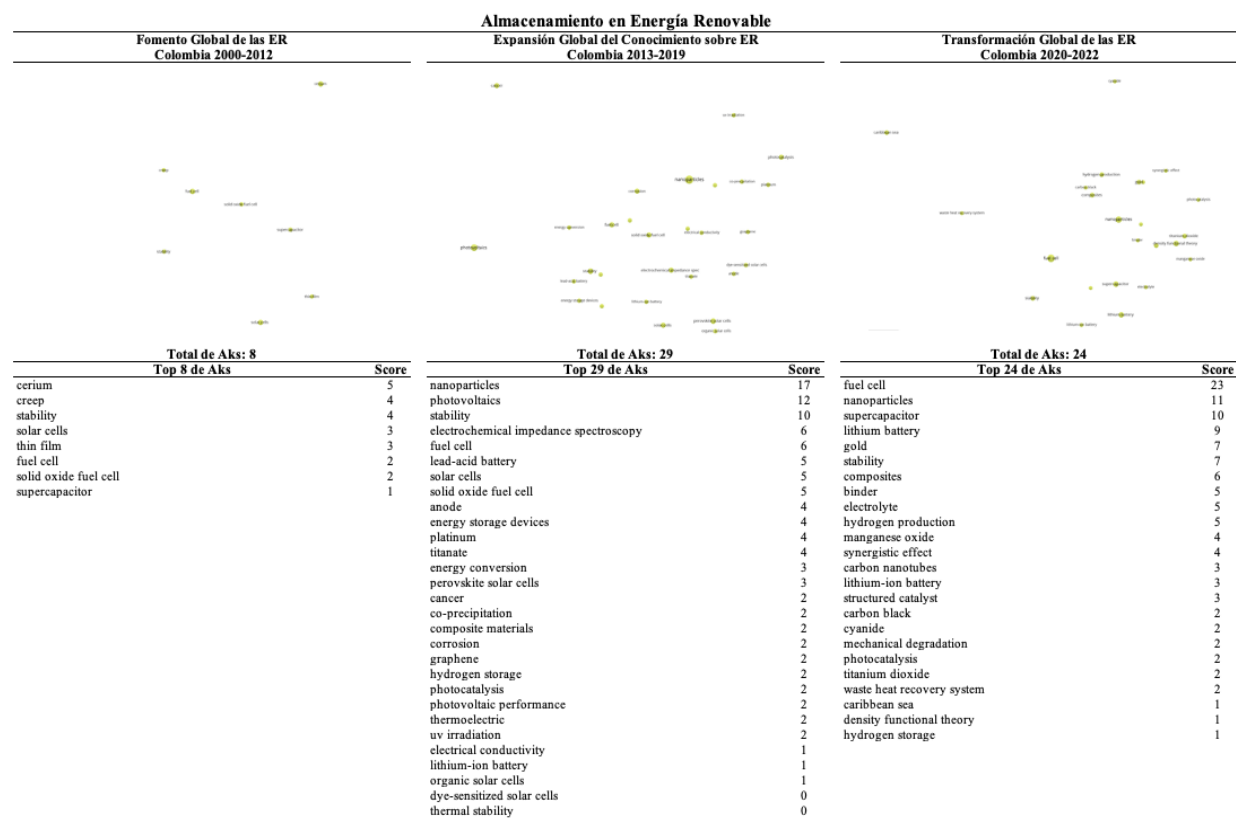
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 19. Evolución de la Generación en Biocombustibles de Colombia

Generación en Biocombustibles		
Fomento Global de las ER Colombia 2000-2012	Expansión Global del Conocimiento sobre ER Colombia 2013-2019	Transformación Global de las ER Colombia 2020-2022
Total de Aks: 65	Total de Aks: 144	Total de Aks: 191
Top 30 de Aks	Top 30 de Aks	Top 30 de Aks
Score	Score	Score
biodiesel	biomass	anaerobic digestion
pretreatment	biorefinery	biomass
fuel ethanol	biogas	gasification
biomass	biodiesel	biorefinery
switchgrass	bioenergy	hydrogen
enzymatic hydrolysis	pyrolysis	biogas
process integration	anaerobic digestion	bioenergy
biofuel	gasification	syngas
process synthesis	ethanol	biofuel
fermentation	hydrogen	combustion
syngas	biofuel	pyrolysis
ethanol	techno-economic analysis	internal combustion engine
carbon dioxide	lignocellulosic biomass	bioethanol
natural gas	knock	hydrothermal carbonization
characterization	xylitol	waste management
gasification	methane number	wastewater treatment plant
hydrogen	natural gas	recycling
hydrolysis	sugarcane	coal
laminar burning velocity	bioproducts	hydrochar
sugarcane	lignocellulosic sources	dark fermentation
biodegradation	syngas	food waste
process simulation	vegetable oil	process water
bioethanol	waste	digestate
biogas	combustion	ammonia
chlorophenols	rice husk	anaerobic co-digestion
hydrocarbons	transesterification	biodiesel
laccase	fermentation	fermentation
lignocellulose	methane	performance
oil palm	microalgae	co2 capture and storage
syngas combustion	glycerol	response surface methodology

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 20. Evolución en Almacenamiento de ER de Colombia



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 21. Evolución Generación en Energía Solar de Colombia

Fomento Global de las ER Colombia 2000-2012			Generación en Energía Solar Expansión Global del Conocimiento sobre ER Colombia 2013-2019			Transformación Global de las ER Colombia 2020-2022		
								
Total de Aks: 29			Total de Aks: 74			Total de Aks: 74		
Top 29 de Aks	Score		Top 30 de Aks	Score		Top 30 de Aks	Score	
radial flow	17		solar energy	43		energy efficiency	33	
simulation	15		exergy analysis	32		solar energy	26	
permeability	12		simulation	26		modeling	22	
mathematical model	11		computational fluid dynamic	25		organic rankine cycle	22	
reservoir	11		modeling	22		simulation	21	
pressure	10		environmental analysis	20		economic analysis	20	
waste heat	10		efficiency	16		mathematical model	20	
power generation	9		solar radiation	15		computational fluid dynamic	19	
cooling	8		phase change material	14		energy conversion/systems	19	
exergy efficiency	8		thermal energy storage	14		fuel consumption	19	
rock mechanics	7		design	11		alternative energy sources	18	
ammonia-water mixture	6		numerical simulation	11		exergetic analysis	15	
power	6		energy analysis	10		energy from biomass	14	
exergy	5		energy saving	10		energy systems analysis	14	
low pressure	5		internal combustion engine	10		enhanced oil recovery	14	
modeling	5		temperature	10		phase change material	14	
solar energy	5		finite element method	9		power generation	14	
tectonics	5		cogeneration	8		efficiency	13	
well stimulation	5		concentrated solar thermal	8		energy	13	
deformation	4		mathematical model	8		exergy	12	
fluid flow	4		parabolic trough collector	8		waste heat recovery	12	
numerical simulation	4		thermal efficiency	8		power	11	
experiment	3		thermal losses	8		co2 mitigation	10	
radiation	3		cfv simulation	7		energy analysis	10	
pore pressure	2		enhanced oil recovery	7		exergoeconomic analysis	10	
anisotropy	1		heat transfer fluid	7		exergy analysis	10	
computational fluid dynamic	1		numerical analysis	7		exergy efficiency	9	
hydraulic fracturing	1		concentrating solar power	6		intelligent algorithm	9	
pitch	1		energy performance	6		temperature	9	
			experimental validation	6		conceptual design	8	

