

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA  
AGENDA DE INVESTIGACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS DE  
TENDENCIAS TECNOLÓGICAS GLOBALES Y DE GRUPOS DE  
INVESTIGACIÓN NACIONALES EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Alejandro Angarita Saavedra

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA**

**MEDELLÍN**

**2019**

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA  
AGENDA DE INVESTIGACIÓN A PARTIR DEL ANÁLISIS DE TENDENCIAS  
TECNOLÓGICAS GLOBALES Y DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN  
NACIONALES EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Alejandro Angarita Saavedra

**Trabajo de grado para optar por el título de Magíster en Gestión Tecnológica**

**ASESOR**

PhD. Cesar Nieto Londoño

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA**

**MEDELLÍN**

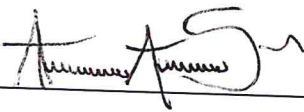
**2019**

22 de mayo de 2019

**Alejandro Angarita Saavedra**

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alejandro Angarita Saavedra', is written above a solid horizontal line that spans the width of the page.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios

A mi familia, por su apoyo incondicional.

A Cesar Nieto, director del trabajo por su acompañamiento permanente y confianza depositada.

A Jhon Wilder Zartha, por su asesoría en el análisis de tecnologías a partir de curvas en S

A Yesid Ojeda de Colciencias, por su asesoría

A los investigadores y funcionarios de universidades y empresas que participaron en la definición de criterios y validación de la metodología

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
MARCO TEÓRICO .....	21
Planes y agendas de investigación.....	21
Vigilancia tecnológica e insumos para determinación de tendencias tecnológicas.....	22
Curvas S .....	23
Grupos de investigación en Colombia.....	24
Metodología AHP.....	26
Energías renovables para generación de energía eléctrica .....	28
ESTADO DEL ARTE .....	34
Antecedentes de elaboración de agendas de investigación .....	34
Vigilancia tecnológica para identificación de antecedentes científicos y tecnológicos .....	35
Planes y agendas de investigación en energías renovables .....	38
ALCANCE DEL TRABAJO.....	41
Objetivo General .....	41
Objetivos Específicos .....	41
Pregunta de investigación.....	41
Hipótesis.....	42
Alcance .....	42
METODOLOGÍA PRELIMINAR PARA CONSTRUCCIÓN DE AGENDAS DE INVESTIGACIÓN .....	43
Contenido Agenda de investigación:.....	45
Metodología preliminar .....	45
ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN.....	49
PRIORIZACIÓN ÁREAS AGENDA DE INVESTIGACIÓN .....	59

Análisis de tendencias artículos sobre energías renovables .....	60
Líneas de grupos de investigación nacionales .....	66
Evaluación recursos.....	67
Análisis jerárquico para priorización de áreas a partir de tendencias.....	68
Información de entorno .....	72
Priorización final de áreas .....	77
<b>VIGILANCIA TECNOLÓGICA ENERGÍAS RENOVABLES .....</b>	<b>79</b>
Tendencias tecnológicas (Patentes).....	79
Tendencias de investigación (artículos científicos).....	83
Temas específicos con base en datos de patentes y artículos científicos .....	87
Generación de curvas en S .....	88
<b>AGENDA DE INVESTIGACIÓN ENERGÍAS RENOVABLES.....</b>	<b>101</b>
Metodología utilizada.....	101
Áreas de investigación prioritarias .....	102
Nivel de madurez de las tecnologías asociadas .....	102
Energía eólica.....	104
Energía solar.....	106
Energía hidroeléctrica.....	108
Almacenamiento de energía .....	110
Redes inteligentes.....	112
Actores relevantes energías renovables.....	114
Artículos científicos .....	114
<b>VALIDACIÓN DE LA AGENDA.....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>123</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>127</b>

ANEXO 1. Listado de grupos de investigación y líneas de investigación en energías renovables.....	133
ANEXO 2. Evaluación de potenciales de recursos energéticos para energías renovables en Colombia .....	140
ANEXO 3. Tendencias patentes y artículos científicos en áreas priorizadas en energías renovables.....	152
ANEXO 4. Parámetros de modelos a partir de series de tiempo de tecnologías en energías renovables.....	181
ANEXO 5. Principales actores (países y entidades) relacionados con producción científica y tecnológica en las energías renovables.....	202
ANEXO 6. Observaciones grupos de investigación a agenda de investigación y documentos enviados .....	217

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.Evolución de las inversiones y capacidad de generación de energías renovables de 2004 a 2014. ....	28
Figura 2. Costos nivelados de generación de energía para varias fuentes de energías renovables. ....	29
Figura 3. Visualización ingreso plataforma SCIENTI. ....	49
Figura 4. Opciones de consultas en la plataforma SCIENTI. ....	49
Figura 5. Categorías de búsqueda de grupos de investigación. Plataforma SCIENTI. ....	50
Figura 6. Visualización grupos por Programa Nacional de Ciencia y Tecnología. ....	51
Figura 7. Grupos de investigación en Colombia por Programa Nacional. ....	51
Figura 8. Visualización de grupos de investigación correspondientes al Programa de Investigaciones en Energía y Minería. ....	52
Figura 9. Visualización de la información de un grupo de investigación asociado al Programa de Investigaciones en Energía y Minería. ....	53
Figura 10. Visualización de la información de proyectos de un grupo de investigación asociado al Programa de Investigaciones en Energía y Minería. ....	54
Figura 11. Líneas de investigación en Energías Renovables identificadas en grupos de investigación colombianos. ....	55
Figura 12. Pregunta de validación de líneas de trabajo en Energías Renovables. ....	56
Figura 13. Áreas de trabajo en Energías renovables de los grupos de investigación consultados. ....	57
Figura 14 .Información de grupos que cuentan con laboratorios especializados para investigación en Energías Renovables. ....	57
Figura 15. Información de grupos que han desarrollado plantas piloto o proyectos semi-industriales. ....	58
Figura 16. Información de productos de investigación que han obtenido los grupos. ....	58
Figura 17. Esquema de metodología para determinar temas prioritarios de investigación ..	59
Figura 18. Visualización resultados de búsqueda SCOPUS. ....	60
Figura 19. Evolución de número de artículos científicos anuales entre 1990 y 2016. ....	61



Figura 20. Tecnologías agrupadas en energías renovables con base en frecuencia de palabras clave en artículos científicos.....	63
Figura 21. Visualización Portal Patent Inspiration con Ecuación de búsqueda propuesta...	64
Figura 22. Países con mayor número de patentes en energías renovables. ....	65
Figura 23. Visualización encuesta priorización de criterios:.....	69
Figura 24. Visualización resultados priorización de criterios herramienta AHP: .....	70
Figura 25. Visualización resultados priorización de tecnologías o áreas de investigación con base en tendencias tecnológicas y de investigación .....	70
Figura 26. Visualización resultados priorización de criterios herramienta AHP. ....	71
Figura 27. Visualización resultados priorización de tecnologías o áreas de investigación con base en tendencias tecnológicas y de investigación (5 participantes) .....	72
Figura 28. Uso de energías renovables en 26 países evaluados con la base de las políticas actuales y un crecimiento estimado de los sectores transporte y energía eléctrica. ....	73
Figura 29. Adiciones de capacidad instalada para generación de energía eléctrica por tipo de tecnología. ....	73
Figura 30. Evolución de la capacidad de generación de energía eléctrica entre el 2010 y el 2015 a partir de energías renovables. ....	74
Figura 31. Inversión global en energías renovables por tecnología. ....	75
Figura 32. Visualización búsqueda de patentes energía eólica: .....	80
Figura 33. Evolución en número de solicitudes de patente en energía eólica. ....	80
Figura 34. Países líderes en solicitudes de patentes en energía eólica. ....	81
Figura 35. Principales aplicantes de patentes en energía eólica: .....	82
Figura 36. Evolución en publicaciones científicas en energía eólica. ....	84
Figura 37. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción. ....	84
Figura 38. Publicaciones por institución. ....	85
Figura 39. Visualización de palabras clave y frecuencia en la búsqueda de producción bibliográfica en el área de energía eólica. ....	86
Figura 40. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en la búsqueda de palabras clave.....	86

Figura 41. Gráfica de tendencia de acuerdo con el modelo seleccionado para la tecnología de Energía eólica de eje vertical.....	91
Figura 42. Representación gráfica de los resultados del análisis de evolución de patentes de diferentes tecnologías de energías renovables.....	95
Figura 43. Representación gráfica de los resultados del análisis de evolución de producción científica de diferentes tecnologías de energías renovables. ....	98
Figura 44. Representación gráfica de los resultados del análisis de evolución de patentes de energía eólica de eje .....	100
Figura 45. Metodología propuesta para la definición de agendas de investigación con base en el desarrollo de una agenda de investigación en Energías Renovables.....	101
Figura 46. Áreas de investigación priorizadas para energías renovables, de acuerdo con la metodología propuesta.....	102
Figura 47. Curvas s de estado de tecnologías. ....	103
Figura 48. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de energía eólica. ....	105
Figura 49. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de energía eólica.....	105
Figura 50. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de energía solar.....	107
Figura 51. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión para área de energía solar (artículos). ....	108
Figura 52. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de energía hidroeléctrica.....	109
Figura 53. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de energía hidroeléctrica. ....	110
Figura 54. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de almacenamiento de energía.....	111
Figura 55. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de almacenamiento de energía. ....	112

Figura 56. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de redes inteligentes. ....	113
Figura 57. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de almacenamiento de energía. ....	114
Figura 58. Países con mayor número de publicaciones de artículos en Energías Renovables. ....	115
Figura 59. Principales organizaciones con publicación de artículos en Energía Renovables. ....	116
Figura 60. Países con mayor número de solicitudes de patente en Energías Renovables..	117
Figura 61. Principales organizaciones con solicitudes de patente en Energía Renovables	117
Figura 62. Resultados pregunta 1 encuesta a grupos de investigación.....	118
Figura 63. Resultados pregunta 2 encuesta a grupos de investigación.....	119
Figura 64. Resultados pregunta 3 encuesta a grupos de investigación.....	120
Figura 65. Resultados pregunta 3 encuesta a grupos de investigación.....	121
Figura 66. Potencial hidroenergético a filo de agua por área hidrográfica en kW. ....	140
Figura 67. Potencial hidroenergético por subzona hidrográfica, con una longitud horizontal (LC) de 5 km. ....	141
Figura 68. Potencial estimado de desarrollos eólicos en Colombia. ....	143
Figura 69. Densidad de energía eólica a 80 metros en (W/m <sup>2</sup> ). ....	144
Figura 70. Distancia para la determinación de área para potencial de energía eólica offshore ....	145
Figura 71. Promedio anual de Irradiación Global horizontal medio diario en (kWh/m <sup>2</sup> /día) ....	146
Figura 72. Potencial energético municipal anual de los residuos de cultivos agrícolas (TJ/año).....	148
Figura 73. Mapa Geotérmico Norte.....	150
Figura 74. Mapa Geotérmico sur.....	150
Figura 75. Visualización búsqueda de patentes energía eólica: ....	152
Figura 76. Evolución en número de solicitudes de patente en energía eólica. ....	153
Figura 77. Países líderes en solicitudes de patentes en energía eólica. ....	153

Figura 78. Principales aplicantes de patentes en energía eólica: .....	154
Figura 79. Visualización búsqueda de patentes energía solar. ....	155
Figura 80. Evolución en número de solicitudes de patente en energía solar.....	156
Figura 81. Países líderes en solicitudes de patentes en energía solar .....	156
Figura 82.Principales aplicantes de patentes en energía solar:.....	157
Figura 83. Visualización búsqueda de patentes energía hidroeléctrica: .....	158
Figura 84. Evolución en número de solicitudes de patente en energía hidroeléctrica.....	158
Figura 85. Países líderes en solicitudes de patentes en energía hidroeléctrica.....	159
Figura 86.Principales aplicantes de patentes en energía hidroeléctrica.: .....	159
Figura 87. Visualización búsqueda de patentes en almacenamiento de energía: .....	161
Figura 88. Evolución en número de solicitudes de patente en almacenamiento de energía. .....	161
Figura 89. Países líderes en solicitudes de patentes en almacenamiento de energía.....	162
Figura 90. Principales aplicantes de patentes en almacenamiento de energía.: .....	163
Figura 91. Visualización búsqueda de patentes en redes inteligentes: .....	164
Figura 92. Evolución en número de solicitudes de patente en redes inteligentes .....	164
Figura 93. Países líderes en solicitudes de patentes en redes inteligentes.....	165
Figura 94. Principales aplicantes de patentes en redes inteligentes .....	166
Figura 95. Evolución en publicaciones científicas en energía eólica. ....	167
Figura 96. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción. ....	168
Figura 97. Publicaciones por institución. ....	169
Figura 98. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en la búsqueda de palabras clave.....	169
Figura 99. Evolución en publicaciones científicas en energía solar.....	170
Figura 100. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción. ....	171
Figura 101. Publicaciones por institución. ....	171
Figura 102. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en la búsqueda de palabras clave.....	172
Figura 103. Evolución en publicaciones científicas en energía hidroeléctrica.....	173

Figura 104. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción. ....	173
Figura 105. Publicaciones por institución. ....	174
Figura 106. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en las palabras clave. ....	174
Figura 107. Evolución en publicaciones científicas en almacenamiento de energía.....	175
Figura 108. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción. ....	176
Figura 109. Publicaciones por institución. ....	176
Figura 110. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en las palabras clave. ....	177
Figura 111. Evolución en publicaciones científicas en redes inteligentes. ....	178
Figura 112. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción. ....	178
Figura 113. Publicaciones por institución. ....	179
Figura 114. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en las palabras clave. ....	180

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Frecuencia de palabras clave en artículos científicos en energías renovables.	62
Tabla 2. No de patentes por tecnología con base en la clasificación de patentes (CPC).	66
Tabla 3. Potencial de generación de energía anual (GWh/año) para las diferentes fuentes de energía renovable.	68
Tabla 4. Número de participantes en encuesta por tipo de entidad	69
Tabla 5. Resumen de priorización de tecnologías en planes y estudios Internacionales en Energías Renovables	77
Tabla 6. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía eólica. Fuente: Elaboración propia con información de Patent Lens	83
Tabla 7. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de energía eólica.	87
Tabla 8. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de energía solar.	87
Tabla 9. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de energía hidroeléctrica.	88
Tabla 10. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de Redes.	88
Tabla 11. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de Almacenamiento de energía.	88
Tabla 12. Serie de tiempo búsqueda patentes energía eólica eje vertical.	90
Tabla 13. Parámetros generados en software Sigmaplot del análisis de los 13 modelos arrojados para la serie de tiempo de patentes en energía eólica de eje vertical:	90
Tabla 14. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para energía eólica.	92
Tabla 15. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para energía solar.	93
Tabla 16. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para energía hidroeléctrica.	93

Tabla 17. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para Redes inteligentes.	93
Tabla 18. Parámetros de los modelos seleccionados para cada tecnología evaluada para Almacenamiento de energía.	94
Tabla 19. Parámetros de los modelos seleccionados para las tecnologías evaluadas para energía eólica.	96
Tabla 20. Parámetros de los modelos seleccionados para las tecnologías evaluadas para energía solar	96
Tabla 21. Parámetros de modelos seleccionados para las tecnologías evaluadas para energía hidroeléctrica.	96
Tabla 22. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para Redes inteligentes.	97
Tabla 23. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para Almacenamiento de energía.	97
Tabla 24. Parámetros de los componentes seleccionados para cada el tema de energía eólica de eje vertical.	99
Tabla 25. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía eólica.	155
Tabla 26. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía solar.	157
Tabla 27. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía hidroeléctrica.	160
Tabla 28. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de almacenamiento de energía.	163
Tabla 29. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de redes inteligentes.	166
Tabla 30. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica eje vertical	181
Tabla 31. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica eje horizontal	182
Tabla 32. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Control y caja de velocidades	182
Tabla 33. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Energía Eólica en edificaciones	183
Tabla 34. Modelos y parámetros estadísticos Energía Solar fotovoltaica	184
Tabla 35. Modelos y parámetros estadísticos Energía Solar térmica	184

Tabla 36. Modelos y parámetros estadísticos Energía solar en edificaciones	185
Tabla 37. Modelos y parámetros estadísticos Energía Hidroeléctrica convencional	186
Tabla 38. Modelos y parámetros estadísticos Energía Hidroeléctrica sin represa	186
Tabla 39. Modelos y parámetros estadísticos Turbinas hidroeléctricas	187
Tabla 40. Modelos y parámetros estadísticos Adaptaciones equipos hidroeléctrica	187
Tabla 41. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Transmisión y distribución	188
Tabla 42. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Respuesta a la demanda	188
Tabla 43. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - TIC en redes	189
Tabla 44. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - • Gestión usuario final	189
Tabla 45. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – electrónica	190
Tabla 46. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – Turbinas	191
Tabla 47. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – Generadores	191
Tabla 48. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – Control	192
Tabla 49. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Palas o rotores	192
Tabla 50. Modelos y parámetros estadísticos Energía solar fotovoltaica	193
Tabla 51. Modelos y parámetros estadísticos Energía Solar térmica	193
Tabla 52. Modelos y parámetros estadísticos Materiales energía solar	194
Tabla 53. Modelos y parámetros estadísticos Energía hidroeléctrica - Presas/embalses	195
Tabla 54. Modelos y parámetros estadísticos Turbinas hidroeléctricas	195
Tabla 55. Modelos y parámetros estadísticos Generadores	196
Tabla 56. Modelos y parámetros estadísticos Hidráulica/estructuras hidráulicas	196
Tabla 57. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Transmisión y distribución	197
Tabla 58. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Respuesta a la demanda	197
Tabla 59. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - TIC en redes	198
Tabla 60. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Medición avanzada	198
Tabla 61. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía térmica.	199



Tabla 62. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía - Condensadores.	199
Tabla 63. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía - Baterías	200
Tabla 64. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía cinética	200
Tabla 65. Modelos y parámetros estadísticos - Materiales almacenamiento de energía	201
Tabla 65. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento de energía - Electroquímica	201
Tabla 67. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en energía eólica.	202
Tabla 68. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de energía eólico,	203
Tabla 69. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de energía eólica,	204
Tabla 70. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en energía solar.	205
Tabla 71. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de energía solar,	206
Tabla 72. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de energía solar,	208
Tabla 73. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en energía hidroeléctrica.	208
Tabla 74. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de energía hidroeléctrica,	209
Tabla 75. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de energía hidroeléctrica,	210
Tabla 76. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en almacenamiento de energía.	211
Tabla 77. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de almacenamiento de energía.	212
Tabla 78. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de almacenamiento de energía.	214

Tabla 79. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en redes inteligentes.	214
Tabla 80. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de redes inteligentes.	215
Tabla 81. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de redes inteligentes.	216
Tabla 82. Observaciones encuesta de validación de agenda de investigación:	219

## INTRODUCCIÓN

En un contexto de recursos limitados para el desarrollo de investigación como el que se presenta en Colombia, es importante priorizar áreas y temas de investigación, muchos de los cuales se abordan en agendas de investigación. Esto es fundamental para el desarrollo y adopción de tecnologías en países como Colombia, donde, de acuerdo con Talukdar et al. (2001) citados por Halaweh (2013), los países en desarrollo presentan tasas de adopción más lentas que los países desarrollados.

Para el fomento de la Ciencia y la Tecnología en Colombia es importante la construcción de agendas de investigación, que presenten un mapa de ruta para avanzar en el conocimiento y la innovación de los temas que se identifiquen como prioritarios. Se evidencia en los análisis realizados que las agendas o planes de CTI en energías renovables en el país como el desarrollado por Kema-Cenergía - Colciencias (2012), no incorporan herramientas de vigilancia Tecnológica en su desarrollo, y en el caso de estudios de vigilancia tecnológica en esta área como los desarrollados por Corporación Ruta N (2015 y 2016), no se han complementado con análisis de información de grupos de investigación para el desarrollo de agendas de investigación.

Como referentes para definir el contenido de agendas de investigación y metodologías para su construcción, se identifican principalmente dos trabajos, el primero elaborado por la UNESCO y que corresponde a un documento técnico para la elaboración de planes y agendas de investigación (UNESCO, 2012), y el segundo, correspondiente al “Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales” (Castellanos, Piñeros, & Domínguez, 2009). En estos antecedentes se encuentran propuestas enfocadas a áreas del conocimiento concretas, sin profundizar en el uso de herramientas como la vigilancia tecnológica y uso de análisis estadístico con base en datos cuantitativos o bibliométricos. Se considera importante avanzar, con base en estos antecedentes, en el conocimiento sobre herramientas y metodologías para la elaboración de planes y agendas de investigación nacionales y que puedan servir como referencia para generar las hojas de ruta en temas prioritarios, como

punto de partida para la estructuración de procesos de investigación y desarrollo, de acuerdo con políticas nacionales.

En el caso concreto de energías renovables, se han encontrado planes o programas de investigación nacionales que buscan establecer prioridades de investigación, sin embargo, en su elaboración no se incluyen herramientas de vigilancia tecnológica, lo anterior se evidencia en el Plan Nacional de investigaciones en Energía y Minería elaborado por Colciencias, donde se plantea dentro de las siete líneas de acción al 2022, temas relacionados con energías renovables (Colciencias, 2013). No obstante, no se profundiza en la estrategia ni en las líneas de acción específicas. Así mismo, en un estudio desarrollado por las firmas KEMA y CENERGÍA para Colciencias y el BID, se proponen líneas de acción para el fomento de la eficiencia energética y las energías renovables en Colombia (Kema, Cenergía y Colciencias, 2012). El estudio parte de un análisis DOFA y de capacidades en el país para desarrollar estos temas, pero no incluye el uso de herramientas de vigilancia tecnológica para la identificación de tendencias en los temas propuestos.

Como herramienta fundamental para la definición de agendas de investigación se identifica la vigilancia tecnológica, con base en la cual, se deben realizar análisis para generar información de valor para la construcción de dichas agendas. En esta línea se encuentran antecedentes como Montañez, Martínez, & Domínguez (2010), Walk (2012) y Khramova, Meissner, & Sagieva (2013), en los cuales se estudia la generación de indicadores tecnológicos a partir de información bibliométrica y cienciométrica que puede ser obtenida mediante estudios de vigilancia tecnológica.

A partir de las anteriores consideraciones, se evidencia la viabilidad de estructurar una metodología que sirva como base para la construcción de agendas de investigación, basada en estudios de vigilancia tecnológica y en análisis de información de grupos de investigación del país, que pueda ser tomada como insumo de los actores del sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación relacionados con el área de energías renovables para elaborar sus planes y programas de investigación, de forma que, se pueda brindar un conocimiento de las principales tendencias y capacidades, definiendo un horizonte más claro para focalizar las investigaciones.

## MARCO TEÓRICO

### Planes y agendas de investigación

En una comunidad científica, una agenda de investigación es vista como una lista de temas de investigación que deben configurar la dirección de esta en un campo o sub-campo en particular. Las agendas suelen identificar las áreas que requieren nuevos conocimientos en el mediano y largo plazo, son útiles para ayudar a los investigadores individuales e instituciones a entender cómo pueden contribuir a un mayor conjunto de conocimientos y a hallar su lugar en el campo o papel en el cuadro de investigación más amplio (UNESCO, 2012).

La construcción de una agenda de investigación tiene como propósito la identificación de la problemática en el sector, con la consecuente determinación de las demandas de tipo tecnológico y no tecnológico, que deben ser consideradas por la cadena. De esta forma se constituye en un programa que permite establecer acciones estratégicas para la solución de los problemas identificados, ya sea por la vía de transferencia de conocimiento o por la generación de capacidades nacionales para la ejecución de proyectos (Castellanos et al., 2009).

Para el desarrollo de agendas de investigación se encontraron diferentes concepciones que van desde una revisión de la literatura, a partir de la cual se puede construir una agenda que incluye unos temas o áreas a profundizar (American Association for Agricultural Education, 2012; Kitzes et al., 2009; Verbano & Venturini, 2013), así como metodologías mucho más estructuradas. Por ejemplo, en la guía de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), se identifican actividades que apoyan la implementación de agendas y planes de investigación (UNESCO, 2012), tales como: Compilar un inventario de investigaciones existentes, identificar necesidades para la investigación, e involucrar a quienes investigan, usan y apoyan la investigación en el tema de interés. Así mismo, el “Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales”, propone una metodología detallada que involucra aspectos como la vigilancia y la prospectiva tecnológica para la definición de estas agendas (Castellanos et al., 2009).

Una metodología relacionada con las agendas de investigación corresponde al mapa de ruta tecnológico, que, de acuerdo con Phaal, Farrukh, & Probert (2004), es una técnica flexible que se usa ampliamente en la industria para respaldar la planificación estratégica y de largo alcance. El enfoque proporciona un medio estructurado (y a menudo gráfico) para explorar y comunicar las relaciones entre mercados, productos y tecnologías en evolución y en desarrollo a lo largo del tiempo. Se propone que la técnica de mapeo tecnológico puede ayudar a las empresas a sobrevivir en entornos turbulentos al proporcionar un enfoque para escanear el entorno y un medio para hacer un seguimiento del rendimiento de las tecnologías individuales, incluidas las potencialmente disruptivas y para entornos empresariales es una metodología a considerar para definir prioridades y estrategias tecnológicas.

### **Vigilancia tecnológica e insumos para determinación de tendencias tecnológicas**

Según Castellanos (2008), la vigilancia surge en Francia hacia la década de los años ochenta como aplicación de la cienciometría en el ámbito empresarial, y se ha difundido por todo el mundo generándose de esta forma, diversas terminologías, que en esencia hacen referencia a la búsqueda, captación y análisis de información correcta, proporcionada a la persona adecuada y en el momento oportuno convirtiéndose en una herramienta de gestión tecnológica, que permite a las organizaciones la generación de estrategias acordes según el contexto (Callón, 1995, citado por Castellanos, 2008).

Se encuentra que Vigilancia e inteligencia son palabras usadas indistintamente en la mayoría de los casos. Las diferencias, si las hay, son muy pequeñas. Según Escorsa y Valls (1997), Rodríguez (1999), Palop y Vicente (1999) o Cartier (1999), ambas expresiones son prácticamente sinónimas (Ministerio de Ciencia, 2015).

De acuerdo con BAI (2010), la Vigilancia está dividida de la siguiente forma:

- La Vigilancia Comercial, que estudia los datos referentes a clientes y proveedores (evolución de las necesidades de los clientes, solvencia de los clientes, nuevos productos ofrecidos por los proveedores...).

- La Vigilancia Competitiva, que se ocupa de la información sobre los competidores actuales y los potenciales (política de inversiones, entrada en nuevas actividades...).
- La Vigilancia Tecnológica, que analiza las tecnologías disponibles o que acaban de aparecer, capaces de intervenir en nuevos productos o procesos.
- La Vigilancia del Entorno, que trabaja en la detección de aquellos hechos exteriores que pueden condicionar el futuro, en áreas como la sociología, la política, el medio ambiente, las reglamentaciones, etc.

En Colombia y demás países latinoamericanos el concepto de Vigilancia Tecnológica (VT) es el más empleado, recientemente se ha venido difundiendo su aplicación inmersa en sistemas de inteligencia (Torres et al., 2008, citado por Montañez et al., 2010).

### **Curvas S**

Las curvas S se han convertido en una pieza central para pensar en la estrategia tecnológica. Representa una teoría derivada del potencial de mejora tecnológica, que sugiere que la magnitud de la mejora en el rendimiento de un producto o proceso que se produce en un período de tiempo determinado o que resulta de un esfuerzo de ingeniería dado difiere a medida que las tecnologías se vuelven más maduras. La teoría, establece que, en las primeras etapas de una tecnología, la tasa de progreso en el rendimiento es relativamente lenta. A medida que la tecnología se comprende, controla y difunde mejor, la tasa de mejora tecnológica aumenta (Sahal, 1981; citado por Christensen, 1992). Pero la teoría plantea que, en sus etapas de madurez, la tecnología se aproximará asintóticamente a un límite natural o físico, lo que requiere que se inviertan cada vez más períodos de tiempo o aportes de esfuerzo de ingeniería para lograr incrementos en la mejora del rendimiento (Christensen, 1992).

Se identifica que los modelos de curvas en S, sirven para entender dinámicas de cambio de aspectos sociales, políticos, económicos y tecnológicos, identificando patrones de comportamiento a 25 o más años, permitiendo en varios casos generar hipótesis sobre el comportamiento de la tecnología a mediano plazo (Grajales et al., 2016).

Las curvas S se han aplicado en diversos campos del conocimiento, pero principalmente se utilizan para representar trayectorias tecnológicas. A nivel cualitativo, las curvas S se han

aplicado en tecnologías e innovaciones y han demostrado ser útiles para hacer aproximaciones al ciclo de vida de la tecnología, así como a la sincronización adecuada para crear mecanismos de derechos tecnológicos y propiedad intelectual y la posibilidad de aplicar estrategias (Yepes et al., 2018).

El cambio tecnológico incremental y radical se puede entender en términos de curvas en S tecnológicas. Una curva en S representa el rendimiento técnico en función del tiempo o el esfuerzo de investigación y su forma está influenciada por la demanda del mercado, el conocimiento científico y el nivel de inversión o innovación. A medida que la tecnología madura, las mejoras sustanciales en el rendimiento se vuelven imposibles debido a restricciones económicas o técnicas. A medida que la tecnología se acerca a la parte superior de su curva S, las tecnologías potenciales compiten, lo que genera un entorno turbulento hasta que emerge un nuevo diseño dominante (Phaal et al., 2004).

### **Grupos de investigación en Colombia**

Se entiende como Grupo de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación “al conjunto de personas que interactúan para investigar y generar productos de conocimiento en uno o varios temas, de acuerdo con un plan de trabajo de corto, mediano o largo plazo (tendiente a la solución de un problema)”. Un grupo es reconocido como tal, siempre que demuestre continuamente resultados verificables, derivados de proyectos y de otras actividades procedentes de su plan de trabajo y que además cumpla con los siguientes requisitos mínimos para su reconocimiento en Colombia (Colciencias, 2017):

1. Estar registrado en el sistema GrupLAC de la Plataforma ScienTI - Colombia en Colciencias.
2. Tener un mínimo de dos (2) integrantes.
3. Tener uno (1) o más años de existencia (edad declarada).
4. Estar avalado al menos por una (1) Institución registrada en el sistema InstituLAC de la Plataforma ScienTI-Colombia. Previamente, el grupo debió registrar su pertenencia institucional.



5. Tener al menos un (1) proyecto de investigación, de desarrollo tecnológico o de innovación en ejecución.
6. El Líder del grupo (a la fecha de cierre de la Convocatoria) deberá tener título de Pregrado, Maestría o Doctorado. En el caso que el líder del grupo solamente cuente con un título de Pregrado, deberá haberlo obtenido en una fecha anterior al cierre de la ventana de observación de esta Convocatoria (31 de diciembre de 2016).
7. Tener una producción de nuevo conocimiento o de resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación, en la ventana de observación equivalente a un mínimo de un (1) producto por año declarado de existencia.
8. Tener una producción de apropiación social y circulación del conocimiento o productos resultados de actividades relacionadas con la Formación de Recurso Humano en CTeI, en la ventana de observación equivalente a un mínimo de un (1) producto por el año declarado de existencia.

De acuerdo con el último modelo de medición de grupos de investigación, elaborado por Colciencias, se implementará el proceso de reconocimiento de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación una vez en el año. El reconocimiento consiste en verificar y validar que el grupo cumple con cada uno de los ocho requisitos establecidos, para la clasificación se evalúa su inclusión dentro de las siguientes categorías: Categoría A1, Categoría A, Categoría B y Categoría C, donde la categoría A1 es la más alta y C la más baja, de acuerdo con el modelo de medición, que incluye la evaluación de los productos e indicadores resultado de los procesos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación de dichos grupos.

La información de los grupos de investigación nos permite identificar a través de sus líneas de trabajo e información complementaria, capacidades endógenas de investigación a través de estos grupos. Como indica Chudnovsky (2019), aunque en una economía globalizada, los flujos externos de conocimientos tecnológicos adquieren creciente relevancia, en la medida en que los conocimientos que se generan en los procesos innovadores son tácitos, acumulativos y localizados, existiría un espacio importante a nivel nacional y local para el desarrollo de capacidades tecnológicas endógenas. Dichas capacidades son imprescindibles,

como mínimo, para poder absorber en forma eficiente lo que viene de afuera y, obviamente, para poder adaptar, modificar y generar nuevos conocimientos.

Adicional a la información disponible de los grupos de investigación en Colombia, para entender las dinámicas y capacidades endógenas de investigación surge el concepto de colegios invisibles, los colegios invisibles como la estructura emergente de temas de investigación que aparecen en tanto investigadores comienzan a compartir un cuerpo de literatura común que les permite organizar su investigación alrededor de conceptos teóricos y metodológicos comunes. En este sentido, la interacción no es suficiente para describir las emergencias de estas comunidades y es importante remitirse a las redes de comunicación que emergen de la lectura común de textos evidenciada en referencias y citas (Romero Goyeneche, Velez Cuartas, Ramírez, Robledo Velásquez, & Balanzó, 2019)

### **Metodología AHP**

La metodología de proceso jerárquico analítico (AHP por sus siglas en inglés) se basa en la experiencia adquirida por su desarrollador, T.L. Saaty, en la dirección de proyectos de investigación en la Agencia de Control de Armas de los Estados Unidos. Fue desarrollado como una reacción a la falta de una metodología común, fácil de entender y de implementar, para permitir la toma de decisiones complejas. Desde entonces, la simplicidad y el potencial del AHP han llevado a su uso generalizado en múltiples dominios en todo el mundo. El método AHP ha encontrado uso en los negocios, el gobierno, las ciencias sociales, la Investigación y Desarrollo (I + D), la defensa y otros dominios que implican decisiones en las que se necesita elección, priorización o previsión (Bhushan & Rai, 2004).

El método AHP proporciona un medio para descomponer el problema en una jerarquía de subproblemas que pueden ser más fácilmente comprendidos y evaluados subjetivamente. Las evaluaciones subjetivas se convierten en valores numéricos y se procesan para clasificar cada alternativa en una escala numérica. La metodología del AHP puede explicarse en los siguientes pasos descritos por Bhushan & Rai (2004):

- Paso 1: El problema se descompone en una jerarquía de objetivos, criterios, subcriterios y alternativas. Esta es la parte más creativa e importante de la toma de

decisiones. Estructurar el problema de decisión como una jerarquía es fundamental para el proceso del método AHP. La jerarquía indica una relación entre los elementos de un nivel y los del nivel inmediatamente inferior.

- Paso 2: Se recopilan las evaluaciones de expertos o responsables de tomar decisiones correspondientes a la estructura jerárquica, en la comparación por pares de alternativas en una escala cualitativa como se describe a continuación. Los expertos pueden calificar la comparación como igual, marginalmente fuerte, fuerte, muy fuerte y extremadamente fuerte. La opinión se puede recopilar en un formato especialmente diseñado para tal fin.
- Paso 3: Las comparaciones por pares de varios criterios generados en el paso 2 se organizan en una matriz cuadrada. Los elementos diagonales de la matriz son 1. El criterio en la  $i$ -ésima fila es mejor que el criterio en la columna  $j$ -ésima si el valor del elemento  $(i, j)$  es mayor que 1; de lo contrario, el criterio en la columna  $j$ -ésima es mejor que el de la  $i$ -ésima fila. El elemento  $(j, i)$  de la matriz es el inverso del elemento  $(i, j)$ .
- Paso 4: El valor propio principal y el vector propio correcto correspondiente normalizado de la matriz de comparación dan la importancia relativa de los diversos criterios que se comparan. Los elementos del vector propio normalizado se denominan ponderaciones con respecto a los criterios o subcriterios y clasificaciones con respecto a las alternativas.
- Paso 5: Se evalúa la consistencia de la matriz de orden  $n$ . Las comparaciones hechas por este método son subjetivas y el método AHP tolera la inconsistencia a través de la cantidad de redundancia en el enfoque. Si este índice de consistencia no alcanza el nivel requerido, las respuestas a las comparaciones pueden volver a examinarse.
- Paso 6: La calificación de cada alternativa se multiplica por el peso de los subcriterios y se agrega para obtener calificaciones locales con respecto a cada criterio. Las calificaciones locales se multiplican por el peso de los criterios y se agregan para obtener clasificaciones globales.

El método AHP produce valores de peso para cada alternativa en función de la importancia juzgada de una alternativa sobre otra con respecto a un criterio común.

## Energías renovables para generación de energía eléctrica

El uso de energías renovables se ha venido incrementando y volviéndose cada vez más competitivo frente a tecnologías que usan combustibles fósiles e incluso frente a tecnologías como las grandes centrales hidroeléctricas. La capacidad mundial de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables según lo reportado por REN21 (2015) financiado por Alemania y la ONU, presenta un aumento significativo de la participación de la generación de la energía eléctrica en los últimos 10 años (ver Figura 1). Igualmente, frente a los costos de este tipo de energías, según cifras presentadas por el IRENA (Agencia internacional de las energías renovables por sus siglas en inglés), los costos nivelados de energía de varias de las fuentes renovables como la geotérmica y la eólica presentan un avance significativo entre el 2010 y el 2016, siendo ya competitivos frente a muchas de las fuentes tradicionales de energía (IRENA, 2017) (Ver Figura 2).

		2004	2013	2014
<b>Inversiones</b>				
Nuevas inversiones (anuales) en energías y combustibles renovables	Billones de USD	45	232	270
<b>Potencia – Energía</b>				
Capacidad energías renovables (sin hidroeléctrica)	GW	85	560	657
Capacidad energías renovables (con hidroeléctrica)	GW	800	1.578	1.712
Capacidad hidroeléctrica	GW	715	1.018	1.055
Capacidad Bio energía	GW	<36	88	93
Generación Bio energía	TWh	227	396	433
Capacidad geotérmica	GW	8,9	12,1	12,8
Capacidad solar fotovoltaica	GW	2,6	138	177
Capacidad concentradores solares térmicos	GW	0,4	3,4	4,4
Capacidad energía eólica	GW	48	319	370

Figura 1. Evolución de las inversiones y capacidad de generación de generación de energías renovables de 2004 a 2014.

Fuente: Adaptado de REN 21 (2015)

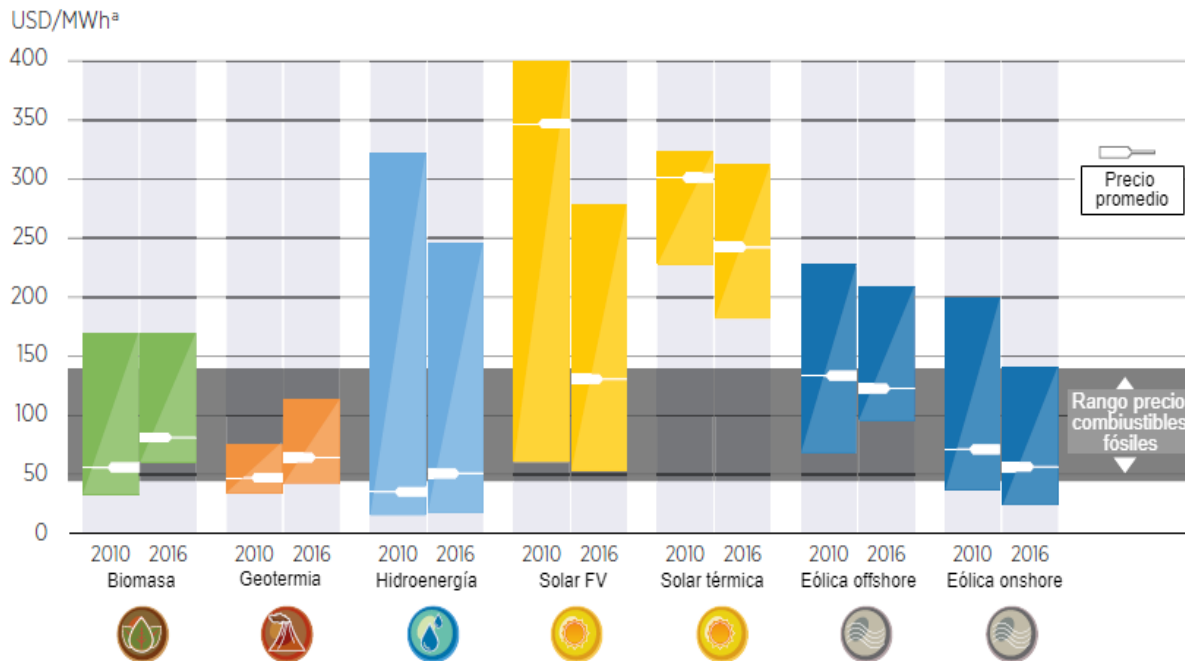


Figura 2. Costos nivelados de generación de energía para varias fuentes de energías renovables.

Fuente: Adaptado de IRENA (2017)

En el World Energy Council, (2015) se consultó a una comunidad de futuros líderes del sector energético sobre perspectivas de temas de impacto en el futuro, como resultado de estas consultas se incluyen entre las prioridades, temas como el almacenamiento de energía, la movilidad eléctrica, aspectos regulatorios, y el potencial de una transición hacia un sistema energético renovable y descentralizado. De acuerdo con IRENA, (2014), la participación mundial de energía renovable puede llegar al 36% para el año 2030 con las tecnologías que ya están disponibles en la actualidad, así como con la mejora en eficiencia energética y mejor acceso a la energía.

A continuación, algunos conceptos relacionados con la investigación en Energías Renovables

**Energías renovables:** Energía renovable es la que se aprovecha directamente de recursos considerados inagotables como el Sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor del interior de la Tierra. Cada una de las energías implica diferentes tipos de tecnologías que utilizan distintos elementos o equipos de transformación, según los cuales se obtiene energía en forma de electricidad, fuerza motriz, calor o combustibles (UPME, 2010).

**Fuentes no convencionales de energía:** Son aquellas fuentes que no usamos comúnmente, su uso no contamina el medio ambiente y utilizan recursos naturales renovables e inagotables, como el viento y el sol. Las principales fuentes de energía son la solar, eólica, geotermia, biodigestión y oceánica (UPME, 2010).

**Energía Eólica:** La energía eólica es la que está presente en forma de energía cinética en las corrientes de aire o viento. La energía eólica puede transformarse principalmente en energía eléctrica por medio de aerogeneradores, o en fuerza motriz empleando los comúnmente llamados molinos de viento (UPME, 2010).

La evaluación del potencial eólico disponible es una labor compleja que requiere la realización de un estudio a gran escala, durante un amplio horizonte temporal. Por otra parte, el potencial neto técnicamente aprovechable, es decir, aquel que tiene en cuenta las limitaciones técnicas, económicas, sociales o medioambientales, es altamente sensible a la evolución del nivel tecnológico de los aerogeneradores, por lo que no se trata de un valor estable en el tiempo (IDAE, 2005).

**Energía hidroeléctrica:** La energía hidráulica es aquella que proviene del agua y que se manifiesta como energía cinética en el caudal de las corrientes, y como energía potencial en la altura de las caídas de los ríos (UPME, 2010).

El potencial hidroeléctrico de un país es la capacidad anual de producción de energía hidroeléctrica que dicho país posee, mientras que el potencial técnicamente explotable se deduce del anterior considerando las pérdidas. Actualmente las turbinas hidráulicas y resto de equipos que componen una central hidroeléctrica, constituyen bienes de equipo tecnológicamente maduros, al haberse aplicado todos los avances obtenidos durante los últimos 150 años. (IDAE, 2005).

**Energía solar fotovoltaica:** La luz del Sol se puede convertir directamente en electricidad mediante celdas solares, conocidas también como celdas fotovoltaicas, que son artefactos que utilizan materiales semiconductores. La corriente eléctrica puede ser utilizada inmediatamente o puede ser almacenada en una batería para utilizarla cuando se necesite (UPME, 2010).