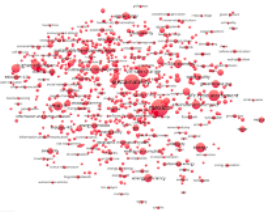
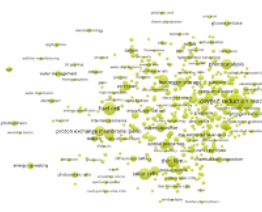
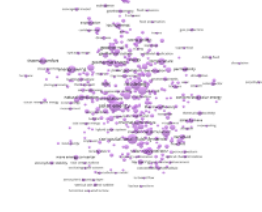
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*

Anexo 22. Evolución en Inteligencia Artificial y ER de Colombia

Fomento Global de las ER Colombia 2000-2012	Inteligencia Artificial y ER Expansión Global del Conocimiento sobre ER Colombia 2013-2019	Transformación Global de las ER Colombia 2020-2022
Total de Aks: Top 30 de AksScore	Total de Aks: Top 30 de AksScore	Total de Aks: 42 Top 20 de AksScore
		machine learning37
		artificial neural network28
		internet of things22
		artificial intelligence20
		big data16
		deep learning15
		data analysis13
		principal component analysis10
		smart buildings9
		wavelet transform9
		neural network8
		power transformer8
		hilbert-huang transform7
		unmanned aerial vehicle7
		advanced metering infrastructure6
		clustering6
		empirical mode decomposition6
		time series6
		asset management5
		load forecasting5
		monitoring5
		predictive model5
		scada data5
		semantic segmentation5
		smart farming5
		support vector machine5
		computer vision4
		convolutional neural network4
		demand forecasting4
		fault diagnosis4

Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 23. Frentes de investigación en ER de México

Frente 1 Política en Sostenibilidad		Top 20 de Aks mexico 509 sustainability 421 life cycle assessment 154 climate change 132 higher education 163 energy 169 sustainable development 109 covid-19 97 educational innovation 143 environmental impact 90 circular economy 67 sustainable development goals 93 energy efficiency 69 greenhouse gas 72 agroecology 47 greenhouse gas (ghg) emissions 63 energy consumption 40 water quality 50 home 67 environmental 64	Frente 4 Almacenamiento de Energía Renovable		Top 20 de Aks fuel cell 192 oxygen reduction reaction 163 electrocatalysis 147 thin film 125 solar cells 112 proton exchange membrane fuel cell 93 oxygen reduction 92 photocatalysis 90 proton exchange membrane (pem) fuel cell 89 nanoparticles 77 hydrogen storage 77 supercapacitor 75 carbon nanotubes 68 cadmium telluride 60 density functional theory 56 optical properties 56 zinc oxide 51 titanium dioxide 50 water splitting 50 electrodeposition 44
Total de Aks: 649			Total de Aks: 466		
Frente 2 Estructura en Energías Renovables		Top 20 de Aks renewable energy 299 optimization 271 multi-objective optimization 116 photovoltaic systems 100 artificial neural network 83 artificial intelligence 82 internet of things 71 wind energy 67 wind turbine 67 microgrid 64 genetic algorithm 60 maximum power point tracking 60 dc-dc converter 57 harmonics 55 photovoltaic 55 energy storage 54 power quality 53 machine learning 51 smart grid 50 distributed generation 48	Frente 5 Generación de Energía Solar		Top 20 de Aks solar energy 198 modeling 128 computational fluid dynamic 127 simulation 106 geothermal 81 mathematical model 78 heat transfer 73 solar 72 energy saving 62 numerical simulation 61 efficiency 58 geothermal energy 55 los azufres 53 cerro prieto 51 temperature 50 organic rankine cycle 49 design 44 solar concentrator 42 cogeneration 39 heterogeneous system 38
Total de Aks: 468			Total de Aks: 397		
Frente 3 Estructura en Energías Renovables		Top 20 de Aks biomass 274 hydrogen 263 biofuel 233 biohydrogen 197 biorefinery 181 biodiesel 174 anaerobic digestion 162 dark fermentation 149 methane 149 microalgae 143 bioethanol 134 hydrogen production 132 biogas 126 bioenergy 119 fermentation 118 enzymatic hydrolysis 107 lignocellulosic biomass 102 pretreatment 95 ethanol 89 wastewater 79			
Total de Aks: 745					

Nota: Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 24. Evolución de la Política en Sostenibilidad en ER de México

Política en Sostenibilidad		
Fomento Global de las ER México 2000-2012	Expansión Global del Conocimiento sobre ER México 2013-2019	Transformación Global de las ER México 2020-2022
Total de Aks: 39	Total de Aks: 251	Total de Aks: 347
Top 30 de Aks	Top 30 de Aks	Top 30 de Aks
Score	Score	Score
mexico	mexico	sustainability
energy	sustainability	mexico
fuel cell bus	life cycle assessment	higher education
vehicles	environmental impact	educational innovation
productivity	climate change	covid-19
sustainability	energy	sustainable development goals
gis	home	climate change
green manure	supply chain	sustainable development
electricity production	sustainable development	life cycle assessment
water sector	greenhouse gas (ghg) emissions	environmental
home	circular economy	education 4.0
resources	greenhouse gas	latin america
agriculture	agriculture	greenhouse gas
electricity	education	competition
life cycle assessment	energy efficiency	industry 4.0
water quality management	agroecology	smart city
analysis	carbon footprint	circular economy
carbon dioxide emissions	sustainable energy	environmental impact
deforestation	carbon dioxide emissions	tourist
drinking water	water	university
greenhouse gas	ecosystem	impact
latin america	energy transition	food security
rainwater	impact	water quality
renewable energy policy	innovation	information and communication technology (ict)
stable isotopes	electricity	greenhouse gas (ghg) emissions
viability	sustainable development goals	public policy
amazon	technology	water
environmental management	urban areas	supply chain
clean development mechanism	water quality	developing countries
indicators	coastal	education

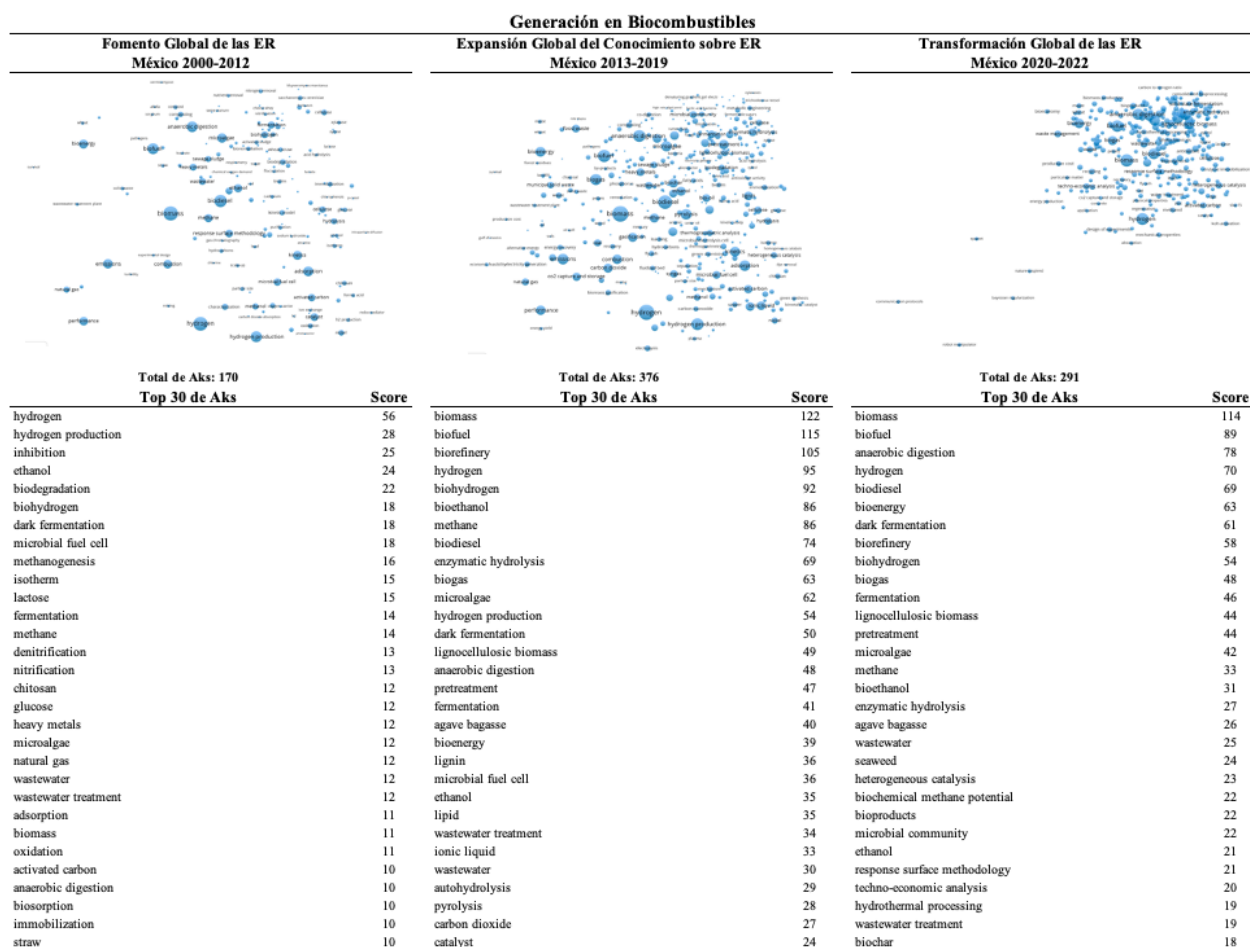
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 25. Evolución de la Estructura en ER de México

Estructura en Energía Renovable					
Fomento Global de las ER México 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER México 2013-2019		Transformación Global de las ER México 2020-2022	
					
Total de Aks: 56		Total de Aks: 210		Total de Aks: 174	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
renewable energy	15	optimization	130	renewable energy	138
optimization	13	renewable energy	111	optimization	92
fuel cell vehicle	12	multi-objective optimization	80	photovoltaic systems	47
artificial neural network	10	photovoltaic systems	34	dc-dc converter	39
wind energy	8	distributed generation	29	energy storage	38
wind speed	8	wind turbine	26	wind energy	35
ac-ac power conversion	6	photovoltaic	24	genetic algorithm	33
artificial intelligence	6	smart grid	24	microgrid	32
autoregressive integrated moving average	6	microgrid	23	harmonics	31
genetic algorithm	6	artificial neural network	22	power systems	30
voltage control	6	power quality	21	wind turbine	29
automation	5	maximum power point tracking	19	grid code	28
neural network	5	genetic algorithm	18	induction motor	27
optimisation	5	sensitivity analysis	18	maximum power point tracking	27
rural electrification	5	uncertainty	18	particle swarm optimization	27
wind power	5	electric vehicle	14	frequency	25
wind speed forecasting	5	hardware-in-the-loop	14	fuzzy logic	24
battery	4	parameter estimation	14	power quality	24
distributed generation	4	artificial intelligence	13	sensitivity analysis	23
harmonics	4	dc-dc converter	12	photovoltaic	22
hybrid system	4	power converters	12	boost converter	21
permanent magnet generator	4	real-time simulation	12	multi-objective optimization	19
renewable energy sources	4	sliding mode control	12	voltage	19
wind	4	internet of things	11	renewable energy sources	18
wind characteristics	4	parallel	11	parameters	17
wind shear	4	series	11	smart grid	16
wind turbine	4	wind energy	11	battery	15
discontinuous conduction mode	3	clustering	10	electric vehicle	15
frequency distribution	3	hybrid system	10	optimisation	15
photovoltaic	3	mathematical programming	10	energy management system	14

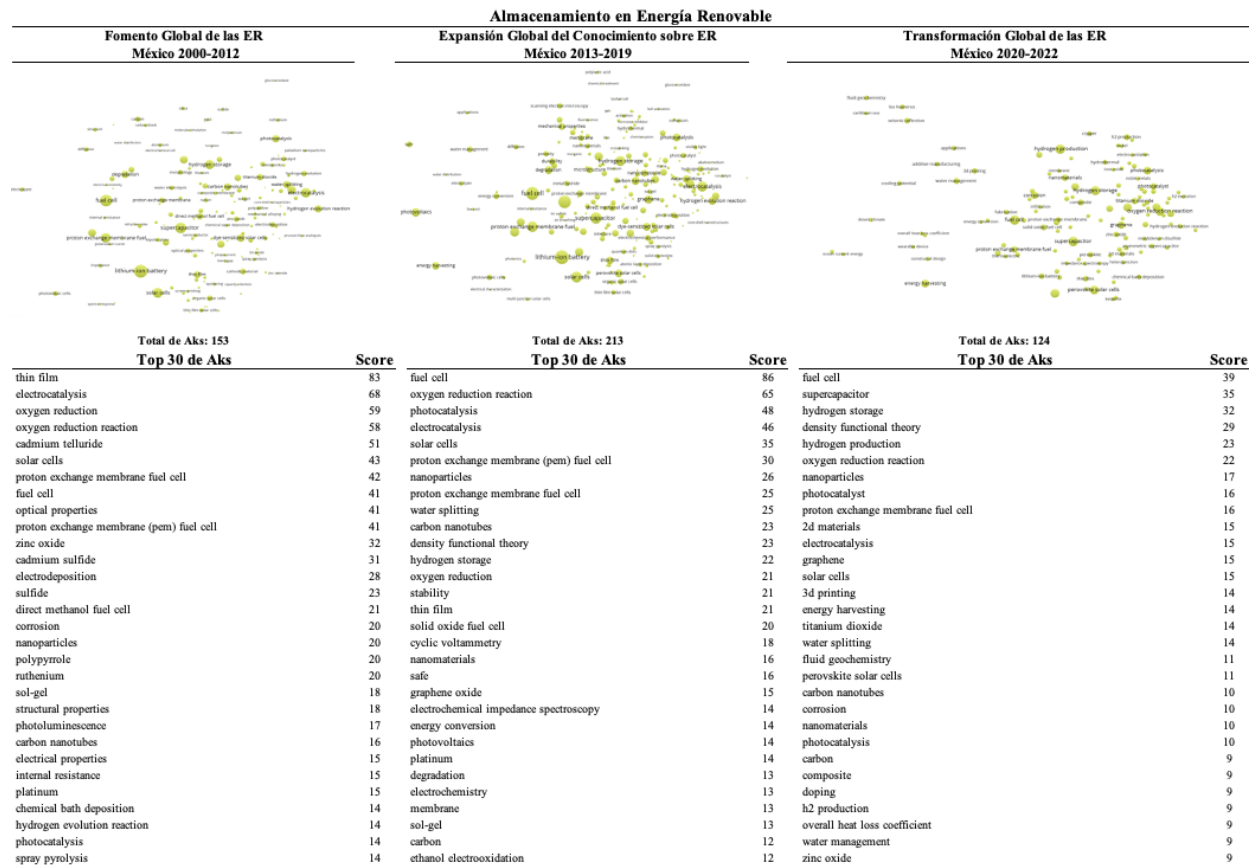
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 26. Evolución de la Generación en Biocombustibles de México