La producción de energía eléctrica directamente mediante el efecto fotovoltaico, presenta al

día de hoy indudables ventajas energéticas, industriales, medioambientales, sociales, etc. Entre ellas, la implantación de la energía solar fotovoltaica tan amplia como sea posible contribuirá a impulsar un futuro desarrollo tecnológico, que lleve a este procedimiento de generación eléctrica a términos cada vez más competitivos frente a otros procedimientos de generación (IDAE, 2005).

La principal característica de este recurso es estar disponible en toda la superficie al mismo tiempo, estando no obstante condicionado por las sombras de elementos naturales y artificiales y por las particulares condiciones climáticas de cada área geográfica. La evaluación del potencial solar es una labor que requiere de un periodo muy amplio de toma de datos, del orden de años. A esto se suma la necesidad de realizar una toma de datos suficientemente detallada, para que los valores obtenidos sean representativos y reflejen las particularidades de cada microclima (IDAE, 2005).

**Energía solar termoeléctrica:** Estos sistemas están diseñados para proveer energía eléctrica a la red o para usos térmicos de naturaleza industrial, a través de la transferencia de calor a un fluido térmico; se destinan a suplir grandes demandas y no se utilizan en aplicaciones que requieran bajas capacidades de carga o calor (UPME, 2010).

La energía solar termoeléctrica agrupa un conjunto de tecnologías diferenciadas que se caracterizan por realizar concentración solar con el fin de alcanzar temperaturas que permitan la generación eléctrica. Su aplicación puede llegar a constituir una forma de generación de energía competitiva y con las ventajas que corresponde a una fuente renovable y respetuosa con el medioambiente (IDAE, 2005).

**Energía solar térmica:** Los sistemas de calentamiento con colector de placa plana (temperaturas medias) utilizan la radiación solar para su uso directo en diversas aplicaciones (UPME, 2010).

La aplicación más generalizada de los sistemas solares es la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), tanto en viviendas como en establecimientos hoteleros, residencias, hospitales, campings, instalaciones deportivas, etc. En este tipo de aplicación, la tecnología más extendida a nivel comercial es la de los captadores planos vidriado (IDAE, 2005).

**Energía geotérmica:** La energía geotérmica ha estado presente tanto tiempo como la Tierra existe. La extracción y transformación del agua caliente o el vapor de los yacimientos geotérmicos para generar energía eléctrica en superficie implica la aplicación de tecnología avanzada. Pero existe otra forma de aprovechar esta energía a la cual se le conoce como usos directos (UPME, 2010).

La capacidad instalada de generación de la planta puede determinarse con base en el mercado de energía y la productividad actual del yacimiento. El ciclo térmico se selecciona de acuerdo con las características del fluido, pero también tomando en consideración las condiciones económicas del proyecto (UPME, 2010).

**Energía de la Biomasa:** La biomasa es cualquier material proveniente de organismos vivos tales como vegetación, bosques, selvas, cultivos acuáticos, bosques naturales, residuos agrícolas, desechos animales y desechos urbanos e industriales de tipo orgánico que pueden utilizarse para producir energía (UPME, 2010).

En general estos residuos están condicionados a la actividad industrial que los genera. Este tipo de actividad es en muchos casos estacional, lo que obliga a una logística de recogida más complicada para el abastecimiento de plantas de generación eléctrica. Por otro lado las fluctuaciones en la producción de las industrias del sector agroforestal impiden una estimación a largo plazo de los recursos anuales disponibles para una planta (IDAE, 2005).

**Energía de los océanos:** Los océanos cubren más del 70% de la superficie de la tierra lo que hace de ellos el más grande colector solar del mundo. En ellos se pueden encontrar dos tipos de energía: la térmica proveniente del calentamiento solar y la mecánica a partir de las mareas, las olas y las corrientes marinas. El sol calienta la superficie de los océanos en una proporción muy alta en comparación con las zonas profundas de los mismos, de esta manera se crea una diferencia de temperaturas que también puede ser aprovechada. Las mareas se originan por la fuerza gravitatoria que la luna y el sol ejercen sobre la tierra; los vientos contribuyen a la producción de olas (UPME, 2010).

**Hidrógeno:** El hidrógeno no es un recurso energético, sino que debe producirse a partir de diversas fuentes de energía mediante distintas tecnologías. En todos los procesos de producción se debe tener en cuenta tanto el balance económico como el energético, puesto



que pueden ensombrecer considerablemente la elevada eficiencia de conversión de los dispositivos de uso final. Por otra parte, puesto que el hidrógeno se almacena con dificultad, los costes de almacenamiento se deben incluir en el balance global. Por último, como combustible que es, el hidrógeno está sujeto a una normativa de seguridad para su correcta manipulación. El hidrógeno es el carburante ideal, ya que durante la oxidación solamente se produce calor y vapor de agua. Por tanto, se trata de una energía limpia. Además, cuando la energía almacenada en el enlace H-H de la molécula de hidrógeno se libera en forma de electricidad mediante las celdas de combustible, la eficiencia energética del proceso resulta muy superior a la de la combustión (Cytel, 2010)

**Celdas de combustible:** Las celdas de combustible (CCs) son generadores electroquímicos que convierten la energía química almacenada en enlaces químicos (H<sub>2</sub>, metano, metanol, hidrocarburos) en electricidad y calor. Si bien el concepto de celda de combustible data de la mitad del siglo XIX, es en la última década cuando se lleva a cabo una actividad intensa con el objetivo de incrementar la flexibilidad de generación de electricidad y de proporcionar sistemas simples y eficientes de generación de electricidad distribuida (Cytel, 2010).

## ESTADO DEL ARTE

### Antecedentes de elaboración de agendas de investigación

Como principal antecedente para el desarrollo de agendas de investigación se toma una guía elaborada por la UNESCO, que incluye tanto los lineamientos para la estructuración de agendas como de planes de investigación. En el caso de las agendas se establecen prioridades de investigación y áreas, como se identifica en un ejemplo, en el que se establecen 22 prioridades de investigación divididas en cinco áreas. En el caso de los planes de investigación se busca identificar una serie de actividades que apoyarán la implementación de la agenda de investigación. Aunque las prioridades de investigación se han identificado, la capacidad de un país para llevar a cabo la investigación puede ser limitada. Esas limitaciones podrían subsanarse mediante la creación de capacidad y otras medidas (UNESCO, 2012).

En Colombia, para el desarrollo de agendas de investigación se cuenta con el antecedente de un “Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales” (Castellanos et al., 2009). Este estudio va más allá de la formulación de agendas de investigación y se propone la aplicación del sistema de inteligencia tecnológica que consta de tres etapas principales: i) implantación de herramientas, ii) generación de conocimiento y iii) formulación e implementación de estrategias, con lo cual, de acuerdo con la concepción de la guía desarrollada por la UNESCO estaría llegando al nivel de planes de investigación.

Para el caso específico de cadenas productivas agropecuarias, Castellanos et al. (2009) propone cuatro “partes” principales: (1) Contexto del estudio, (2) Análisis de la cadena productiva, (3) Análisis del entorno de la cadena y (4) Formulación de la agenda de investigación y desarrollo. Se considera que esta metodología tiene elementos aplicables en este estudio y el componente de entorno propuesto en esta guía será el principal a profundizar en el presente trabajo; fundamentalmente los correspondientes a la identificación de capacidades nacionales de investigación y desarrollo, y las tendencias mundiales.

Adicionalmente, se encontraron varios antecedentes de trabajos cuya propuesta de agenda de investigación llega a la identificación de áreas o retos de investigación particulares. Este es el caso de un estudio de la Asociación Americana para la educación agrícola que en el año 2012 propone una agenda nacional de investigación dando como resultado cinco áreas prioritarias de investigación para centrar los esfuerzos en el periodo entre el 2011 y el 2015 (American Association for Agricultural Education, 2012). Otro ejemplo es el desarrollado por Kitzes et al. (2009), donde para el desarrollo de una agenda de investigación para mejorar el desempeño de la huella ecológica nacional se generaron 26 temas de investigación en siete áreas principales. En el caso de estos dos trabajos se parte de un estudio de entorno y una revisión de literatura para plantear dichas agendas, pero sin involucrar análisis bibliométricos o cuantitativos en su metodología.

Otro enfoque, más cercano al campo empresarial para la definición de estrategia tecnológica corresponde a la técnica de mapa de ruta tecnológica, que representa una poderosa técnica para apoyar la administración y planificación de la tecnología, especialmente para explorar y comunicar los vínculos dinámicos entre los recursos tecnológicos, los objetivos organizacionales y el entorno cambiante. Para el desarrollo de un mapa de ruta, el proceso más adecuado depende de muchos factores, incluido el nivel de recursos disponibles (personas, tiempo, presupuesto), la naturaleza del problema que se aborda (propósito y alcance), la información disponible (mercado y tecnología), otros procesos y métodos de gestión que son relevantes (estrategia, presupuesto, desarrollo de nuevos productos, gestión de proyectos e investigación de mercado) (Phaal et al., 2004).

### **Vigilancia tecnológica para identificación de antecedentes científicos y tecnológicos**

El presente trabajo tomará como base el concepto de Vigilancia tecnológica, teniendo en cuenta que se buscará el análisis de tecnologías y el uso de métodos cuantitativos como la bibliometría y cuantimetría para identificación de tendencias en busca de la construcción de una agenda de investigación.

Como referencias asociadas al uso de vigilancia tecnológica para identificación de antecedentes científicos y tecnológicos encontramos estudios como el realizado por Kim, Suh, & Park (2008), donde se propone una metodología de agrupación y visualización de

información de patentes. Con palabras clave recopiladas de documentos de patentes de un campo de tecnología, se agrupan los documentos de patentes mediante un algoritmo, con los resultados de la agrupación, se forma una red semántica de palabras clave, y luego se construye un mapa de patentes reorganizando cada nodo de palabras clave de la red semántica. El método propuesto permite visualizar una descripción de la información de patentes de una manera más comprensible, y como resultado de esas contribuciones, permite comprender los avances de las tecnologías emergentes y pronosticar su tendencia en el futuro.

Para Khramova et al. (2013) la documentación de patentes se considera un recurso integral para caracterizar las invenciones y generar indicadores de patentes apropiados, con la que se puede evaluar la producción de I + D de las instituciones, y de esta forma comprender la dinámica de las actividades industriales de I+D. Adicionalmente, puede interpretarse y medirse la intensidad de los vínculos entre la industria, la ciencia y la cooperación internacional en los ámbitos tecnológicos. Finalmente, se pueden construir los perfiles de especialización de instituciones, regiones y países.

En el caso del trabajo desarrollado por Kyebambe, Cheng, Huang, He, & Zhang (2017) se parte de datos de citas de patentes proporcionados por la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos para probar y evaluar un algoritmo. El algoritmo utiliza técnicas avanzadas de citas de patentes para derivar predictores útiles de los datos de citas de patentes con el resultado de pronosticar nuevas tecnologías al menos un año antes de que surjan. La evaluación realizada por los autores revela que nuestro algoritmo propuesto puede recuperar hasta el 70% de las tecnologías emergentes en un año determinado con alta precisión.

Una aproximación a la identificación de capacidades de investigación se da a través del estudio de colegios invisibles. De manera empírica, los colegios se detectan a través de grupos de artículos que comparten referencias comunes. En la literatura de cienciométrica, este tipo de procedimientos es comúnmente llamado acoplamiento bibliográfico y permite describir similitudes entre los textos pertenecientes a un corpus bibliográfico. Se indica que el entendimiento de los colegios invisibles en su diversidad y coherencia, y el desarrollo de las redes de colaboración permiten en su conjunto entender el estado de las capacidades científicas desde los aportes temáticos, su interdisciplinariedad, la capacidad de las instituciones para liderar temas al presentar continuidad temporal en la publicación en uno o

varios temas (Romero Goyeneche et al., 2019). Esta aproximación puede complementar la identificación de capacidades endógenas, que en este trabajo se desarrolla a través de la identificación de las líneas de trabajo de los grupos de investigación y la realización de consultas directas a dichos grupos sobre las temáticas abordadas por estos y aspectos como capacidades de infraestructura, entre otros.

Autores como Daim et al. (2005) y Ernst (1997) citados por Montañez et al., (2010) emplearon modelos para adaptar los datos obtenidos de estudios de bibliometría y patentometría respectivamente para ajustarlos y así obtener curvas (curva S) con el fin de evaluar el crecimiento tecnológico. Así mismo Ernst (1997) citado por Montañez et al. (2010), plantea que es relevante conocer el ciclo de vida tecnológico (curva S) y los posibles beneficios de los datos de patentes para establecer estrategias de I+D y poder tomar decisiones de inversión, dado que en este caso la actividad de patentamiento provoca cambios en el mercado.

Walk (2012) estudia tres métodos cuantitativos de evaluación de información tecnológica para pronosticar el cambio tecnológico entre los que se incluye la curva de crecimiento logístico (curva s), la cual mostró una aplicación prácticamente universal para modelar la adopción de tecnología, así como para modelar efectivamente muchos otros comportamientos. Otro método evaluado fue la curva de desempeño a partir de una curva característica de rendimiento, buscando su forma reveladora en la historia de un área tecnológica de interés. De acuerdo con el autor es un valioso índice y herramienta de decisión para la planificación tecnológica, incluyendo la vigilancia tecnológica y las actividades de exploración de horizonte.

En Colombia se encuentran algunos antecedentes de vigilancia tecnológica en energías renovables, sin embargo, llegan al nivel de diagnóstico e insumo para la toma de decisiones de diferentes tipos de organizaciones, mas no con el propósito de desarrollar una agenda de investigación. Por ejemplo, la Corporación Ruta N (2015) generó un estudio de vigilancia tecnológica en energías renovables con énfasis en energía solar, eólica no tradicional, micro y pico centrales hidroeléctricas donde se presentan las generalidades de las tecnologías, una descripción del mercado tanto de tecnología como de productos y servicios que incluye normativas, identificación de líderes de mercado y tendencias y nichos. El estudio llega a la

identificación de oportunidades y retos, lo cual es un aporte interesante del estudio, sin embargo, no profundiza en el análisis de información de grupos de investigación ni desarrolla una agenda concreta.

Otro caso encontrado, es un ejercicio de vigilancia tecnológica aplicado a sistemas de biomasa, que se concentra en el análisis de información de patentes, identificando empresas líderes, evolución del desarrollo tecnológico y una agrupación de palabras clave. A partir de estos análisis se identifican unas tendencias con las cuales se generan unas conclusiones generales del avance tecnológico en este tema (Velasco, Cindy, Hamilton, & Herrera, 2011).

Frente al uso de curvas S para determinar la madurez de tecnologías, en Colombia se tienen varios antecedentes, dentro de los cuales se destacan el estudio realizado por Aguilar et al. (2012), donde se evalúan los ciclos de vida de productos colombianos, basados en modelos de curvas S. Zartha, Palop, Arango, Velez, & Avalos (2016) aplicaron la metodología de curvas S, a partir de datos de series de tiempo de artículos y patentes en biotecnología y nanotecnología como punto de partida de la toma de decisiones a partir del ciclo de vida de las tecnologías, trabajos similares de uso de series de tiempo de artículos y patentes para el análisis de tecnologías con base en modelos de curvas s, corresponden a los desarrollados por Zartha, Zuluaga, Palacio, & Montes (2017) y Yepes et al. (2018)

### **Planes y agendas de investigación en energías renovables**

A nivel mundial como antecedentes de la construcción de agendas para el desarrollo de energías renovables, se identifican trabajos realizados en Estados Unidos, China y la Unión Europea que pueden servir como referentes en la construcción de propuestas para la agenda de investigación en Colombia

En IRENA, (2014), desarrollado por la Agencia Internacional de Energías Renovables, se definió una hoja de ruta donde se identificaron cinco áreas clave para el desarrollo de políticas nacionales que permitan acelerar el despliegue de las energías renovables. Para la ejecución de una de estas áreas se proponen acciones específicas en función de políticas que apoyen el ciclo de vida de la tecnología y la vigilancia sobre aplicaciones energéticas de alta relevancia

y baja capacidad para su aplicación en países en desarrollo con programas para cerrar brechas con nuevas tecnologías.

En China, Zhang, Chang, & Eric, (2012) muestran que el desarrollo de la energía renovable, ha sido impulsado por la política del gobierno que promueve al mismo tiempo el despliegue de la tecnología de las energías renovables y el avance de una industria doméstica de energía renovable.

En la Unión europea se encuentran casos específicos de desarrollo de agendas de investigación e innovación para el desarrollo de energías renovables. Concretamente Sinke *et al.* (2007) desarrollaron una agenda estratégica para el desarrollo de la tecnología de la energía solar fotovoltaica, que define unos campos de investigación y unos temas específicos para alcanzar los objetivos de los grupos de trabajo en energía solar para la Unión Europea, buscando principalmente a una reducción de costos de la generación de energía a partir de dicha tecnología.

Otro ejemplo encontrado es la agenda estratégica desarrollada en el marco de la plataforma Europea en tecnología e Innovación en energía eólica en el año 2016, donde se incluyen cuatro objetivos y cinco pilares de la agenda y áreas de acción específicas para cada uno de los pilares identificados (European Technology and Innovation Platform on Wind Energy, 2016). También en el ámbito de la energía eólica, en el Reino Unido Strachan, Lal, & von Malmberg (2006) analizan la agenda de investigación en este país, seleccionando cuatro áreas para investigaciones futuras donde se identifican necesidades particulares de investigación.

### **Planes y agendas de investigación en energías renovables en Colombia**

En Colombia como antecedente en la generación de planes y agendas de investigación en energías renovables Kema, Cenergía y Colciencias, (2012), en el documento “Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable en Colombia” desarrollado por las firmas KEMA y CENERGÍA, para Colciencias y el BID, y que constituye un referente para este trabajo, se proponen líneas de acción para el fomento de la eficiencia energética y las energías renovables en Colombia, partiendo principalmente de un

análisis DOFA y de capacidades en el país para desarrollar estos temas, proponiendo un plan de acción y carteras de proyectos. Se encuentra, sin embargo, que el estudio no incluye el uso de la herramienta de vigilancia tecnológica para la identificación de tendencias en los temas propuestos, así mismo se requiere profundizar en el análisis de capacidades nacionales en el área de energías renovables.

Como resultado del plan elaborado por las firmas KEMA y CENERGIA, se generaron unos mapas de capacidades <sup>1</sup>relacionándolos con la madurez de las tecnologías. Estos mapas fueron generados principalmente a partir de una clasificación entre tecnología dominante o emergente y un árbol de decisión que incluía consultas con expertos en las áreas temáticas para validar esta información (Kema-Cenergía - Colciencias, 2012). Cabe anotar que la clasificación inicial como dominante o emergente de las tecnologías se determinó con base en el conocimiento de los expertos que realizaron el estudio, sin realizar análisis bibliométricos o cuantitativos del avance de las tecnologías a nivel mundial.

---

<sup>1</sup> Para efectos del estudio en mención (Kema, Cenergía y Colciencias, 2012), el mapa de capacidades corresponde a una representación gráfica que permiten ubicar las tecnologías según su madurez de acuerdo y las capacidades de los actores locales, las cuales se construyen principalmente mediante encuestas a los actores identificados.



## **ALCANCE DEL TRABAJO**

### **Objetivo General**

Desarrollar una metodología para la construcción de una agenda de investigación a partir del análisis de tendencias tecnológicas globales y de grupos de investigación nacionales en energías renovables

### **Objetivos Específicos**

- Generar una metodología preliminar de análisis de tendencias tecnológicas e información de grupos de investigación, que incluya el contenido esperado y principales actividades para la construcción de una agenda de investigación.
- Realizar una priorización de áreas de investigación en energías renovables para generación de energía eléctrica con base en información de entorno y un análisis inicial de tendencias tecnológicas y capacidades endógenas.
- Aplicar herramientas de vigilancia tecnológica como bibliometría y cienciometría a las áreas identificadas, que permitan determinar temas prioritarios de investigación e indicadores que reflejen el comportamiento y madurez de cada una de estas.
- Recopilar y analizar la información de grupos de investigación en energías renovables reconocidos por Colciencias.
- Validar la información generada mediante la construcción de una agenda de investigación y consulta a grupos de investigación y otros actores relevantes en el área sobre la consistencia de la agenda desarrollada.

### **Pregunta de investigación**

¿Una metodología que involucre el análisis de tendencias tecnológicas (a partir de herramientas de VT) y análisis de información de grupos de investigación nacionales brindará los insumos para la construcción de una agenda de investigación consistente?

## **Hipótesis**

Puede obtenerse información suficiente para la construcción de una agenda de investigación consistente, que sirva como insumo para los actores del sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, permitiendo la identificación de focos y líneas de investigación estratégicas relacionadas con las energías renovables, a partir de la aplicación de una metodología para el análisis de tendencias tecnológicas que involucre un análisis de entorno global e información de grupos de investigación nacionales.

## **Alcance**

El alcance del proyecto incluye una propuesta metodológica de análisis de información científica y tecnológica a partir de herramientas de vigilancia tecnológica y análisis de información de grupos de investigación, como base para generar agendas de investigación en temas de interés en ciencia y tecnología. Se propone delimitar el tema de estudio para aplicación de la metodología hacia tecnologías de energías renovables con potencial uso en la generación de energía eléctrica en el país. Como motivación inicial para esta delimitación se encuentra que en el borrador de documento Conpes de Ciencia y Tecnología 2015-2025 (DNP, 2015), que finalmente no fue promulgado, se incluyeron dentro de las acciones, definir una agenda nacional de investigación con visión de mediano y largo plazo. en diferentes áreas incluida la de energías renovables, adicionalmente se cuenta la experiencia del asesor del trabajo en las líneas de investigación asociadas con energías renovables.

Las tecnologías a analizar y a las cuales se les realizarán los estudios de vigilancia tecnológica serán determinados en la primera etapa del proyecto con base en criterios que se determinen en la metodología a proponer y desarrollar en el proyecto.

El análisis de grupos de investigación se basará primordialmente en información de la plataforma GrupLAC de Colciencias, de grupos con líneas de investigación en el área de energías renovables y la agenda con la cual se validará la metodología propuesta será puesta a consideración de actores como grupos de investigación con líneas de trabajo en los temas propuestos.

## **METODOLOGÍA PRELIMINAR PARA CONSTRUCCIÓN DE AGENDAS DE INVESTIGACIÓN**

Como referentes para definir el contenido a incluir en la agenda de investigación y la metodología para desarrollarla, se tomaron como base principalmente dos trabajos, el primero elaborado por la UNESCO y que corresponde a un documento técnico para la elaboración de planes y agendas de investigación (UNESCO, 2012), y el segundo, el “Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales” (Castellanos et al., 2009).

En el caso del trabajo desarrollado por la UNESCO se creó una guía que buscaba soportar el desarrollo de agendas y planes de investigación en el marco de la educación para el desarrollo sostenible y propone como contenido de la agenda la definición de áreas y prioridades de investigación. En ese documento se presentan ejemplos, como es el caso de una agenda para la investigación de educación agrícola cuyo resultado fue una propuesta de 22 prioridades de investigación en cinco áreas (UNESCO, 2012). De acuerdo con este referente para las agendas de investigación se encuentra el siguiente alcance para su desarrollo:

- A. Objetivo: identificar de tres a cinco temas generales de investigación
- B. Involucrar a quienes investigan, utilizan la investigación y apoyan la investigación y los que podrían participar en la investigación en alguna capacidad.
- C. Compilar un inventario de la investigación existente.
- D. Compilar un inventario de las necesidades de investigación.
- E. Identificar las necesidades de investigación más importantes para apoyar la Educación para el Desarrollo Sostenible (ESD) en su país.

A partir de este marco se pueden definir para el caso de agendas de investigación en otras áreas del conocimiento y específicamente en Energías Renovables podrían incluirse los siguientes elementos en el momento de definir una agenda de investigación:

- 1. Temas o áreas generales de investigación
- 2. Actores como universidades, Centros o investigadores tanto en Colombia como a nivel internacional que pueden apoyar la investigación en el campo seleccionado.

3. Recopilar un inventario con información de investigación desarrollada, la cual puede ser recopilada a partir de estudios bibliométricos y cuantitativos.
4. Generar un listado de necesidades de investigación en Colombia con base en la información recopilada.

En el caso del trabajo desarrollado por Castellanos et al. (2009) se integran diferentes herramientas de gestión tecnológica para la definición de agendas de investigación que incluyen componentes de vigilancia tecnológica (o inteligencia competitiva), adicional a prospectiva tecnológica que no se incluye en el alcance de este trabajo, pero que puede ser un complemento importante a futuro. Estos autores proponen cuatro “partes” principales a considerar:

- A. Contexto del estudio,
- B. Análisis de la cadena productiva
- C. Análisis del entorno competitivo de la cadena
- D. Formulación de la agenda de investigación y desarrollo.

En un ejemplo presentado por Castellanos et al. (2009), para la definición de una agenda en la cadena del caucho se presenta la siguiente articulación de herramientas para lograr este objetivo: 1) análisis de desempeño de la cadena y benchmarking, 2) Vigilancia tecnológica y comercial acerca de las innovaciones científicas, tecnológicas y comerciales que generan desarrollo en el sector, y 3) prospectiva tecnológica

Se considera que esta metodología es aplicable en este estudio y el componente de entorno propuesto en esta guía será incluido en el presente trabajo. Fundamentalmente los correspondientes a la identificación de capacidades nacionales de investigación y desarrollo y las tendencias mundiales. A continuación, se listan los principales elementos del manual metodológico que pueden ser aplicados en el presente trabajo:

1. Evaluación de contexto y benchmarking del estudio
2. Análisis de entorno competitivo del sector
3. Vigilancia tecnológica tanto para información de producción científica y académica como de producción técnica.
4. Formulación de agenda a partir de insumos de VT y entorno.

## **Contenido Agenda de investigación:**

Con base en la información de los referentes encontrados se propone como principal objetivo de la agenda de investigación, proponer áreas y temas o líneas de investigación asociados a energías renovables. Adicionalmente se considera incluir unos “drivers” para el desarrollo de la agenda como un mapa de aliados como universidades, centros de investigación, empresas entre otros que puedan ser importantes para el desarrollo de la agenda.

Adicionalmente, como un insumo fundamental y aporte del presente proyecto, se incluye el análisis de información de grupos de investigación nacionales. Para este propósito se tomará la información de los grupos registrados en Colciencias, que tienen asociada como programa primario el programa de investigaciones en energía y minería y que cuentan con líneas de investigación en Energías Renovables.

De acuerdo con las anteriores consideraciones, se proponen como principales elementos para el desarrollo de la agenda los siguientes:

1. Evaluación de antecedentes y entorno de las energías renovables en Colombia.
2. Delimitación de áreas de investigación principales.
3. Vigilancia tecnológica de las áreas de investigación priorizadas con base en análisis de producción bibliográfica y de patentes.
4. Análisis de capacidades nacionales de grupos de investigación.
5. Priorización de temas en las áreas seleccionadas.
6. Mapa de aliados potenciales para el desarrollo de la agenda.
7. Agenda final con las áreas de interés y los temas específicos de investigación.

## **Metodología preliminar**

A continuación, se presentan cada uno de los puntos propuestos para el desarrollo de la agenda, así como una metodología preliminar para su obtención, la cual será complementada o modificada a partir de los resultados obtenidos en la aplicación de cada una de las etapas propuestas, para llegar a una propuesta metodológica final que permita el desarrollo de una

agenda de investigación:

1. Evaluación de antecedentes y entorno de las energías renovables en Colombia.
  - Inicialmente dentro de los antecedentes se analizarán los resultados de desarrollos de planes y agendas de investigación en ER en Colombia y se analizarán los resultados y principales conclusiones.
  - Se analizarán planes y programas de investigación en entidades líderes a nivel mundial en ER.
  - Adicionalmente se considerarán las políticas, normas y planes sectoriales que puedan afectar una agenda de investigación en ER.
  - Se recopilará información de grupos de investigación y Centros de investigación en Colombia con líneas de investigación en ER.
2. Delimitación de áreas de investigación principales
  - Se determinarán las áreas y tecnologías en energías renovables con mayor producción científica en bases de datos de revistas indexadas como Scopus o Citation Index.
  - Se determinarán las áreas y tecnologías en energías renovables con mayor producción tecnológica en bases de datos de patentes.
  - Se determinarán las líneas de investigación más importantes en grupos de investigación con áreas de trabajo en energías renovables.
  - Con base en una matriz del proceso jerárquico analítico (AHP por sus siglas en inglés) y una priorización de criterios con la asesoría de uno o más expertos, se llegará a una definición de áreas para la agenda de investigación.
3. Vigilancia tecnológica de las áreas de investigación con base en análisis de producción bibliográfica y de patentes
  - Se realizarán vigilancias tecnológicas para cada una de las áreas de investigación priorizadas.
  - En cada una de las vigilancias tecnológicas se considerarán tanto producción académica, como de patentes y se determinarán potenciales aliados como universidades, empresas, centros, investigadores, países líderes, etc.

- Se determinarán los principales temas que son abordados en cada una de las áreas de interés y se realizarán análisis cuantitativos para determinar la madurez de cada una de las tecnologías.
4. Análisis de capacidades nacionales de grupos de investigación
    - Con base en la información recopilada de grupos de investigación se determinarán las principales instituciones con grupos en energías renovables y se categorizarán por cada una de las áreas priorizadas.
    - Se buscará determinar las capacidades no solo en cuanto a las líneas de investigación declaradas, sino mediante consultas a estos grupos respecto a temas específicos de interés, laboratorios, recursos humanos disponibles, etc.
    - Se determinará, de los temas identificados en los ejercicios de vigilancia tecnológica cuales pueden ser abordados por los grupos de investigación a corto plazo y cuales requieren de mayor esfuerzo de investigación.
  5. Temas prioritarios a corto mediano y largo plazo para las áreas seleccionadas
    - Como primer criterio para determinar los temas prioritarios, se analizará la información del grado de madurez de los temas identificados en la vigilancia tecnológica para cada una de las áreas priorizadas.
  6. Mapa de aliados potenciales para el desarrollo de la agenda
    - A partir de los resultados de la vigilancia tecnológica se establecerán las universidades, centros y demás instituciones con mayor producción científica en las áreas priorizadas.
    - Igualmente, se determinarán las empresas e inventores que pueden ser aliados en desarrollos tecnológicos en las áreas priorizadas, esta información se obtendrá a partir de los análisis de patentes.
    - Por medio del análisis de capacidades de los grupos de investigación en energías renovables en el país se determinarán los grupos de investigación y las instituciones que pueden ser actores importantes para el desarrollo de la agenda de investigación.
  7. Agenda con las áreas de interés y los temas específicos de investigación

- Con base en la información recopilada en el estudio se obtendrá una agenda de investigación, que incluya áreas de interés y temas para cada área, así como un mapa de actores e información de soporte.
- Se realizará una validación de los resultados del estudio con actores nacionales como entidades encargadas de la formulación y ejecución de políticas de CTI y grupos de investigación en el área de energías renovables.



## ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

Para la identificación de la información de los grupos de investigación en energías renovables se parte del aplicativo de grupos de la plataforma SCIENTI (GrupLAC), disponible en la página web de Colciencias, el cual se basa en información de medición de grupos realizada en el año 2017. Se busca identificar la información de los grupos de acuerdo con las categorías de selección que se encuentran en esta plataforma. En la Figura 3 y la Figura 4 se presentan visualizaciones de la ruta de ingreso a la plataforma y la búsqueda de grupos en la plataforma SCIENTI:



Figura 3. Visualización ingreso plataforma SCIENTI.  
Fuente: Página web Colciencias- Plataforma SCIENTI

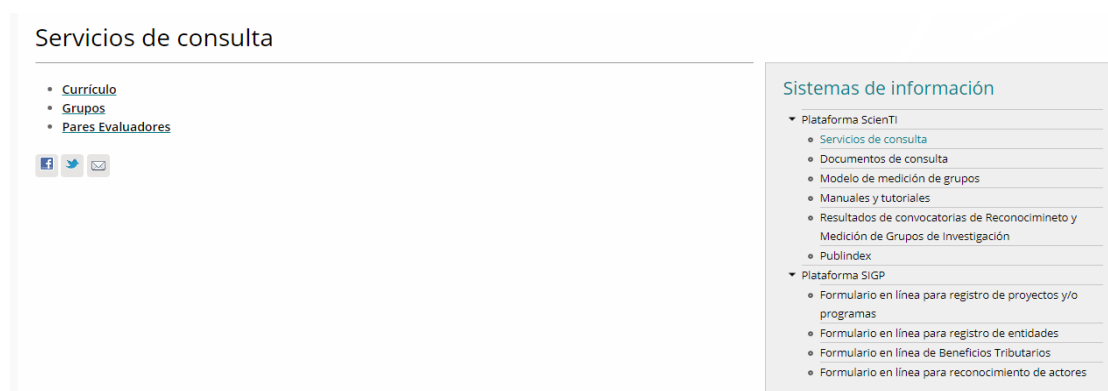


Figura 4. Opciones de consultas en la plataforma SCIENTI.  
Fuente: Página web Colciencias- Plataforma SCIENTI

En el servicio de consulta, se identifican varias categorías en las cuales se puede buscar la información de los grupos de investigación, dentro de las cuales se puede encontrar una clasificación por institución, departamento, área del conocimiento, Programa Nacional de Ciencia y Tecnología, y una opción de búsqueda avanzada con la combinación de varios criterios. En la Figura 5 se presenta la visualización de las categorías disponibles en la plataforma.

[Grupos por Programa Nacional de Ciencia y Tecnología](#)



[Grupos por área del conocimiento](#)



[Grupos por institución](#)



[Grupos por departamento](#)



[Busqueda avanzada de grupos](#)



Figura 5. Categorías de búsqueda de grupos de investigación. Plataforma SCIENTI.

Fuente: Página web Colciencias - Plataforma SCIENTI

Se toma como base la categoría correspondiente a Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología, por ser más específica en las áreas y líneas de investigación que abarcan, donde los grupos de investigación se clasifican en 13 Programas diferentes (Ver Figura 6), uno de los cuales corresponde al Programa de Investigaciones en Energía y Minería, que abarca líneas en energía que incluyen temas específicos en Energías Renovables. Aunque en otros Programas Nacionales, desde Ingeniería hasta Ciencias Sociales se pueden trabajar líneas de investigación relacionadas con energías renovables, los grupos que tienen como eje central el trabajo en temas energéticos tendrá como grupo principal, el correspondiente a Energía y Minería, lo cual se ve corroborado al establecer que, de los 109 grupos de investigación en este programa, 70 tienen líneas de investigación asociadas a energías renovables.

<b>Programa Nacional de Ciencia y Tecnología</b>		<b>Principales</b>	<b>Secundarios</b>	<b>Ambos</b>
<b>1</b>	Ciencia, Tecnología e Innovación en Ciencias Humanas, Sociales y Educación	<b>(1901)</b>	<b>(713)</b>	<b>(2595)</b>
<b>2</b>	Ciencia, Tecnología e innovación en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat	<b>(339)</b>	<b>(406)</b>	<b>(744)</b>
<b>3</b>	Ciencias Básicas	<b>(625)</b>	<b>(462)</b>	<b>(1083)</b>
<b>4</b>	Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud	<b>(867)</b>	<b>(287)</b>	<b>(1151)</b>
<b>5</b>	Biotechnología	<b>(98)</b>	<b>(201)</b>	<b>(299)</b>
<b>6</b>	Ciencias del Mar y los Recursos Hidrobiológicos	<b>(51)</b>	<b>(44)</b>	<b>(95)</b>
<b>7</b>	Ciencia, Tecnología e Innovación en Geociencias	<b>(27)</b>	<b>(12)</b>	<b>(39)</b>
<b>8</b>	Ciencia, Tecnología e Innovación en Seguridad y Defensa	<b>(52)</b>	<b>(22)</b>	<b>(74)</b>
<b>9</b>	No Aplica	<b>(379)</b>	<b>(2440)</b>	<b>(2680)</b>
<b>10</b>	Ciencia, Tecnología e Innovación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones	<b>(314)</b>	<b>(174)</b>	<b>(488)</b>
<b>11</b>	Ciencia, Tecnología e Innovación en Ingeniería	<b>(432)</b>	<b>(472)</b>	<b>(895)</b>
<b>12</b>	Ciencia, Tecnología e Innovación en Ciencias Agropecuarias	<b>(299)</b>	<b>(165)</b>	<b>(461)</b>
<b>13</b>	Investigaciones en Energía y Minería	<b>(109)</b>	<b>(95)</b>	<b>(204)</b>

Figura 6. Visualización grupos por Programa Nacional de Ciencia y Tecnología.

Fuente: Página web Colciencias- Plataforma SCIENTI

Luego de revisar el número de grupos de investigación en las 13 opciones identificadas en la categoría de Programas Nacionales, se encuentra la distribución porcentual presentada en la Figura 7, donde los grupos asociados a los temas de Energía y Minería corresponden solo al 2% de los grupos del país, siendo las áreas de Ciencias Humanas, Sociales y Educación, las que cuentan con mayor número de grupos con un 35% del total en el país.

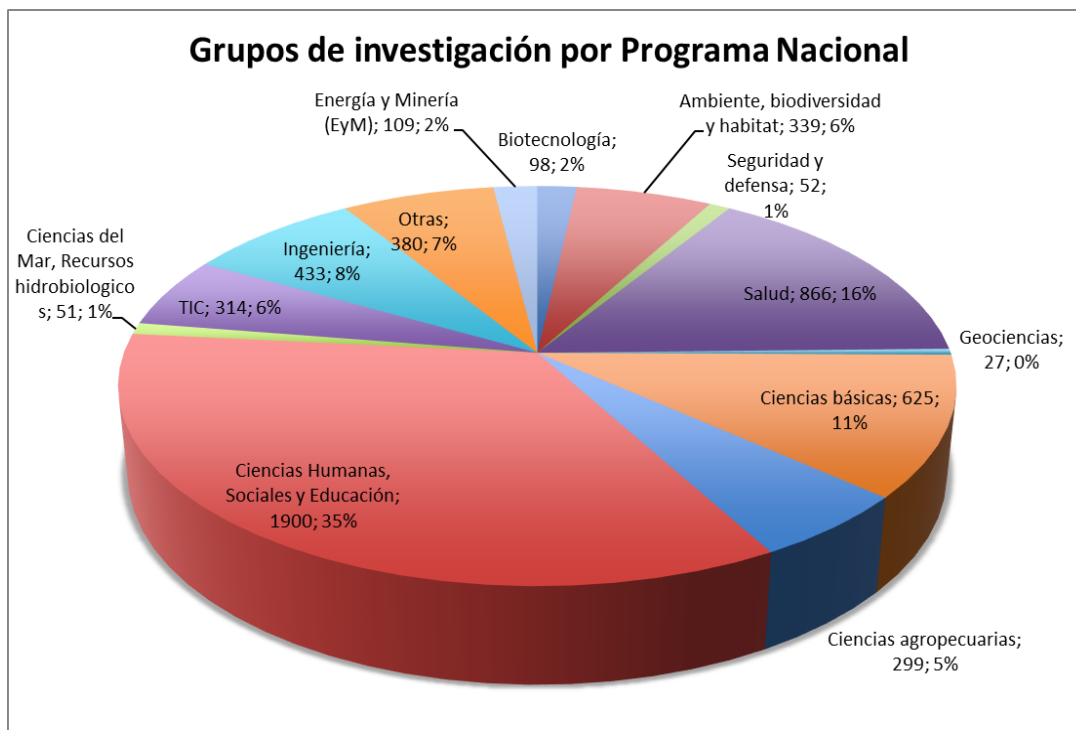


Figura 7. Grupos de investigación en Colombia por Programa Nacional.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de GrupLAC

Dentro de la categoría de Programa de Investigaciones en Energía y Minería se encuentran 109 grupos principales en áreas que incluyen tanto temas de Energía como temas de Minería. En la Figura 8 se presentan la visualización inicial del listado de grupos en la plataforma.

[Volver](#)

Código del grupo	Nombre grupo	Líder	Avalado	Estado	Clasificado en
1 COL0002878	<a href="#">Conversión de Energía</a>	<a href="#">GERARDO GORDILLO ARIZA</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría C Convocatoria 737 de 2015
2 COL0002269	<a href="#">CENTRO DE INVESTIGACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN INDUSTRIA Y ENERGIA</a>	<a href="#">VIATCHESLAV KAFAROV</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría A1 Convocatoria 737 de 2015
3 COL0038496	<a href="#">IENA - Investigación en Energías Alternativas</a>	<a href="#">LIBARDO ENRIQUE MENDOZA GENEY</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría D Convocatoria 737 de 2015
4 COL0014707	<a href="#">Planeamiento en Sistemas Eléctricos</a>	<a href="#">RAMON ALFONSO GALLEGRO RENDON</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría A1 Convocatoria 737 de 2015
5 COL0083437	<a href="#">Centro Nacional de Geoestadística (CNG)</a>	<a href="#">LUIS HERNAN SANCHEZ ARREDONDO</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría C Convocatoria 737 de 2015
6 COL0071024	<a href="#">Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas</a>	<a href="#">FARID CHEJNE JANNA</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría A1 Convocatoria 737 de 2015
7 COL0143259	...	<a href="#">MAGDA PAOLA TAFUR CHARRY</a>	Ver Perfiles	0 de 1	Categoría D Convocatoria 737 de 2015
8 COL0131113	<a href="#">Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos</a>	<a href="#">ANDRES FELIPE ROJAS GONZALEZ</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría B Convocatoria 737 de 2015
9 COL0017638	<a href="#">Grupo de Investigación en Neurocontrol</a>	<a href="#">DAVID FERNANDO RAMIREZ</a>	Ver Perfiles	1 de 1	Categoría C Convocatoria 737 de 2015

Figura 8. Visualización de grupos de investigación correspondientes al Programa de Investigaciones en Energía y Minería.

Fuente: Página web Colciencias- Plataforma SCIENTI

Para la identificación de los grupos, adicional a la información inicial presentada en el listado de grupos, se ingresa a la información de cada uno de estos con el fin de consultar sus líneas de investigación, identificar cuál de ellos trabaja en investigaciones en Energías renovables y específicamente en que tecnologías han desarrollado proyectos. En la Figura 9 se presenta una visualización de la información ampliada de los grupos, donde se detalla en información referente a integrantes, líneas de investigación y producción científica, entre otros aspectos.