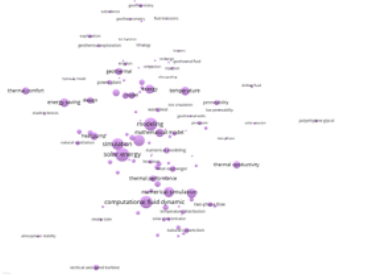
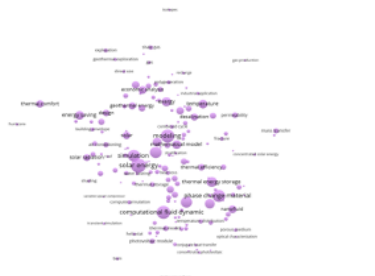
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 27. Evolución en Almacenamiento de ER de México



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 28. Evolución Generación en Energía Solar de México

Generación en Energía Solar					
Fomento Global de las ER México 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER México 2013-2019		Transformación Global de las ER México 2020-2022	
					
Total de Aks: 115		Total de Aks: 160		Total de Aks: 151	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
los azufres	50	solar energy	82	energy	82
cerro prieto	41	modeling	47	solar energy	79
geothermal	38	computational fluid dynamic	42	computational fluid dynamic	53
numerical simulation	25	simulation	37	simulation	46
hydrothermal mineralogy	22	heterogeneous system	36	solar	41
modeling	22	multiphase flow	32	mathematical model	39
los humeros	21	oilfield	32	modeling	37
heat loss	19	porous medium	32	energy efficiency	31
exploration	17	stratification	32	energy saving	28
hydraulic model	15	heat transfer	27	heat transfer	27
model	15	fracture	26	geothermal energy	26
solar concentrator	13	efficiency	25	organic rankine cycle	24
temperature	13	geothermal	24	design	19
compound parabolic concentrator	12	design	22	exergy analysis	19
inverse problem	12	numerical simulation	21	desalination	17
pressure loss	12	cogeneration	19	efficiency	17
stationary fuel cells	12	combined cycle	18	thermal comfort	17
computational fluid dynamic	11	direct use	18	power generation	16
geothermal fluid	10	energy saving	18	thermal efficiency	16
geothermal reservoir	10	solar	18	sustainability analysis	15
mathematical model	10	trnsys	18	building envelope	14
solar collector	10	mathematical model	17	linear fresnel reflector	14
temperature logs	10	organic rankine cycle	17	nanofluid	14
geothermal exploration	9	concentrated solar energy	16	renewable	14
geothermal wells	9	temperature	15	temperature	14
injection	9	two-phase flow	15	fluid flow	13
absorption refrigeration	8	exergy analysis	14	phase change material	13
cuttings transport	8	thermodynamic analysis	14	photovoltaic panel	13
lithology	8	exergy	13	solar radiation	13
permeability	8	natural circulation	13	wave energy converter	13

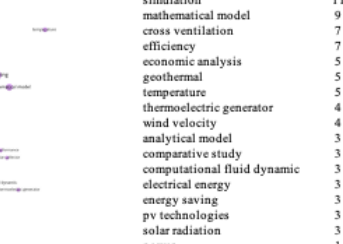
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*

Anexo 29. Evolución en Inteligencia Artificial y ER de México

Inteligencia Artificial y ER			
Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012	Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019	Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
			
Total de Aks: Top 30 de Aks	Score	Total de Aks: Top 30 de Aks	Score
		Total de Aks: 75 Top 30 de Aks	Score
		artificial intelligence	58
		internet of things	46
		machine learning	42
		artificial neural network	40
		big data	30
		blockchain	21
		neural network	21
		signal processing	20
		deep learning	16
		fault diagnosis	16
		digital twin	15
		prototype	15
		cloud computing	12
		fault detection	12
		principal component analysis	12
		wireless sensor networks	12
		embedded system	11
		frequency analysis	11
		spectral analysis	11
		support vector machine	11
		data analysis	10
		long short-term memory	10
		monitoring	10
		spectrogram	10
		condition monitoring	9
		healthcare	9
		prediction	9
		statistical analysis	9
		clustering	8
		computer vision	8

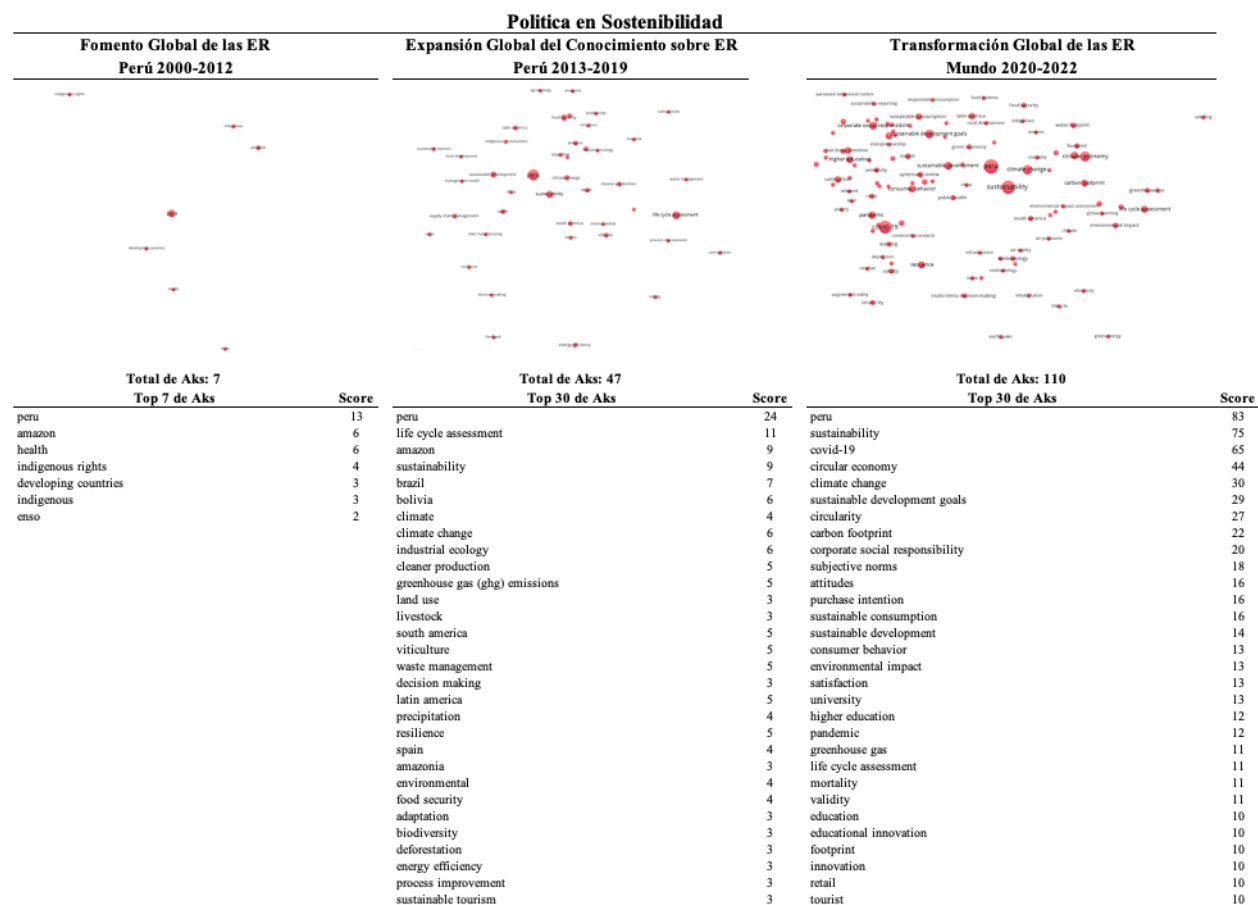
Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 30. Frentes de investigación en ER de Perú

Frente 1 Política en Sostenibilidad 	Top 20 de Aks - peru 154 - sustainability 98 - covid-19 70 - circular economy 46 - climate change 45 - life cycle assessment 45 - sustainable development goals 30 - corporate social responsibility 28 - amazon 27 - circularity 27 - carbon footprint 24 - sustainable development 20 - climate 19 - energy efficiency 18 - subjective norms 18 - indigenous 17 - latin america 17 - sustainable consumption 17 - attitudes 16 - purchase intention 16	Score 	Frente 4 Almacenamiento de Energía Renovable 	Top 10 de Aks - soft robotics 8 - carbon 7 - photovoltaics 5 - titanium dioxide 5 - wearable device 5 - additive manufacturing 4 - carbon black 2 - gold 1 - spray pyrolysis 0 - triboelectric nanogenerator 0	Score
Total de Aks: 189			Total de Aks: 10		
Frente 2 Estructura en Energías Renovables 	Top 20 de Aks - renewable energy 51 - machine learning 19 - power quality 19 - maximum power point tracking 15 - photovoltaic systems 14 - solar panel 13 - forecasting 12 - neural network 12 - optimization 12 - grid connected 10 - internet of things 10 - artificial intelligence 9 - photovoltaic 9 - rural electrification 9 - sensors 9 - wind energy 9 - power factor 8 - reliability 8 - de-dc converter 7 - deep learning 7	Score 	Frente 5 Generación de Energía Solar 	Top 10 de Aks - modeling 25 - solar energy 16 - simulation 11 - mathematical model 9 - cross ventilation 7 - efficiency 7 - economic analysis 5 - geothermal 5 - temperature 5 - thermoelectric generator 4 - wind velocity 4 - analytical model 3 - comparative study 3 - computational fluid dynamic 3 - electrical energy 3 - energy saving 3 - pv technologies 3 - solar radiation 3 - power 1 - rotor 1	Score
Total de Aks: 84			Total de Aks: 22		
Frente 3 Estructura en Energías Renovables 	Top 20 de Aks - waste 17 - food waste 12 - methane 11 - biogas 10 - biomass 10 - biodiesel 9 - hydrogen production 9 - solid waste 9 - sugarcane 9 - biomethanation 8 - anaerobic digestion 7 - bioelectricity 7 - carbon dioxide 7 - microbial fuel cells 7 - organic waste 7 - reactor 7 - biofuel 6 - electricity generation 6 - ethanol 6 - particulate matter 6	Score 			
Total de Aks: 58					

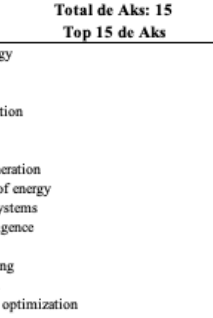
Nota: Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 31. Evolución de la Política en Sostenibilidad en ER de Perú



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 32. Evolución de la Estructura en ER de Perú

Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Estructura en Energía Renovable Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: 1	Score	Total de Aks: 15	Score	Total de Aks: 31	Score
renewable energy	6	renewable energy	11	renewable energy	25
		solar panel	7	power quality	15
		power quality	3	maximum power point tracking	13
		rural electrification	3	grid connected	9
		sensors	3	photovoltaic systems	9
		detection	2	wind energy	9
		distributed generation	2	generation	7
		levelized cost of energy	2	optimization	7
		photovoltaic systems	2	boost	6
		artificial intelligence	1	dc-dc converter	6
		data analysis	1	matlab	6
		image processing	1	photovoltaic	6
		neural network	1	reliability	6
		particle swarm optimization	1	total harmonic distortion	6
		fuzzy logic	0	wind power	6
				fuzzy logic	5
				grid	5
				active power	4
				current	4
				green hydrogen	4
				microgrid	4
				photovoltaics	4
				rural electrification	4
				converter	3
				control system	2
				current ripple	2
				pid controller	2
				distributed generation	1
				overhead lines	0
				rotor	0

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 33. Evolución de la Generación en Biocombustibles de Perú

Generación en Biocombustibles		
Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012	Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019	Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022
Total de Aks: 6 Top 6 de Aks	Total de Aks: 10 Top 10 de Aks	Total de Aks: 34 Top 30 de Aks
Score	Score	Score
biomethanation 4 fungi 4 immobilization 4 polyurethane foam 3 methane 3 anaerobic digestion 2	biomass 8 agricultural residues 4 ethanol 4 by-products 3 sugarcane 3 waste 3 biodiesel 2 cattle manure 0 compressive strength 0 natural gas 0	waste 13 food waste 10 recycling 8 bioelectricity 7 microbial fuel cells 7 particulate matter 6 plastic 6 dry anaerobic digestion 5 organic waste 5 solid waste 5 wastewater 5 biogas 4 electricity generation 4 advanced oxidation processes 3 microalgae 3 microbial fuel cell 3 waste management 3 biodiesel 2 biorefinery 2 carbon dioxide 2 hydrothermal liquefaction 2 liquefied petroleum gas 2 sign language recognition 2 anaerobic digestion 1 fermentation 1 phosphate 1 pretreatment 1 wastewater treatment 1 water treatment 1 amino acids 0

Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 34. Evolución en Almacenamiento de ER de Perú

Almacenamiento en Energía Renovable		
Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012	Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019	Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022
		
Total de Aks: 1 Top 1 de Aks	Total de Aks: 1 Top 1 de Aks	Total de Aks: 4 Top 4 de Aks
Score	Score	Score
spray pyrolysis 0	carbon 6	hydrogen production 8 soft robotics 8 wearable device 5 additive manufacturing 4

Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 35. Evolución Generación en Energía Solar de Perú

Geneación en Energía Solar					
Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks: Top 0 de Aks	Score	Total de Aks: 5 Top 5 de Aks	Score	Total de Aks: 19 Top 19 de Aks	Score
		modeling	12	modeling	13
		solar energy	6	energy efficiency	8
		simulation	5	mathematical model	8
		computational fluid dynamic	0	solar energy	8
		mathematical model	0	efficiency	6
				reactor	6
				simulation	6
				solar panel	6
				energy	5
				thermoelectric generator	4
				wind velocity	4
				photovoltaic panel	3
				computational fluid dynamic	2
				electrical energy	2
				energy saving	2
				solar tracking	2
				temperature	2
				solar collector	1
				solar radiation	0