## Conversión de Energía

Datos básicos	
Año y mes de formación	1975 - 1
Departamento - Ciudad	BOGOTÁ, D. C. - BOGOTÁ, D.C.
Líder	GERARDO GORDILLO ARIZA
¿La información de este grupo se ha certificado?	Si el día 2017-09-29
Página web	<a href="http://mecanica.uniandes.edu.co">http://mecanica.uniandes.edu.co</a>
E-mail	<a href="mailto:g.gordillo43@uniandes.edu.co">g.gordillo43@uniandes.edu.co</a>
Clasificación	C con vigencia hasta 2018-05-20 - Convocatoria 737 de 2015
Área de conocimiento	Ingeniería y Tecnología -- Ingeniería Mecánica
Programa nacional de ciencia y tecnología	Investigaciones en Energía y Minería
Programa nacional de ciencia y tecnología (secundario)	Ciencia, Tecnología e Innovación en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat

### Instituciones

1.- Universidad De Los Andes - Uniandes - (Avalado)

### Plan Estratégico

Plan de trabajo: Meta Consolidarse como grupo de investigación líder en el uso y transformación de la energía en las siguientes líneas: 1. Energías no renovables a Combustibles (gas natural y otros hidrocarburos) b Combustión e incineración c Polución del aire (control de emisiones contaminantes en industrias y vehículos, calidad del aire) e Maquinas térmicas (calderas, vehículos, sistemas de aire acondicionado f Uso racional de la energía 2. Energías renovables a Energía solar b Energía eólica c Energía hidráulica d Biomasa Objetivo 1. Ser reconocidos por Colciencias como grupo de investigación líder en el área de conversión de energía (Presentando los trabajos que realiza el grupo en congresos internacionales y publicando en revistas científicas de primera línea) 2. Aumentar la capacidad de investigación del grupo: a Aumentando el número de investigadores involucrados activamente dentro del grupo b. Capacitación continuada a los integrantes del grupo. Pasantías en el exterior para los integrantes de grupo que poseen título de doctorado y realización de programa de doctorado para los integrantes del grupo que tienen título de maestría c. Mejorando la infraestructura física del grupo (adquisición de nuevos equipos de medición y adquisición de un espacio físico propio para el desarrollo de las actividades de investigación del grupo) 3. Incrementar el número y tamaño (Si/año) de los proyectos de investigación que realiza el grupo (buscando recursos provenientes de entidades internacionales y desarrollando proyectos en cooperación con grupos similares de otros países)

Estado del arte: Combustibles: A nivel nacional los grupos se están enfocando hacia la producción de biocombustibles y búsqueda de aditivos a la gasolina. A nivel internacional se busca el uso de combustibles más limpios como gas natural y celdas de combustibles. El grupo conversión de energía se enfoca hacia el uso de gas natural. Combustión e incineración: A nivel internacional los esfuerzos están centrados en el control de emisiones contaminantes en incineradores de desechos peligrosos. A nivel nacional se sigue el mismo enfoque. Polución del aire: Se están enfocando los esfuerzos hacia desarrollar modelos de calidad del aire y efectos de la polución del aire. El grupo se centra sus esfuerzos en redes de monitoreo y sistemas de medición de la calidad del aire Maquinas térmicas: los esfuerzos están centrados en controlar automáticamente las maquinas térmicas. El grupo se centra en optimizar la forma como las maquinas térmicas usan la energía, sustitución de combustibles y control de las emisiones contaminantes que generan estas maquinas. En el área de vehículos automotores los esfuerzos internacionales se centran en el desarrollo de celdas de combustibles. El grupo centra sus esfuerzos en impulsar el uso de gas natural en vehículos dando respuesta a los problemas de altitud y variación en la composición del gas natural, uso racional de energía: Los esfuerzos se centran en brindar a la industria asesoria en la manera de optimizar el uso de la energía en las plantas de producción. Energías renovables: Los esfuerzos se centran en encontrar alternativas para disminuir costos de los equipos de generación de energía eléctrica y asegurar suministro de energía mediante la implementación de sistemas híbridos.

Objetivos: Objetivo 1. Ser reconocidos por Colciencias como grupo de investigación líder en el área de conversión de energía (Presentando los trabajos que realiza el grupo en congresos internacionales y publicando en revistas científicas de primera línea) 2. Aumentar la capacidad de investigación del grupo: a Aumentando el número de investigadores involucrados activamente dentro del grupo b. Capacitación continuada a los integrantes del grupo. Pasantías en el exterior para los integrantes de grupo que poseen título de doctorado y realización de programa de doctorado para los integrantes del grupo que tienen título de maestría c. Mejorando la infraestructura física del grupo (adquisición de nuevos equipos de medición y adquisición de un espacio físico propio para el desarrollo de las actividades de investigación del grupo) 3. Incrementar el número y tamaño (Si/año) de los proyectos de investigación que realiza el grupo (buscando recursos provenientes de entidades internacionales y desarrollando proyectos en cooperación con grupos similares de otros países)

Retos: 1. Consolidar el grupo de tal forma que este en capacidad de cumplir con los objetivos del grupo ya especificados 2. Incubar empresas que surjan como producto de las actividades de investigación realizadas por el grupo

Visión: Ser grupo de investigación líder en el área de conversión de energía y sus líneas de investigación, con una o dos empresas incubadas en funcionamiento, con mas de 40 estudiantes activos en el grupo en forma permanente, 5 de ellos en el programa doctoral, 1 profesor con doctorado liderando cada una de las líneas de investigación.

### Líneas de investigación declaradas por el grupo

- 1.- Combustibles
- 2.- Combustión e incineración
- 3.- Energías renovables
- 4.- Gestión y estudios en asuntos aeroespaciales, GEAA
- 5.- Máquinas térmicas
- 6.- Polución del aire
- 7.- Secado
- 8.- Uso racional de la energía

Figura 9. Visualización de la información de un grupo de investigación asociado al Programa de Investigaciones en Energía y Minería.

Fuente: Página web Colciencias- Plataforma SCIENTI

De particular interés es la información de las áreas de investigación trabajadas por cada uno de los grupos. En algunos casos las líneas de investigación de los grupos son declaradas de forma general y no se indica en que tecnologías de energías renovables tiene capacidades, para estos grupos se revisa la información de los proyectos realizados para determinar esta información. En la Figura 10 se evidencia la visualización de la información de los proyectos ejecutados por el grupo de investigación.

Proyectos	
1.- Investigación y desarrollo: Prototipo Turbinas Fluviales Acuavatio	2015/8 - Actual
2.- Investigación, desarrollo e innovación: Gasificación y pirólisis de biomasa	2011/8 - Actual
3.- Investigación, desarrollo e innovación: Mejoramiento tecnológico con asistencia solar en la extracción de almidón de sagú.	2011/2 - 2012/5
4.- Investigación, desarrollo e innovación: Diagnóstico y auditorías energéticas para identificar un portafolio de empresas con potencial para desarrollar proyectos bajo contratos de desempeño con empresas Cundinamarca de la Cámara de Comercio de Bogotá	2011/1 - Actual
5.- Investigación y desarrollo: Convenio de Revisión del Código de Construcción de Bogotá	2009/11 - 2010/5
6.- Investigación y desarrollo: Determinación de la huella energética y de carbono de la madera en un proyecto de vivienda en el trópico húmedo colombiano.	2009/8 - 2011/9
7.- Investigación, desarrollo e innovación: Diseño y construcción de dirigibles para transporte de pasajeros	2007/1 - Actual
8.- Investigación, desarrollo e innovación: Diseño y evaluación de un ultratransvino nacional	2007/1 - Actual
9.- Investigación y desarrollo: Desarrollo de un sistema de control para los procesos de desalinización de agua y refrigeración, con base en plantas de ósmosis inversa y refrigeradores, operados con sistemas de energía no convencional	2003/1 - 2003/Sin mes
10.- Investigación, desarrollo e innovación: Proyecto Uniandino Aeroespacial (PUA)	2001/1 - Actual
11.- Investigación y desarrollo: Impacto ambiental por iluminación en las instalaciones de I	1998/1 - 1998/Sin mes
12.- Investigación y desarrollo: Elaboración de mapas de visibilidad de las teas en cupiagua	1998/1 - 1998/Sin mes
13.- Extensión y responsabilidad social CTI: Mapas de isoruido y evaluación en receptores sensitivos	1997/1 - 1997/Sin mes
14.- Extensión y responsabilidad social CTI: Mapas de isoruido y zonas críticas	1997/1 - 1997/Sin mes
15.- Investigación y desarrollo: Impacto ambiental por fuentes de ruido en las instalaciones	1997/1 - 1997/Sin mes
16.- Investigación y desarrollo: Mapas de isoradiación para ocho escenarios de emergencia y e	1997/1 - 1997/Sin mes
17.- Investigación y desarrollo: Impacto ambiental por radiación térmica de las teas de CPF d	1997/1 - 1997/Sin mes
18.- Investigación y desarrollo: Evaluación de impactos ambientales durante tres fases de la	1996/1 - 1996/Sin mes
19.- Investigación y desarrollo: Impacto ambiental por fuentes de ruido durante la construcci	1996/1 - 1996/Sin mes
20.- Investigación y desarrollo: Estudio de alternativas energéticas del area de influencia	1996/1 - 1996/Sin mes
21.- Investigación y desarrollo: Diseño del sistema de acondicionamiento de aire para el nuev	1995/1 - 1995/Sin mes

Figura 10.. Visualización de la información de proyectos de un grupo de investigación asociado al Programa de Investigaciones en Energía y Minería.

Fuente: Página web Colciencias- Plataforma SCIENTI

Los datos obtenidos de cada uno de los grupos de investigación fueron registrados en una hoja de cálculo de Excel, donde se incluyeron los nombres de los grupos, nombre del líder, categoría de cada uno de ellos, entre otros datos. En el ANEXO 1. Listado de grupos de investigación y líneas de investigación en energías renovables se presenta el resumen de la información de los 109 grupos de investigación en Energía y Minería con las líneas de investigación específicas en Energías Renovables que maneja cada grupo. De acuerdo con la información recopilada, se encuentra que, de los grupos asociados al Programa de Energía y Minería, 70 tienen líneas de investigación asociadas a energías renovables. En la Figura 11 se presentan los resultados del análisis representado en el número de grupos por cada una de las líneas de investigación relacionadas con energías renovables.

## Líneas de Investigación en Energías renovables en grupos de investigación colombianos

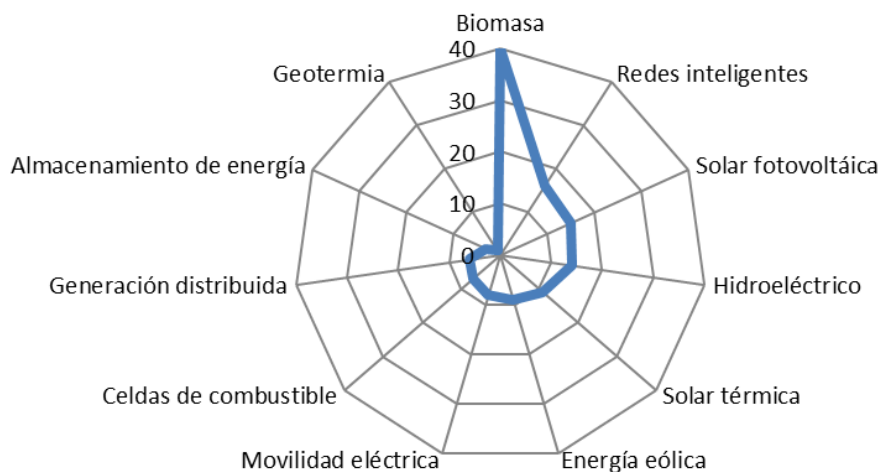


Figura 11. Líneas de investigación en Energías Renovables identificadas en grupos de investigación colombianos.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de GrupLAC

Alternativamente a la identificación de capacidades endógenas, correspondientes a las líneas de trabajo de los grupos de investigación que se toma como base para la priorización de áreas de investigación en el presente trabajo, se plantea la alternativa del enfoque de colegios invisibles, que permite la identificación de comunidades de investigación, que no necesariamente hacen parte de los grupos de investigación, adicionalmente se podría realizar una identificación de temas comunes y realizar agrupaciones de los mismos, los cuales pueden ser la entrada para la identificación de temas a partir de capacidades endógenas a evaluar, junto con los criterios restantes en el proceso de jerarquización AHP.

Adicional a la información secundaria identificada en la base de datos de la plataforma GrupLAC en la página web de Colciencias, se realiza una consulta a grupos de investigación de los cuales se identifican líneas de trabajo en Energías Renovables. La consulta fue respondida por 18 grupos de investigación e incluye aspectos adicionales de estos grupos como las líneas de trabajo, la disponibilidad de laboratorios especializados, el desarrollo de proyectos piloto en el área, y el tipo de productos generados por estos grupos.

A continuación, se resumen las respuestas obtenidas en esta consulta:

De los resultados, se valida por ejemplo que el área de investigación que más grupos trabajan es la de biomasa, así como la importancia de áreas como energía solar, eólica, hidroeléctrica y redes inteligentes en las líneas de trabajo de dichos grupos (Ver Figura 13). Igualmente se identifica que la mayoría de los grupos reporta contar con laboratorios especializados (Figura 14) y haber desarrollado proyectos piloto o semi-industriales en Energías Renovables (Figura 15) y que los productos más frecuentes en los grupos son los artículos científicos en revistas indexadas (Figura 16).

Se evidencia que de los grupos que contestaron la encuesta, solo 2 (11%) presentan resultados a nivel de patentes en esta área por lo que es un mecanismo de protección a fortalecer para el desarrollo de estas tecnologías. De los anteriores resultados se evidencia contar con capacidades en los grupos de investigación en las diferentes áreas de energías renovables, reflejadas en resultados, principalmente a nivel de publicación de artículos y en menor medida a través de protección de propiedad industrial como patentes. Adicionalmente, la mayoría de estos grupos manifiestan contar con infraestructura correspondiente a laboratorios, así como plantas piloto o proyectos semiindustriales para el desarrollo de investigaciones en Energías Renovables.

### Pregunta 1

¿El grupo tiene líneas de investigación en Energías Renovables?

18 responses

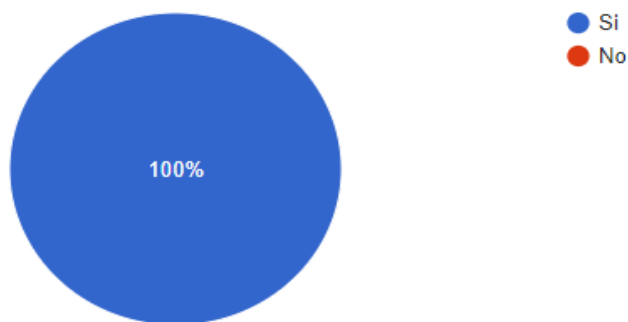


Figura 12. Pregunta de validación de líneas de trabajo en Energías Renovables.



Fuente: Resultados de consulta en Google Forms

## Pregunta 2

### Áreas de investigación en ER de los grupos de investigación identificados

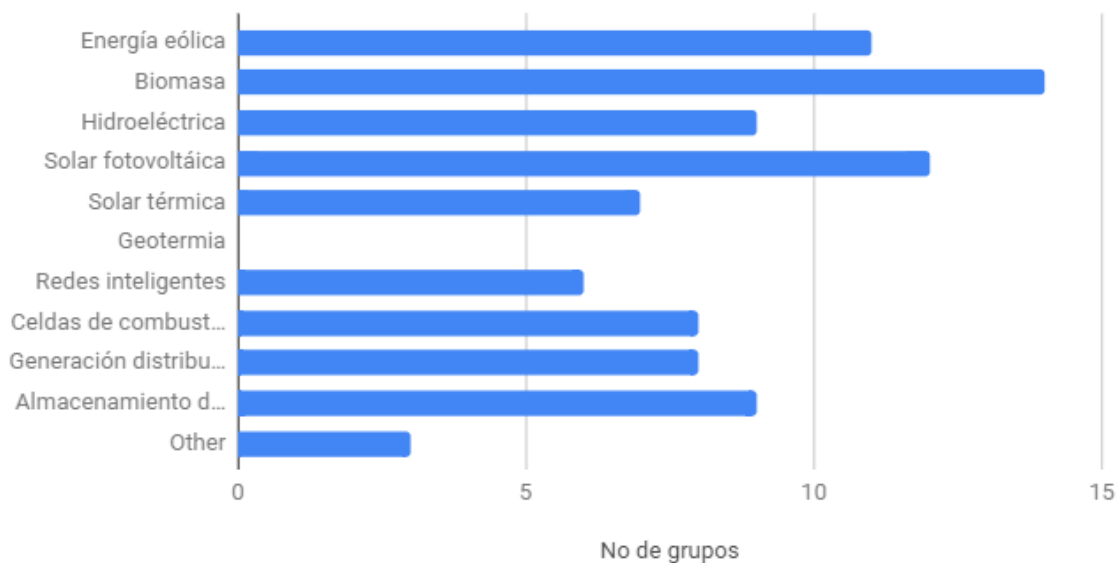


Figura 13. Áreas de trabajo en Energías renovables de los grupos de investigación consultados.

Fuente: Resultados de consulta en Google Forms

## Pregunta 3

### ¿El grupo cuenta con laboratorios especializados para investigación en Energías renovables?

18 responses

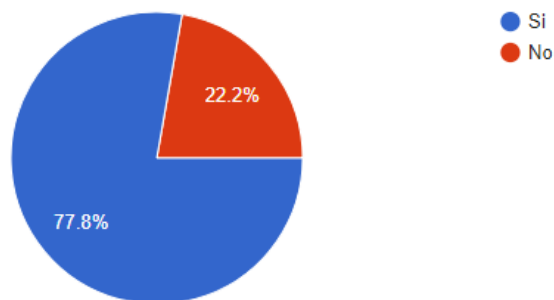


Figura 14. Información de grupos que cuentan con laboratorios especializados para investigación en Energías Renovables.

Fuente: Resultados de consulta en Google Forms

#### Pregunta 4

¿El grupo cuenta ha desarrollado proyectos piloto/Semi-industriales o industriales en Energías renovables?

18 respuestas

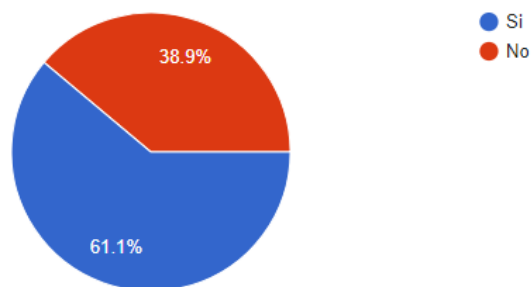


Figura 15. Información de grupos que han desarrollado plantas piloto o proyectos semi-industriales

Fuente: Resultados de consulta en Google Forms

#### Pregunta 5

¿que tipos de resultados o productos de investigación ha obtenido el grupo?

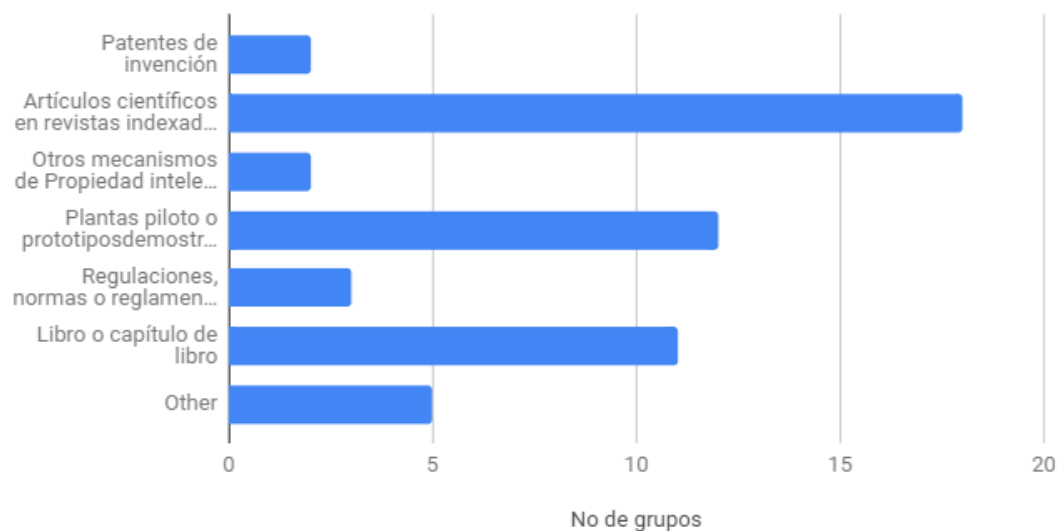


Figura 16. Información de productos de investigación que han obtenido los grupos.

Fuente: Resultados de consulta en Google Forms

## PRIORIZACIÓN ÁREAS AGENDA DE INVESTIGACIÓN

En la definición de áreas prioritarias para la construcción de agendas de investigación se propone el uso de información tanto de tendencias internacionales de producción científica y tecnológica, como de información de grupos de investigación locales, información sectorial y otra que se considere de interés, dependiendo de las áreas de conocimiento involucradas. En el caso de energías renovables, se tomó información de disponibilidad en el país de recursos energéticos para el aprovechamiento de esas tecnologías.

La metodología propuesta incluyó tanto el análisis de tendencias a partir de información científica y tecnológica, encontrada en fuentes como bases de datos de artículos científicos, patentes, información de grupos de investigación en Colombia asociados al tema, como otros criterios específicos que incluyen la disponibilidad de recursos para el aprovechamiento de este conocimientos y tecnologías en el país. Posteriormente se realizó una priorización de temas y una jerarquización de criterios con apoyo de expertos, para una primera identificación de áreas, que al contrastarlo con un análisis de entorno permitió determinar una lista final de áreas de investigación. En la Figura 17, se presenta un esquema de la metodología utilizada.



Figura 17. Esquema de metodología para determinar temas prioritarios de investigación

Fuente: Elaboración propia

## Análisis de tendencias artículos sobre energías renovables

Para la selección de áreas de investigación en energías renovables se parte de una ecuación de búsqueda general, correspondiente a artículos que, en su título, palabras claves o resumen involucrara el término “renewable energy”. Se parte de una ecuación de búsqueda general, buscando ir depurando los resultados, evitando que se queden por fuera términos o tecnologías asociadas que puedan ser omitidas en una delimitación por tecnologías. A continuación, se presenta información de los parámetros de búsqueda:

- Base de datos: Scopus
- Fecha de búsqueda: 16 de octubre de 2017
- Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ("renewable energy") AND PUBYEAR > 1989 AND PUBYEAR < 2017)
- Rango de búsqueda: 1990 a 2016
- No de resultados: 73853 resultados

En la Figura 18 se presenta una visualización de los resultados obtenidos en la búsqueda en la base de datos de *Scopus*:

Scopus Search Sources Alerts Lists Help v SciVal » Register > Login v

73,853 document results View secondary documents View 42031 patent results Search your library

TITLE-ABS-KEY ("renewable energy") AND PUBYEAR > 1989 AND PUBYEAR < 2017

Edit Save Set alert Set feed

Search within results... Analyze search results Show all abstracts Sort on: Date (newest)

All Export Download View citation overview View cited by Add to List

	Document title	Authors	Year	Source	Cited by
<input type="checkbox"/>	1 Design of solar energy system in food manufacturing environment	Mo, J.P.T.	2016	Cogent Engineering 3(1),1233613 Open Access	0
View abstract v View at Publisher Related documents					
<input type="checkbox"/>	2 Optimal configuration for cascaded voltage source multilevel inverter based on series connection sub-multilevel inverter	Thakre, K., Barada Mohanty, K., Sagar Kommukuri, V., Chatterjee, A.	2016	Cogent Engineering 3(1),1261470 Open Access	0

Refine results Limit to Exclude

Year

- 2016 (10,136) >
- 2015 (8,774) >
- 2014 (8,346) >
- 2013 (7,420) >
- 2012 (6,619) >

Figura 18. Visualización resultados de búsqueda SCOPUS.

Fuente: Scopus

Respecto a la producción científica por años, se evidencia un crecimiento constante del número de artículos científicos para esta área de conocimiento pasando de 115 artículos en 1990 a 10136 en el 2016 (Ver Figura 19):

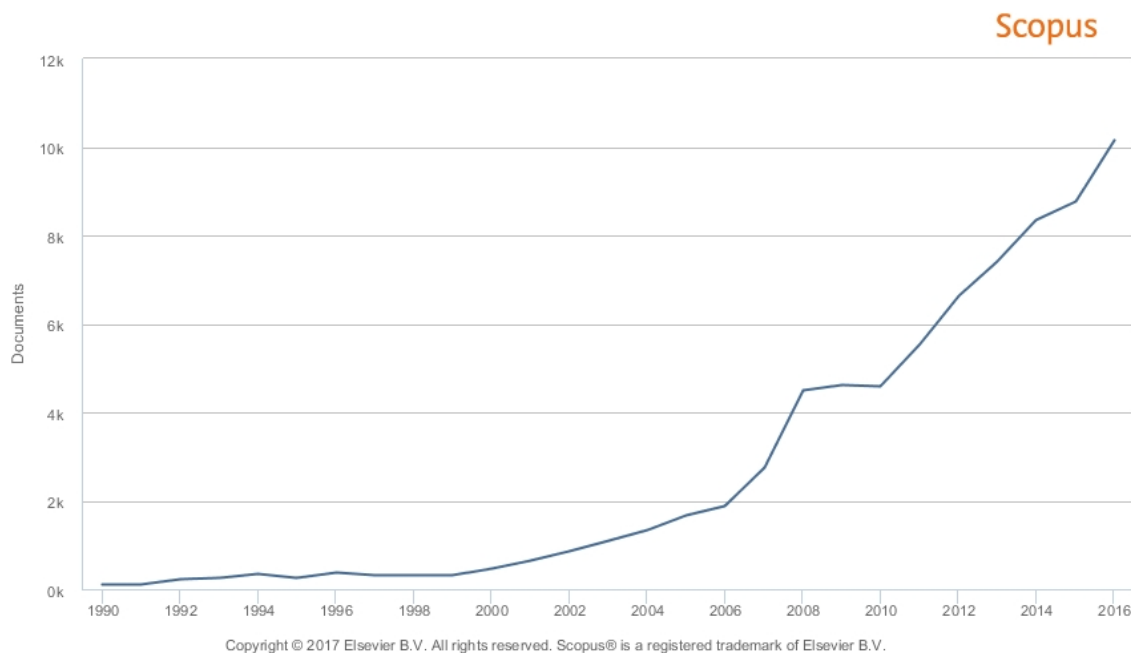


Figura 19. Evolución de número de artículos científicos anuales entre 1990 y 2016.

Fuente: Scopus

### **Análisis de producción artículos científicos**

Se toma como base para la definición de las tecnologías o áreas de investigación con mayor producción científica en el campo de estudio, las palabras clave de los artículos. Al hacer una revisión de las palabras clave, muchas de estas corresponden a términos generales como *energías renovables, renovable, recursos renovables, energías, etc.* Debido a esto, solo se tienen en cuenta aquellas relacionadas con tecnologías o áreas de conocimiento, de forma que puedan servir como base para definir prioridades de investigación.

De acuerdo con las anteriores consideraciones se depura la información, para la selección únicamente las palabras clave relacionadas con tecnologías o áreas de investigación específicas encontramos los resultados presentados en la Tabla 1.

<b>Palabra clave</b>	<b>Frecuencia</b>
Wind Power	9290
Solar Energy	7043
Biomass	6361
Energy Efficiency	5047
Energy Resources	3644
Wind Turbines	3223
Photovoltaic Cells	3073
Energy Storage	2860
Smart Power Grids	2447
Solar Power Generation	2405
Hydrogen	2170
Smart Grid	2017
Distributed Power Generation	1944
Fuel Cells	1924
Wind Energy	1798
Biogas	1747
Biofuels	1658
Micro Grid	1627
Solar Power	1574
Geothermal Energy	1492
Solar Radiation	1448
Biofuel	1376
Photovoltaic	1355
Wind	1272

Tabla 1. Frecuencia de palabras clave en artículos científicos en energías renovables.

Fuente: Elaboración propia con datos de Scopus

Para algunas de las categorías identificadas por medio de palabras clave, como es el caso de energía solar, no es posible identificar si se trata de energía solar fotovoltaica, térmica o termoeléctrica. Igualmente, en el caso de energía eólica hay una categoría general y otra correspondiente a turbinas eólicas. En estos casos se agrupan las tecnologías en energía solar o energía eólica, así mismo se realizan agrupaciones de palabras de las diferentes tecnologías. A continuación, los resultados de agrupación, de acuerdo con su frecuencia en las palabras clave de los artículos identificados (Ver Figura 20):

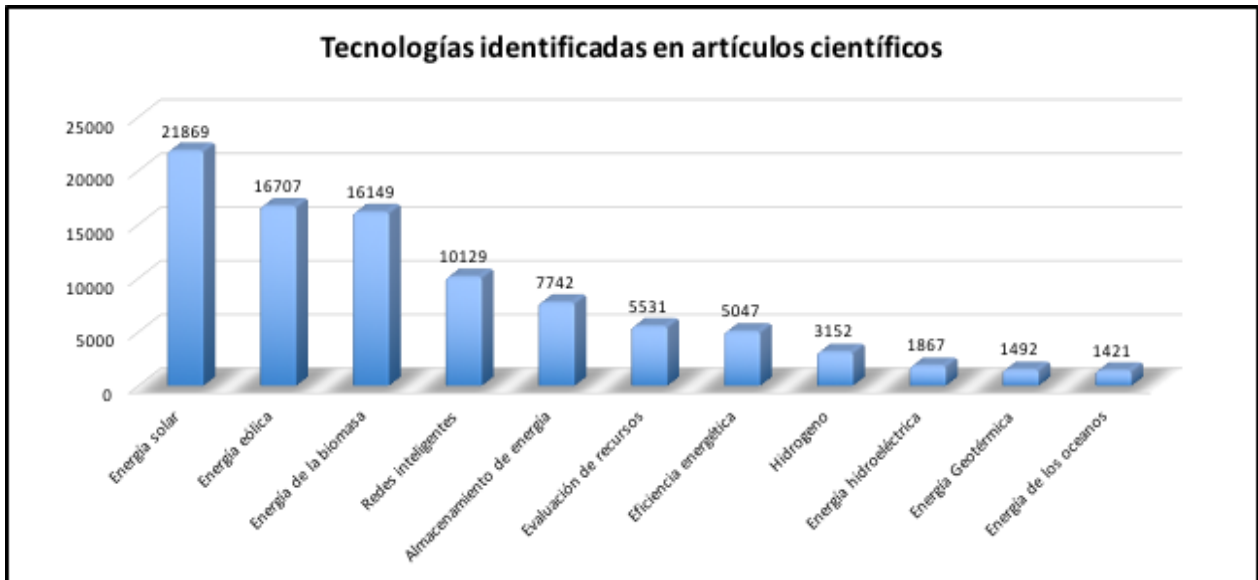


Figura 20. Tecnologías agrupadas en energías renovables con base en frecuencia de palabras clave en artículos científicos.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Scopus

De acuerdo con el alcance del estudio enfocado a tecnologías para la generación de energía eléctrica, a continuación, se presentan las tecnologías priorizadas, a partir de la producción científica en el intervalo seleccionado:

- Energía solar
- Energía eólica
- Energía de la biomasa
- Hidrógeno
- Energía hidroeléctrica
- Energía Geotérmica
- Energía de los océanos

Se resalta la presencia en los resultados de temas o tecnologías no asociados directamente a la generación de energía, como es el caso de: eficiencia energética, evaluación de recursos energéticos, almacenamiento de energía y redes inteligentes. Algunos de los estos podrían ser importantes en el desarrollo de una agenda en energías renovables.

## Análisis de tendencias Bases de datos de patentes

La búsqueda de patentes se realiza en el Portal Patent Inspiration, donde se consideran las patentes que en su título o resumen tengan el término “renewable energy”. La búsqueda, al igual que con los artículos científicos se realiza entre 1990 y 2016. Igualmente, de acuerdo con la clasificación Cooperativa de Patentes (CPC), se incluye en los criterios de búsqueda un filtro correspondiente al código CPC “Y02E” o tecnologías para “reducción de emisión de gases de efecto invernadero relacionados con generación, transmisión o distribución de energía”. A continuación, los principales parámetros de esta búsqueda:

- Base de datos: Patent inspiration
- Acceso: <https://app.patentinspiration.com/>
- Fecha de búsqueda: 13 de noviembre de 2017
- Ecuación de búsqueda: Patents with "renewable energy" in Title or Abstract, Patents with **Y02E children included** in CPC Codes
- Rango de búsqueda: 1990 a 2016
- No de resultados: 1757 resultados

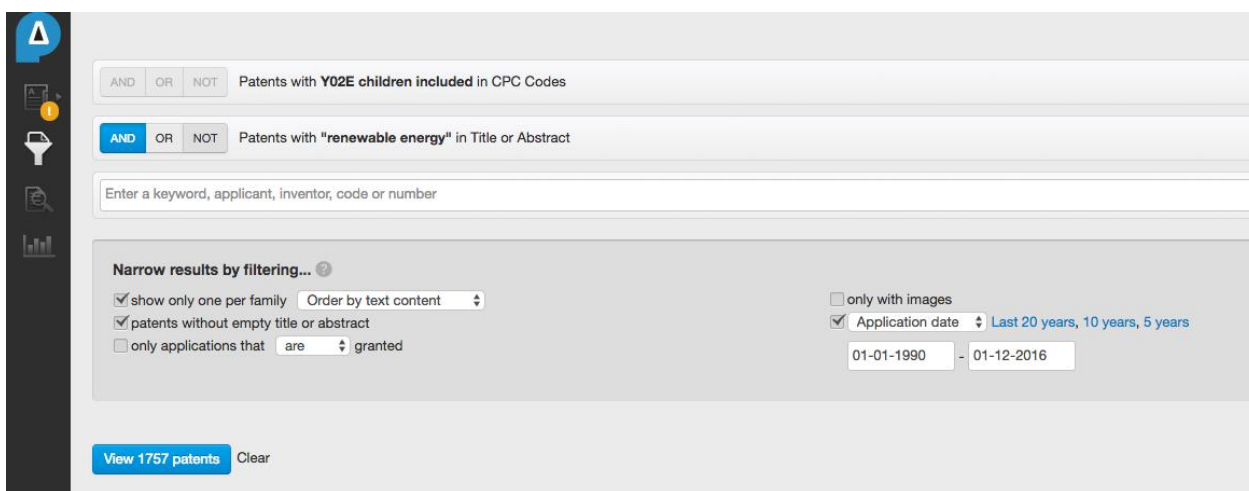


Figura 21. Visualización Portal Patent Inspiration con Ecuación de búsqueda propuesta

Fuente: Plataforma Patent inspiration



En la Figura 22 se presenta la distribución por países con aplicaciones de patente con base en los criterios de búsqueda utilizados correspondientes a tecnologías de energías renovables. De estos resultados, es posible observar que Estados Unidos y China tienen una clara ventaja en el número de patentes en el tema, donde también se destacan países como Reino Unido, Japón y Alemania:

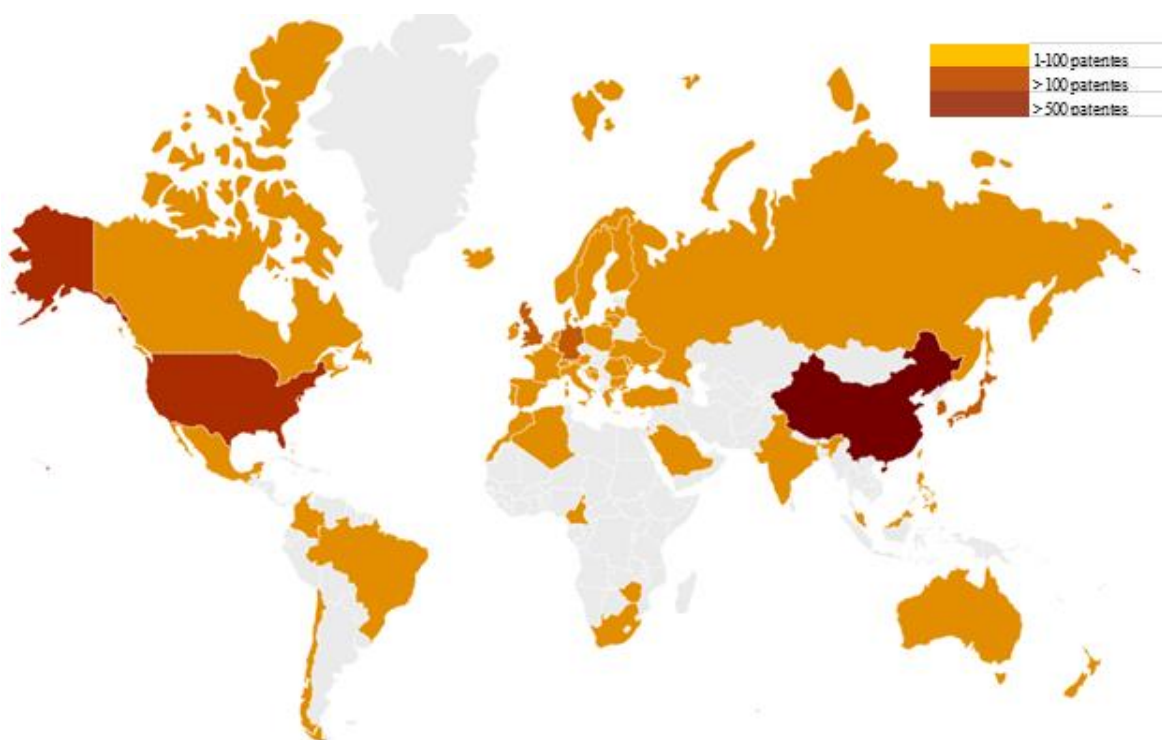


Figura 22. Países con mayor número de patentes en energías renovables.

Fuente: Patent Inspiration

De acuerdo con la revisión de la clasificación de las diferentes patentes y agrupando con base en las tecnologías correspondientes a generación de energía eléctrica a partir de energías renovables se tiene la clasificación presentada en la Tabla 2:

<b>CPC</b>	<b>Tecnología</b>	<b>No patentes</b>
Y02E10/72/74/721/723/725 /728/763/766	Eólica	701
Y02E10/50/563/566	Fotovoltaica	294
Y02E10/40/44/46/47	Solar térmica	276
Y02E70/30, Y02E60/17	Almacenamiento de energía	252

Y02E10/22/28/223	Hidráulica	227
Y02E70/10, Y02E60/366	Hidrógeno	171
Y02E10/38	De los océanos	159
Y02E50/10/13/30/343	Biomasa	148
Y02E40/72	Redes inteligentes	46
Y02E10/10	Geotérmica	34

Tabla 2. No de patentes por tecnología con base en la clasificación de patentes (CPC).

Fuente: Elaboración propia con base en información de la base de patentes “Patent Inspiration”

Al filtrar las tecnologías correspondientes a generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía encontramos la siguiente priorización:

- Energía Eólica
- Energía solar fotovoltaica
- Energía solar térmica
- Energía hidráulica
- Energía de los océanos
- Energía de la Biomasa
- Energía Geotérmica

También se destaca la presencia de temas asociados a las energías renovables, diferentes a los correspondientes a tecnologías para generación de energía, como son, el almacenamiento de energía y las redes inteligentes.

### **Líneas de grupos de investigación nacionales**

Para la revisión de las líneas de trabajo de los grupos de investigación relacionados con energías renovables, se toma la información recopilada a partir de los datos de los grupos correspondientes al Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería (109 grupos) identificados en la plataforma GrupLAC. Se encuentra que las tecnologías transversales como redes inteligentes y movilidad eléctrica a pesar de no corresponder a tecnologías para generación eléctrica, son de gran importancia en el ámbito

de las energías renovables como habilitadoras en el desarrollo de estas energías. A continuación, las tecnologías de generación de energía eléctrica, que se priorizan para la definición de áreas de investigación:

1. Energía de la Biomasa
2. Energía Solar fotovoltaica/Celdas Solares
3. Pequeñas Centrales hidroeléctricas
4. Energía eólica
5. Energía Solar térmica
6. Hidrogeno
7. Energía Geotérmica

### **Evaluación recursos**

Para la evaluación de los recursos renovables en el país para la generación de energía se han realizado varios estudios que buscan determinar su potencial. Entre estos se encuentran atlas y mapas de recursos hídricos, solar, eólico, geotérmico y de biomasa residual, así como una tesis que incluye una evaluación del potencial energético de los océanos. Estos estudios no necesariamente tienen la resolución requerida para brindar información para la instalación de proyectos específicos y en muchos casos se realizaron hace varios años. Sin embargo, se considera que la información es útil para determinar un potencial inicial de uso de estos recursos.

Basado en la información recopilada en estos estudios y mapas de recursos, se determina un potencial para el país de cada uno de estos, la información específica de los mapas consultados y el detalle de la disponibilidad de estos recursos se puede consultar en el ANEXO 2. Evaluación de potenciales de recursos energéticos para energías renovables en Colombia

Teniendo en cuenta los factores de planta que usa la UPME en su Plan de Expansión de referencia (UPME; Minminas, 2016, pp 265) y los valores de potencial previamente identificados, se realizaron cálculos de energía (GWh/año) por tipo de fuente para cada una

de las fuentes de energía renovable. En la Tabla 3, se presenta una relación del potencial de energía anual por tipo de fuente:

<b>Recurso</b>	<b>Factor de Planta (%)</b>	<b>Potencial energía (GWh/año)</b>
<b>Energía eólica</b>	44%	701.501
<b>Energía solar</b>	15%	568.944
<b>Energía hidroeléctrica</b>	70%	344.618
<b>Energía biomasa</b>	64%	79.964
<b>Energía geotérmica</b>	72%	13.939
<b>Energía de los océanos</b>	30%	263

Tabla 3. Potencial de generación de energía anual (GWh/año) para las diferentes fuentes de energía renovable.

Fuente: Elaboración propia con datos de mapas y bibliografía citada en el documento

### **Análisis jerárquico para priorización de áreas a partir de tendencias**

Se aplica la herramienta de proceso jerárquico analítico (AHP por sus siglas en inglés) elaborada por Klaus D. Goepel en versión del 11 de octubre de 2017. Inicialmente se realizan unas consultas para determinar la priorización de los criterios para tener en cuenta en la evaluación de las áreas de investigación, basados en la calificación de expertos en estos criterios. Para esto, se enviaron previamente encuestas vía Google Forms con los parámetros solicitados por la herramienta de proceso jerárquico analítico, y posteriormente se introducen los datos de las encuestas a la herramienta para la priorización de criterios y de áreas de investigación. En la Figura 23 se presenta una visualización de la encuesta enviada.

## Priorización criterios Agenda Energías Renovables

En el marco del proyecto "Desarrollo de una metodología para análisis de tendencias tecnológicas como base para la construcción de una agenda de investigación en energías renovables en Colombia", se busca priorizar una serie de criterios para la selección de tecnologías en Energías Renovables, los cuales, con base en información adicional de tendencias y datos cuantitativos identificados, permitirán definir una propuesta de agenda en Energías Renovables.

El análisis se realizará mediante la metodología de Proceso Jerárquico Analítico (o AHP por sus siglas en inglés), por lo cual se le solicitará seleccionar entre algunos criterios e incluir una calificación que evalúe su selección. Agradecemos su colaboración en este trabajo, una vez finalizado el mismo, estaremos socializando los resultados y validando los mismos entre grupos de interés en el tema de Energías Renovables.

**\* Required**

**Email address \***

Your email

**Clasifique en orden de prioridad las siguientes opciones**

	Primero	Segundo	Tercera	Cuarta
Tendencias de producción científica (Artículos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tendencias tecnológicas (Patentes)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 23. Visualización encuesta priorización de criterios:

Fuente: Google Forms

La encuesta fue respondida por 10 expertos. Cabe anotar que en las respuestas quedaron incluidos tanto expertos de grupos de investigación, como de empresa y de una entidad estatal (Colciencias). En la metodología se menciona la validación de expertos sin establecer un número específico, en este caso, se buscó incluir al menos un experto de cada tipo de entidad asociada al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (universidad, empresa, estado). A continuación, en la Tabla 4, se presenta el número de participantes que respondieron la encuesta para la priorización de criterios por tipo de entidad.