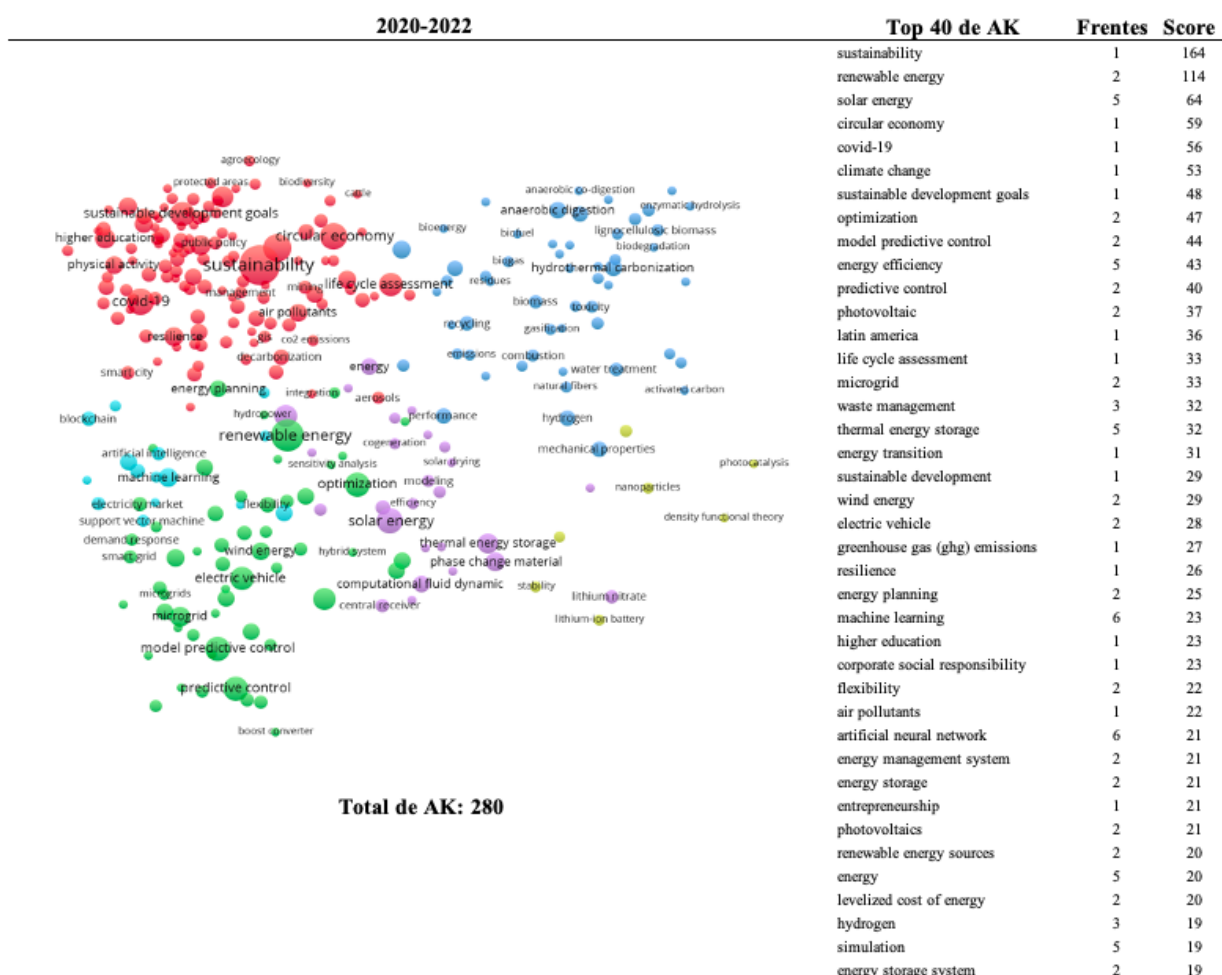
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*

Anexo 36. Evolución en Inteligencia Artificial y ER de Perú

Inteligencia Artificial y ER					
Fomento Global de las ER Mundo 2000-2012		Expansión Global del Conocimiento sobre ER Mundo 2013-2019		Transformación Global de las ER Mundo 2020-2022	
					
Total de Aks:		Total de Aks:		Total de Aks: 33	
Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score	Top 30 de Aks	Score
				machine learning	16
				forecasting	11
				neural network	11
				internet of things	10
				artificial intelligence	8
				cross ventilation	7
				deep learning	7
				monitoring system	7
				regression	6
				image processing	5
				principal component analysis	5
				raspberry pi	5
				semantic segmentation	5
				solar irradiance	5
				support vector machine	5
				arduino uno	4
				artificial neural network	4
				embedded system	4
				prediction	4
				convolutional neural network	3
				dissolved gas analysis	3
				prediction model	3
				cloud computing	2
				computational intelligence	2
				mobile application	2
				security	2
				5g communication	1
				automation	1
				identification	1
				microstrip antenna	1

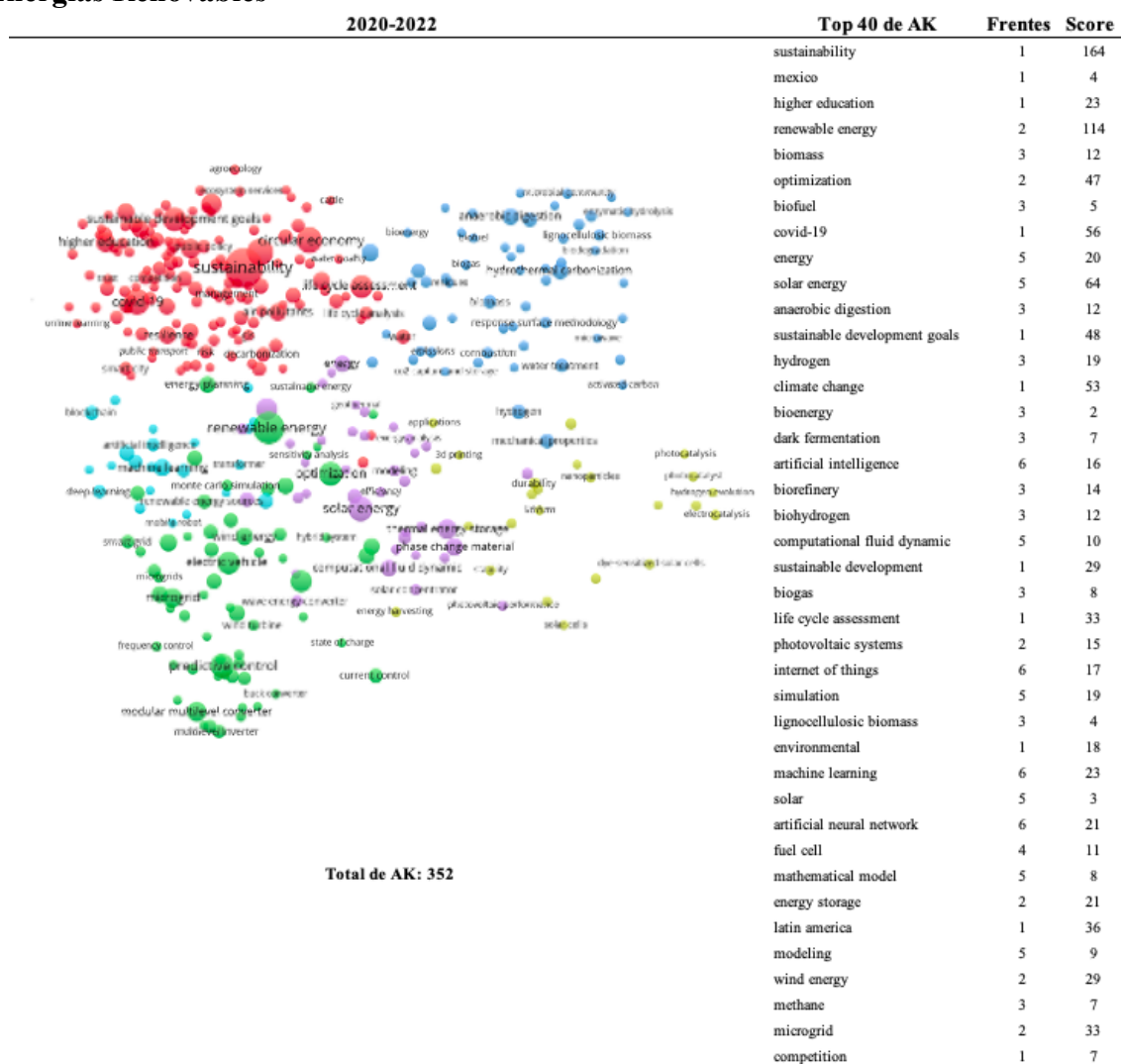
Nota. Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 37. Convergencia de los frentes de investigación de Chile y Colombia en Energías Renovables