<b>Tipo de entidad</b>	<b>No de participantes</b>
Universidad	7
Empresa	2
Entidad pública	1

Tabla 4. Número de participantes en encuesta por tipo de entidad

A partir de los criterios priorizados y la información obtenida del análisis de patentes, artículos científicos, líneas de grupos de investigación y disponibilidad de recursos, se procede a realizar la clasificación de las tecnologías por orden de prioridad, de acuerdo con estas tendencias. En la Figura 24 y Figura 25, se presenta una visualización de los resultados a partir de las diez consultas realizadas:

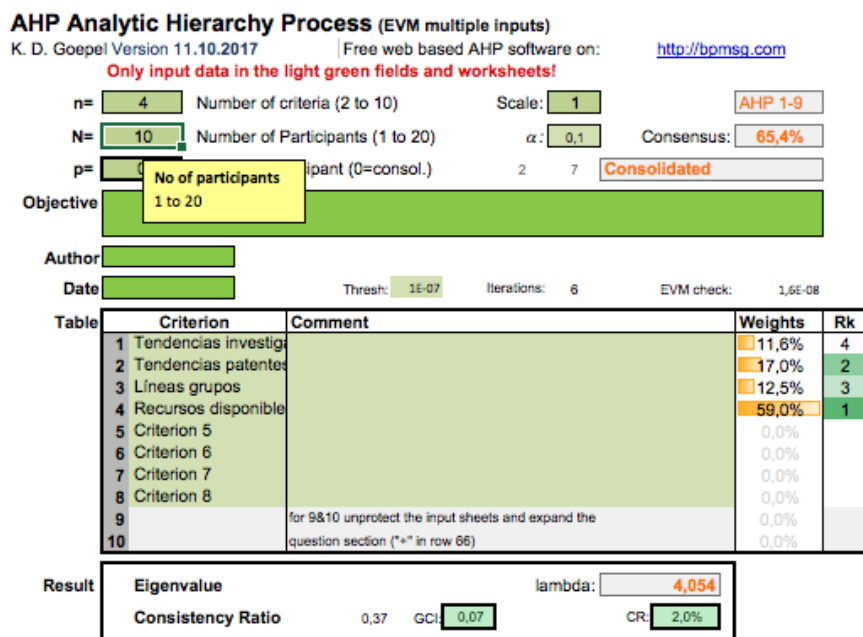


Figura 24. Visualización resultados priorización de criterios herramienta AHP:

Fuente: Herramienta AHP

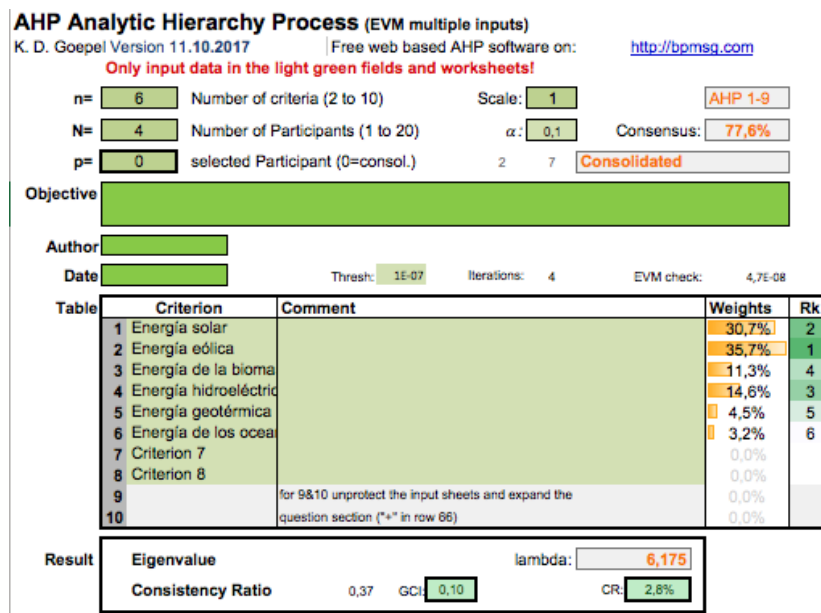


Figura 25. Visualización resultados priorización de tecnologías o áreas de investigación con base en tendencias tecnológicas y de investigación

Fuente: Herramienta AHP

Al evaluar la relación de Consistencia(CR)<sup>2</sup>, de la cual Saaty sugiere que debe ser menor a 0,1 (10%) (Bhushan & Rai, 2004), solo cinco de las encuestas cumplen este criterio En la Figura 26 se presenta una visualización de los resultados de priorización de criterios con base en la aplicación de la herramienta de proceso jerárquico analítico con estas cinco encuestas.

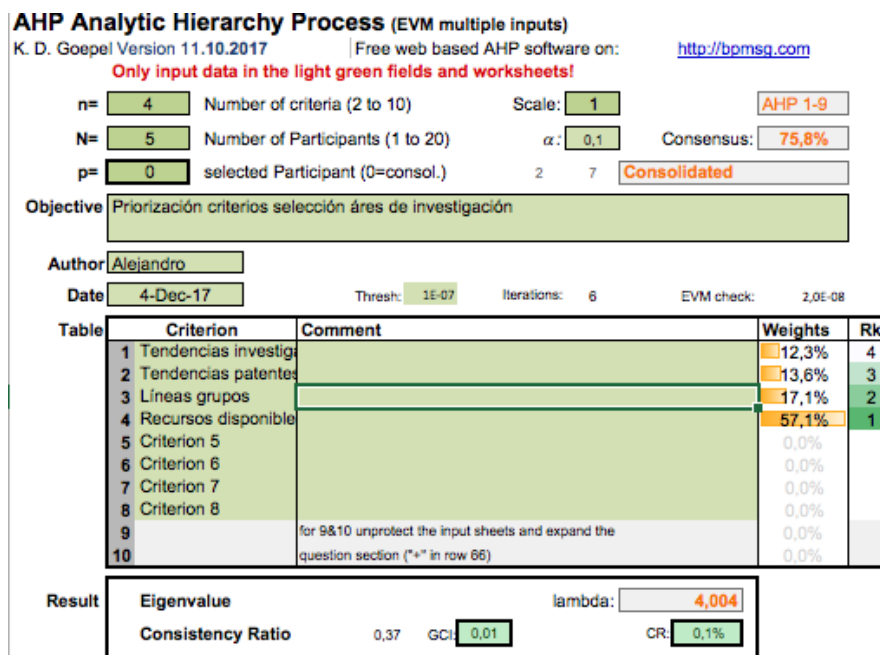


Figura 26. Visualización resultados priorización de criterios herramienta AHP.

Fuente: Herramienta AHP

Cabe anotar que se revisaron los resultados incluyendo los cinco participantes que cumplían el criterio del índice de consistencia, e incluyendo la totalidad de los diez participantes. En los dos casos, la priorización incluye las mismas tres tecnologías como prioritarias (solar,

<sup>2</sup> La consistencia de la matriz obtenida en el método AHP se evalúa, para lo cual se obtienen las evaluaciones del Índice de consistencia (CI), el índice aleatorio (RI) y la relación de consistencia (CR). Si el índice de consistencia no alcanza el nivel requerido, las respuestas a las comparaciones pueden volver a examinarse. El índice de consistencia, CI, se calcula como:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n-1)$$

Donde  $\lambda_{max}$  es el valor propio máximo de la matriz de evaluación. El CI se puede comparar con el de una matriz aleatoria, RI. La relación derivada, CI / RI, se denomina cociente de consistencia, CR. Saaty sugiere que el valor de CR debe ser menor a 0.1.

eólica e hidroeléctrica). En la Figura 27 se presentan los resultados de la priorización correspondiente a los cinco participantes con un valor de índice de consistencia sugerido.

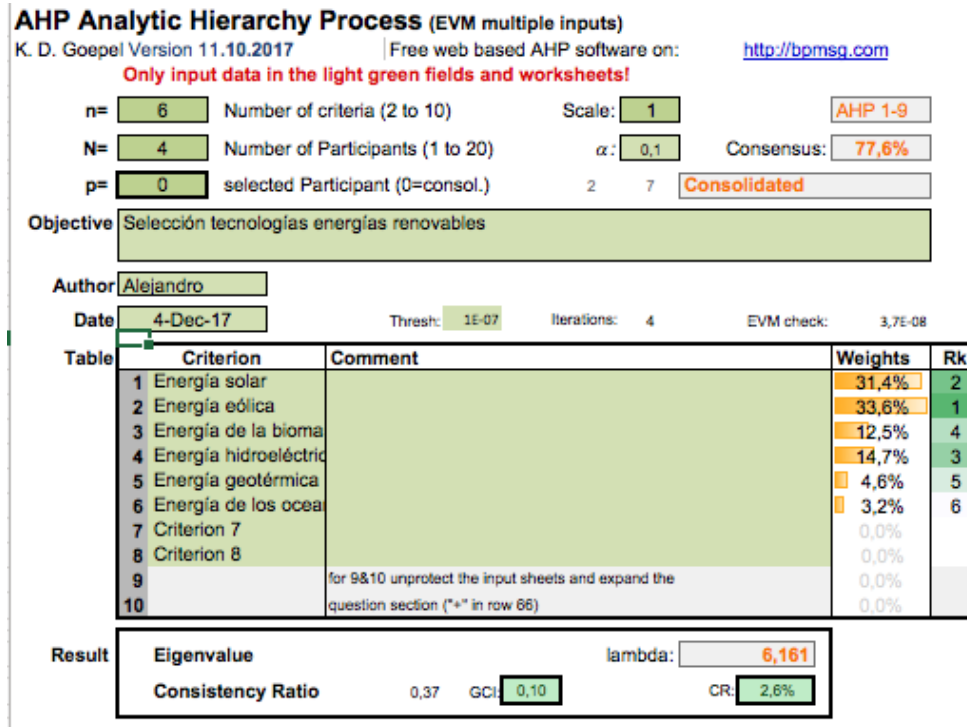


Figura 27. Visualización resultados priorización de tecnologías o áreas de investigación con base en tendencias tecnológicas y de investigación (5 participantes)

Fuente: Herramienta AHP

## Información de entorno

### Estudios y planes internacionales en energías renovables

Dentro de los estudios y planes internacionales que se toman como referencia para el presente trabajo se encuentra el desarrollado por la Agencia Internacional de Energías Renovables, (IRENA, 2014), donde se definió una hoja de ruta para el sector de energías renovables e incluye proyecciones de crecimiento del uso de ER a nivel mundial (Ver Figura 28). De acuerdo con estas proyecciones las tecnologías para generación de energía eléctrica a partir de ER que tienen mayor potencial de crecimiento son en su orden: energía solar termoeléctrica (CSP), energía solar fotovoltaica, la energía eólica, la energía de la biomasa y la energía geotérmica.



	<b>2010 (EJ/año)</b>	<b>2030 (EJ/año)</b>	<b>Incremento</b>
<b>Energía renovable</b>	<b>9</b>	<b>22</b>	<b>145%</b>
Hidroeléctrica	7	12	70%
Eólica	1	5	500%
Solar Fotovoltaica	0.1	1.4	1300%
Biomasa	0.6	2.6	300%
Geotérmica	0.1	0.4	300%
Concentrador solar (CSP)	0.01	0.3	3000%
Biogas	0.1	0.2	100
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>59</b>	<b>50%</b>

Figura 28 Uso de energías renovables en 26 países evaluados con la base de las políticas actuales y un crecimiento estimado de los sectores transporte y energía eléctrica.

Fuente: Adaptado de (IRENA, 2014).

Si tenemos en cuenta el crecimiento de la capacidad instalada para la generación de energía eléctrica, de acuerdo con las cifras presentadas por la International Energy Agency - IEA (2016), se evidencia que al 2015 las adiciones de capacidad instalada a partir de energías renovables, por primera vez excedieron las de generación con energía fósil y nuclear al aportar cerca de 150 GW adicionales. Este valor incluye energía hidráulica, en el que las principales adiciones de capacidad corresponden a la energía eólica, la energía solar fotovoltaica, la hidráulica y otras energías renovables, como se observa en la Figura 29.

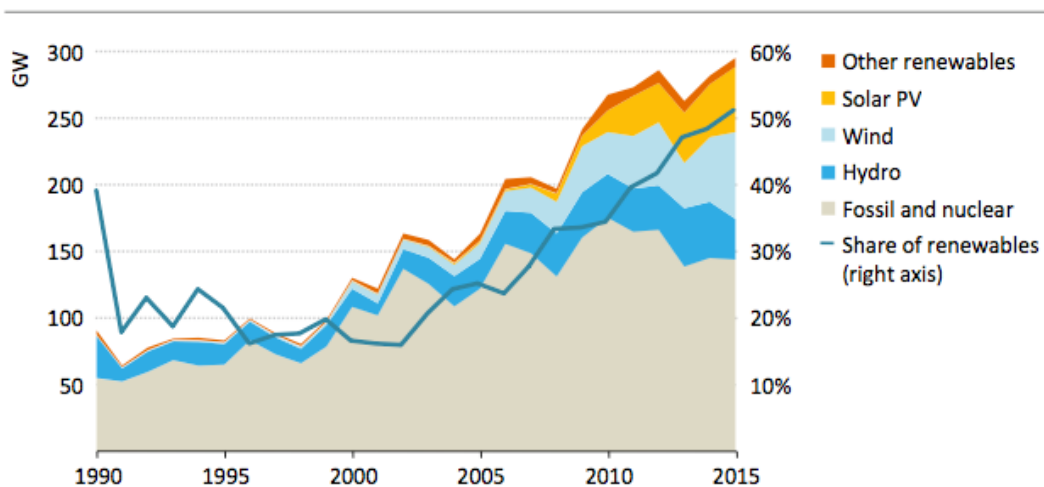


Figura 29. Adiciones de capacidad instalada para generación de energía eléctrica por tipo de tecnología.

Fuente: International Energy Agency (IEA). (2016)

Respecto a las tendencias de crecimiento recientes, la capacidad de generación en energías renovables (IRENA, 2017) presenta la evolución entre el 2010 y 2015 de diferentes tecnologías. En este periodo de tiempo, la de mayor crecimiento fue la energía solar fotovoltaica seguida por la energía eólica offshore, la energía solar termoeléctrica, la energía eólica *on-shore*, y la energía oceánica. Si se evalúa por el nivel de penetración que han tenido estas tecnologías en la generación de energía eléctrica, el primer lugar lo tiene la energía hidroeléctrica con el 19%, el segundo lugar la energía eólica *on-shore* con el 6,4%, el tercer lugar corresponde a la energía solar fotovoltaica con el 3,4%, el cuarto a la bioenergía (1,6%) y el quinto lo comparten la energía geotérmica y la energía eólica offshore con un 0,2% (Ver Figura 30).


	Unidades	Capacidad		CAGR of scale (%/year)	Nivel de penetración (%)
		2010	2015	2010-2015	2015
 <b>SECTOR ENERGÍA ELÉCTRICA</b>					
Bioenergía	GW	72	103	7.3%	1.6%
Geotermia	GW	10	12	4.4%	0.2%
Hidroeléctrica	GW	1,025	1,208	3.3%	19.0%
E de los océanos	GW	0	0.5	14.5%	0.0%
Solar FV	GW	39	219	41.4%	3.4%
CSP	GW	1	5	29.8%	0.1%
Eólica onshore	GW	180	405	17.7%	6.4%
Eólica offshore	GW	3	12	30.1%	0.2%

Figura 30. Evolución de la capacidad de generación de energía eléctrica entre el 2010 y el 2015 a partir de energías renovables.

Fuente: Adaptado de (IRENA, 2017)

Otro aspecto a analizar es la inversión en tecnologías de energías renovables, para el 2015. De acuerdo con IRENA (2017), el 49% de la inversión global en ER fue para la energía solar fotovoltaica, seguida por la energía eólica con el 40%, concentrando cerca del 90% de las

inversiones en estas dos áreas. Las otras tecnologías que incluyeron inversiones fueron: otros tipos de energía solar (4%), energía solar termoelectrica – CSP – (2%), Biomasa y residuos (2%), entre otros.

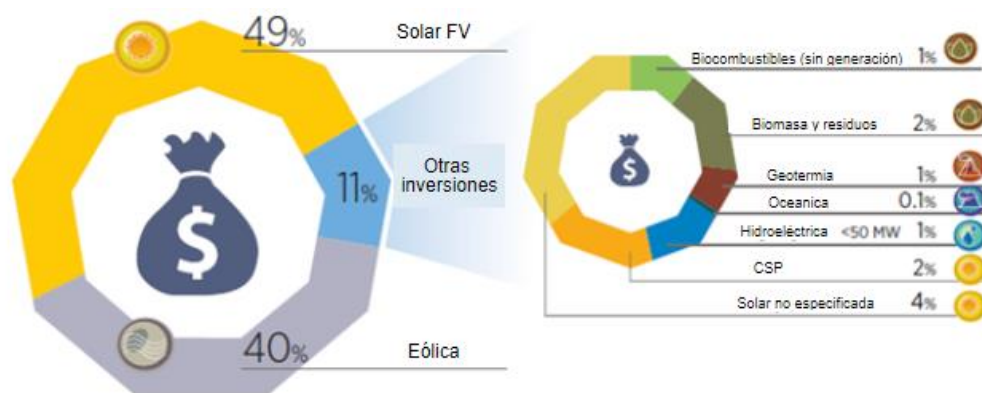


Figura 31. Inversión global en energías renovables por tecnología.

Fuente: Adaptado de (IRENA, 2017)

Finalmente, en el estudio realizado por IRENA (2017), se presentan dos focos tecnológicos principales. El primero es la energía solar fotovoltaica, que representa aproximadamente el 20% de la nueva capacidad de generación instalada y está brindando la posibilidad de proveer electricidad a millones de personas que no tenían acceso a servicios de energía en países en vía de desarrollo. El segundo, es el almacenamiento de energía, que, aunque no es una tecnología para generación, debido a la variabilidad en el suministro de fuentes renovables de energía, como el viento o el sol, permite incrementar la flexibilidad e integración de los sistemas de generación.

En la plataforma de Seguimiento del Progreso de la Energía Limpia: 2017, de la Agencia Internacional de Energía, se evalúa el avance de diferentes tecnologías de energías limpias para cumplir con los objetivos de reducción de emisiones en el escenario de 2 °C, clasificando en las categorías, indicando si se están cumpliendo los objetivos y en aquellas que se requieren más esfuerzos (International Energy Agency (IEA), 2017), en el caso de las tecnologías de energías renovables, las correspondientes a energía solar fotovoltaica y de generación eólica *on-shore* con crecimientos esperados en generación entre el 2015 y el 2020

de 2,5 y 1,7 veces, respectivamente. Estas tecnologías se presentan en camino de cumplir el crecimiento esperado para aportar a la meta de reducción de emisiones.

### Planeación UPME

En el Plan energético Nacional se mencionan algunas cifras de proyección de capacidad de Energías Renovables en el país (UPME, 2015). En este documento, con base en información del Plan de expansión de referencia - generación y transmisión 2014-2028, la UPME contempla varios escenarios de penetración de energías renovables, a partir del potencial identificado en estas fuentes. En el escenario más factible se considera que las FNCE pueden representar un 6% de la canasta de energía eléctrica, lo que correspondería a una capacidad instalada de 1.207 MW en 2028. Sumado a los 474 MW de energía eólica de un escenario pesimista, se considera posible la instalación de 143 MW de energía solar, 275 de geotermia y 314 MW de cogeneración con biomasa, adicional a los proyectos de generación con energías convencionales en el país como las termoeléctricas o la energía hidroeléctrica, que para efectos de este documento, se toma como convencional.

En la Tabla 5 se resumen las tendencias tecnológicas en energías renovables recopiladas principalmente de estudios y planes elaborados por la Agencia internacional de Energías Renovables – IRENA- y la Agencia Internacional de Energía – EIA.

Criterio	Tecnología energía renovable				
	CSP (Solar termoeléctrica)	Solar fotovoltaica	Eólica	Biomasa	Energía geotérmica
Por Potencial de crecimiento uso	Eólica	Solar fotovoltaica	Hidroeléctrica	Otras renovables	
Adiciones de capacidad instalada	Solar fotovoltaica	Eólica <i>off-shore</i>	CSP (Solar termoeléctrica)	Eólica <i>on-shore</i>	Energía oceánica
Crecimiento capacidad de generación	Hidroeléctrica	Eólica <i>on-shore</i>	Solar fotovoltaica	Biomasa	Energía geotérmica
Nivel de penetración de las tecnologías	Solar fotovoltaica	Eólica	Otra energía solar	CSP (Solar termoeléctrica)	Biomasa
Por inversión global	Solar fotovoltaica	Almacenamiento de energía			
Focos tecnológicos IRENA	Solar fotovoltaica	Eólica <i>on-shore</i>			
Plataforma de Seguimiento del Progreso de la Energía Limpia	Eólica	Solar	Energía geotérmica	Biomasa	
Plan Energético Nacional					

Tabla 5. Resumen de priorización de tecnologías en planes y estudios Internacionales en Energías Renovables

Luego del análisis de estudios y planes internacionales, se evidencia que las tecnologías que presentan un potencial de crecimiento o tendencias favorables para su desarrollo más importante son la energía solar fotovoltaica y la energía eólica, teniendo en cuenta que no en todos los análisis se desagregan el tipo de energía eólica (*on-shore o off-shore*) la tecnología de energía eólica se deja en una sola categoría.

### **Priorización final de áreas**

Cruzando la información de tendencias con el entorno, se encuentra que los análisis de patentes y artículos científicos, los cuales destacan la energía eólica, solar e hidroeléctrica, son consistentes con el análisis de entorno. En el caso de las energías solar y la eólica, se priorizan en la mayoría de los planes y programas. La energía hidroeléctrica, en el análisis de entorno se ubica en tercer lugar en adiciones de capacidad instalada y en primer lugar en el nivel de penetración de tecnologías.

Otro aspecto por resaltar tanto del análisis de entorno, como de los análisis de tendencias tecnológicas es la aparición de tecnologías transversales que no necesariamente son tecnologías de generación, pero que son tecnologías habilitadoras para el desarrollo de energías renovables. Se identificaron específicamente dos que están presentes tanto en las tendencias científico-tecnológicas como en el análisis de entorno. Son el caso de redes inteligentes y almacenamiento de energía, donde, por ejemplo, uno de los dos focos tecnológicos de la Agencia internacional de energías renovables es almacenamiento de energía, y aparece en tendencias de patentes y artículos científicos. De forma similar las tecnologías relacionadas con redes inteligentes aparecen en las tendencias de artículos científicos, patentes y líneas de investigación de grupos de investigación colombianos.

De acuerdo con las anteriores consideraciones y el análisis de la priorización realizada con base en las tendencias científicas y tecnológicas definidas a través de la matriz AHP y el cruce con la información de entorno, se proponen las siguientes áreas de investigación prioritarias:

## **Áreas medulares**

- Energía eólica
- Energía solar
- Energía hidroeléctrica

## **Áreas transversales**

- Almacenamiento de energía
- Redes inteligentes

## VIGILANCIA TECNOLÓGICA ENERGÍAS RENOVABLES

En este apartado se presenta la información de la identificación de tendencias tecnológicas correspondientes a las áreas de investigación definidas en la etapa de priorización. El horizonte de tiempo tomado para estas búsquedas es el correspondiente a los años 2000 al 2017 tanto para información de artículos científicos como de patentes.

### Tendencias tecnológicas (Patentes)

Para la identificación de tendencias a partir de información de patentes se realiza la búsqueda de información con base en las palabras clave asociadas a las áreas de investigación definidas en la etapa de priorización. La búsqueda es realizada en la base de datos del portal *Patent Lens* (<https://www.lens.org/lens/search>), donde se extrae información como:

- Evolución en las solicitudes de patente
- Instituciones que más presentan solicitudes de patente,
- Países líderes en cada área

Además, se consideró como elemento principal de la búsqueda, temas o tecnologías con mayor número de publicaciones y que pueden ser incluidos en la agenda de investigación.

Como ejemplo del proceso de identificación de tendencias, a continuación, se presenta el detalle de los parámetros de búsqueda y los resultados correspondientes al área de energía eólica. La búsqueda de patentes parte de una ecuación de búsqueda general con base en la palabra clave “*wind power*”, que corresponde al “tesauro” usado para identificar esta área, la búsqueda se realiza a nivel mundial (Sin restricción a algún país o jurisdicción) y del menú de opciones se incluye la opción de un solo documento por familia de patentes o “*One doc per family*”. En la Figura 32 se presenta la visualización de la búsqueda, basado en el portal de patentes Patent Lens:

- Ecuación de búsqueda: (title:("wind power") || abstract:("wind power") || claims:("wind power")); entre 2000 y 2017
- No de resultados: 44.642

## New Patent Search

Submit Search

Query:

Query Predicate:  AND  OR

"Wind power"	in	Title, Abstract or Claims	+	-	
First Name	Last Name	in	Inventors	+	-

Dates:

Documents:  Published  Filed

2000-01-01	2017-12-31
------------	------------

Jurisdictions

<input type="checkbox"/> Armenia	<input type="checkbox"/> GCC	<input type="checkbox"/> Norway
<input type="checkbox"/> ARIPO	<input type="checkbox"/> Georgia	<input type="checkbox"/> New Zealand
<input type="checkbox"/> Argentina	<input type="checkbox"/> Greece	<input type="checkbox"/> OAPI

Figura 32. Visualización búsqueda de patentes energía eólica:

Fuente Portal Patent Lens

Un aspecto importante que puede servir de insumo para determinar el avance tecnológico en cada una de estas áreas es la evolución en el número de solicitudes de patente. En la Figura 33 se presenta esta evolución para la energía eólica.

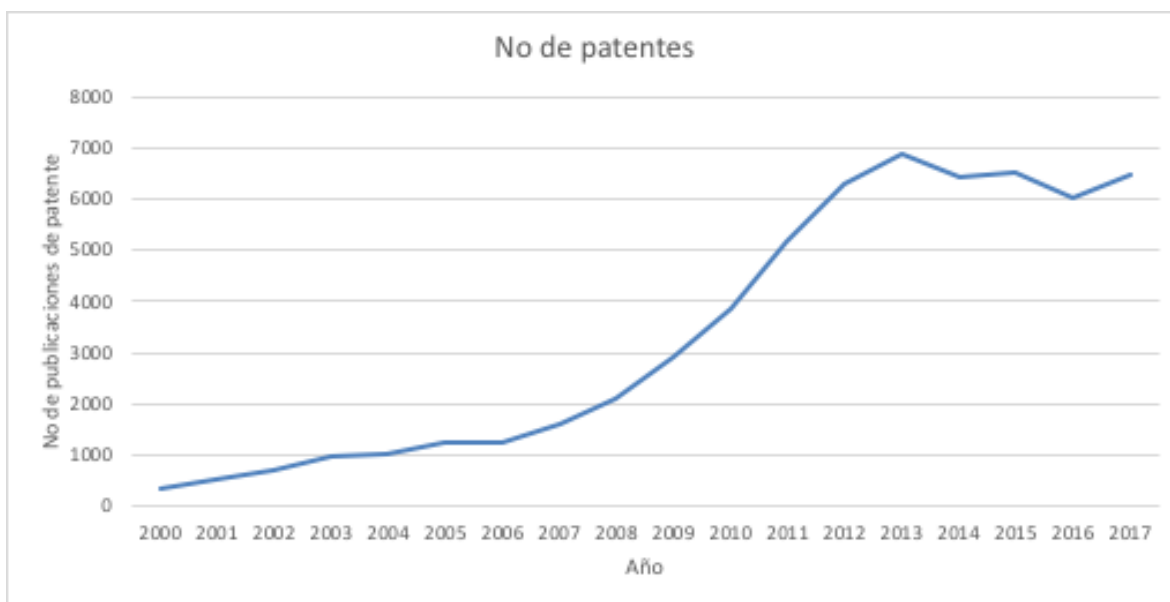


Figura 33. Evolución en número de solicitudes de patente en energía eólica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Patent Lens



Igualmente, se identifican que países están liderando los desarrollos tecnológicos en esta área, lo cual se refleja en el número de patentes solicitadas, en la Figura 34 se visualizan los países líderes en solicitudes de patente para energía eólica.

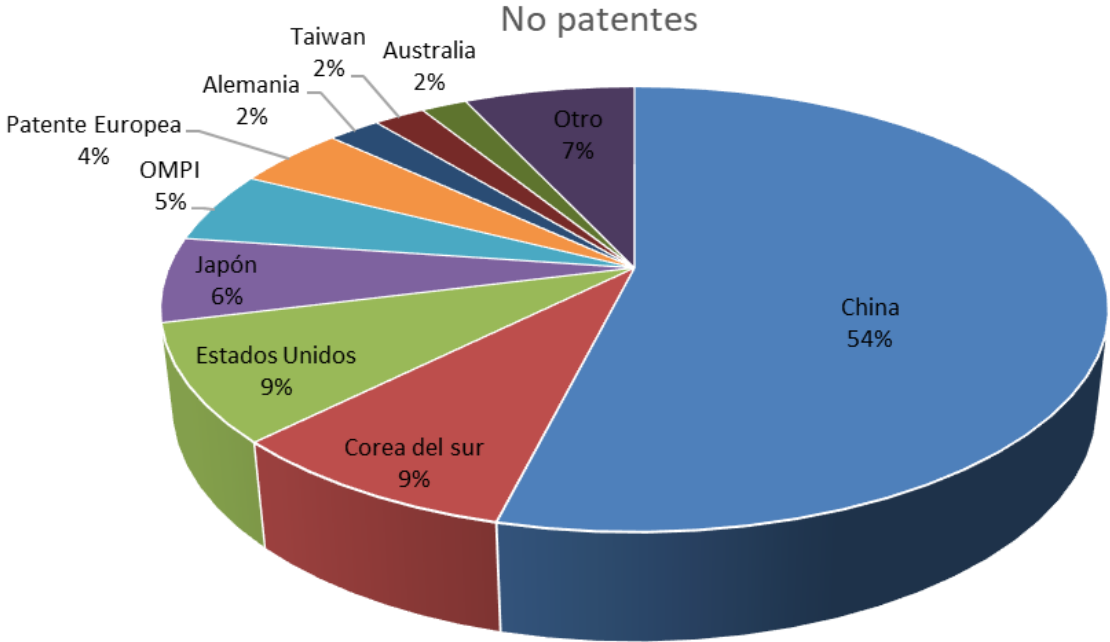


Figura 34. Países líderes en solicitudes de patentes en energía eólica.  
Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

Adicionalmente, el portal permite recopilar información de las empresas, centros u otras organizaciones que aparecen como aplicantes en las solicitudes de patente, en la Figura 35 se presenta la gráfica con las principales organizaciones que realizan solicitudes de patente correspondiente al área de energía eólica.

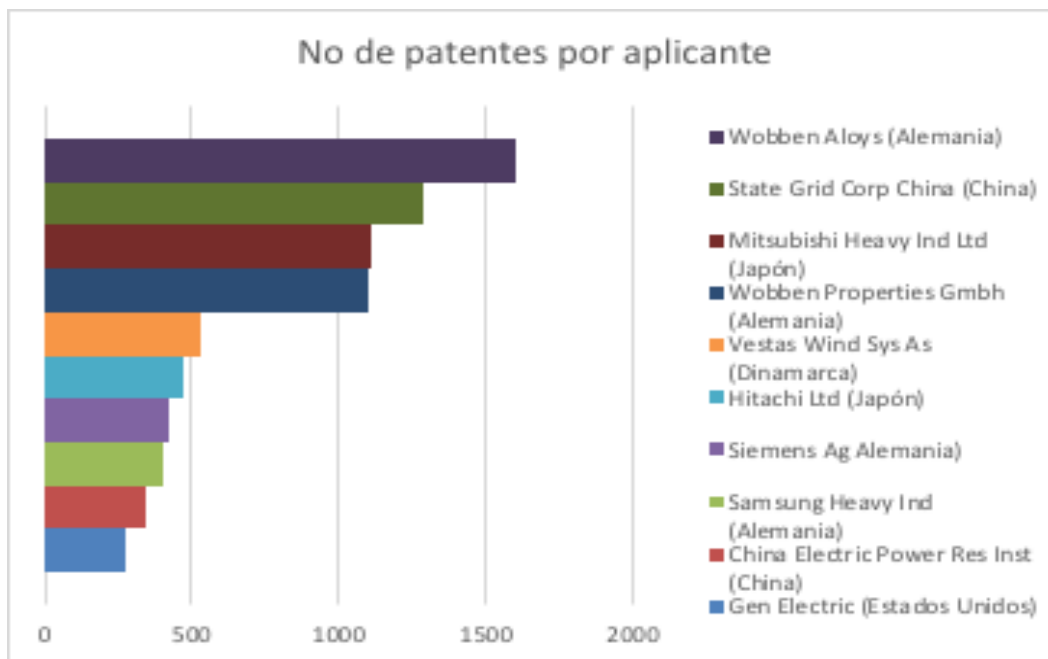


Figura 35. Principales aplicantes de patentes en energía eólica:

Fuente: Elaboración propia con base en información del portal *Patent Lens*

En las bases de datos de patentes, un criterio de categorización muy importante son las Clasificaciones de Patente, de las cuales podemos destacar la clasificación de la oficina de patentes de Estados Unidos, la clasificación Europea de Patentes, la clasificación Internacional de patentes (CIP) y la clasificación cooperativa de patentes (CPC), en este caso se toma información de la CPC. Teniendo en cuenta que, al revisar en esta área tecnológica, la clasificación es mucho más específica, se toma como base a la CIP, la cual le adiciona nuevas divisiones. Esto nos indica el mayor nivel de codificación de un manual con respecto al otro y nos es de utilidad para cualquier búsqueda (Ministerio de Ciencia, 2015). En la Tabla 25 se presentan las principales categorías identificadas en la clasificación de patentes (CPC) y que servirán como insumo para la determinación de temas en la agenda de investigación.

Código CPC	Tecnología	No de patentes
Y02E10/74	Turbinas con eje perpendicular a la dirección del viento (Eje vertical)	6959
Y02E10/723	Control de turbinas con eje en dirección del viento (eje horizontal)	6713
Y02E10/72	Turbinas con eje en dirección del viento	5893

Y02E10/725	Generador o configuración de turbinas con eje en dirección del viento	5813
Y02E10/721	Palas o rotores turbinas con eje en dirección del viento	5622
Y02P70/523	Manufactura de turbinas	3868
F03D9/25	Motores de viento accionados por un generador eléctrico	3826
Y02E10/763	Aspectos eléctricos o electrónicos de conversión de energía para conexión a la red	3364
Y02E10/722	Componentes o caja de cambios de turbinas con eje en dirección del viento	2875
Y02E10/728	Torres on shore con eje de rotación en la dirección del viento	2829

Tabla 6. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía eólica. Fuente: Elaboración propia con información de Patent Lens

De manera similar se realiza la búsqueda para las otras áreas de investigación priorizadas cuyos resultados se presentan en el ANEXO 3. Tendencias patentes y artículos científicos en áreas priorizadas en energías renovables

### **Tendencias de investigación (artículos científicos)**

En el caso de tendencias a partir de información de artículos científicos, la búsqueda se realiza en la Base de datos *Scopus* (<https://www.scopus.com>) , donde al igual que en el caso de las patentes, la búsqueda se realiza a partir de las palabras claves que definen las áreas de investigación priorizadas en una etapa anterior. En la búsqueda se identifican algunas tendencias de esta área de investigación y se identifican temas o tecnologías relevantes para cada una de las áreas definidas.

Se realiza inicialmente una búsqueda de las principales tendencias tecnológica en energía eólica en la base de datos de *Scopus*, para la revisión se utilizan los siguientes criterios de búsqueda:

- Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ( "wind power" ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2018
- No de resultados: 56795

En la Figura 36. Se presenta la evolución del número de publicaciones con base en la ecuación de búsqueda propuesta correspondiente a energía eólica, donde en líneas generales

se observa una tendencia creciente en el número de publicaciones.

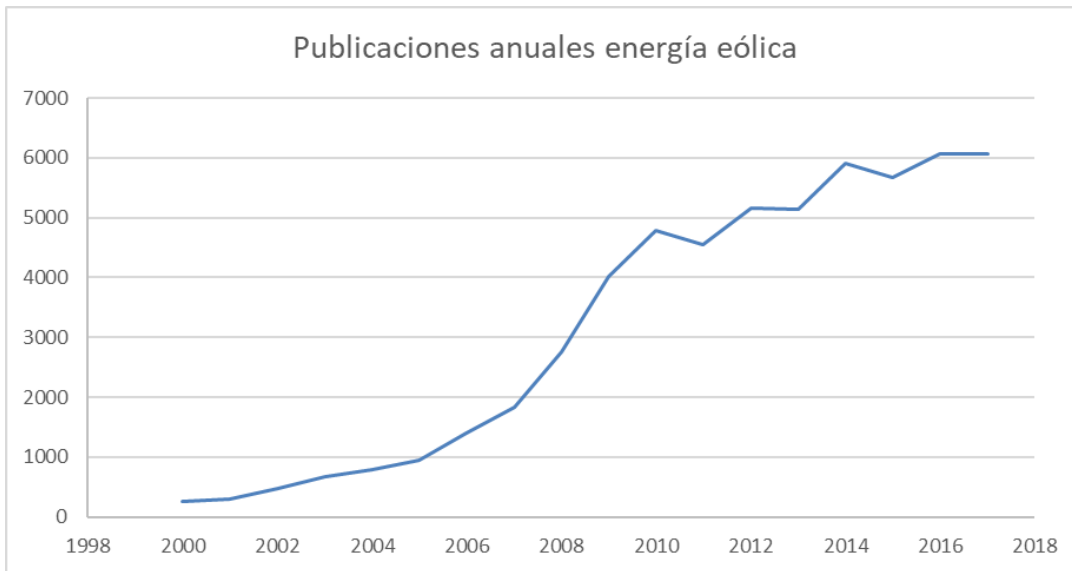


Figura 36. Evolución en publicaciones científicas en energía eólica.

Fuente Elaboración propia con base en Scopus

En relación con el número de publicaciones por país se encuentra que a nivel de producción académica hay una menor diferencia entre los diferentes países, aunque China en este caso también lidera la producción científica en el área de energías renovables, seguida por Estados Unidos, el Reino Unido y Alemania (Ver Figura 37).

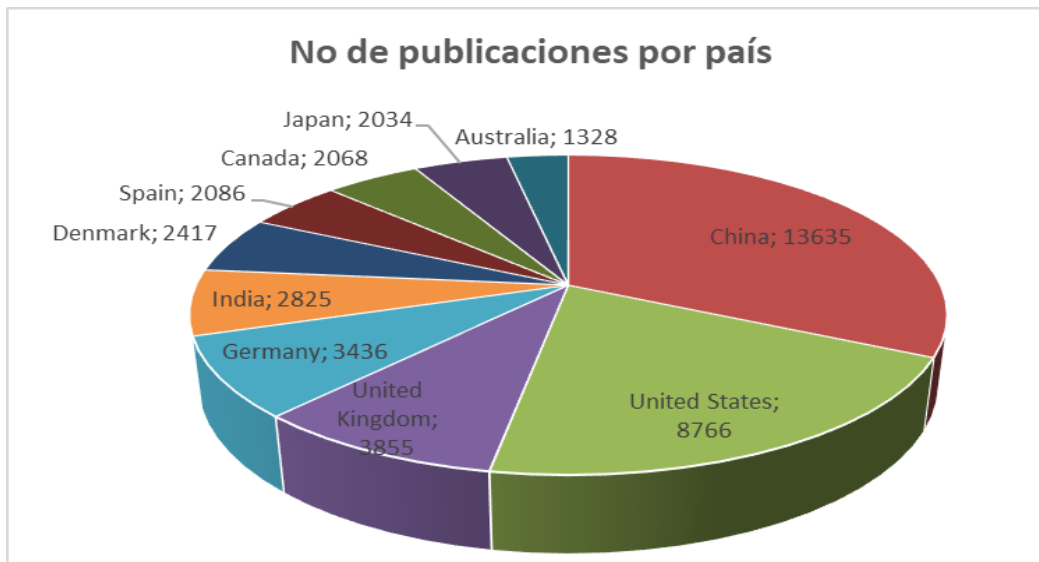


Figura 37. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Frente a las entidades como Universidades o centros de investigación que más realizan publicaciones encontramos en primer lugar la North China Electric Power University con 1319 publicaciones en el rango de tiempo indicado (2000 al 2017), seguida por la Danmarks Tekniske Universitet de Dinamarca con 1161 publicaciones (Ver Figura 38).

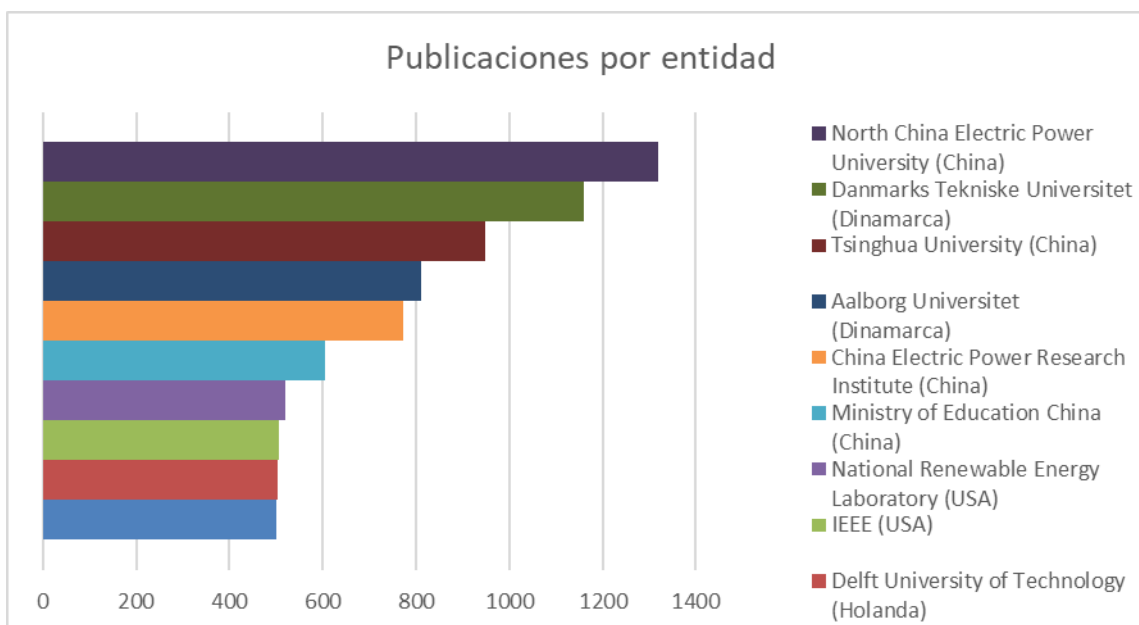


Figura 38. Publicaciones por institución.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Para la revisión de temas en producción científica se parte de la información de las palabras clave generadas en la búsqueda realizada en la base de datos *Scopus*. En la Figura 39 se presenta una visualización de las palabras clave y su frecuencia.