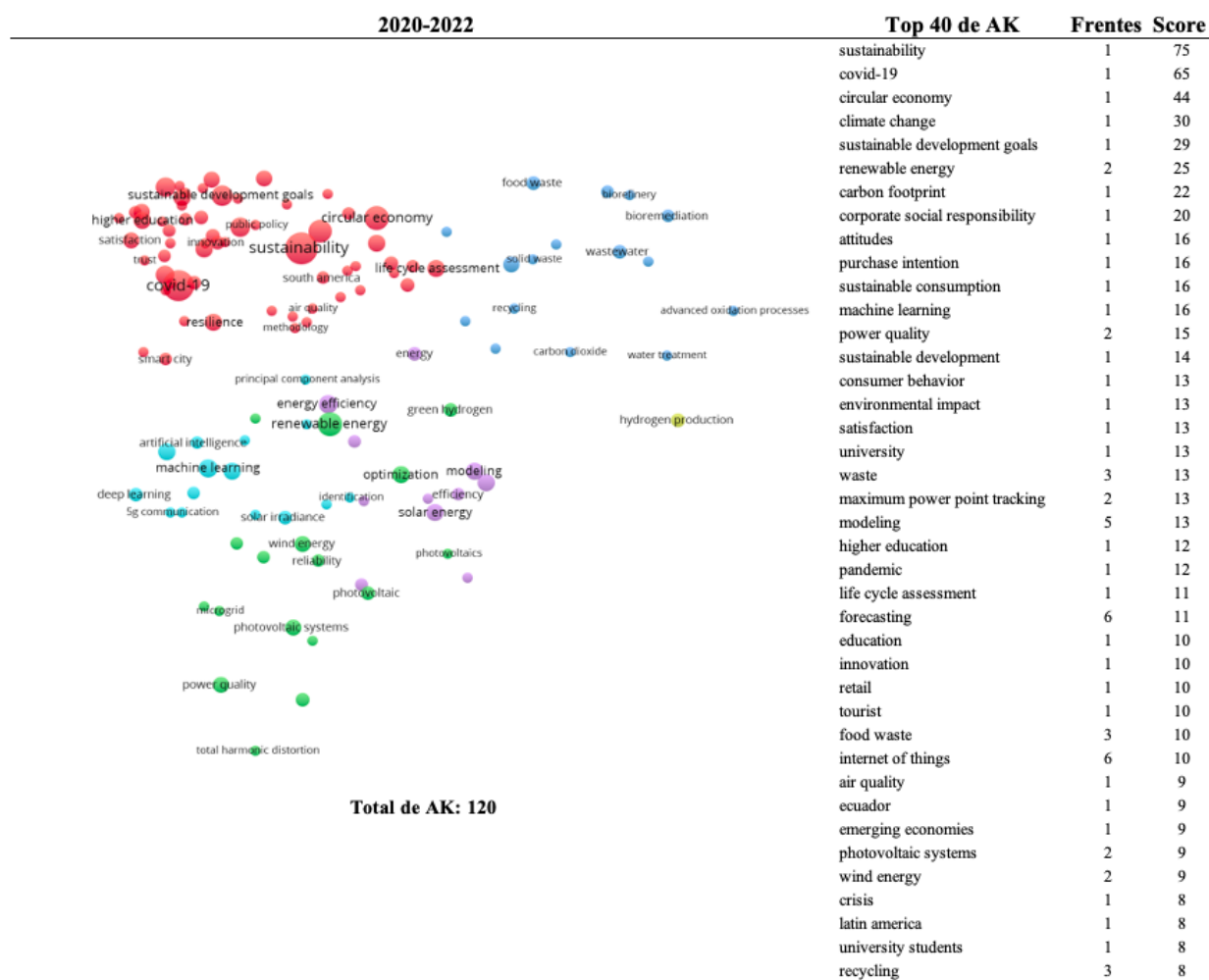
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 38. Convergencia de los frentes de investigación de Chile y México en Energías Renovables



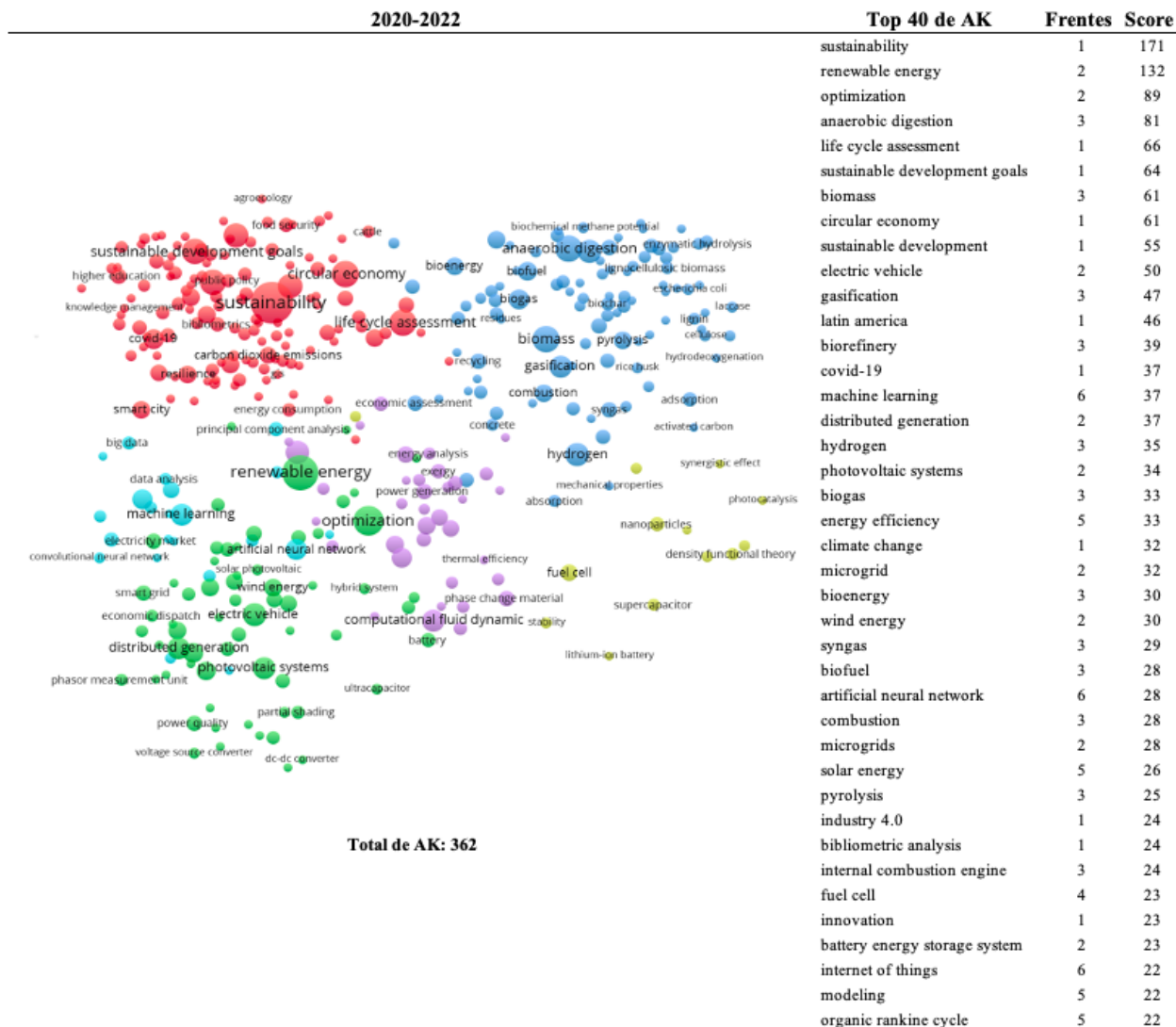
Nota: Desarrollo propio con información de Scopus.