Filter by keyword

Filter: # of results ▼

<input type="checkbox"/> Wind Power (51,328) >	<input type="checkbox"/> Algorithms (1,957) >	<input type="checkbox"/> Wind Generation (1,114) >	<input type="checkbox"/> Wind Turbine Blades (773) >
<input type="checkbox"/> Wind Turbines (15,858) >	<input type="checkbox"/> Speed (1,863) >	<input type="checkbox"/> Scheduling (1,088) >	<input type="checkbox"/> Particle Swarm Optimization (PSO) (772) >
<input type="checkbox"/> Electric Utilities (12,398) >	<input type="checkbox"/> Weather Forecasting (1,863) >	<input type="checkbox"/> Smart Power Grids (1,074) >	<input type="checkbox"/> Electric Batteries (765) >
<input type="checkbox"/> Electric Power Generation (6,612) >	<input type="checkbox"/> Renewable Energy Source (1,845) >	<input type="checkbox"/> Power Systems (1,068) >	<input type="checkbox"/> Simulation Result (760) >
<input type="checkbox"/> Wind Farm (6,548) >	<input type="checkbox"/> Energy Resources (1,809) >	<input type="checkbox"/> HVDC Power Transmission (1,067) >	<input type="checkbox"/> Power Plants (753) >
<input type="checkbox"/> Electric Power Transmission Networks (6,146) >	<input type="checkbox"/> Mathematical Models (1,699) >	<input type="checkbox"/> Reliability (1,050) >	<input type="checkbox"/> Electric Machine Control (747) >
<input type="checkbox"/> Wind Energy (5,626) >	<input type="checkbox"/> Electric Power Transmission (1,638) >	<input type="checkbox"/> Doubly-fed Induction Generator (1,049) >	<input type="checkbox"/> United States (740) >
<input type="checkbox"/> Asynchronous Generators (4,747) >	<input type="checkbox"/> Control Strategies (1,576) >	<input type="checkbox"/> Fossil Fuels (1,021) >	<input type="checkbox"/> Decision Making (738) >
<input type="checkbox"/> Wind Turbine (4,611) >	<input type="checkbox"/> Investments (1,571) >	<input type="checkbox"/> Energy Utilization (1,019) >	<input type="checkbox"/> Energy Storage Systems (736) >
<input type="checkbox"/> Wind (4,527) >	<input type="checkbox"/> Aerodynamics (1,564) >	<input type="checkbox"/> Distributed Power Generation (1,016) >	<input type="checkbox"/> Simulation (730) >
	<input type="checkbox"/> Design (1,554) >	<input type="checkbox"/> Engines (1,012) >	<input type="checkbox"/> Electric Power Factor (728) >

Figura 39. Visualización de palabras clave y frecuencia en la búsqueda de producción bibliográfica en el área de energía eólica.

Fuente: Scopus

Teniendo en cuenta que en las palabras clave se encuentran palabras generales o que no aportan a la descripción de la tecnología se realiza una depuración de los términos, generando agrupaciones y una categorización, cuyos principales resultados se presentan en la Figura 40



Figura 40. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en la búsqueda de palabras clave.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en Scopus

La información recopilada para las otras cuatro áreas de investigación priorizadas puede ser consultada en el ANEXO 3. Tendencias patentes y artículos científicos en áreas priorizadas en energías renovables.

### **Temas específicos con base en datos de patentes y artículos científicos**

De acuerdo con las tendencias identificadas en distribución de la aplicación de patentes en las diferentes categorías, así como en la información de artículos científicos, se agrupan las mismas por tecnologías que determinan los siguientes temas prioritarios para cada una de las áreas de investigación priorizadas. Cabe anotar que para esta definición se tiene en cuenta que los temas seleccionados correspondan a las tecnologías más relevantes asociadas a cada área de investigación:

#### **Energía eólica**

<b>Temas patentes</b>	<b>Temas artículos científicos</b>
Turbinas de eje vertical	Turbinas eólicas
Turbinas de eje horizontal	Generadores
Sistemas de control y caja de velocidades	Sistemas de control
Energía eólica en edificaciones	Palas o rotores
	Eléctrica/electrónica

Tabla 7. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de energía eólica.

Fuente: Elaboración propia

#### **Energía solar**

<b>Temas patentes</b>	<b>Temas artículos científicos</b>
Fotovoltaica	Fotovoltaica
Térmica	Térmica
Energía solar en edificaciones	Materiales

Tabla 8. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de energía solar.

Fuente: Elaboración propia

## Energía hidroeléctrica

<b>Temas patentes</b>	<b>Temas artículos científicos</b>
Hidroeléctrica convencional	Presas/embalses
Hidroeléctrica sin represa	Generadores
Turbinas hidroeléctricas	Turbinas hidroeléctricas
Adaptaciones equipos para generación hidroeléctrica	Hidráulica/Estructuras hidráulicas

Tabla 9. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia

## Redes inteligentes

<b>Temas patentes</b>	<b>Temas artículos científicos</b>
Transmisión y distribución	Transmisión y distribución
Respuesta a la demanda	Respuesta a la demanda
TIC en redes	TIC en redes
Gestión de usuarios finales	Medición avanzada

Tabla 10. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de Redes.

Fuente: Elaboración propia

## Almacenamiento de energía

<b>Temas patentes</b>	<b>Temas artículos científicos</b>
Almacenamiento térmico	Almacenamiento térmico
Baterías	Baterías
Condensadores	Condensadores
Almacenamiento mecánico	Almacenamiento Energía cinética
Fluidos comprimidos	Materiales

Tabla 11. Temas identificados con base en análisis de patentes y artículos científicos para el área de Almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia

## Generación de curvas en S

Para cada uno de los temas identificados, se busca determinar el grado de madurez de las



tecnologías, para lo cual, se generaron las series de tiempo del número de publicaciones de patentes y artículos para los temas de investigación seleccionados.

Los datos de las series de tiempo son procesados en el software SigmaPlot V 14.0 en su versión de prueba, donde para cada serie de tiempo, se generan los 13 modelos que incluye este software para modelos sigmoideos, correspondientes a curvas en S. De los 13 modelos generados para cada serie de tiempo se identifican los que mejor se ajusten, para lo cual se parte de las validaciones estadísticas realizadas por Yepes et al. (2018) para modelos similares aplicados en análisis de información bibliométrica y cientiométrica ( $R^2$  válido, valor de  $t > 2$  o  $t < -2$ , valor de  $P < 0,005$  y estadístico Durbin-Watson (DW) cercano a 2)

Como ejemplo para el análisis de patentes se presenta la tecnología de aerogeneradores de eje vertical, de la cual, a partir de la búsqueda en la base de datos de patentes se generó la serie de tiempo (Ver Tabla 12), y con base en el procesamiento en el software Sigma Plot se registran los parámetros arrojados por los 13 modelos (Ver Tabla 13) y el modelo seleccionado en este caso.

- Base de datos: Patent Lens
- Tecnología: Energía eólica de eje vertical
- Ecuación de búsqueda: (title:("wind Power") || abstract:("wind Power") || claims:("wind Power")) && classification\_cpc:Y02E10/74

Generando los 13 modelos para la tecnología de aerogeneradores de eje vertical tenemos los parámetros presentando en la Tabla 13.

No de patentes	Año	Acumulado	No de patentes	Año	Acumulado
19	1980	19	59	2001	599
24	1981	43	76	2002	675
21	1982	64	109	2003	784
26	1983	90	94	2004	878
13	1984	103	163	2005	1041
15	1985	118	158	2006	1199
20	1986	138	217	2007	1416
15	1987	153	309	2008	1725
17	1988	170	438	2009	2163
24	1989	194	504	2010	2667

24	1990	218	584	2011	3251
28	1991	246	524	2012	3775
22	1992	268	434	2013	4209
16	1993	284	381	2014	4590
16	1994	300	362	2015	4952
34	1995	334	313	2016	5265
34	1996	368	333	2017	5598
43	1997	411			
42	1998	453			
46	1999	499			
41	2000	540			

Tabla 12. Serie de tiempo búsqueda patentes energía eólica eje vertical.

Fuente: Elaboración propia con información de “Patent Lens”

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2013,7	0,9924	Cumple	Cumple	0,1592	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2011,8	0,9968	Cumple	Cumple	0,1804	SI
<b>Sigmoid, 5 Parameter</b>	<b>2013,8</b>	<b>0,9982</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,374</b>	<b>SI</b>
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0188	NO
Logistic, 4 Parameter	2722	0	No cumple	No cumple	0,0188	NO
Weibull, 4 Parameter	2011,0	0,9937	No cumple	No cumple	0,1394	NO
Weibull, 5 Parameter	2010,6	0,9975	No cumple	No cumple	0,264	NO
Gompertz, 3 Parameter	2033	0,9877	No cumple	No cumple	0,2035	NO
Gompertz, 4 Parameter	2013,9	0,9935	Cumple	Cumple	0,1891	SI
Hill, 3 Parameter	2097,2	0,6252	No cumple	No cumple	0,0259	NO
Hill, 4 Parameter	2080,9	0,8704	No cumple	No cumple	0,0423	NO
Chapman, 3 Parameter	2420,6	0,6587	No cumple	No cumple	0,0263	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,7319	No cumple	No cumple	0,039	NO

Tabla 13. Parámetros generados en software Sigmaplot del análisis de los 13 modelos arrojados para la serie de tiempo de patentes en energía eólica de eje vertical:

Fuente: Elaboración propia con datos del software Sigmaplot

Se evidencia que en el modelo “Sigmoid, 5 Parameter”, no solamente se cumplen los parámetros estadísticos de P y t, sino que tiene el valor de DW más cercano a 2 y el mejor ajuste de R<sup>2</sup>, por lo cual se selecciona dicho modelo, para este modelo la ecuación la función

es la siguiente:

$$f = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^c\right)}, \text{ donde}$$

a: 5491,9900

b: 1,5529

c: 0,3163

x0: 2013,6916

y0: 143,6085

En la Figura 41 aparece una representación gráfica generada en el software SigmaPlot del modelo seleccionado de la tecnología de Energía eólica de eje vertical, con los datos reales en puntos y la línea correspondiente a la extrapolación del modelo seleccionado:

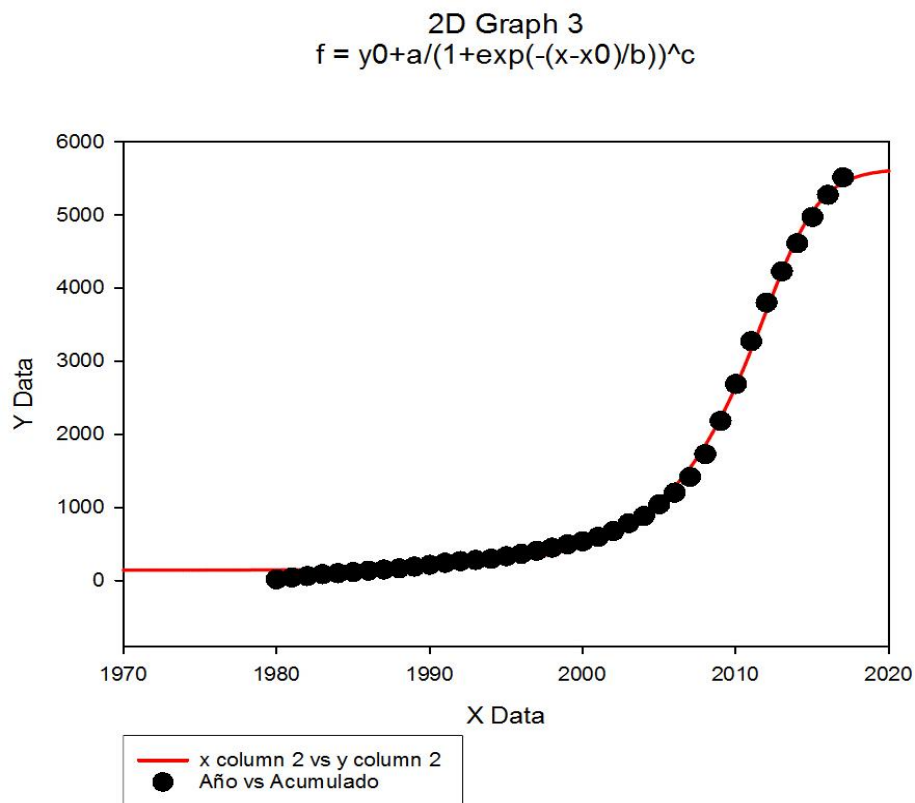


Figura 41. Gráfica de tendencia de acuerdo con el modelo seleccionado para la tecnología de Energía eólica de eje vertical.

Fuente: software SigmaPlot

Para las diferentes tecnologías en las áreas priorizadas (energía eólica, energía solar, energía hidroeléctrica, redes inteligentes y almacenamiento de energía) se realiza el mismo ejercicio, considerando patentes y artículos científicos, y luego evaluando los 13 modelos de ajuste a las curvas s del software *SigmaPlot*, se evalúa el cumplimiento de los parámetros estadísticos y se toma el dato de aquel que mejor ajuste (parámetros DW y  $R^2$ ) para cada una de las tecnologías.

### **Análisis de patentes**

En el ANEXO 4. Parámetros de modelos a partir de series de tiempo de tecnologías en energías renovables se presentan los cuadros que incluyen los parámetros de los 13 modelos arrojados por el software *SigmaPlot* para cada uno de los temas evaluados correspondientes a las áreas de investigación propuestas. En la Tabla 14 a la Tabla 18, se presenta un resumen de los principales resultados, los cuales son el insumo principal para la categorización de los diferentes temas, de acuerdo con el punto de inflexión que presente cada tecnología basado en las series de tiempo de patentes.

#### ***Energía eólica***

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Eje vertical	38	147	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0.9982	0.374	2013,8
Eje horizontal	38	263	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0.9992	0.5136	2014,8
Control y caja de velocidades	38	142	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0.9983	0.6737	2016,7
Aplicaciones edificaciones	38	47	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0.9990	0.4995	2014,2

Tabla 14. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para energía eólica.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

### ***Energía solar***

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Fotovoltaica	38	118	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0.9956	0.1992	2016,3
Térmica	23	263	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0.9993	1.0571	2014,2
Aplicaciones edificaciones	38	50	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0.9938	0.2871	2012,8

Tabla 15. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para energía solar.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

### ***Energía hidroeléctrica***

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Convencional	23	15	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9969	0,8791	2016,3
Sin represa	38	10	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0,9976	0,5263	2015,1
Turbinas	23	11	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0.9968	0.6851	2015,2
Adaptaciones equipos	38	3	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.

Tabla 16. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

### ***Redes inteligentes***

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Transmisión/distribución	38	12	Gompertz, 3 Parameter	SI	0.9992	2.5023	2012.5
Respuesta a la demanda	38	7	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0.9959	2.2435	2013.0
TIC - Redes	38	9	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0.9961	2.0173	2013.8
Usuario final	38	7	Gompertz, 3 Parameter	SI	0.9977	1.9582	2011,8

Tabla 17. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para Redes inteligentes.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

### *Almacenamiento de energía*

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Baterías	38	23	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0,9986	1,6852	2013,8
Condensadores	38	49	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,9996		2017,2
Almacenamiento - Térmica	38	33	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.
Almacenamiento - mecánica	38	18	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.
Almacenamiento - fluidos	38	19	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,997	0,678	2011,9

Tabla 18. Parámetros de los modelos seleccionados para cada tecnología evaluada para Almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia con datos del software SigmaPlot

Con base en la información recopilada para los diferentes temas o tecnologías, en la Figura 42 se propone una representación gráfica de los resultados. En el eje  $x$  se ubica el punto de inflexión, que determina el nivel de madurez de la tecnología, y en el eje  $y$  se establece el número promedio de patentes por año. En este orden de ideas, las tecnologías que presentan un mayor grado de madurez se ubicarán a la izquierda del gráfico y las que han entrado más recientemente en madurez o no han llegado a ese punto de inflexión más a la derecha.

La ubicación en el eje  $y$  pretende reflejar el grado de impacto relativo de una tecnología al contar con un mayor número de solicitudes de patente o publicaciones en el caso de los artículos científicos, por lo que, por ejemplo, tecnologías en la parte superior derecha corresponderán a tecnologías emergentes que pueden tener alto impacto y por tanto se requieren mayores esfuerzos de Investigación. Por su parte, tecnologías más a la izquierda (maduras) se esperarían desarrollar más estrategias asociadas a las etapas de desarrollo experimental, innovación o transferencia tecnológica.

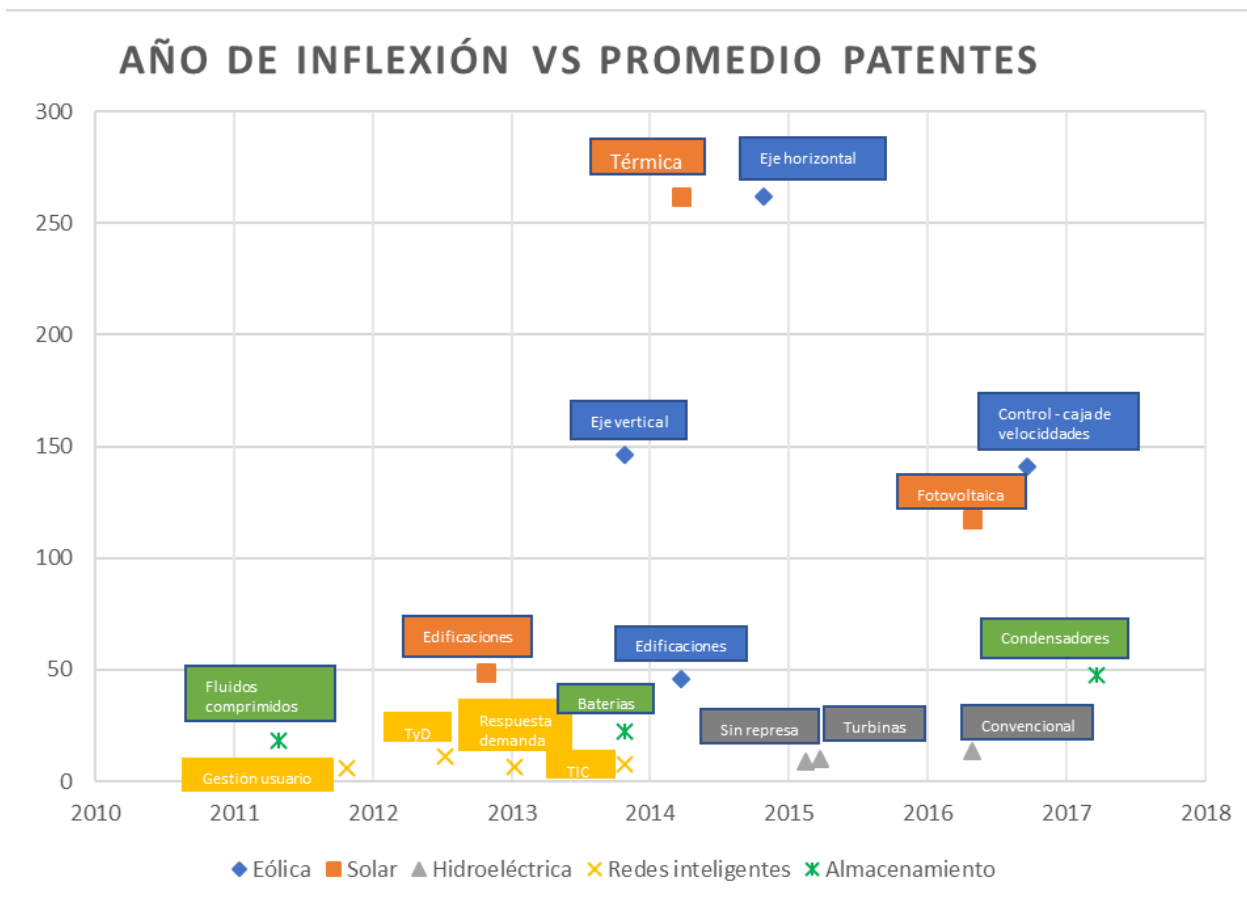


Figura 42. Representación gráfica de los resultados del análisis de evolución de patentes de diferentes tecnologías de energías renovables.

Fuente: Elaboración propia

### Análisis de artículos científicos

A partir de series de tiempo generadas en la base de datos de *Scopus* para los temas de investigación o tecnologías seleccionadas en etapas anteriores, se generaron las series de tiempo que fueron analizadas con el software *SigmaPlot*, al igual que en el caso de patentes, se generaron los 13 modelos y se seleccionan para cada tecnología los que más se ajustan, la información detallada de los parámetros para cada modelo se presentan en el ANEXO 4. Parámetros de modelos a partir de series de tiempo de tecnologías en energías renovables, de acuerdo con el análisis mencionado, en las Tablas 19 a 23 se presentan los resultados de los modelos identificados para cada tecnología y los puntos de inflexión correspondientes.

### *Energía eólica*

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Eléctrica - electrónica	38	502	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,9992	0,6614	2012,7
Turbinas	38	684	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,9963	0,172	2013,6
Generadores	38	283	Gompertz, 4 Parameter	SI	0,9981	0,430	2011,5
Control	38	324	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,9993	0,6029	2013,5
Palas o rotores	38	83	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9937	0,8963	2012,8

Tabla 19. Parámetros de los modelos seleccionados para las tecnologías evaluadas para energía eólica.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

### *Energía solar*

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
fotovoltaica	38	657	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,9955	0,1784	2015,9
térmica	23	415	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9987	1,1702	2016,1
Materiales	38	98	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0,9991	1,1114	2014,6

Tabla 20. Parámetros de los modelos seleccionados para las tecnologías evaluadas para energía solar

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

### *Energía hidroeléctrica*

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Presas/embalses	23	194	Gompertz, 3 Parameter	SI	0,9979	0,4187	2021,6
Turbinas	23	98	Logistic, 3 Parameter	SI	0,9914	0,4231	2017,7
Generadores	23	34	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9978	0,693	2014,1
Hidráulica/estructuras hidráulicas	23	37	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9945	0,5062	2010,6

Tabla 21. Parámetros de modelos seleccionados para las tecnologías evaluadas para energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot



### *Redes inteligentes*

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Transmisión/distribución	38	1016	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9976	1,8170	2016,5
Respuesta a la demanda	38	357	Gompertz, 3 Parameter	SI	0,9991	1,4484	2015,5
TIC - Redes	38	538	Gompertz, 3 Parameter	SI	0,9983	1,3633	2014,3
Medición avanzada	38	268	Gompertz, 3 Parameter	SI	0,9985	1,3402	2013,7

Tabla 22. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para Redes inteligentes.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

### *Almacenamiento de energía*

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Térmica	38	276	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.
Condensadores	38	363	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.
Baterías	38	320	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.
Cinética	23	135	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,9914	0,4397	2009,2
Materiales	38	128	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.
Electroquímica	38	270	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.

Tabla 23. Parámetros de los modelos seleccionados para cada una de las tecnologías evaluadas para Almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

De acuerdo con los anteriores datos y similar al procedimiento realizado en el caso de patentes se genera la gráfica con los puntos de inflexión en el eje *x* y el número promedio de publicaciones anuales en el eje *y* (Ver Figura 43).

## AÑO DE INFLEXIÓN VS PROMEDIO ARTÍCULOS

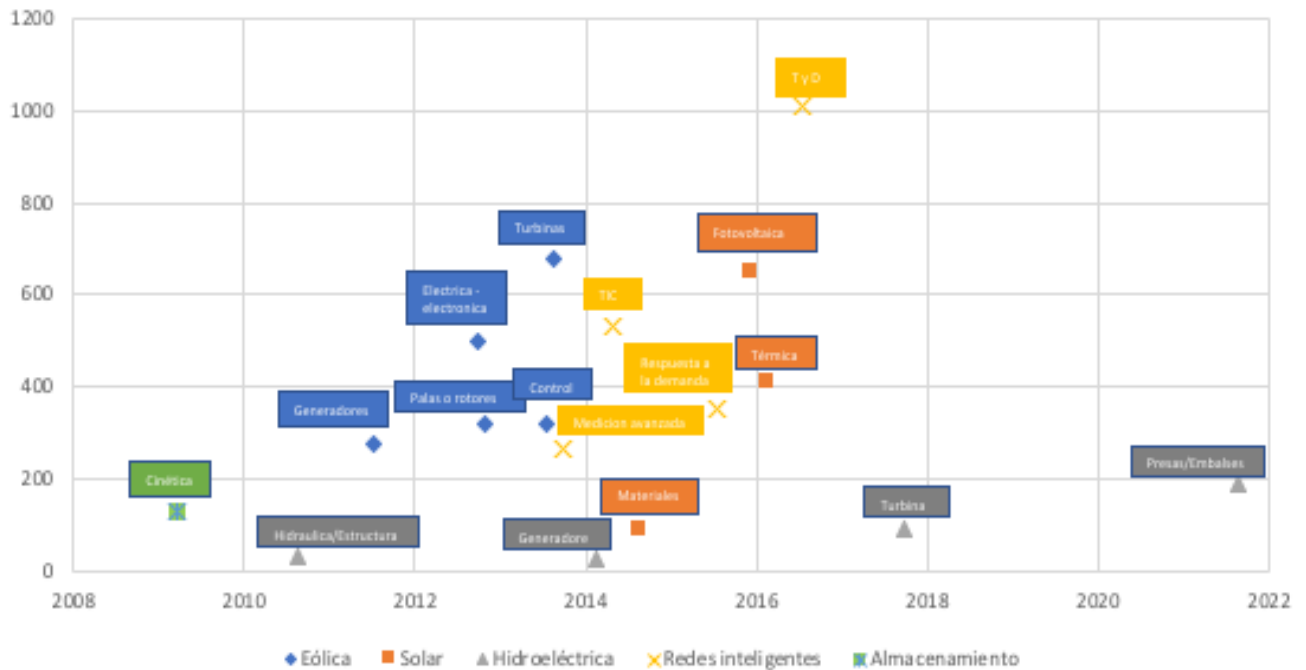


Figura 43. Representación gráfica de los resultados del análisis de evolución de producción científica de diferentes tecnologías de energías renovables.

Fuente: Elaboración propia

Cabe anotar que algunos modelos no cumplían los parámetros estadísticos, y por tanto no representaban adecuadamente la información de la evolución de la publicación de artículo y patentes, por lo que, si bien quedan incluidos dentro de la agenda de investigación, no es posible determinar el nivel de madurez de estas tecnologías, razón por la cual no se ven reflejadas en dichos gráficos. Esto se da principalmente en las tecnologías correspondientes a almacenamiento de energía, en la cual, la mayoría de las tecnologías no cumplían los parámetros estadísticos requeridos para este análisis.

### Desagregación componentes tecnológicos

Una vez definidos los temas para cada área de investigación y generada información del nivel de madurez de la tecnología, se evidencia que aún es posible desagregar aún más cada uno de esos temas en subtemas asociados basado en la misma metodología. El análisis de

indicadores de producción científica o tecnológica corresponde a una suma de los diferentes componentes tecnológicos de cada uno de esos subtemas. A manera de ejemplo y continuando con el tema de energía eólica de eje horizontal, a partir de la clasificación de patentes, se encuentran subtemas asociados, a los cuales a su vez podemos realizar el mismo análisis e identificar los puntos de inflexión, y con base en esto su grado de madurez.

En la Tabla 24 se presentan los resultados de este análisis, evidenciando que, aunque el tema de energía eólica de eje horizontal en el análisis de patentes aparece como una tecnología madura con un punto de inflexión cercano al 2015, al desagregar la tecnología, se encuentra que hay componentes correspondientes a tecnologías emergentes como las turbinas (principalmente *off-shore*) o componentes más maduros tecnológicamente como las góndolas o los rotores.

<b>Tecnología</b>	<b>No datos</b>	<b>Promedio Pub/año</b>	<b>Modelo seleccionado</b>	<b>¿Cumple parámetros?</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>DW</b>	<b>Punto de inflexión</b>
Turninas Offshore	38	11	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9983	0,692	2022,2
Turbinas Onshore	38	33	Sigmoid, 4 Parameter	SI	0,9950	2,0092	2020,4
Palas o rotores	38	69	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0,9982	0,5462	2013,5
Generadores	38	91	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0,9997	1,9604	2014,4
Góndolas	38	11	Sigmoid, 3 Parameter	SI	0,9952	0,5335	2012,2
Sistema de control	38	100	Sigmoid, 5 Parameter	SI	0,9985	0,4749	2015,6
Caja de velocidades	38	49	N.A.	NO	N.A.	N.A.	N.A.

Tabla 24. Parámetros de los componentes seleccionados para cada el tema de energía eólica de eje horizontal.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en el software SigmaPlot

En la Figura 44 se presenta la información, de acuerdo con la representación gráfica propuesta de los componentes tecnológicos de la energía eólica de eje horizontal, de acuerdo con el año de inflexión de las tecnologías y del número de publicaciones anuales.

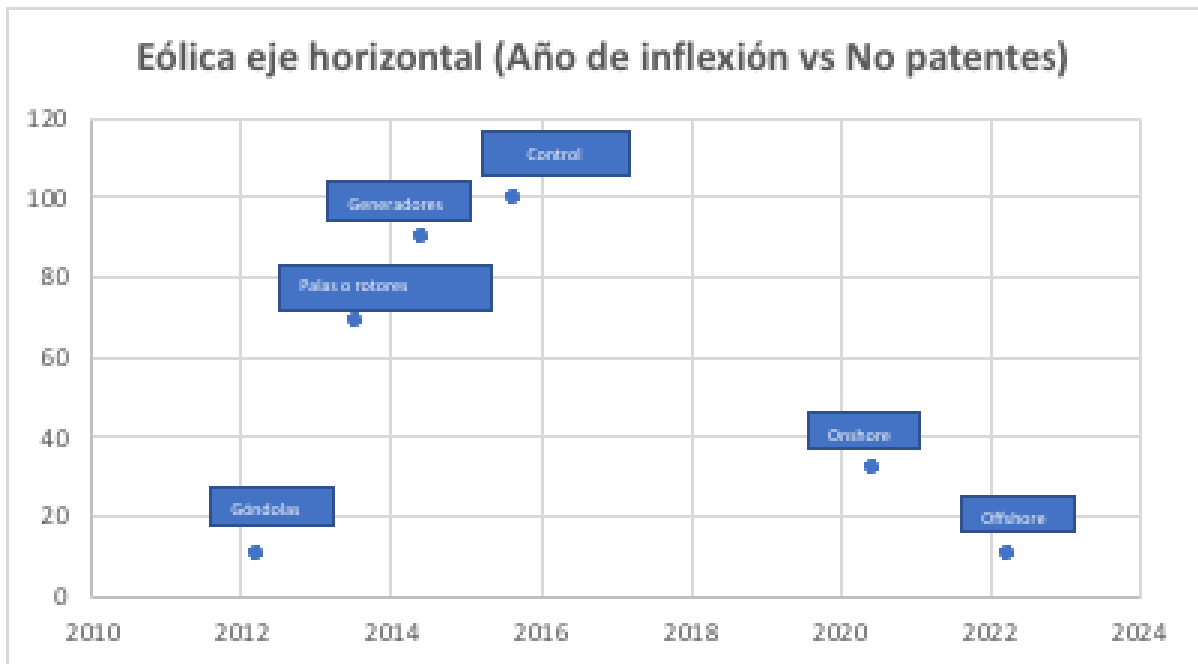


Figura 44. Representación gráfica de los resultados del análisis de evolución de patentes de energía eólica de eje horizontal

Fuente: Elaboración propia

## AGENDA DE INVESTIGACIÓN ENERGÍAS RENOVABLES

### Metodología utilizada

Para la construcción de la agenda de investigación en Energías renovables se desarrolla una metodología, que parte de la priorización de áreas de investigación, involucrando diferentes criterios, que se evalúan con base en el método de proceso jerárquico analítico (AHP por sus siglas en inglés). Así mismo, se realiza un análisis de tendencias de producción de artículos científicos y patentes, en los cuales se toma información de actores relevantes en los diferentes temas y tecnologías, así como de las tecnologías más relevantes para cada área. Finalmente, con base en las series de tiempo de producción de artículos y patentes, se identifica el nivel de madurez de cada tecnología a partir de modelos sigmoideos para la identificación de los puntos de inflexión (donde las tecnologías alcanzan un nivel de madurez). En la Figura 45 se presenta un esquema de la metodología desarrollada para la definición de agendas de investigación

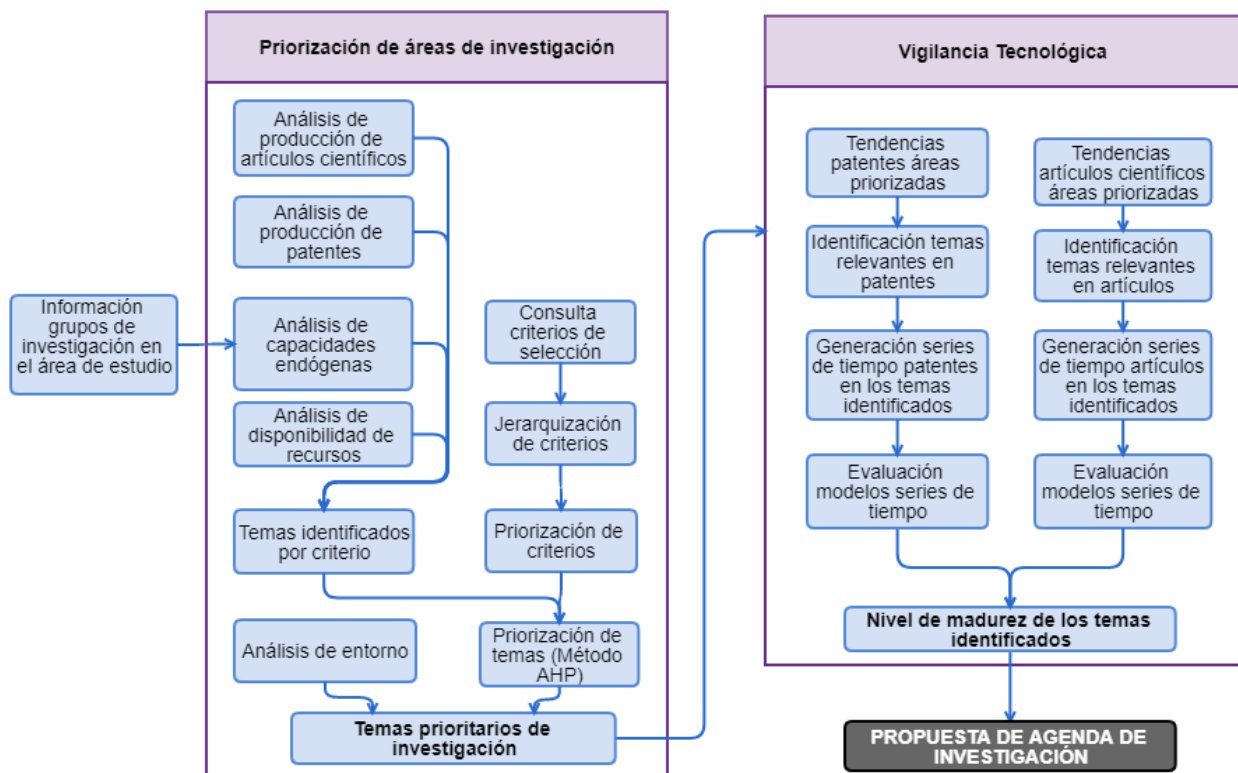


Figura 45. Metodología propuesta para la definición de agendas de investigación con base en el desarrollo de una agenda de investigación en Energías Renovables.

Fuente: Elaboración propia

### Áreas de investigación prioritarias

A partir de la aplicación de la metodología descrita anteriormente se identificaron unas áreas de investigación y unos temas, los cuales pueden ser tenidos en al interior de los grupos de investigación y entidades del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para priorizar sus esfuerzos, en este caso para el área de energías renovables.

De acuerdo con el ejercicio de priorización descrito en la metodología, que incluyó análisis de información de datos de patentes, de artículos científicos, de entorno y la aplicación de una metodología de proceso Jerárquico analítico (AHP), se llega a la definición que incluyen tres áreas de investigación medulares y dos transversales que se presentan en la Figura 46.

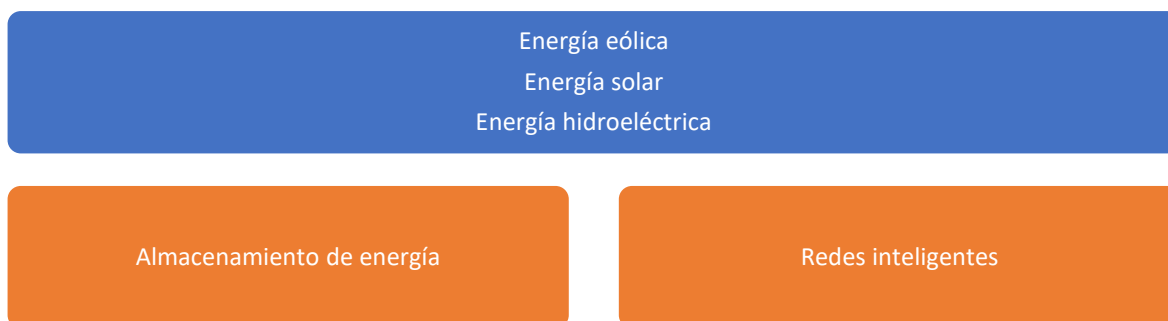


Figura 46. Áreas de investigación priorizadas para energías renovables, de acuerdo con la metodología propuesta.

Fuente: Elaboración propia

### Nivel de madurez de las tecnologías asociadas

Con base en ejercicios de Vigilancia tecnológica se identifican unas tecnologías asociadas a las áreas de investigación priorizadas, Para la determinación del nivel de madurez de estas tecnologías, se obtienen las curvas s, a partir de las series de tiempo acumuladas de la producción de artículos y patentes. En la Figura 47 se presenta un esquema de las curvas que se obtienen y el punto de inflexión, que representa el punto en que se pasa de una tecnología clave a una tecnología madura. Las tecnologías emergentes o que han alcanzado su madurez más recientemente, aunque tienen mayores riesgos asociados, tienen mayor potencial de crecimiento. Las tecnologías maduras llegan a un punto en el que tienen un potencial mínimo para producir beneficios; enfrentan mercados estancados y casino les queda espacio para mejoras en la productividad (Pérez, 2001).

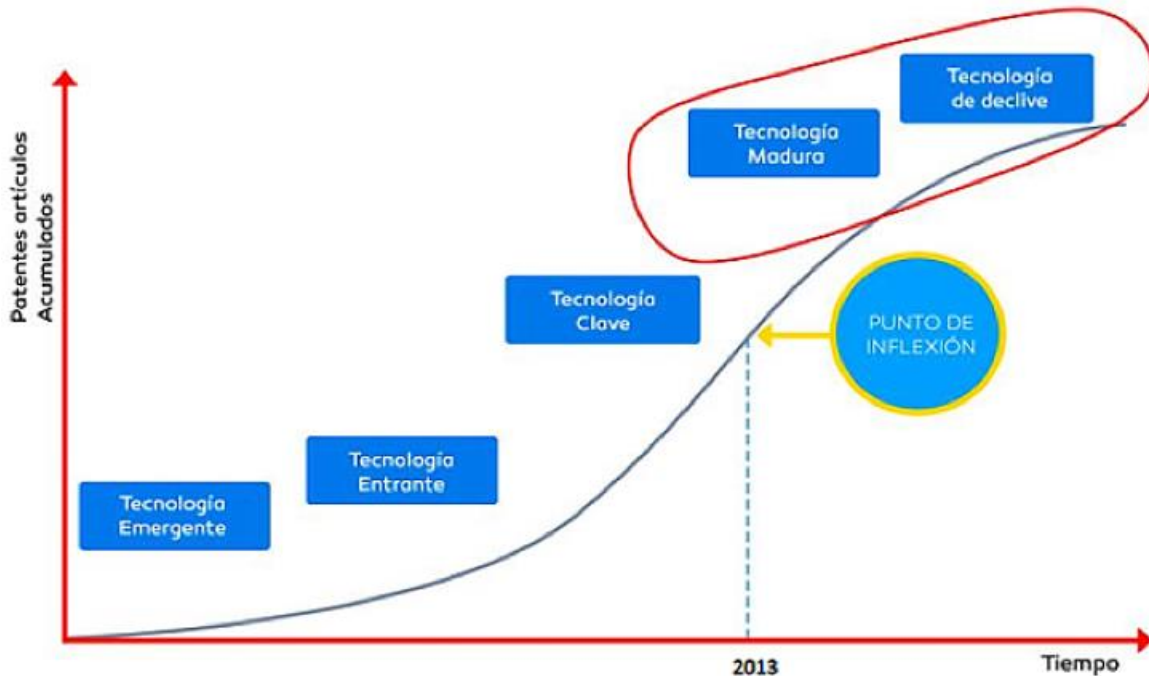


Figura 47. Curvas s de estado de tecnologías.

Fuente: Grajales Lopez, Zartha, J, & Gomez Garces (2016), adaptado de Ortiz y Pedroza (2006).

Para cada una de las áreas de investigación priorizadas, se realizan análisis de tendencias tecnológicas, tanto con información de patentes como de producción científica. Se extrae información de las series de tiempo con información de la dinámica de publicaciones para la generación de curvas s. Además, se modelan los datos con base en 13 modelos generados en el software *SigmaPlot* (Sigmoidal 3, Sigmoidal 4, Sigmoidal 5, Logístico 3, Logístico 4, Weibull 4, Weibull 5, Gompertz 3, Gompertz 4, Gompertz 5, Sigmoidal Hill 4, Chapman 3 parameter, Chapman 4 parameter). Para cada tecnología se selecciona el modelo que más se ajusta a los datos y con base en los parámetros identificados se establecen los puntos de inflexión de cada una de las tecnologías.

Como insumos para actores del SNCTI en el área de energías renovables se evalúan dos parámetros en la producción de patentes y de artículos científicos:

- Punto de inflexión: Representa el punto en el tiempo (año) en que una tecnología alcanza su nivel de madurez.
- No promedio de patentes anuales: Refleja la importancia relativa respecto a otras tecnologías.

De acuerdo a lo anterior, las tecnologías que se ubican en la parte izquierda corresponden a tecnologías más maduras y en la parte superior tienen una importancia relativa mayor al tener mayor número de publicaciones.

Cabe anotar que en algunos casos las series de tiempo de algunas de las tecnologías no cumplían los parámetros estadísticos definidos para validar los modelos, por lo tanto, para esas tecnologías no se muestra la información de sus puntos de inflexión y estos casos particulares pueden ser de interés para análisis en futuros estudios.

## **Energía eólica**

### **Temas prioritarios**

- Turbinas: Eje vertical y horizontal
- Control y caja de velocidades
- Generadores
- Palas o rotores
- Eléctrica y electrónica sistemas eólicos
- Aplicación de energía eólica en edificaciones

En la Figura 48 se presenta la información del grado de madurez, e importancia relativa de los temas o tecnologías de las tecnologías de energía eólica frente a las publicaciones de patentes.



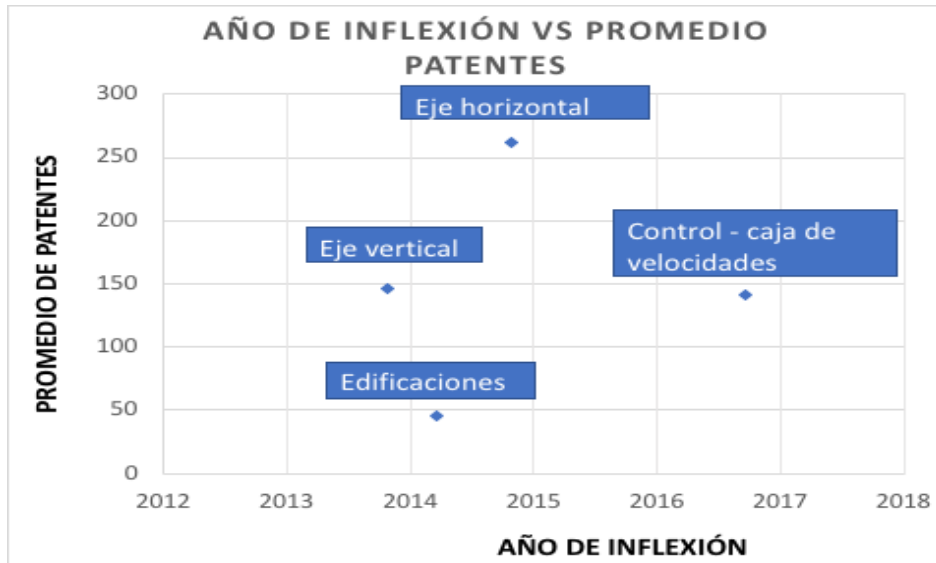


Figura 48. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de energía eólica.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

En la Figura 49 se visualiza la información del grado de madurez, e importancia relativa de los temas o tecnologías, con base en la información de artículos científicos publicados en el tema.

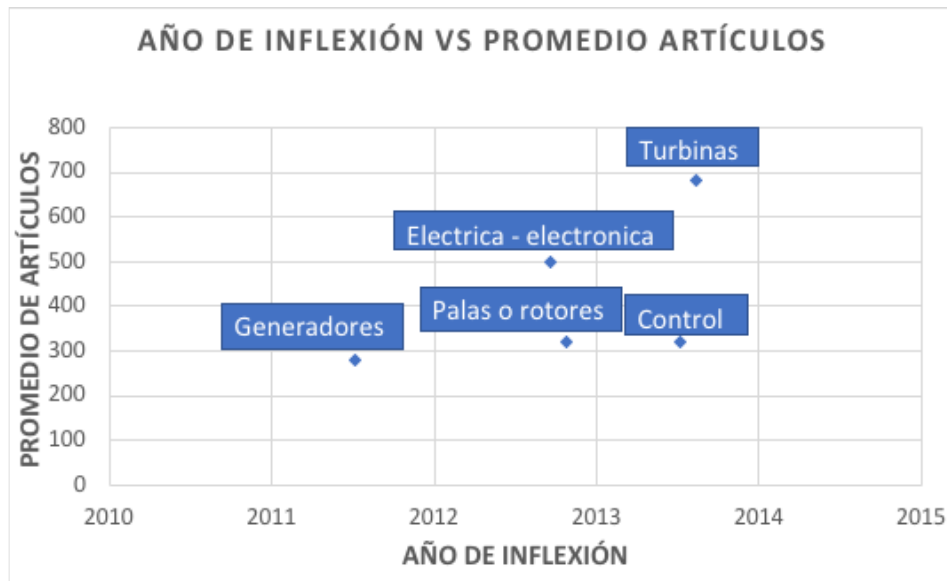


Figura 49. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de energía eólica.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

De la información presentada se extrae por ejemplo que las turbinas eólicas, principalmente las de eje horizontal, por el promedio de publicaciones anuales presentan mayor interés relativo, igualmente presentan puntos de inflexión posteriores al año 2013, por lo que el nivel de madurez se ha alcanzado desde dicho año. La tecnología que presenta un punto de inflexión más reciente corresponde a los temas de control y caja de velocidades, por lo que es un tema de interés más reciente y en el cual se pueden concentrar esfuerzos en I+D. Temas como los generadores, palas o rotores pueden ser objeto de mecanismos de transferencia tecnológica. Cabe anotar que bajo esta misma metodología es posible desagregar aún más estas tecnologías o temas de investigación e identificar subcomponentes tecnológicos y el grado de madurez de cada uno.

A continuación, se presentan algunas tendencias de investigación como instituciones líderes a nivel mundial en energía eólica y países que pueden ser un referente o la base para establecer alianzas para el desarrollo o la transferencia tecnológica en estas áreas. Temas como generadores o aplicación de energía eólica en edificaciones al haber alcanzado un nivel de madurez hace mucho más tiempo, pueden ser objeto de estrategias de transferencia tecnológica más que esfuerzos de I+D.

## **Energía solar**

### **Temas prioritarios:**

- Energía solar fotovoltaica
- Energía solar térmica (incluye termoeléctrica)
- Aplicaciones de energía solar en edificaciones
- Materiales para sistemas de energía solar

En la representación gráfica de tecnologías de energía solar (Ver Figura 50), de acuerdo con la dinámica de solicitudes de patente, se evidencia como la energía solar fotovoltaica ha alcanzado un nivel de madurez muy recientemente con un potencial de Investigación y

Desarrollo, así mismo en el caso de aplicaciones de energía solar en edificaciones, con el punto de inflexión previo al año 2013 sería más consistente con estrategias de transferencia o adaptación tecnológica.

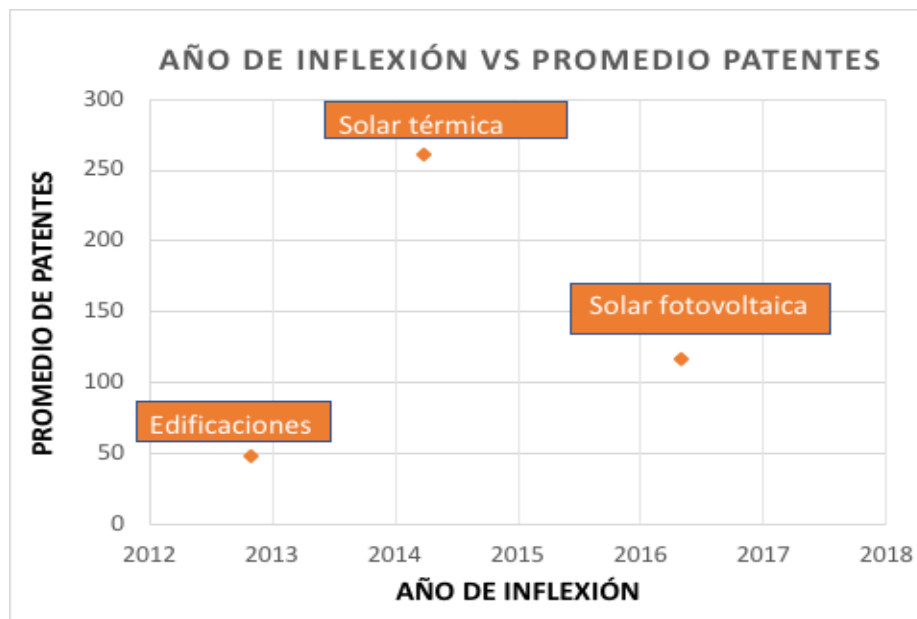


Figura 50. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de energía solar.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

De la dinámica de artículos científicos y la determinación de los puntos de inflexión de los temas de energía solar (Figura 51), se observa en el caso de energía solar térmica un punto de inflexión más reciente, lo que reflejaría que a nivel de artículos científicos tiene una dinámica de crecimiento más reciente que no se ha visto reflejado en producción de patentes y que podría representar una oportunidad para procesos de I+D, así mismo los temas de materiales aplicados a energía solar, aunque pareciera ya tener un grado de madurez en su estudio, sería importante desagregar esos materiales para identificar oportunidades de I+D en ese campo.

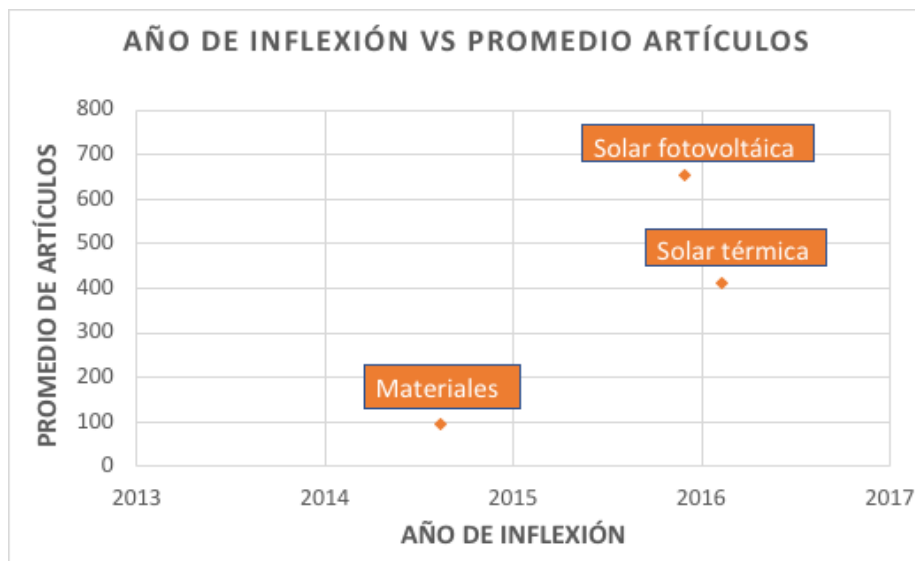


Figura 51. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión para área de energía solar (artículos).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

## Energía hidroeléctrica

### Temas prioritarios

- Energía hidroeléctrica convencional
- Energía hidroeléctrica sin represa
- Turbinas hidroeléctricas
- Adaptaciones equipos generación hidroeléctrica
- Presas/embalses para generación hidroeléctrica
- Hidráulica/estructuras hidráulicas

En la información de energía hidroeléctrica, en primer lugar, llama la atención que en el caso de patentes (Ver Figura 52) la energía hidroeléctrica convencional tiene un comportamiento con el número más alto de solicitudes de patente y un punto de inflexión más reciente, que refleja oportunidades de desarrollo e innovación, lo cual puede deberse a la importancia que aún tiene esta tecnología y posibilidades de optimización y desarrollos a la misma, los temas

restantes (turbinas hidráulicas e hidroeléctrica sin represa, a pesar de tener puntos de inflexión menos recientes (tecnología más madura) son posteriores al año 2015 y evidenciarían aún potencial de trabajo en I+D+i.

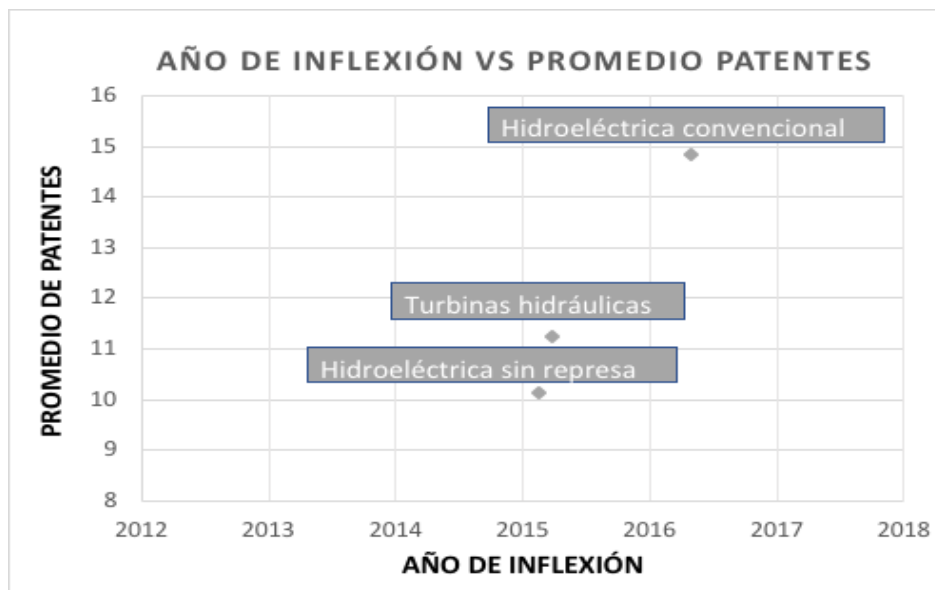


Figura 52. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

A nivel de publicaciones científicas, de acuerdo con los puntos de inflexión arrojados por los modelos, el tema de presas y embalses se encuentra como una tecnología emergente con potencial trabajo de I+D, lo que explicaría en parte, la dinámica de patentes en energía hidroeléctrica convencional, igualmente el tema de turbinas hidráulicas con un punto de inflexión cercano al año 2018 presenta un potencial de trabajo, y temas de generadores e hidráulica serían mucho más maduros con menor potencial de trabajo en I+D.

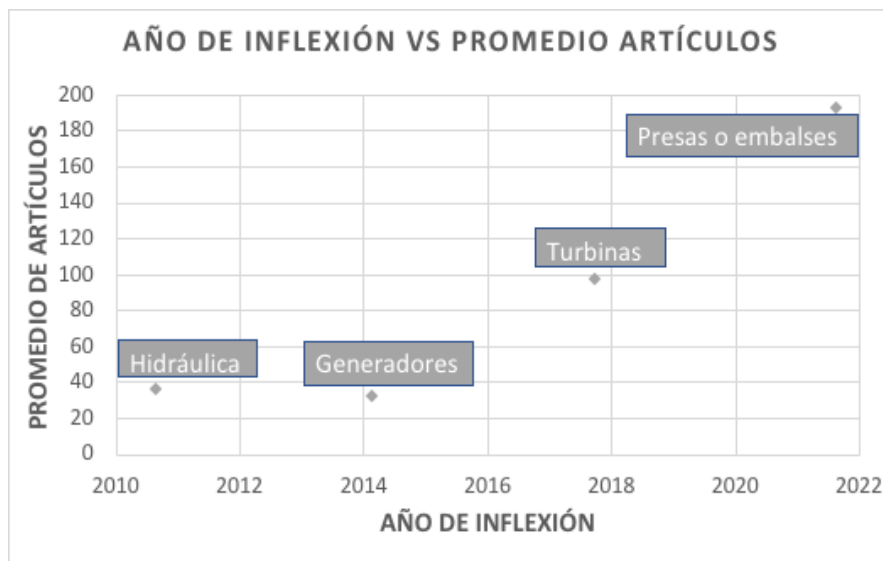


Figura 53. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot.

## Almacenamiento de energía

### Temas prioritarios

- Almacenamiento de energía térmica
- Baterías
- Condensadores
- Almacenamiento energía mecánica
- Almacenamiento de energía cinética
- Materiales para almacenamiento de energía

En la información obtenida a partir de patentes relacionadas con almacenamiento de energía (Ver Figura 54) se encuentra que el tema que tiene mayor potencial por el número de solicitudes de patente y por tener un punto de inflexión más cercano, es el de condensadores (incluye ultracondensadores, supercondensadores y condensadores de doble capa),

identificado con el código de patentes CPC Y02E60/13, los temas relacionados con baterías y almacenamiento de energía mecánica presentarían una importancia relativa menor. Cabe anotar que el tema de almacenamiento de energía térmica no cumplió con los parámetros estadísticos de los modelos sigmoidales analizados, por lo cual no se presenta en la figura analizada (Figura 54)

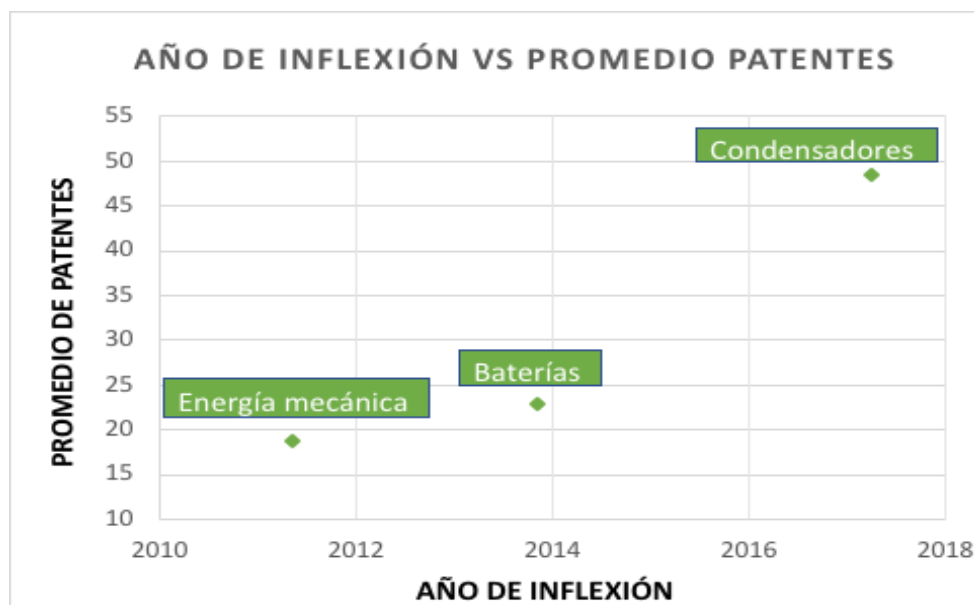


Figura 54. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

De los temas analizados de almacenamiento de energía con base en información de publicaciones científicas, solo el modelo generado con la serie de tiempo correspondiente al tema de almacenamiento de energía cinética (Flywheels) cumplió con los parámetros estadísticos para ser representativo, del resultado de dicha evaluación se extrae que el punto de inflexión cercano al año 2009, corresponde a una tecnología madura, de la cual las estrategias tecnológicas corresponderían principalmente a transferencia o apropiación (Ver Figura 55)

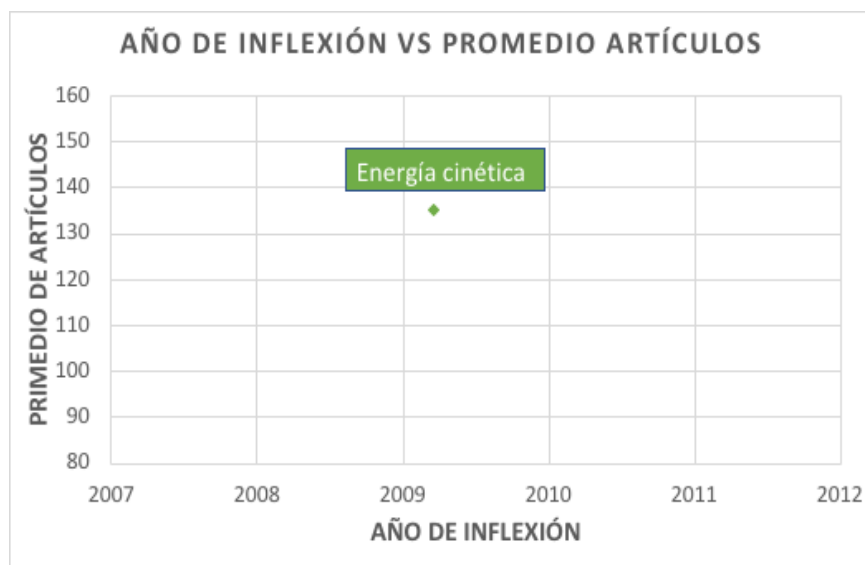


Figura 55. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

## Redes inteligentes

### Temas prioritarios

- Redes de Distribución y Transmisión
- Respuesta a la demanda
- Uno de TIC en redes eléctricas
- Gestión de usuarios finales
- Sistemas de medición avanzada

De la información de producción de patentes y publicaciones científicas en el área de redes inteligentes, lo primero que cabe anotar es que las series de tiempo iniciaban alrededor de 2009, generando menos datos, por lo cual, aunque los modelos eran válidos desde un punto de vista estadístico, tienen menos representatividad respecto a las otras áreas, donde se tienen muchos más datos.



En el caso de la información extraída de la dinámica de publicación de patentes, se tiene que el tema que presenta un promedio de patentes anuales más alto y por tanto mayor importancia relativa es el de redes de transmisión y distribución, sin embargo, presenta mayor madurez (y menor potencial de I+D) frente a temas como respuesta a la demanda o aplicación de TIC en redes, el tema de gestión de usuarios es el más maduro de acuerdo con el análisis realizado (Ver Figura 56).

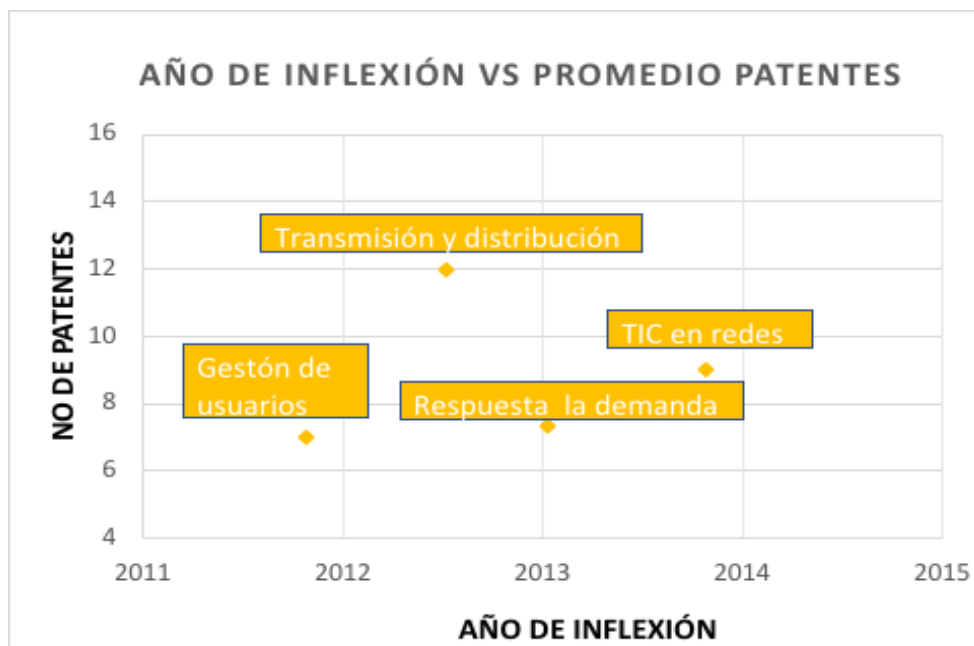


Figura 56. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de patentes anuales (eje y) para área de redes inteligentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

A diferencia de la información generada en la información de patentes, en la dinámica de artículos científicos (Figura 57), aquellos relacionados con redes de transmisión y distribución, no solo tiene la importancia más alta sino que tiene el punto de inflexión cercano al año 2017, una posible interpretación de esta información es un interés científico y académico en el tema que ya ha alcanzado su madurez en desarrollo de tecnologías patentables, los temas de uso de TIC en redes y de respuesta a la demanda presenta una dinámica similar que en patentes con un punto de inflexión más cercano y potencial de trabajo, en este caso el tema que presentaría un potencial de I+D más bajo y en el que se recomendarían otros mecanismos de transferencia correspondería al de medición avanzada.

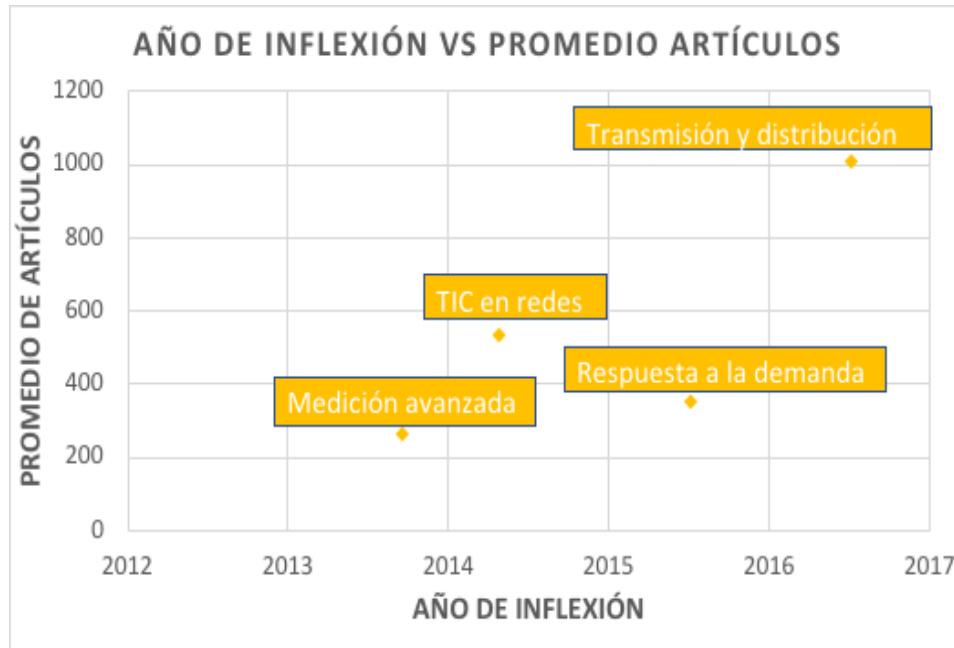


Figura 57. Representación de grado de madurez de tecnologías por año de inflexión (eje x) y promedio de publicaciones científicas anuales (eje y) para área de almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelos procesados con SigmaPlot

### Actores relevantes energías renovables

En este apartado se presenta la información de los principales países y organizaciones vinculadas a los desarrollos científicos y tecnológicos relacionados con las energías renovables, adicionalmente en el ANEXO 5. Principales actores (países y entidades) relacionados con producción científica y tecnológica en las energías renovables se presenta el listado de países e instituciones líderes por cada área tecnológica e información más detallada de las organizaciones que lideran la publicación de patentes y artículos científicos.

### Artículos científicos

Al analizar los países con mayor número de publicaciones de artículos científicos en las diferentes áreas priorizadas en la agenda de investigación encontramos en primer lugar a China, con publicaciones principalmente en energía eólica, solar y almacenamiento de energía, en segundo lugar, encontramos a Estados Unidos, seguido por Alemania, India,

Reino Unido, Japón y Canadá. Llama la atención el avance logrado por India en investigación en energías renovables y principalmente en energía solar (Ver Figura 58).

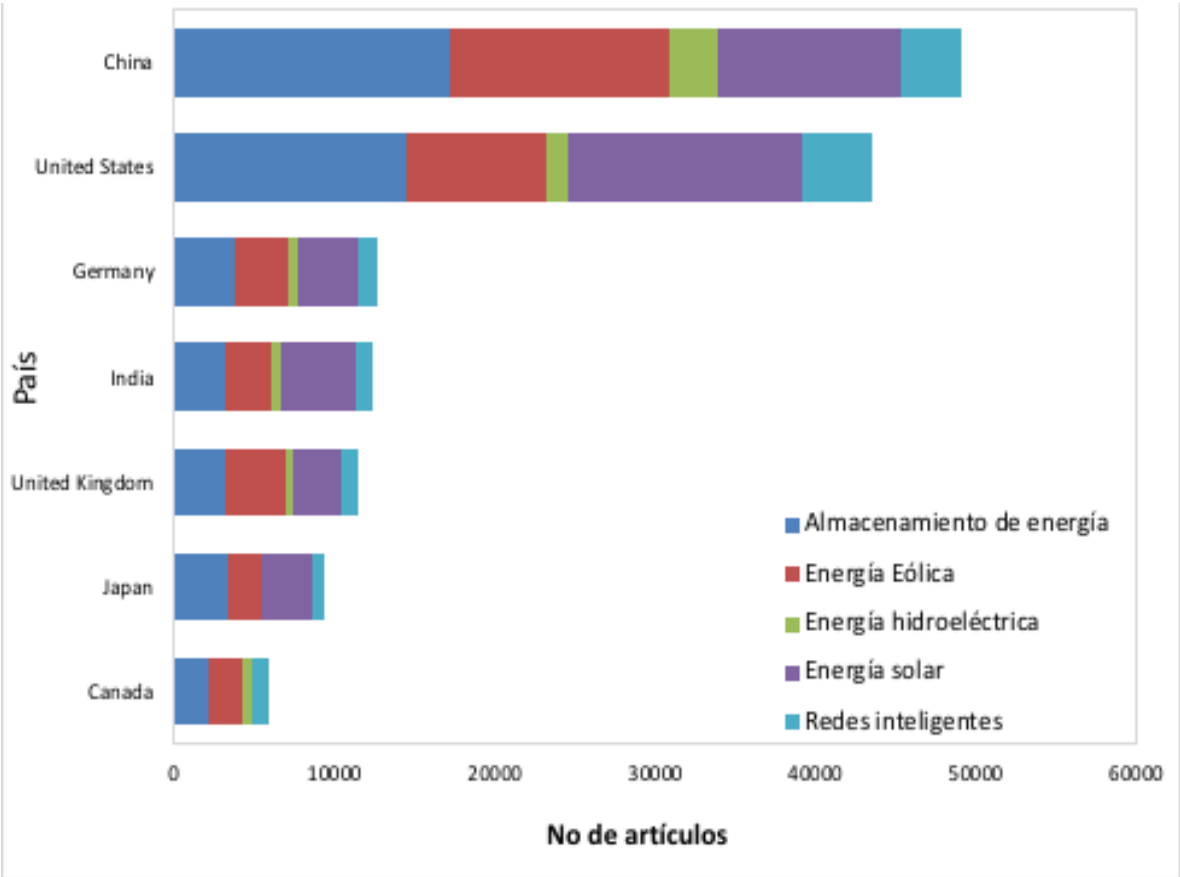


Figura 58. Países con mayor número de publicaciones de artículos en Energías Renovables.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 59 se presentan las organizaciones a nivel mundial que lideran las publicaciones académicas relacionadas con Energías renovables, hay un claro predominio de instituciones Chinas con los cuatro primeros lugares del listado, donde el primer lugar lo ocupa la Academia China de Ciencias, en los lugares siguientes encontramos instituciones como la universidad técnica de Dinamarca y el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL)

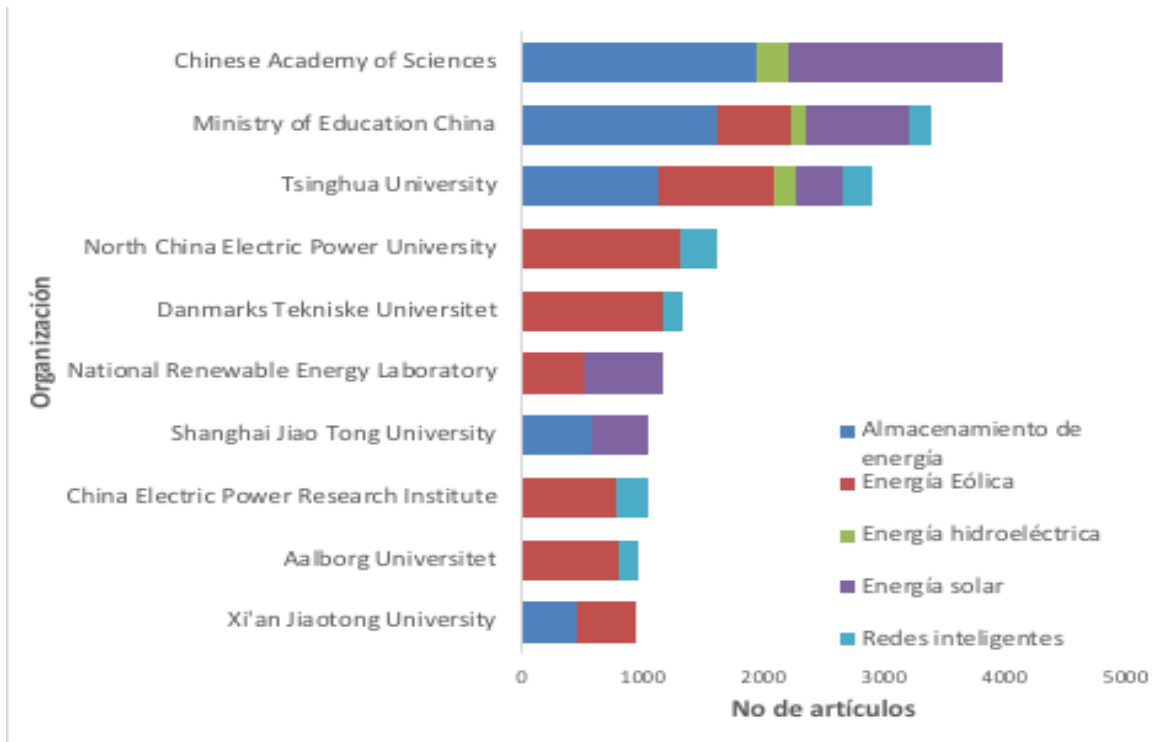


Figura 59. Principales organizaciones con publicación de artículos en Energía Renovables.

Fuente: Elaboración propia

## Patentes

Al igual que en el caso de artículos científicos, el predominio de las publicaciones de patente lo tienen China y Estados Unidos, pero en este caso, la diferencia en número de publicaciones de China frente al resto de países o jurisdicciones de patente como la OMPI o las patentes europeas es bastante amplia (Ver Figura 60), así mismo se identifica un mayor número de solicitudes de patente relacionadas con energía solar y energía eólica

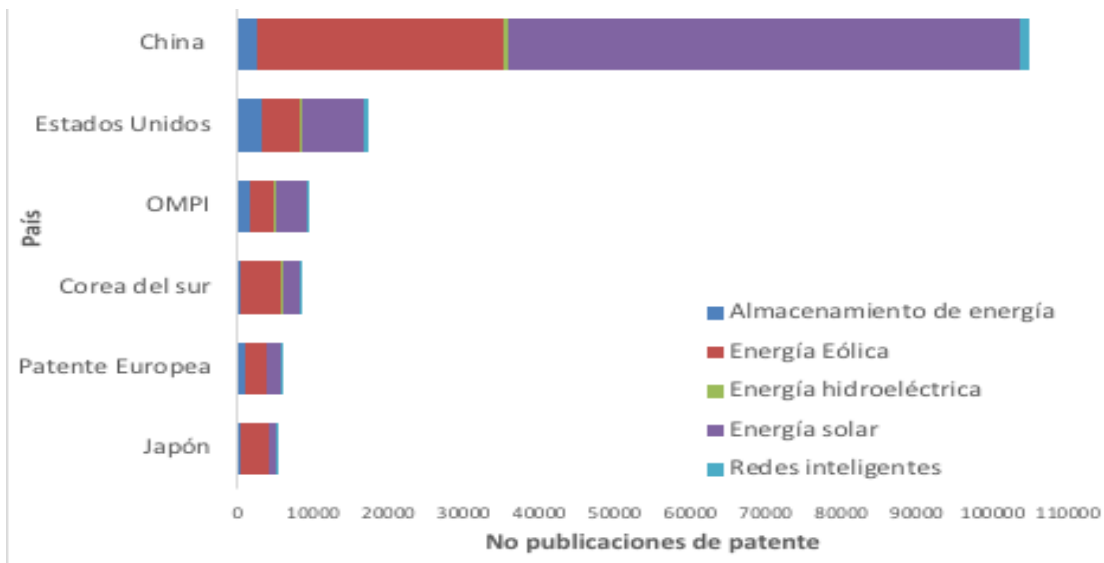


Figura 60. Países con mayor número de solicitudes de patente en Energías Renovables.

Fuente: Elaboración propia

En relación con las organizaciones que más solicitudes de patente presentan (Ver Figura 61) se encuentran empresas de países como China, Alemania, Japón, Dinamarca y Estados Unidos, llama la atención el predominio que tienen las empresas líderes en publicación de patentes en aquellas relacionadas con energía eólica.

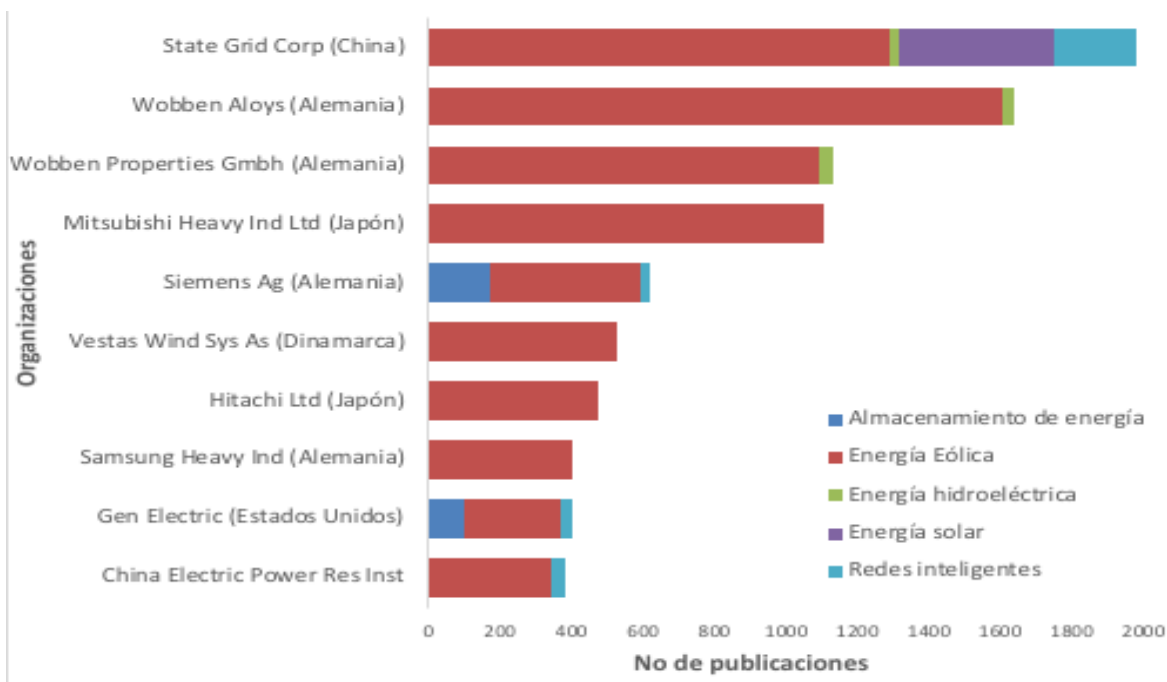


Figura 61. Principales organizaciones con solicitudes de patente en Energía Renovables

Fuente: Elaboración propia

## VALIDACIÓN DE LA AGENDA

La validación de la agenda se realizó mediante el envío de la información obtenida a los grupos de investigación identificados en Colombia con líneas de trabajo en Energías Renovables, cuyo listado se incluye en el ANEXO 1. Listado de grupos de investigación y líneas de investigación en energías renovables del presente trabajo.

Se envió la información obtenida en el desarrollo de la agenda de investigación y se realizó una encuesta en la plataforma Google Forms. Se consultó la pertinencia del desarrollo de agendas de investigación para la priorización de las líneas de trabajo de los grupos o instituciones, la utilidad de los resultados de la agenda para estos grupos, la pertinencia de la aplicación de esta metodología por actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), en el grupo o institución correspondiente, y finalmente se da un espacio para observaciones o recomendaciones.

A continuación, en las Figuras 62 a 65, se presenta una visualización de los resultados de la encuesta realizada:

### 1. ¿Considera importante para su grupo de investigación contar con agendas investigación para identificar temas prioritarios en sus líneas de trabajo?

33 responses

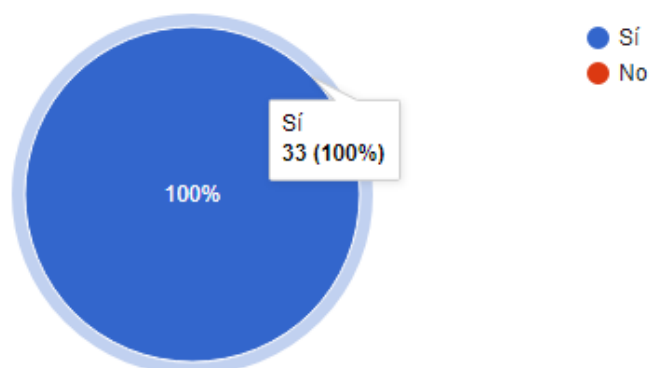


Figura 62. Resultados pregunta 1 encuesta a grupos de investigación.

Fuente Plataforma Google Forms

De los resultados a la primera pregunta, se extrae que las agendas de investigación, como base para la definición de temas prioritarios de investigación, son un aspecto relevante para todos los grupos de investigación que contestaron la encuesta.

## 2. ¿Considera que los insumos generados en la presentación y los documentos complementarios pueden ser de utilidad para la definición de las áreas de trabajo del Grupo de investigación /Institución?

33 respuestas

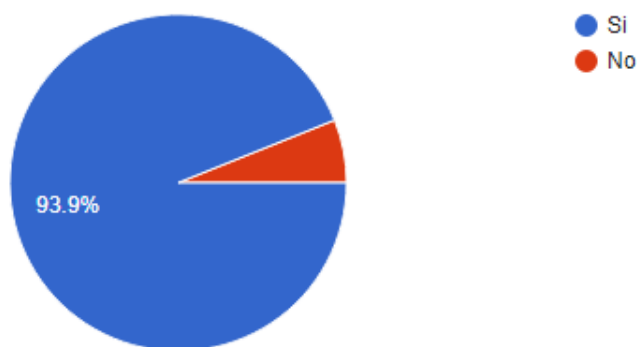


Figura 63. Resultados pregunta 2 encuesta a grupos de investigación

Fuente Plataforma Google Forms

De acuerdo con las respuestas obtenidas a la pregunta 2, se evidencia que, para la mayoría de los grupos de investigación, los documentos compartidos con los resultados de la aplicación de la metodología propuesta en el presente trabajo pueden ser de utilidad para la definición de áreas de trabajo de los grupos de investigación o instituciones. Se valida que los resultados obtenidos tienen el potencial de ser usados por actores de SNCTI para la generación de agendas de investigación.

Al calificar la pertinencia general del uso de este tipo de metodologías para la definición de políticas y prioridades de investigación en instituciones que hacen parte SNCTI (Ver Figura 64), la mayoría de los representantes de los grupos de investigación (53,1%) le dio una calificación de 4/5, siendo la segunda calificación de 5/5 (34,4%) y la tercera calificación de 3/5 (9,4%). Una mayoría de los encuestados (87,5%) le da una calificación de 4 ó 5. Lo anterior denota que, aunque en líneas generales se da una buena calificación a la aplicación de la metodología para la generación de políticas y prioridades de investigación en entidades

del SNCTI, existen aspectos que deben mejorarse en la misma. Las observaciones enviadas son tenidas en cuenta como aspectos a mejorar en la aplicación de la metodología y sugerencias para futuros trabajos relacionados con la generación de agendas de investigación.

### 3. Favor califique de 1 a 5 la pertinencia de la aplicación de este tipo de metodologías en la definición de políticas y prioridades de investigación en las instituciones del SNCTI

33 responses

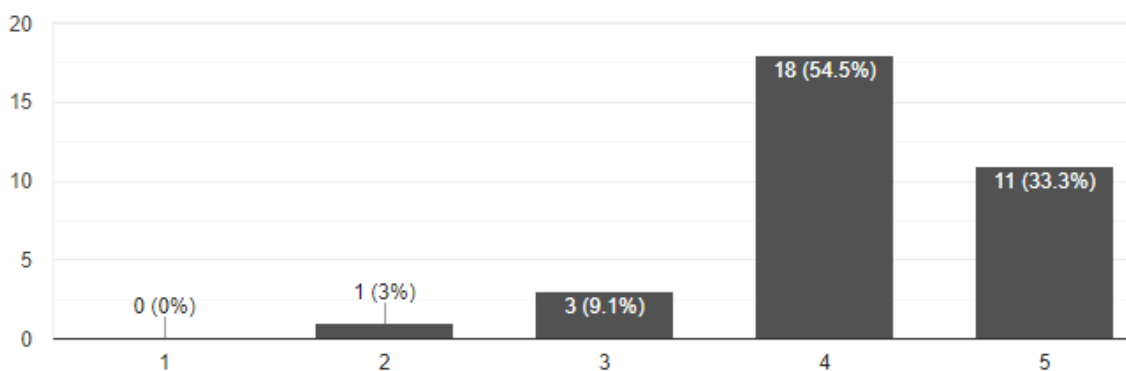


Figura 64. Resultados pregunta 3 encuesta a grupos de investigación

Fuente Plataforma Google Forms

Finalmente, al calificar la pertinencia de la agenda propuesta, enfocada al trabajo específico del grupo de investigación o institución de los encuestados, hay una mayor proporción de respuestas correspondientes a una calificación de 5/5 (40,6%), seguido por una calificación de 4/5 (34,4%), sin embargo, se encuentra un mayor número de calificaciones correspondientes a 3/5 (25%), con lo cual, si bien, la mayoría de los encuestados (75%) le da una calificación entre 4 y 5, y se califica la metodología como pertinente para su grupo o institución, un 25% le da una calificación de 3, evidenciando aspectos que acorde con la revisión de los representantes de los grupos de investigación pueden ser mejorados.