Anexo 39. Convergencia de los frentes de investigación de Chile y Perú en Energías Renovables



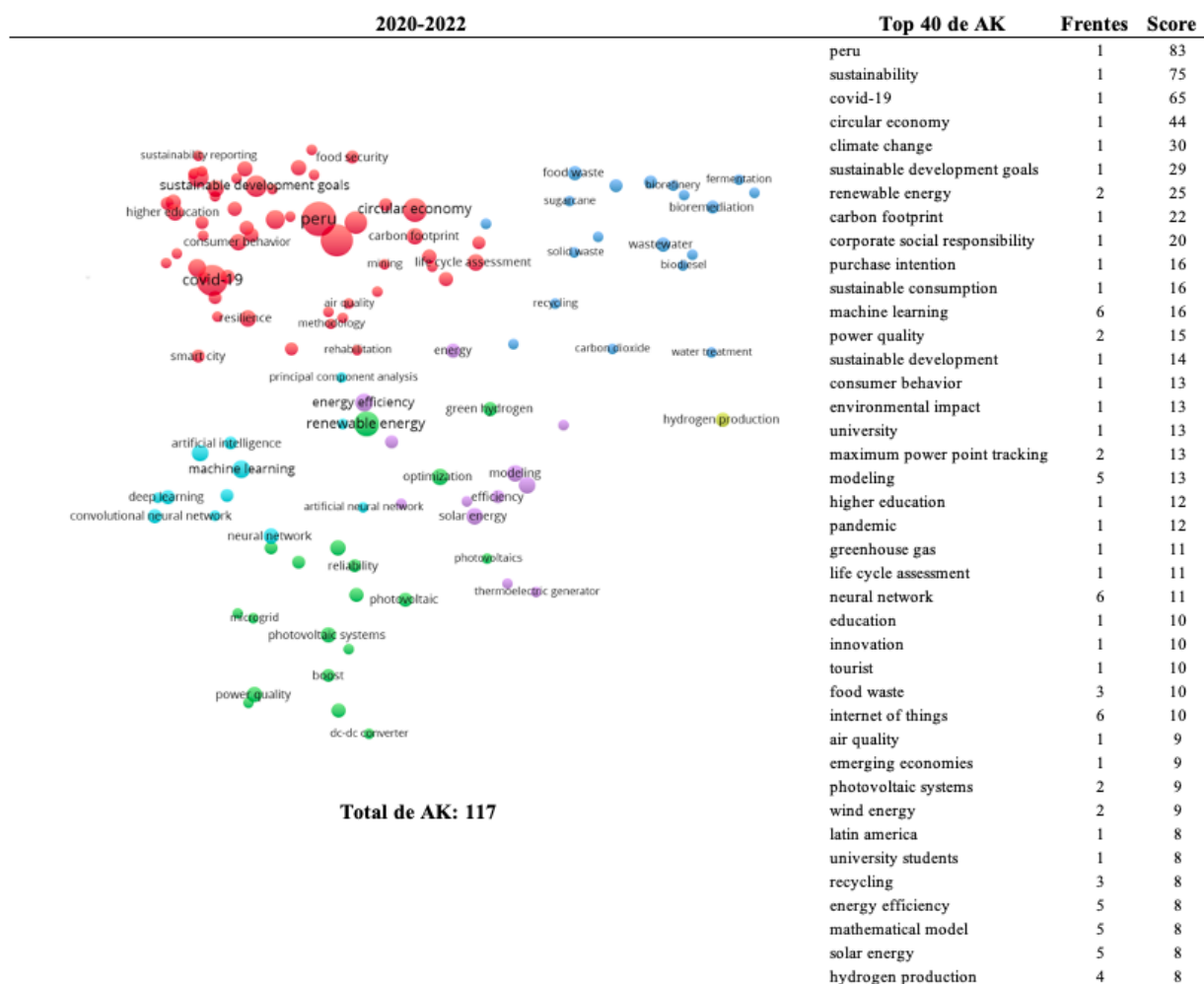
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 40. Convergencia de los frentes de investigación de Colombia y México en Energías Renovables



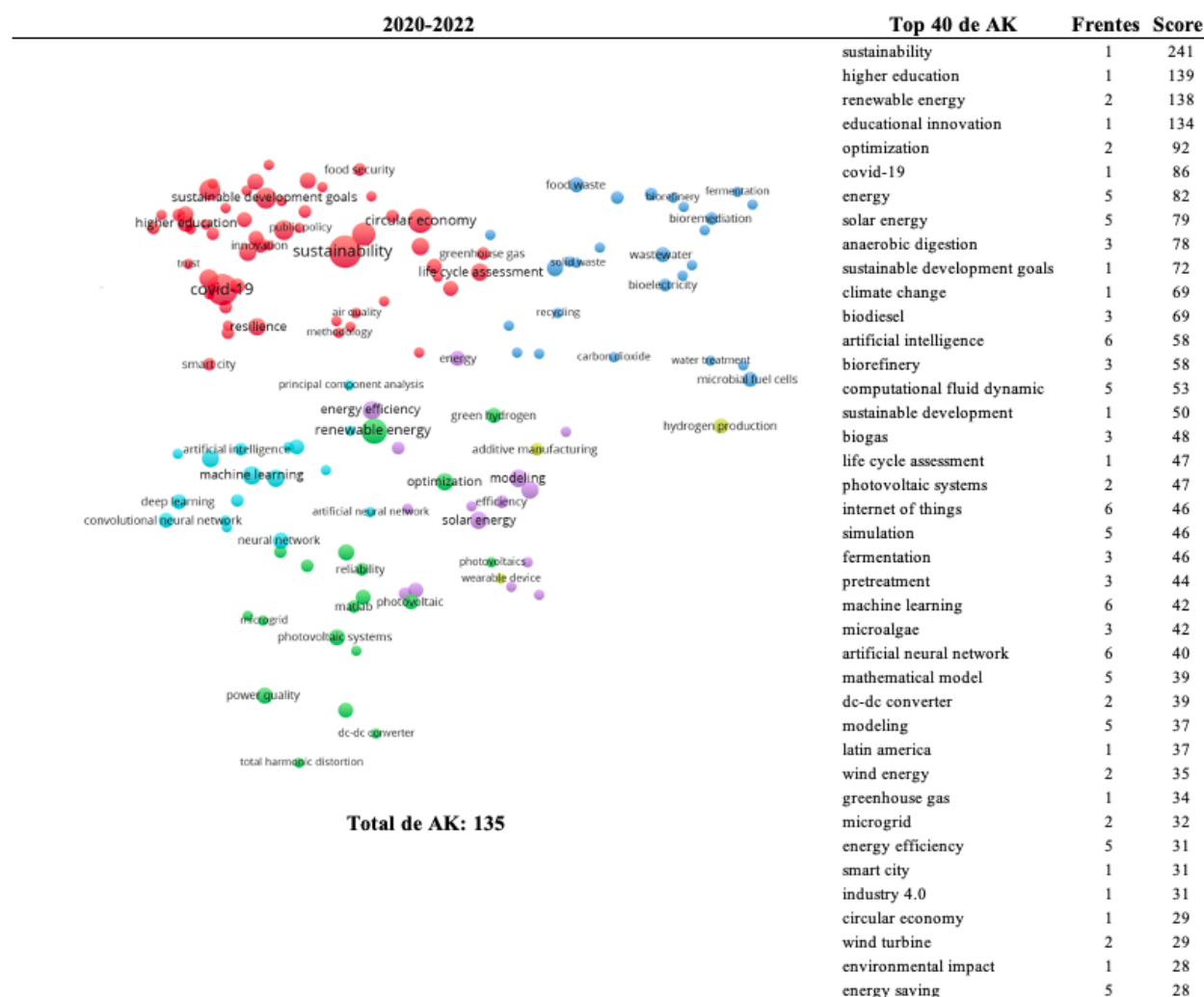
Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*.

Anexo 41. Convergencia de los frentes de investigación de Colombia y Perú en Energías Renovables



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*

Anexo 42. Convergencia de los frentes de investigación de México y Perú en Energías Renovables



Nota. Desarrollo propio con información de *Scopus*