#### 4. Favor califique de 1 a 5 la pertinencia de la agenda generada en el trabajo que realiza su grupo de investigación/Institución

33 respuestas

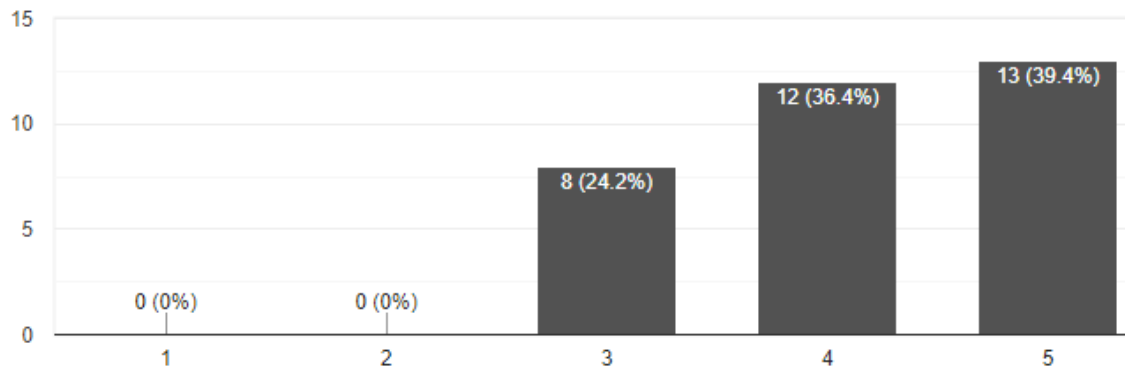


Figura 65. Resultados pregunta 3 encuesta a grupos de investigación

Fuente Plataforma Google Forms

A continuación, algunas consideraciones sobre las observaciones o recomendaciones recogidas en la encuesta y que son incluidas en el ANEXO 6. Observaciones grupos de investigación a agenda de investigación y documentos enviados

Una buena parte de las observaciones corresponde a la no inclusión de las líneas de investigación manejadas por el grupo de investigación, como se evidencia en las observaciones que se relacionan a continuación.

- “Hizo falta incluir el tema de la biomasa como fuente energética”
- “Hay un tema que es fundamental "multigeneración" considero pertinente incluirlo”
- “Pregunto sobre la energía de biomasa en caso de biodigestores de sectores avícola. Porcicola, etc. Los potenciales son grandes. Se desaprovechan”
- “Creo que sería bueno incluir en la agenda los temas regulatorios para la inclusión de las energías renovables en las redes de transmisión y distribución”
- “Es muy grande el potencial hidro energético en Colombia. Pero debe estar incluido el potencial hídrico debido a los mares y océanos”
- “Creería que es conveniente también lo relacionado con auditoria energética a las empresas colombianas con el fin de incentivar el uso eficiente de la energía, que adicionalmente se hable de cogeneración”
- “No se consideró estratégico el sector de Combustibles y Motores”

En este punto, las áreas de investigación priorizadas dependerán en primer lugar del alcance del trabajo, el cual, en este caso, correspondió a tecnologías relacionadas con la generación de energía eléctrica a partir de Energías Renovables, al aplicar la metodología desarrollada a una agenda que contemple un alcance más amplio o incluyendo nuevos criterios de priorización los resultados pueden variar, por lo que la inclusión de algunas de las tecnologías mencionadas en las observaciones dependerá de las necesidades de cada ejercicio particular y los criterios de priorización definidos. Cabe anotar que tecnologías como energía de la biomasa, energía geotérmica y energía de los océanos fueron evaluadas en el marco del desarrollo de la agenda, sin embargo, al aplicar la metodología, y de acuerdo con los criterios establecidos, estas áreas de investigación no fueron priorizadas dentro de la agenda. Cabe anotar que la metodología puede adaptarse a nuevos criterios dependiendo los requerimientos y contexto de la comunidad a la que esté dirigida la agenda de investigación.

Se encuentran sugerencias relacionadas con aspectos específicos o criterios adicionales que se pueden incluir en el desarrollo de la agenda, como: Condiciones atmosféricas, características de las fuentes disponibles, condiciones de las escalas técnico - económicas, usos finales en los sectores de consumo, aspectos de gestión de proyectos y su impacto o relación en el uso utilizado de las fuentes. Aspectos que efectivamente se consideran podrían fortalecer los resultados de obtención de una agenda de investigación y que en futuros trabajos pueden ser considerados. Cabe anotar que en la metodología propuesta es posible incluir nuevos criterios en la etapa de priorización de áreas de investigación, por lo que, dependiendo del alcance esperado y los aspectos identificados como relevantes por los actores involucrados, pueden ser incluidos en el proceso de construcción para tener un resultado acorde al entorno y las expectativas de los actores involucrados.

La encuesta fue enviada a la totalidad de los 70 grupos identificados con líneas de investigación en energías renovables, de los cuales, 33 respondieron la encuesta, que a partir de un 95% de nivel de confianza, corresponde a un margen de error del 12.5%.

## CONCLUSIONES

El alcance del presente trabajo abarcó la aplicación de una metodología para la formulación de una agenda de investigación, para la cual se determinaron como elementos principales unas áreas prioritarias y unos temas o líneas de investigación en este caso para energías renovables, adicionalmente, se generan insumos producto de la información recopilada, como información de actores claves entre los que se encuentran universidades, centros de investigación, empresas entre otros que puedan ser importantes para el desarrollo de la agenda. De acuerdo con lo anterior, se considera que fue posible desarrollar una metodología para la construcción de una agenda de investigación a partir del análisis de tendencias tecnológicas globales y de grupos de investigación nacionales en energías renovables.

Como parte de los objetivos específicos se generó una metodología preliminar de análisis de tendencias tecnológicas e información de grupos de investigación, y que sirvió como punto de partida para el análisis de información y la propuesta metodológica final.

En la primera parte de la metodología, se realizó una priorización de áreas de investigación en energías renovables para generación de energía eléctrica, que incluyó la recopilación de información relacionada con unos criterios de evaluación previamente definidos y que son priorizados mediante un proceso analítico jerárquico (AHP).

Un segundo gran componente de la metodología consistió en aplicar herramientas de vigilancia tecnológica como bibliometría y cienciometría a las áreas identificadas, que permitieron determinar temas prioritarios de investigación partir de las tendencias identificadas de producción científica y tecnológica y la determinación de la madurez de estos temas mediante la aplicación de curvas s.

Se recopiló y analizó información de grupos de investigación en energías renovables reconocidos por Colciencias como parte de la identificación de capacidades endógenas, que junto con los demás criterios definidos para la priorización de áreas de investigación permitió realizar el ejercicio de priorización.

La información generada mediante la construcción de una agenda de investigación fue validada a través de una encuesta a grupos de investigación identificados con líneas de

investigación en energías renovables sobre la consistencia de la agenda desarrollada, donde se tuvo una participación de 33 respuestas frente a un total de 70 actores identificados.

La aplicación de la herramienta de análisis jerárquico analítico (AHP) resultó útil tanto para calificar los diferentes criterios de priorización utilizados, como para la selección final de las áreas o temas de investigación, un aspecto que se podría mejorar en futuros ejercicios es el acompañamiento a las personas que realizan la encuesta, para garantizar que en todas las encuestas el índice de consistencia se encuentre en los valores requeridos para validar la información.

Como resultado de la aplicación de esta metodología para la generación de una agenda de investigación en Energías Renovables, se priorizaron las áreas de energía eólica, energía solar, energía hidroeléctrica, almacenamiento de energía y redes inteligentes, así como temas específicos a cada una de estas áreas los cuales son detallados en la agenda de investigación.

En la identificación de capacidades endógenas, realizada principalmente mediante la recopilación de información de las líneas de trabajo de los grupos de investigación, se encuentra un método alternativo para obtener este insumo, consistente en la aplicación de la metodología de colegios invisibles, donde es posible identificar temáticas y comunidades asociadas a la producción científica de los grupos de investigación.

La determinación de la madurez tecnológica de los temas seleccionados a partir de la generación de las “curvas s” permitió la comparación de diferentes temas asociados y tener un criterio para priorización o para establecer las estrategias a desarrollar con los diferentes temas de investigación dependiendo su grado de madurez, donde por ejemplo, en tecnologías más maduras se privilegian estrategias de transferencia tecnológica sobre procesos de I+D, a aplicar preferiblemente en tecnologías emergentes o entrantes con mayor potencial de generar desarrollos.

No todos los temas identificados se ajustaban a la modelación de curvas en s, ni de las series de tiempo de patentes ni de artículos científicos, de acuerdo con los parámetros estadísticos definidos, este hecho se evidenció particularmente en temas asociados al almacenamiento de energía. Este sería un punto a revisar en futuros trabajos, específicamente en la comparación de temas específicos que no correspondan al comportamiento de curvas en s.

Así mismo, en casos como el de redes inteligentes, los modelos fueron estadísticamente válidos, pero al tener un inicio más reciente de publicación de patentes y artículos científicos, se considera que las tendencias no se han consolidado y se recomienda continuar monitoreando su evolución en próximos años para validar el grado de madurez que alcancen estas tecnologías.

Se identifica que la metodología propuesta tiene el potencial de profundizar a diferentes niveles de acuerdo con las necesidades de los interesados en el desarrollo de las agendas, donde, por ejemplo, uno de los temas identificados en el área de energía eólica (turbinas de eje horizontal) es susceptible a ser desagregado en temas como Turbinas Offshore, Turbinas Onshore, Palas o rotores, Generadores, Góndolas, Sistema de control, que aunque no se incluyó este grado de desagregación, dependiendo los requerimientos del estudio la agenda de investigación puede desarrollar mayores niveles de profundidad.

La validación de los resultados y hallazgos de la aplicación de la metodología propuesta se realizó mediante el envío de los resultados del trabajo a los grupos de investigación en el país con líneas de investigación relacionadas con Energías Renovables, y la realización de una encuesta sobre la calificación dada a diferentes aspectos del trabajo. Aunque una mayoría de los representantes de los grupos que diligenciaron la encuesta validaron la pertinencia de la metodología y los resultados tanto para su uso por instituciones del SNCTI como por los grupos de investigación, se encuentran observaciones y recomendaciones de mejora que se consignan en el Anexo 6 relacionados en parte con la expectativa de la inclusión de líneas específicas de trabajo en la agenda de investigación, y por otro lado la propuesta de criterios y aspectos a abordar como parte de la metodología para llegar a la agenda final.

La aplicación de esta metodología debe considerar el alcance esperado de la agenda de investigación, considerando aspectos como los actores involucrados, la delimitación geográfica, temática, etc., en la cual se pueden involucrar nuevos criterios, principalmente en la etapa de priorización de áreas de investigación, así mismo, en consideración de los diferentes abordajes metodológicos que se pueden realizar para el análisis de tendencias científicas y tecnológicas, se encuentran diversas alternativas para identificar la dinámica de los temas priorizados, como alternativa al análisis a partir de curvas en s.

Los aportes de este trabajo corresponden a una metodología que puede ser aplicada en Colombia u otros países para determinar prioridades de investigación, a nivel de agendas, o como punto de partida para la definición de planes de investigación, teniendo en cuenta tanto tendencias mundiales a nivel científico y tecnológico como aspectos del entorno local y criterios específicos del contexto del área del conocimiento.

## REFERENCIAS

- Aguilar, S., Avalos, A., Giraldo, D., Quintero, S., Zartha, J., & Cortes, F. (2012). Journal of Technology Management & Innovation La Curva en S como Herramienta para la Medición de los Ciclos de Vida de Productos. *Journal of Technology Management & Innovation*, 7(1), 238–248. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242012000100016>
- American Association for Agricultural Education. (2012). *National Research Agenda*.
- BAI agencia de innovación. (2010). Modelos de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. *Servicio de Vigilancia Estratégica Competitiva (Zaintek)*, 1–141.
- Bhushan, N., & Rai, K. (2004). *Strategic Decision Making- Applying the Analytical Hierarchy Process*. <https://doi.org/10.1007/b97668>
- Castellanos, O. F. (2008). *Retos y Nuevos Enfoques en la Gestión de la Tecnología y del Conocimiento*.
- Castellanos, O. F., Piñeros, L. M., & Domínguez, K. P. (2009). *Manual Metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico en cadenas productivas agroindustriales*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia (Giro Edito). Bogotá D.C. Retrieved from [http://www.bdigital.unal.edu.co/2079/1/2009\\_\\_Manual\\_I.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/2079/1/2009__Manual_I.pdf)
- Christensen, C. M. (1992). Exploring the Limits of the Technology S-Curve. Part I: Component Technologies. *Production and Operations Management*, 1(4), 334–357. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.1992.tb00001.x>
- Chudnovsky, D. (2019). Políticas de ciencia y tecnología y el Sistema Nacional de Innovación en la Argentina. *Revista de La CEPAL*, 1999(67), 153–171. <https://doi.org/10.18356/fb05855a-es>
- Colciencias. (2013). PLAN ESTRATÉGICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA 2013-2022. Bogotá D.C.
- Corpoema, C. E. (2010). Formulación de un Plan de Desarrollo para las Fuentes no

- Convencionales de Energía en Colombia, PDFNCE. Volumen 2: Diagnóstico. *Consortio Energético Corpoema*, 2, 367. Retrieved from [http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol\\_2\\_Diagnostico\\_FNCE.pdf](http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_2_Diagnostico_FNCE.pdf)
- Corporación Ruta N. (2015). *Observatorio CT+i Informe No. 1 Área de oportunidad: Energías alternativas y renovables con énfasis en energía solar , eólica no tradicional , micro y pico centrales*. Medellín. Retrieved from [www.brainbookn.com](http://www.brainbookn.com)
- Departamento Administrativo de Ciencia tecnología e Innovación - Colciencias. (2017). *Modelo de medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación y de reconocimiento de investigadores del sistema nacional de ciencia de ciencia, tecnología e innovación, año 2017*. Retrieved from [http://www.unillanos.edu.co/docus/Documento conceptual medicion grupos e investigadores.pdf](http://www.unillanos.edu.co/docus/Documento%20conceptual%20medicion%20grupos%20e%20investigadores.pdf)
- DNP. (2015). *POLÍTICA NACIONAL DE CIENCIA , TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN, 2015-2025 (Borrador)*, 1–161.
- European Technology and Innovation Platform on Wind Energy. (2016). *Strategic research and innovation agenda 2016*, (September), 70. Retrieved from <https://etipwind.eu/files/reports/ETIPWind-SRIA-2016.pdf>
- Grajales, C., Zartha, J. W., Hernandez, R., Estrada, R., Guarnizo, C. A., Díaz, J. H., & Gomez, J. (2016). *Vigilancia Tecnológica y Análisis del Ciclo de Vida de la Vigilancia Tecnológica y Análisis del Ciclo de Vida de la Tecnología : Revisión de herramientas para el diagnóstico empresarial y la aplicación del ciclo de vida del producto en el sector turismo*. *ESPACIOS*, 37(January 2017).
- Halaweh, M. (2013). Emerging Technology: What is it? *Journal of Technology Management & Innovation*, 8(3), 19–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242013000400010>
- IDAE. (2005). *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*. Madrid. Retrieved from [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_PER\\_2005-2010\\_8\\_de\\_gosto-2005\\_Completo.\(modificacionpag\\_63\)\\_Copia\\_2\\_301254a0.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PER_2005-2010_8_de_gosto-2005_Completo.(modificacionpag_63)_Copia_2_301254a0.pdf)
- IDEAM. (2014). *Mapa Irradiación global horizontal medio diario - Anual*. Retrieved October



- 22, 2017, from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (2015). Mapa de velocidad de viento de máxima energía. Retrieved October 22, 2017, from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- INGEOMINAS. (2000). *Mapa Geotérmico de Colombia*. Bogotá D.C.
- International Energy Agency (IEA). (2016). World Energy Outlook 2016. *Secure Sustainable Together*, 684. [https://doi.org/http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB\\_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf](https://doi.org/http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_WorldEnergyOutlook2015ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf)
- International Energy Agency (IEA). (2017). Tracking Clean Energy Progress: 2017.
- IRENA. (2014). *A Renewable Energy Roadmap*. Abu Dhabi. Retrieved from [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap)
- IRENA. (2017). *REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation*. *ASHRAE Journal* (Vol. 55). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Kema-Cenergía - Colciencias. (2012). Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable en Colombia. *Plan de Ciencia Tecnología e Innovación Para El Desarrollo de La Energía Sustentable En Colombia, 1*, 1–110.
- Khramova, E., Meissner, D., & Sagieva, G. (2013). STATISTICAL PATENT ANALYSIS INDICATORS AS A MEANS OF DETERMINING COUNTRY TECHNOLOGICAL SPECIALISATION.
- 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/10.1016/j.eswa.2007.01.033>
- Kitzes, J., Galli, A., Bagliani, M., Barrett, J., Dige, G., Ede, S., ... Wiedmann, T. (2009). A Research Agenda for Ecological Footprint Accounting. *Ecological Economics*, 68(7), 1991–2007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.022>
- Kyebambe, M. N., Cheng, G., Huang, Y., He, C., & Zhang, Z. (2017). Forecasting emerging

- technologies: A supervised learning approach through patent analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 125(July), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.08.002>
- Mejía, E., Rayo, L., Méndez, J., & Echeverri, J. (2014). *Geothermal Development in Colombia*. Medellín, Colombia. Retrieved from <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-18-07.pdf>
- Ministerio de Ciencia, T. e I. P. (2015). *Guía nacional de vigilancia e inteligencia estratégica: buenas prácticas para generar sistemas territoriales de gestión de VeIE*. Retrieved from <http://www.mincyt.gov.ar/adjuntos/archivos/000/043/0000043043.pdf>
- Montañez, A. M. F., Martínez, D. C. R., & Domínguez, Ó. F. C. (2010). Pronóstico para el fortalecimiento del desarrollo tecnológico. *Ingeniería e Investigación*, 29(3), 102–108. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/ingein/article/view/15191/34208>
- Pérez, C. (2001). *Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil*.
- 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)
- REN21. (2015). *RENEWABLES 2015, GLOBAL STATUS REPORT*. Paris: REN21. Retrieved from [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015\\_Onlinebook\\_low1.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf)
- Romero Goyeneche, O. Y., Velez Cuartas, G., Ramírez, M., Robledo Velásquez, J., & Balanzó, A. (2019). Colegios invisibles y patrones de colaboración en el Sistema de Investigación Agropecuaria en Colombia. *Redes. Revista Hispana Para El Análisis de Redes Sociales*, 30(1), 1. <https://doi.org/10.5565/rev/redes.818>
- Sinke, W. C., Ballif, C., Bett, A. W., Dimmler, B., Dimova-Malinovska, D., Fath, P., ... Zdanowicz, T. (2007). A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology. In *22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition* (p. 3344). Retrieved from <c:/pdflib/00021962.pdf>

- Strachan, P. A., Lal, D., & von Malmberg, F. (2006). The evolving UK wind energy industry: Critical policy and management aspects of the emerging research agenda. *European Environment*, 16(1), 1–18. <https://doi.org/10.1002/eet.400>
- Torres, R. R. (2003). *ESTUDIO DEL POTENCIAL EN COLOMBIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA NO CONVENCIONAL DE LOS OCÉANOS*. ESCUELA NAVAL DE CADETES ALMIRANTE PADILLA.
- UNESCO. (2012). Guidelines for Creating a National ESD Research Agenda and Plan. Paris: UNESCO. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002188/218840e.pdf>
- UPME; Minminas. (2016). Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2015-2029, (45).
- UPME. (2010). Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos Finales. *Ministerio de Minas Y Energía*, 47. <https://doi.org/9383-36-X>
- UPME. (2015). Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. *Unidad de Planeación Minero Energética, Republica de Colombia*, 184. Retrieved from [http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN\\_IdearioEnergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf)
- UPME, & BID. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Retrieved from [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)
- UPME, Colciencias, Pontificia Universidad Javeriana, IDEAM, & IGAC. (2015). *Atlas potencial hidroenergético de Colombia*. Bogotá D.C.
- UPME, IDEAM, Colciencias, & Universidad Industrial de Santander. (2009). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Bucaramanga.
- Velasco, A., Cindy, D., Hamilton, B., & Herrera, P. (2011). Ejercicios de vigilancia tecnológica aplicados a las tecnologías utilizadas en los sistemas de Biomasa. *Revista Científica TEKNOS*.

- Verbano, C., & Venturini, K. (2013). Managing Risks in SMEs : A Literature Review and Research Agenda. *Journal of Technology Management & Innovation*, 8(3), 186–197. <https://doi.org/10.4067/s0718-27242013000400017>
- Walk, S. R. (2012). Quantitative Technology Forecasting Techniques. *Technological Change*. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/technological-change/quantitative-technology-forecasting-techniques>
- World Energy Council. (2015). 2015 World Energy Issues Monitor, 1–40.
- Yepes, S., Martínez, M., Restrepo, S., Palacio, J. C., Ríos, A. F., & Zartha, J. W. (2018). Technological Surveillance and Technology Life Cycle Analysis – Application in Food Drying, *13*(10), 7273–7288.
- Zartha, J., Palop, F., Arango, B., Velez, F. M., & Avalos, A. F. (2016). S - Curve analysis and technology life cycle . Application in series of data of articles and patents S - Curve analysis and technology life cycle . Application in series of data of articles and patents, (March).
- Zartha, J. W., Zuluaga, D. F., Palacio, J. C., & Montes, J. M. (2017). Ciclo de vida de tecnologías y curvas en S aplicadas en subproductos de la agroindustria piscícola. *Informacion Tecnologica*, 28(2), 105–114. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000200012>
- Zhang, X., Chang, S., & Eric, M. (2012). Renewable energy in China: An integrated technology and policy perspective. *Energy Policy*, 51, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.071>

**ANEXO 1. Listado de grupos de investigación y líneas de investigación en energías renovables**

<b>No</b>	<b>Código del grupo</b>	<b>Nombre grupo</b>	<b>Línea en Energías renovables</b>	<b>Tipo ER 1</b>	<b>Tipo ER 2</b>	<b>Tipo ER 3</b>	<b>Tipo ER 4</b>	<b>Tipo ER 5</b>
1	COL0002878	Conversión de Energía	SI	Biomasa				
2	COL0002269	Centro de investigación para el desarrollo sostenible en industria y energía	SI	Biomasa				
3	COL0038496	IENA - Investigación en Energías Alternativas	SI	Biomasa	Energía eólica	Solar térmica	Hidrógeno	
4	COL0014707	Planeamiento en Sistemas Eléctricos	NO					
5	COL0083437	Centro Nacional de Geoestadística (CNG)	NO					
6	COL0071024	Termodinámica Aplicada y Energías Alternativas	SI	Biomasa	Solar térmica			
7	COL0143259	...	NO					
8	COL0131113	Grupo de Investigación en Aprovechamiento de Residuos	SI	Biomasa				
9	COL0017638	Grupo de Investigación en Neurocontrol Motor	NO					
10	COL0090173	Materiales, asfaltos y mezclas asfálticas para pavimentos flexibles	NO					
11	COL0155616	Sistemas Hidroeléctricos de Generación SHG	SI	Hidroeléctrico				
12	COL0059638	Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética	SI	Biomasa	Energía eólica	Solar térmica		
13	COL0055568	Biomasa y Optimización Térmica de Procesos - BIOT	SI	Biomasa				
14	COL0142396	GIPEM - Grupo de Investigación en Potencia, Energía y Mercados	SI	Solar fotovoltaica				
15	COL0033981	Grupo de Investigación en Fluidos y Energía	NO					
16	COL0104232	GIMA. Grupo de Investigación Minero y Ambiental	NO					

No	Código del grupo	Nombre grupo	Línea en Energías renovables	Tipo ER 1	Tipo ER 2	Tipo ER 3	Tipo ER 4	Tipo ER 5
17	COL0165935	Grupo de investigación e innovación en energía AES CHIVOR	SI	Hidroeléctrico	Almacenamiento de energía			
18	COL0011394	Grupo de investigación en Geología de hidrocarburos y carbones	NO					
19	COL0002466	Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía	SI	Biomasa				
20	COL0076469	Optimización de Procesos y Uso Racional de la Energía y Biomasa - OPUREB	SI	Biomasa	Solar térmica			
21	COL0038208	GIOPEN, Grupo de investigación en optimización energética	SI	Energía eólica	Biomasa	Redes inteligentes	Movilidad eléctrica	Solar fotovoltaica
22	COL0086457	Grupo de Investigación de Aprovechamiento Tecnológico de Materiales y Energía- GIATME.	SI	Biomasa				
23	COL0119422	Grupo de Investigación e Innovación en Energía - GiiEN	NO					
24	COL0054239	termomec	SI	Biomasa				
25	COL0006438	Grupo de investigación en materiales siderúrgicos	NO					
26	COL0010323	Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL)	SI	Solar fotovoltaica	Redes inteligentes	Celdas de combustible		
27	COL0065804	VOLTA - Grupo de Materiales, Corrosión, Degradación y Protección (GMCDP)	SI	Biomasa				
28	COL0171155	Grupo de Investigación en Energía, Ambiente y Desarrollo (EADE)	SI	Biomasa	Solar fotovoltaica	Generación distribuida		
29	COL0011142	Grupo de Compatibilidad e Interferencia Electromagnética GCEM	SI	Redes inteligentes				
30	COL0124235	Grupo de Investigación en Materiales y Sistemas Energéticos TESLA	NO					
31	COL0073412	Campos Electromagnéticos y Fenómenos Energéticos	SI	Hidroeléctrico				

No	Código del grupo	Nombre grupo	Línea en Energías renovables	Tipo ER 1	Tipo ER 2	Tipo ER 3	Tipo ER 4	Tipo ER 5
32	COL0109702	APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RECURSOS NATURALES	SI	Biomasa	Hidrogeno			
33	COL0086439	Inversión y Modelado Geofísico (IMGeo)	NO					
34	COL0016855	Uso Racional de la Energía y Preservación del Medio Ambiente	SI	Biomasa				
35	COL0015393	Química de Recursos Energéticos y Medio Ambiente	SI	Biomasa				
36	COL0119137	Grupo de investigación en corrosión, tribología y energía	NO					
37	COL0027939	Grupo de Ingeniería Electroquímica - GRIEQUI	SI	Celdas de combustible	Almacenamiento de energía	Solar fotovoltaica		
38	COL0150398	Grupo Kimera	SI	Celdas de combustible				
39	COL0010412	Grupo de Investigación en Transmisión y Distribución de Ener	SI	Redes inteligentes	Movilidad eléctrica			
40	COL0011385	Grupo de Investigación EMC-UN	SI	Redes inteligentes	Movilidad eléctrica	Almacenamiento de energía		
41	COL0017019	Yacimientos de Hidrocarburos	NO					
42	COL0011008	Grupo de Sistemas Energéticos	NO					
43	COL0010996	Grupo de Investigación en Sistemas Eléctricos de Potencia - GISEL	SI	Redes inteligentes	Energía eólica			
44	COL0010181	Geosciences, Infraestructure, Productivity and Environment	NO					
45	COL0053643	Investigación en Calidad de Energía Eléctrica y Estabilidad - ICE3	SI	Generación distribuida	Movilidad eléctrica			
46	COL0143778	Grupo Metalurgia No Ferrosa	NO					
47	COL0022914	GMAE - Conservación y aprovechamiento de los recursos naturales	SI	Biomasa	Hidroeléctric o	Celdas de combustible	hidrógeno	

No	Código del grupo	Nombre grupo	Línea en Energías renovables	Tipo ER 1	Tipo ER 2	Tipo ER 3	Tipo ER 4	Tipo ER 5
48	COL0107815	Ingeniería, Energía, Exergía y Sostenibilidad (IEXS)	SI	Biomasa	Hidroeléctric o			
49	COL0113509	Planeamiento Minero	NO					
50	COL0012918	Laboratorio de investigación en combustibles y energía	SI	Biomasa				
51	COL0009378	Grupo de Investigación en Alta Tensión - GRALTA	SI	Redes inteligentes	Solar fotovoltaica			
52	COL0002911	Corporación para la Investigación de la Corrosión	NO					
53	COL0008076	Grupo de Energía y Termodinámica	SI	Biomasa	Redes inteligentes	Energía eólica	Solar térmica	
54	COL0002457	Ciencia y Tecnología del Carbón	SI	Biomasa				
55	COL0028711	GIRES: Recursos - Energía - Sostenibilidad	SI	Biomasa	Hidroeléctric o			
56	COL0026898	Grupo de Investigación en Biocombustibles y Biorrefinerías - GRUBIOC	SI	Biomasa				
57	COL0033391	Refinación y Petroquímica	NO					
58	COL0008979	Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente	SI	Celdas de combustible	Biomasa			
59	COL0024229	GEOQUIMICA AMBIENTAL	NO					
60	COL0089691	ENERGÉTICA	SI	Biomasa	Generación distribuida	Redes inteligentes		
61	COL0021185	Materiales Avanzados y Energía	SI	Biomasa				
62	COL0084176	Centro de Desarrollo Industrial Tecsol	SI	Biomasa				
63	COL0041615	Grupo de Investigación Recobro Mejorado	NO					
64	COL0017262	Grupo de Investigación en Conversión de Energía - CONVERGÍA	SI	Energía eólica	Hidroeléctric o			
65	COL0047753	Instituto de Minerales CIMEX	NO					



No	Código del grupo	Nombre grupo	Línea en Energías renovables	Tipo ER 1	Tipo ER 2	Tipo ER 3	Tipo ER 4	Tipo ER 5
66	COL0029316	Grupo de Investigación en Energías Alternativas y Fluidos (EOLITO)	SI	Celdas de combustible	Biomasa			
67	COL0116939	Grupo de investigación y desarrollo en sistemas electromecánicos GridsE	NO					
68	COL0008058	Grupo de Energia Alternativa	SI	Hidroeléctrico	Biomasa	Redes inteligentes	Solar térmica	
69	COL0032634	Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente-GIEMA	SI	Biomasa	Redes inteligentes			
70	COL0074966	IDAB - grupo de investigación en diseño de procesos y aprovechamiento de biomasa	SI	Biomasa				
71	COL0144809	Investiga para un desarrollo sostenible	SI	Biomasa				
72	COL0063219	Grupo de investigación en energías alternativas - GIEAUD	SI	Biomasa	Energía eólica	Solar térmica		
73	COL0009699	Grupo de Investigación en Energías GIEN-UAO	SI	Redes inteligentes	Biomasa	Hidroeléctrico	Energía eólica	Solar fotovoltaica
74	COL0005501	GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA, Kaí	SI	Biomasa				
75	COL0144229	Grupo de Investigación en Recursos Energéticos GIRE	SI	Solar fotovoltaica	Generación distribuida	Hidroeléctrico		
76	COL0032189	GESETIC	SI	Solar fotovoltaica	Solar térmica	Redes inteligentes	Hidroeléctrico	
77	COL0124173	Grupo de Investigación en Calidad de la Energía y Electrónica de Potencia	SI	Movilidad eléctrica				
78	COL0017469	Potencia y Energía	SI	Redes inteligentes	Movilidad eléctrica	Generación distribuida	Hidroeléctrico	
79	COL0011492	Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología	SI	Solar fotovoltaica	Solar térmica			
80	COL0118588	Grupo de Investigación en Sistemas Energéticos	SI	Solar fotovoltaica				
81	COL0018831	Modelamiento de Procesos de Hidrocarburos	NO					
82	COL0072916	Grupo de Investigación: Materiales y Medio Ambiente (GIMMA)	NO					

No	Código del grupo	Nombre grupo	Línea en Energías renovables	Tipo ER 1	Tipo ER 2	Tipo ER 3	Tipo ER 4	Tipo ER 5
83	COL0049696	Modelamiento y análisis energía ambiente economía	SI	Celdas de combustible	Generación distribuida			
84	COL0011376	Grupo de investigación en Potencia, Energía y Control - CALPOSALLE	SI	Redes inteligentes	Movilidad eléctrica			
85	COL0023985	Materia orgánica sedimentaria y análisis de imagen	NO					
86	COL0006607	GRUPO INTERDISCIPLINARIO E INTERINSTITUCIONAL DE CARBONES Y CARBOQUIMICA	NO					
87	COL0094987	Centro de Investigación e Innovación en Energía y Gas	NO					
88	COL0029924	Instituto de Estudios en Regulación Minera, Petrolera y Energética	NO					
89	COL0010477	Grupo de Manejo Eficiente de la Energía, GIMEL	SI	Solar fotovoltaica	Biomasa			
90	COL0011198	Grupo de investigación en Georrecursos, Minería y Medio Ambiente. GEMMA	NO					
91	COL0015562	Redes de Distribución y Potencia - GREDyP	NO					
92	COL0094879	Grupo de Investigación Diversificación Energética ICP-ECOPETROL	SI	Biomasa				
93	COL0005762	GRISEC	SI	Movilidad eléctrica				
94	COL0007927	Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales - CIDEMAT - Anteriormente: Grupo de Corrosión y Protección	SI	Solar fotovoltaica	Solar térmica			
95	COL0065958	Integridad y evaluación de materiales "GIEM"	SI	Solar fotovoltaica				
96	COL0140838	Grupo de Investigación en Energía - GRINEN	SI	solar fotovoltaica	Hidroeléctric o	Geotermia	Redes inteligentes	
97	COL0123917	Grupo de Investigación en Tecnologías de Aseguramiento de Flujo y Transporte de Hidrocarburos	NO					

No	Código del grupo	Nombre grupo	Línea en Energías renovables	Tipo ER 1	Tipo ER 2	Tipo ER 3	Tipo ER 4	Tipo ER 5
98	COL0005388	Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas - GEAL	SI	Biomasa				
99	COL0105499	Grupo de Investigación en Dinámica de Fluidos	SI	Hidroeléctrico				
100	COL0031289	Grupo Interdisciplinario de Investigación en Energía y Medio Ambiente-GIIMA.	SI	Biomasa	Solar térmica	energía eólica		
101	COL0163897	Fenómenos de Superficie - Michael Polanyi	NO					
102	COL0008915	Grupo de Investigaciones en Corrosión	NO					
103	COL0127433	Environmental Energy and Education Policy - E3P	SI	Redes inteligentes	Generación distribuida			
104	COL0120979	Electrical Machines & Drives, EM&D	SI	Redes inteligentes	Movilidad eléctrica			
105	COL0033598	Grupo de Investigación en Estabilidad de Pozo	SI					
106	COL0086546	INGeofísica	NO					
107	COL0166683	Grupo de Investigación en Ing. Química, Grupo IQ	NO					
108	COL0104911	Simulación de Yacimientos y Recobro Mejorado del Petróleo	NO					
109	COL0177257	Grupo de investigación en geología, geotecnia y minería -GEOENERGIA	NO					

## ANEXO 2. Evaluación de potenciales de recursos energéticos para energías renovables en Colombia

### Potencial hidro energético

La mayor parte de la generación eléctrica actual es a partir de recursos hídricos, principalmente de grandes centrales hidroeléctricas, De acuerdo a cifras del año 2015 (UPME; Minminas, 2016), la capacidad instalada para la generación eléctrica corresponde en un 69,7% al componente hidráulico.

De acuerdo con el Atlas de Potencial hidroenergético de Colombia elaborado en el 2015 por expertos de la Pontificia Universidad Javeriana para Colciencias, la UPME y el IGAC, se encuentra un potencial total hidroenergético de 56.187 MW o 56,2 GW. En la Figura 66 se presenta la distribución del potencial de generación en las diferentes zonas del país, siendo las zonas el magdalena y Cauca las áreas hidrográficas con mayor potencial (UPME, Colciencias, Pontificia Universidad Javeriana, IDEAM, & IGAC, 2015):

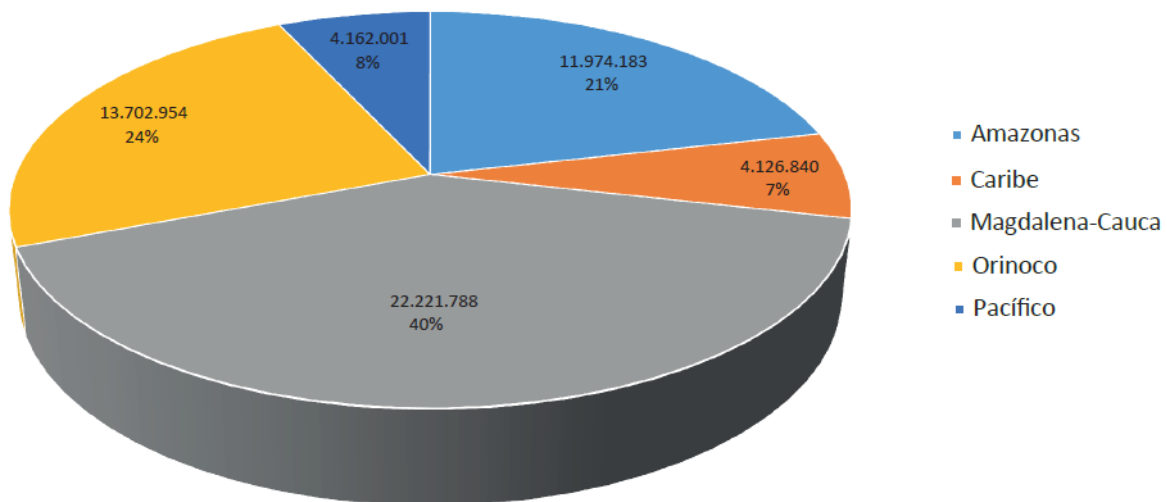


Figura 66. Potencial hidroenergético a filo de agua por área hidrográfica en kW.

Fuente (UPME et al., 2015)

De acuerdo a lo anterior se evidencia que, a nivel de recursos hídricos, aunque es una tecnología madura, aún hay un gran potencial por utilizar no solo a nivel de grandes centrales, sino las micro y pequeñas, que se consideran de menor impacto ambiental, siendo clasificadas como energías renovables y fuentes no convencionales de energía en Colombia.

En el atlas se incluyen mapas de potencial hidroenergético con longitud horizontal (Lc), entre la captación y las turbinas de 0,2 km, 1 km y 5 km. También se presentan mapas diferenciados con el potencial dependiendo el tamaño de las centrales que se pueden desarrollar, encontrando el mapa correspondiente a grandes, pequeñas, mini, micro y picocentrales hidroeléctricas. En la Figura 67 se visualiza uno de los mapas incluidos en el Atlas de potencial hidroenergético, correspondiente al Potencial por subzona hidrográfica, con una longitud horizontal de 5 km.

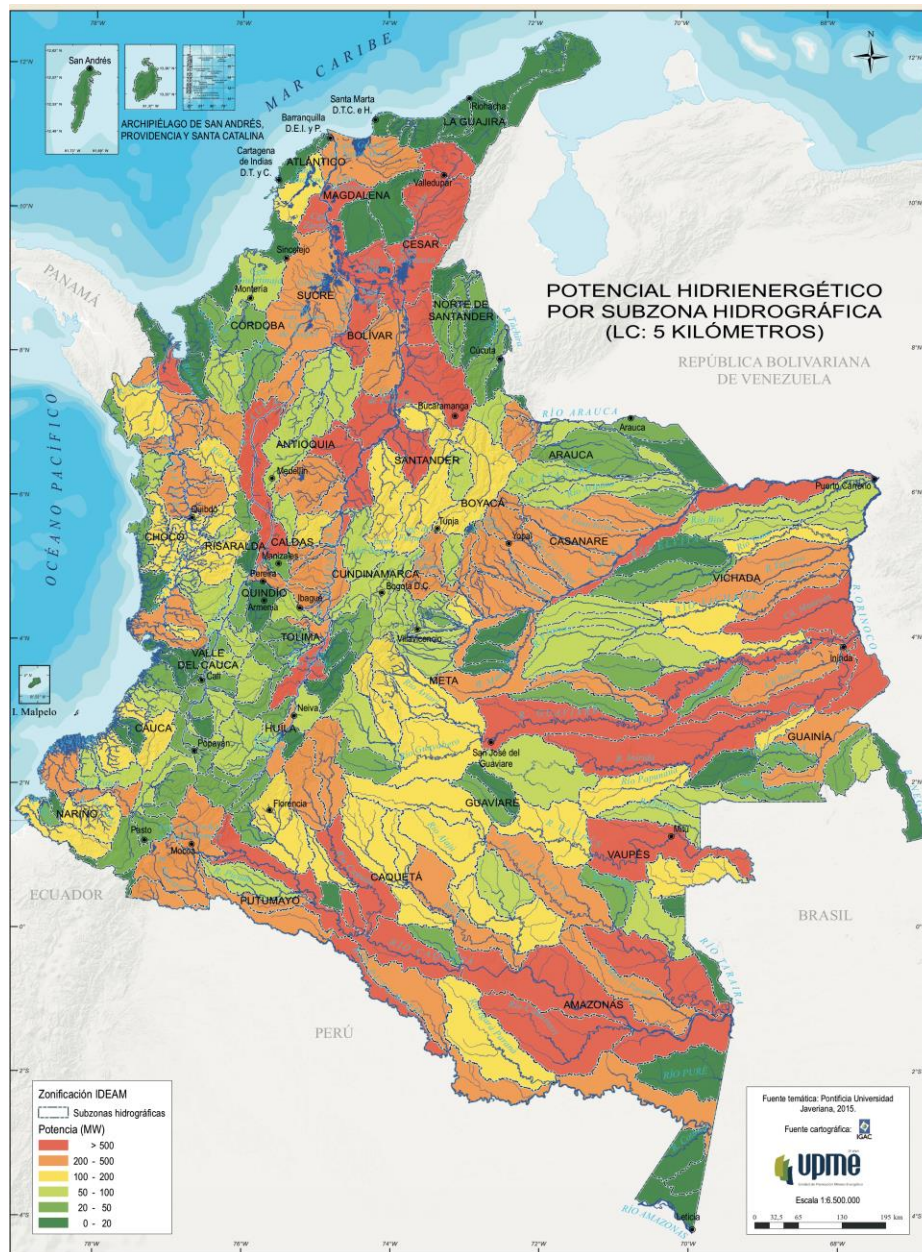


Figura 67. Potencial hidroenergético por subzona hidrográfica, con una longitud horizontal (LC) de 5 km.

Fuente (UPME et al., 2015)

## **Energía eólica**

En 2015 fueron actualizados tanto el Atlas de radiación solar como el Atlas de viento, en el caso de este último, se incluyen mapas con diferentes tipos de parámetros como rosas de viento, ciclo horario de velocidad, dirección, ciclos mensuales, velocidad promedio del viento a diferentes alturas, velocidad máxima, dirección del viento, y la más importante para este trabajo el potencial eólico, para el cual se tuvo en cuenta la rugosidad superficial, desviación estándar, parámetros de escala, vientos de máxima energía, densidad del aire y finalmente la densidad de energía eólica a 80 metros (IDEAM, 2015)

De acuerdo a clasificaciones internacionales que existen sobre los potenciales eólicos, se considera que densidades de potencia superiores a 500 W/m<sup>2</sup> son lugares a considerar para desarrollos eólicos interconectados a la red (Corpoema, 2010), en este caso, en el país el aprovechamiento para la generación de energía eléctrica con energía eólica tendría potencial principalmente a la Guajira y la zona próxima a Barranquilla, cercana a la costa y desembocadura del río Magdalena., en otras zonas del país con menores velocidades de viento habría que realizar aprovechamientos de menor escala con tecnologías diferentes.

Pinilla (2009), Citado por Corpoema (2010), partió del supuesto de que en cada km<sup>2</sup> de pueden instalar 6 aerogeneradores de 3.6 MW, para una potencia instalada de 20 MW/km<sup>2</sup>. Considerando un factor de planta de 50%, la generación alcanzaría 85 GWh/km<sup>2</sup>. Si se empleara 1% del territorio de la Guajira que corresponde a 280 km<sup>2</sup>, se podrían instalar 5.6 GW y se tendría una generación de 23.800 GWh. Extendidas estas consideraciones a todo el país, se elaboró la Figura 68, en donde estima que podrían desarrollarse 35 GW.

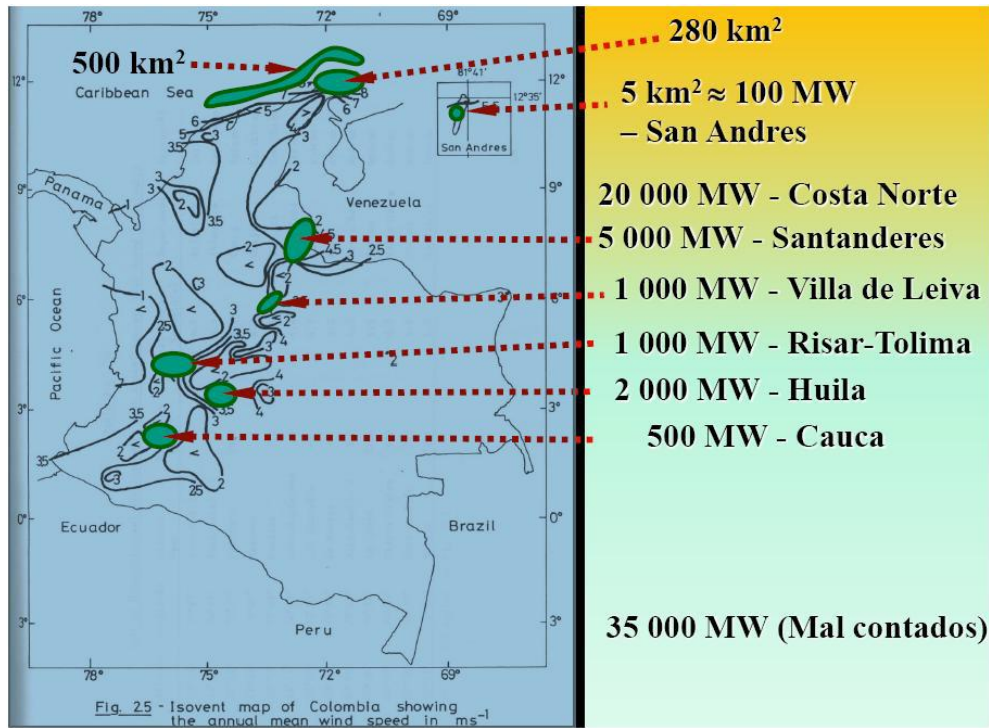


Figura 68. Potencial estimado de desarrollos eólicos en Colombia.

Fuente: (Corpoema, 2010)

En los mapas correspondientes a los promedios anuales de la densidad eólica a 80 metros de altura y las velocidades de viento de máxima energía se evidencia que las zonas de la alta Guajira, la Costa Caribe y el sur del País en zonas de los departamentos de Nariño y Cauca presentan los mejores potenciales de utilización de energía eólica. A continuación, En la Figura 69 se presenta el mapa correspondiente a densidades de energía 80 metros de altura, con base en el promedio anual.

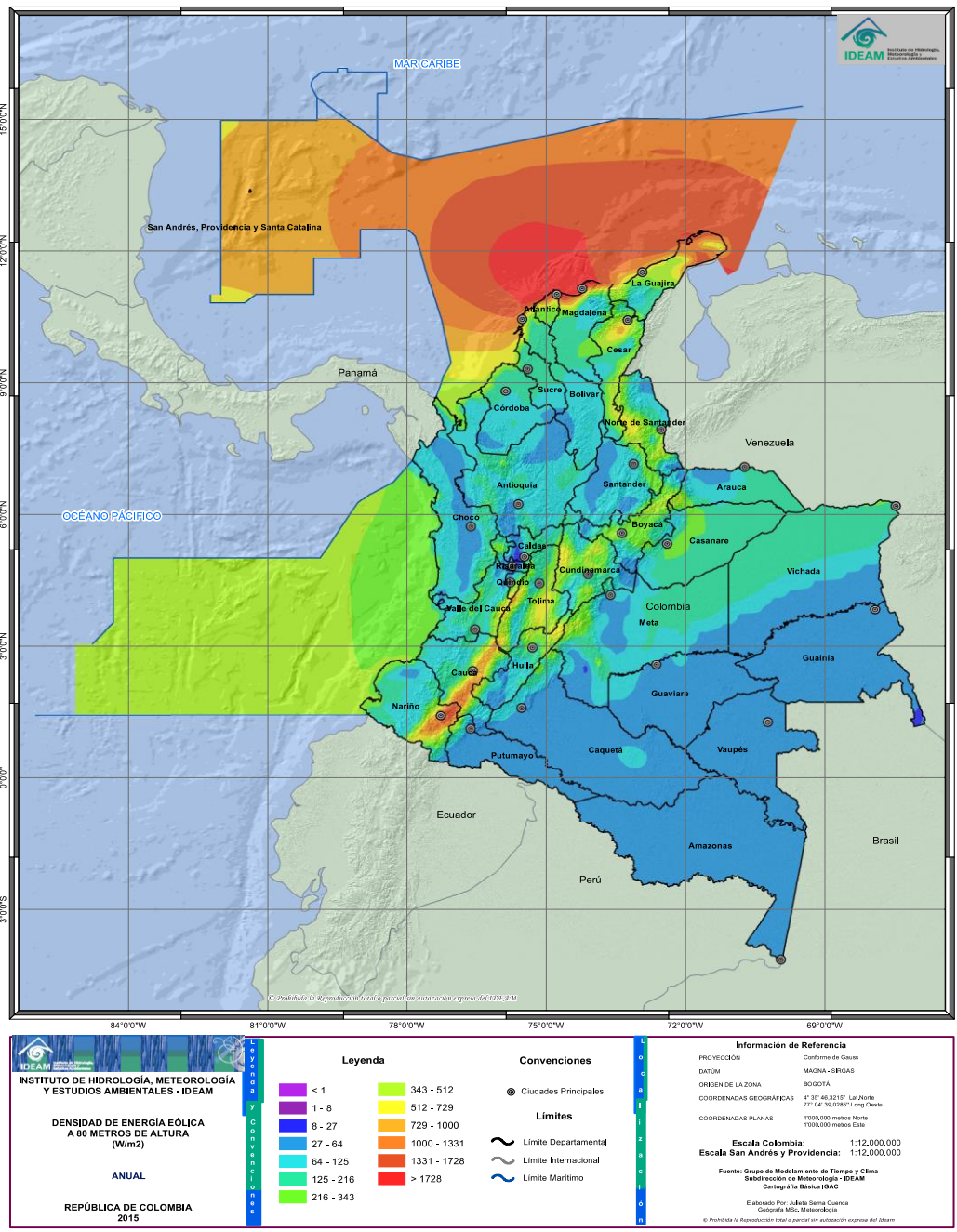


Figura 69. Densidad de energía eólica a 80 metros en (W/m<sup>2</sup>).

Fuente: (IDEAM, 2015)

Si al potencial indicado previamente le adicionamos una parte del potencial offshore, que fue incluido en los mapas realizados en el año 2015, y con base en un potencial promedio de 1000 W/m<sup>2</sup>, con base en una extensión de 591 km donde tiene mayor potencial e incluyendo solamente en el potencial la distancia a 500 metros de la costa, tendríamos 295 km<sup>2</sup> o 295 millones de m<sup>2</sup>, lo que daría un potencial adicional de 295 GW, teniendo en cuenta el mismo factor de planta del 50%



tomado en el ejemplo anterior nos daría un potencial de 147 GW, que sumados a los 35 GW nos daría un potencial total de 182 GW que incluyen el factor de planta.

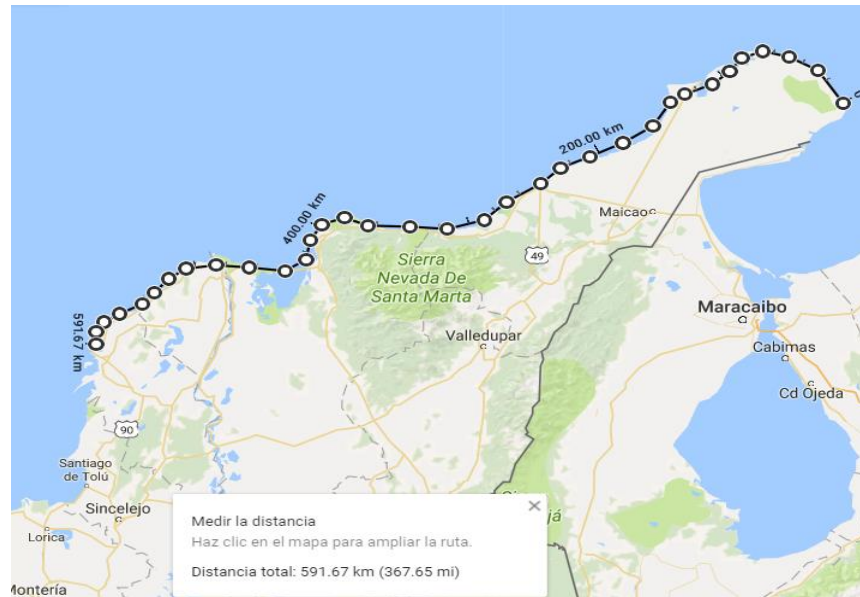


Figura 70. Distancia para la determinación de área para potencial de energía eólica offshore

Fuente: Elaboración propia

## Energía solar

Para el desarrollo de la energía solar tanto fotovoltaica como termoeléctrica o inclusive térmica, se requieren unas condiciones de radiación de las que dependerán la eficiencia de los equipos y tecnologías usadas para este aprovechamiento, en el país al igual que en el caso de la energía eólica se actualizaron los mapas de este recurso (IDEAM, 2014), si se analiza el mapa de irradiación global horizontal correspondiente al promedio anual, los resultados muestran un potencial importante, especialmente en la región Caribe, en Departamentos como la Guajira, Cesar, Magdalena, Atlántico y en San Andrés y Providencia, otros departamentos con un menor potencial, pero que pueden ser de interés son Vichada, Casanare, Arauca y el Meta

Tomando como base la información de las zonas con una radiación global horizontal media superior a 5 kWh/m<sup>2</sup>/día para la instalación de proyectos de generación de energía eléctrica (Color naranja en el mapa de la Figura 71), se determinan las áreas en m<sup>2</sup> con esta irradiación solar, que corresponden a un valor aproximado de 43.000 km<sup>2</sup> ubicados principalmente en los municipios de la Guajira, Cesar y Magdalena, si estimamos un aprovechamiento en áreas disponibles de estas

regiones para instalación de tecnologías de energía solar, correspondiente al 5%, tendríamos un área de 2150 km<sup>2</sup>, que con base en la radiación solar de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día dan un potencial energético de 10750 GWh al día. En la Figura 71, el mapa de Irradiación global horizontal medio diario con base en el cual se realizan estas aproximaciones:

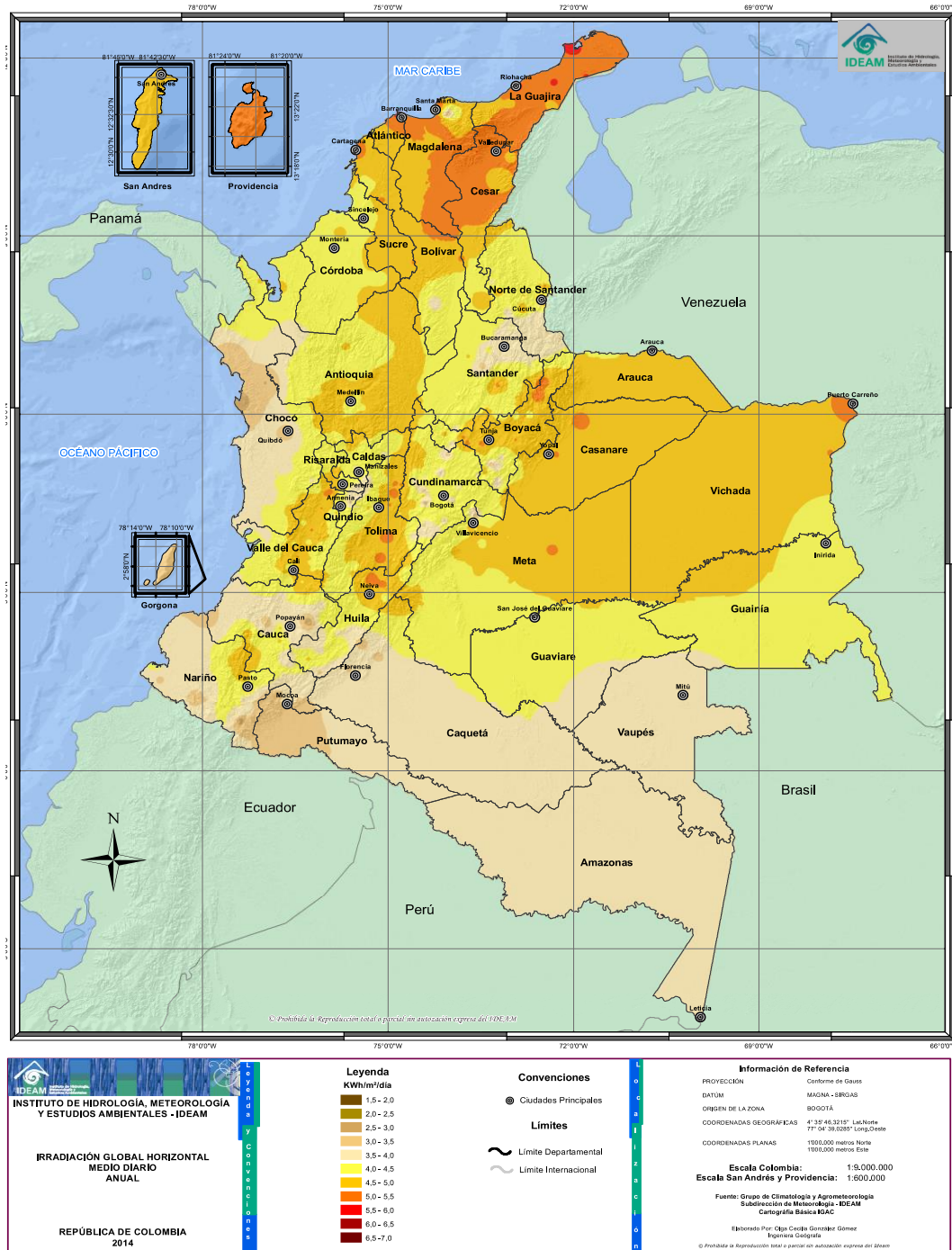


Figura 71. Promedio anual de Irradiación Global horizontal medio diario en (kWh/m<sup>2</sup>/día)

Fuente: (IDEAM, 2014)

Adicional al potencial estimado en las zonas de mayor potencial energético para realizar proyectos de generación de energía eléctrica para conectar al Sistema Interconectado Nacional -SIN-, para zonas urbanas se realiza un estudio con base en 22 ciudades del país (UPME & BID, 2015), sumando los potenciales para el total de techos urbanos aptos disponibles en las 22 ciudades cobijadas, se obtiene un potencial total de 1.887 MWp que se estima pudiera ser aprovechado eventualmente a través de desarrollos que pueden ser llevados a cabo en un futuro próximo.

### **Energía de la Biomasa**

A partir de la información del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (UPME, IDEAM, Colciencias, & Universidad Industrial de Santander, 2009), se encuentran en el país muchas fuentes de energía a partir de este recurso distribuidos en todo el país y que incluyen principalmente biomasa producto de residuos agrícolas, como subproducto del sector Pecuario y de los residuos sólidos orgánicos urbanos, que se concentra en las grandes ciudades del país, en el caso de las dos primeras clasificaciones (residuos agrícolas y del sector pecuario) se encuentra que se distribuyen en las áreas rurales, a excepción de la Amazonía y la Orinoquia, con menor explotación agrícola, y los denominados RSU o residuos sólidos urbanos, se concentran en pequeñas áreas urbanas, por la concentración de población en estas zonas, pueden presentar un potencial importante.

De acuerdo al análisis de potencial energético de biomasa residual se establece en el caso del sector agrícola se tiene un potencial de 331.645 TJ/ año, correspondientes a 92.123 GWh/año, en el caso de la Biomasa proveniente del sector Pecuario de 117.747 TJ/año, correspondientes a 32707 GWh/año y 410 TJ/año, correspondientes a 114 GWh/año de Residuos Sólidos Urbanos, para un potencial total de 124.944 GWh/año. En la Figura 72, el mapa de potencial energético municipal anual de los cultivos de residuos agrícolas, que de acuerdo al análisis presentado son los que tendrían un mayor aporte al potencial de biomasa:

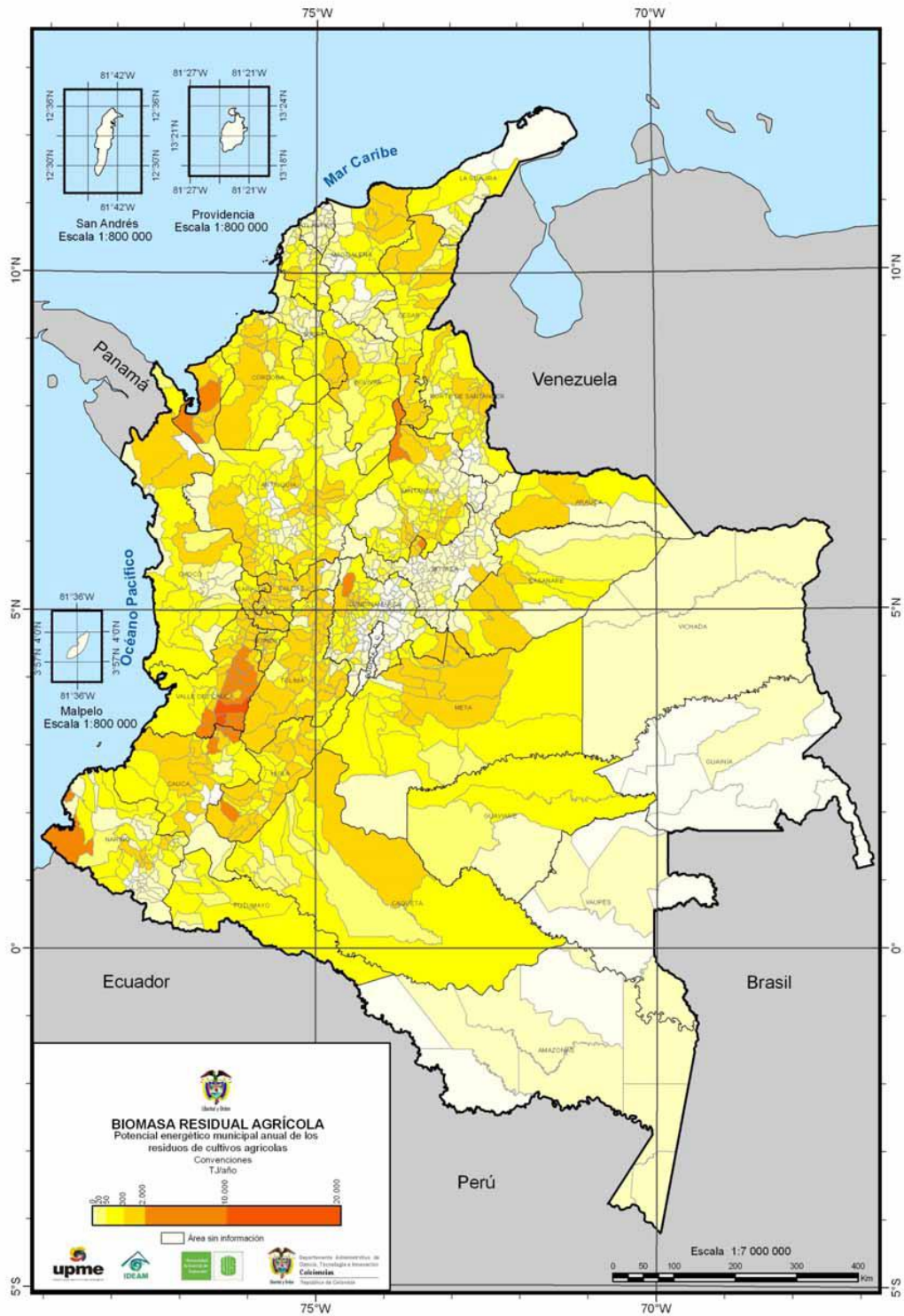


Figura 72. Potencial energético municipal anual de los residuos de cultivos agrícolas (TJ/año).

Fuente: (UPME et al., 2009)

## **Energía geotérmica**

De los mapas encontrados de acuerdo a los gradientes térmicos identificados, se encuentra que hay un potencial de generación eléctrica en unas zonas específicas del país, especialmente en la zona sur. En el mapa Geotérmico elaborado por INGEOMINAS se reporta que, para el caso de Generación eléctrica con tecnología convencional, se buscan temperaturas mayores a 180°C. Dentro de las zonas de anomalía más importantes por la evidencia en superficie del sistema hidrotermal (manantiales termales), son los volcanes, Nevado del Ruiz, Azufral, Puracé y Doña Juana y la zona de Iza-Sáchica. De acuerdo con el estudio de prefactibilidad del sistema Tufiño-Chiles-Cerro Negro, su reservorio alcanzaría tales temperaturas. Sin embargo, dado que no tiene manantiales con contribución de fluido geotérmico, no se incluyó como punto de apoyo de este mapa (INGEOMINAS, 2000).

Battocletti (1999), Citado por Mejía, Rayo, Méndez, & Echeverri (2014) establecen un potencial de generación de energía a partir de fuentes geotérmicas de 2210 MW, siendo este el único dato encontrado con una estimación de potencial con base en esta fuente. En la Figura 73 y Figura 74 los mapas Norte y Sur desarrollados por INGEOMINAS en el año 2000 (INGEOMINAS, 2000):

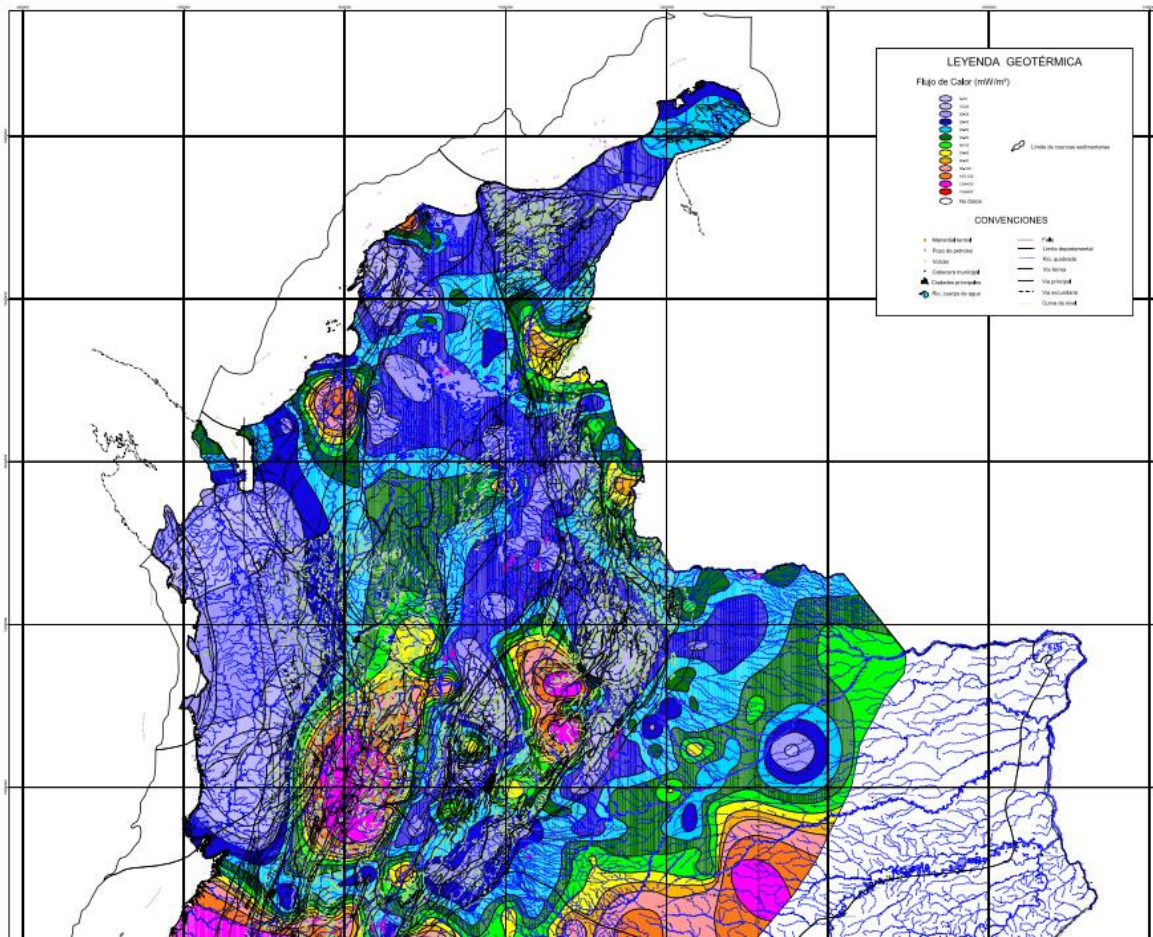


Figura 73. Mapa Geotérmico Norte.

Fuente: (INGEOMINAS, 2000)

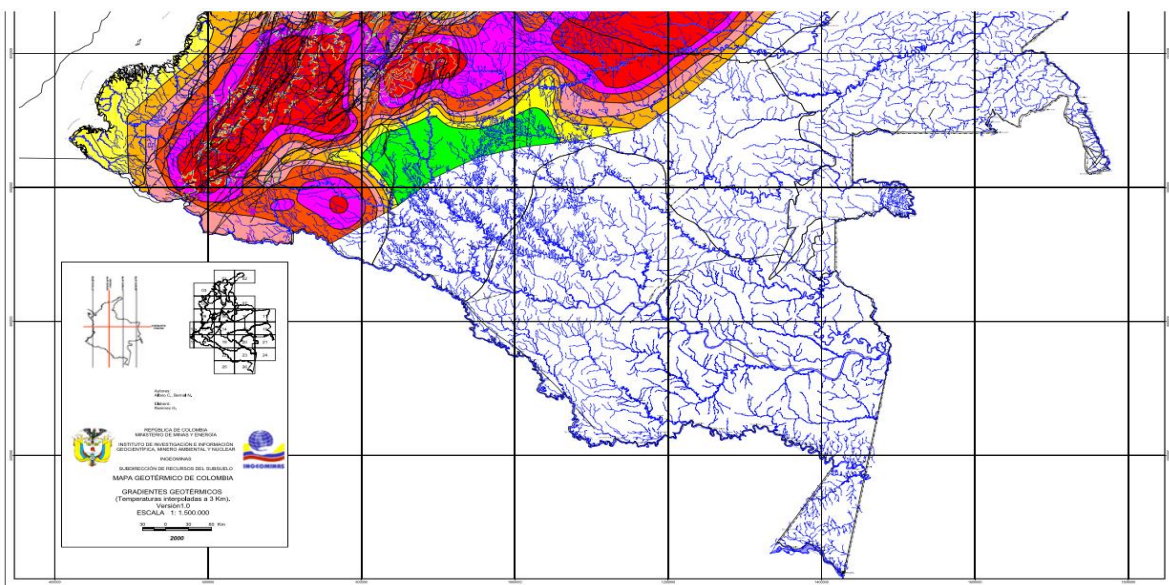


Figura 74. Mapa Geotérmico sur.

Fuente: (INGEOMINAS, 2000)

## **Energía de los océanos**

Como principales fuentes de energía con base en los océanos se encuentran las siguientes: Gradiente Térmico, Onda de Marea y Olas de Viento, no se encuentra mucha información en Colombia sobre este potencial, sin embargo un trabajo de investigación sobre oceanografía en el país incluye datos de algunas zonas puntuales para aprovechamiento de este recurso, como el caso de San Andrés, con un gradiente de 20°C en los primeros meses del año, y se proponen otras áreas de estudio como Punto Cinto al norte de Santa Marta, igualmente se evalúa el potencial en Bahía Málaga a partir de las corrientes marinas, pero la información no es concluyente. Con base en la energía de las olas, se determina que el sector al norte de la Península de la Guajira cuenta con el mayor potencial, sin ser suficiente para generación eléctrica (Torres, 2003).

Como única referencia de potenciales con base en la energía de los Océanos se encuentra el trabajo de Torres (2010), correspondiente a 1MW en la Isla de San Andrés a partir del gradiente térmico, y en el Pacífico Colombiano, mediante modificaciones a los canales de entrada de Bahía Málaga es posible alcanzar las velocidades necesarias (1.75 m/s) para la generación eléctrica entre 70 y 100 MW, para un total aproximado de 100MW.

## ANEXO 3. Tendencias patentes y artículos científicos en áreas priorizadas en energías renovables

### Tendencias tecnológicas (Patentes)

#### Energía eólica

- Ecuación de búsqueda: (title:("wind power") || abstract:("wind power") || claims:("wind power")); entre 2000 y 2017
- No de resultados: 44.642

The image shows a screenshot of the Patent Lens search interface. At the top, it says "New Patent Search" with a "Submit Search" button. Below that, the "Query:" section shows a search predicate set to "AND". The search terms are "Wind power" in the "Title, Abstract or Claims" field and "First Name" and "Last Name" in the "Inventors" field. The "Dates:" section shows the search range from "2000-01-01" to "2017-12-31". The "Documents:" section is set to "Published". The "Jurisdictions:" section lists various regions and organizations with checkboxes, including Armenia, GCC, Norway, ARIPO, Georgia, New Zealand, Argentina, Greece, and OAPI.

Figura 75. Visualización búsqueda de patentes energía eólica:

Fuente Portal Patent Lens

Un aspecto importante que puede servir de insumo para determinar el avance tecnológico en cada una de estas áreas es la evolución en el número de solicitudes de patente. En la Figura 76. Evolución en número de solicitudes de patente en energía eólica. Figura 76 se presenta esta evolución para la energía eólica.



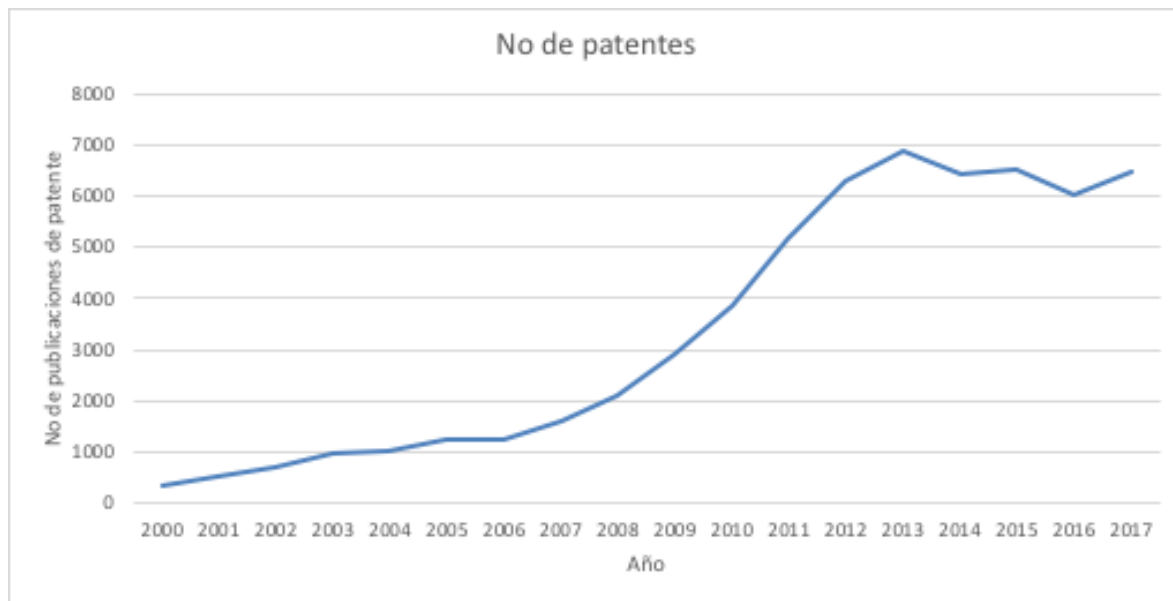


Figura 76. Evolución en número de solicitudes de patente en energía eólica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Patent Lens

Adicionalmente se identifican que países están liderando los desarrollos tecnológicos en esta área, lo cual se refleja en el número de patentes solicitadas, en la Figura 77 se visualizan los países líderes en solicitudes de patente para energía eólica.

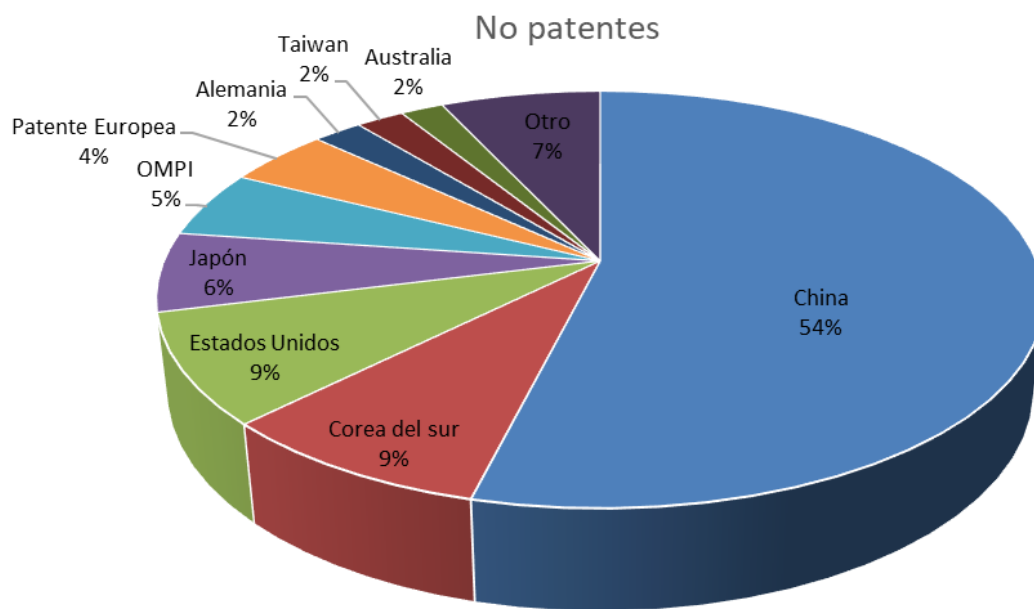


Figura 77. Países líderes en solicitudes de patentes en energía eólica.

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

Adicionalmente, el portal permite recopilar información de las empresas, centros u otras organizaciones que aparecen como aplicantes en las solicitudes de patente, en la Figura 78 se presenta la gráfica con las principales organizaciones que realizan solicitudes de patente correspondiente al área de energía eólica.

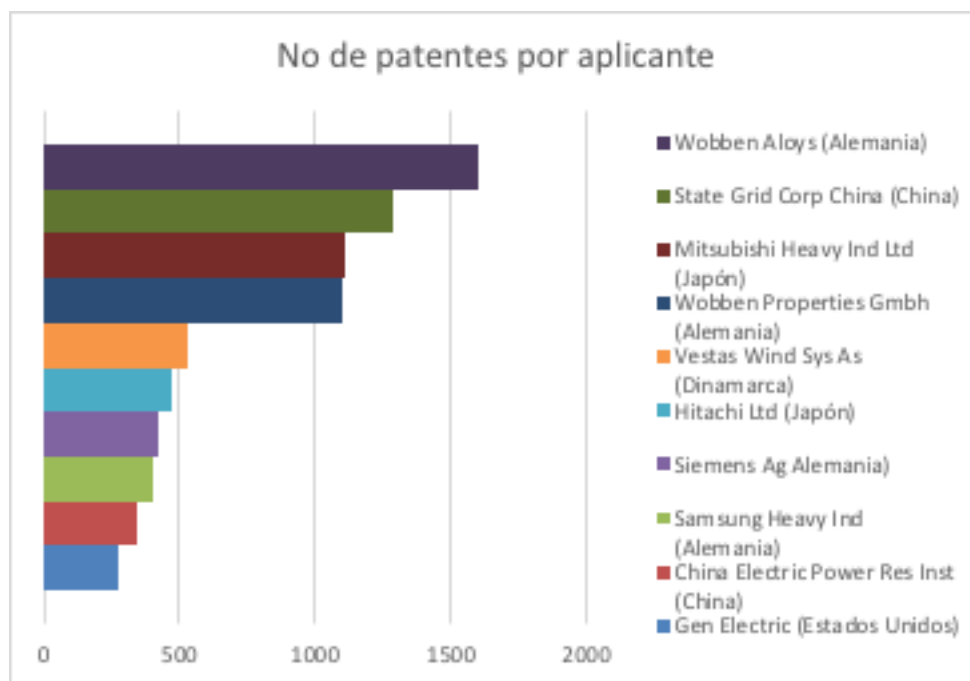


Figura 78. Principales aplicantes de patentes en energía eólica:

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

En la Tabla 25 se presentan las principales categorías identificadas en la clasificación de patentes (CPC) y que servirá n como insumo para la determinación de temas en la agenda de investigación.

Código CPC	Tecnología	No de patentes
Y02E10/74	Turbinas con eje perpendicular a la dirección del viento (Eje vertical)	6959
Y02E10/723	Control de turbinas con eje en dirección del viento (eje horizontal)	6713
Y02E10/72	Turbinas con eje en dirección del viento	5893
Y02E10/725	Generador o configuración de turbinas con eje en dirección del viento	5813
Y02E10/721	Palas o rotores turbinas con eje en dirección del viento	5622
Y02P70/523	Manufactura de turbinas	3868
F03D9/25	Motores de viento accionados por un generador eléctrico	3826

Y02E10/763	Aspectos eléctricos o electrónicos de conversión de energía para conexión a la red	3364
Y02E10/722	Componentes o caja de cambios de turbinas con eje en dirección del viento	2875
Y02E10/728	Torres on shore con eje de rotación en la dirección del viento	2829

Tabla 25. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía eólica.

Fuente: Elaboración propia con información de Patent Lens

## Energía solar:

A continuación, los criterios de búsqueda utilizados en el portal Patent Lens

Ecuación de búsqueda: (title:("solar energy") || abstract:("solar energy") || claims:("solar energy"))

No de publicaciones: 78.087

**New Patent Search** Submit Search

Query: \_\_\_\_\_

Query Predicate:  AND  OR

"solar energy" in Title, Abstract or Claims + -

First Name in Inventors + -

Last Name

Dates: \_\_\_\_\_

Documents:  Published  Filed

2000-01-01 2017-12-31

Jurisdictions

Armenia  GCC  Norway

ARIPO  Georgia  New Zealand

Argentina  Greece  OAPI

Figura 79. Visualización búsqueda de patentes energía solar.

Fuente Portal Patent Lens

La Figura 80 corresponde a la evolución en la publicación de patentes relacionadas en energía solar:

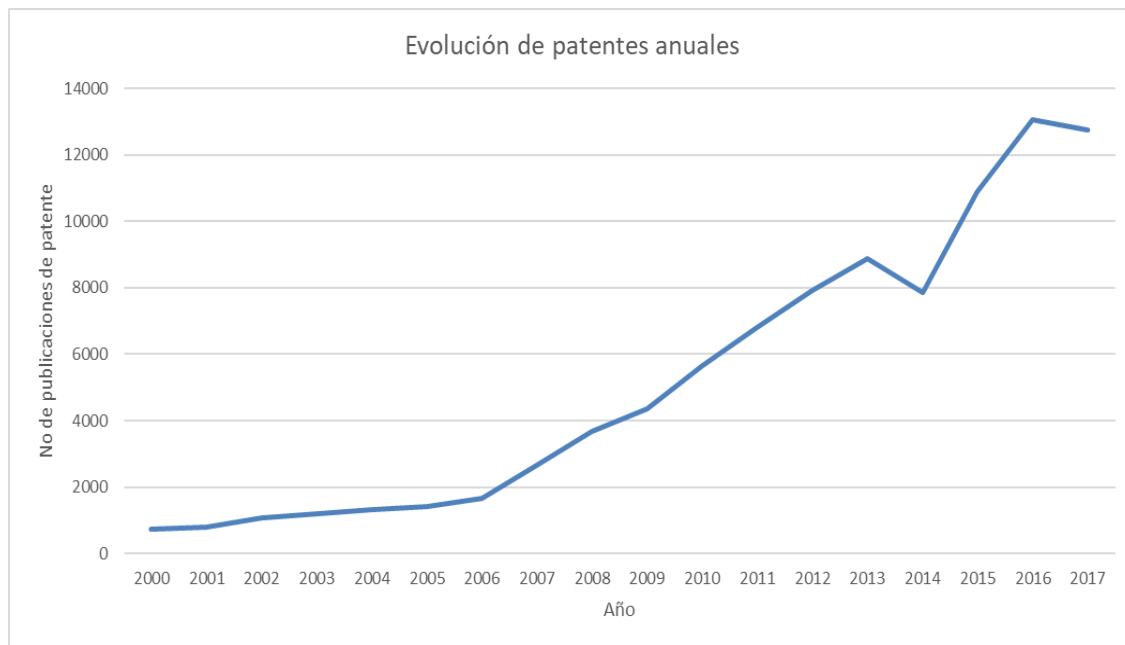


Figura 80. Evolución en número de solicitudes de patente en energía solar.

Fuente: Elaboración propia con datos de Patent Lens

En relación con el número de patentes por país en el rango de fechas establecidas en la ecuación de búsqueda (años 2000 al 2017), en la Figura 81, un resumen de la información obtenida:

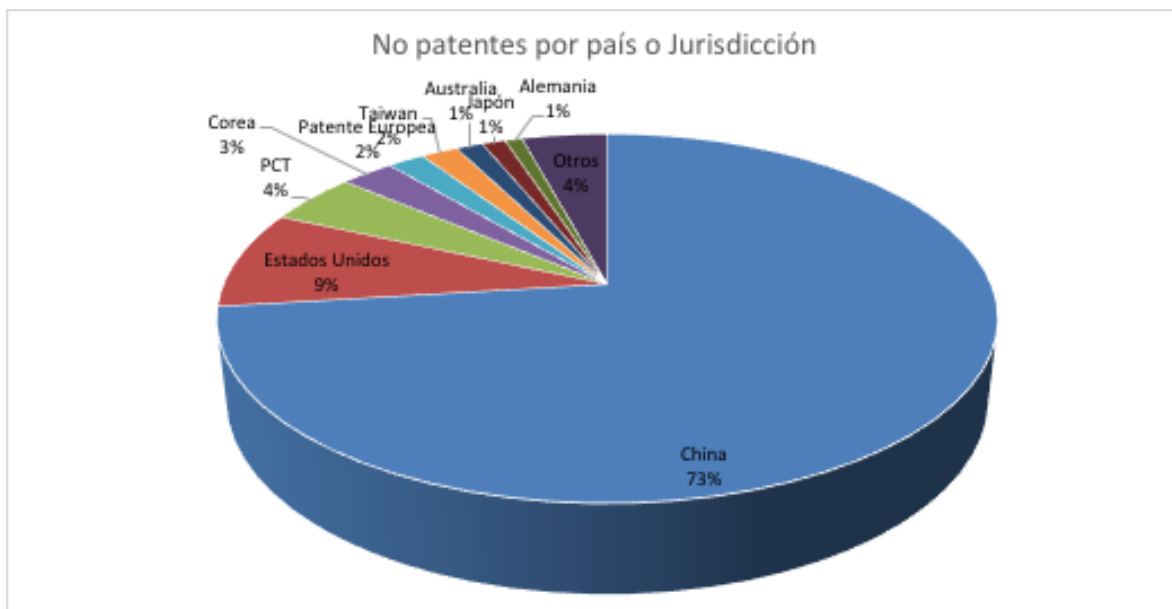


Figura 81. Países líderes en solicitudes de patentes en energía solar

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

En la Figura 82. se presentan las organizaciones en orden de número de solicitudes de patente y correspondientes al área de energía solar:

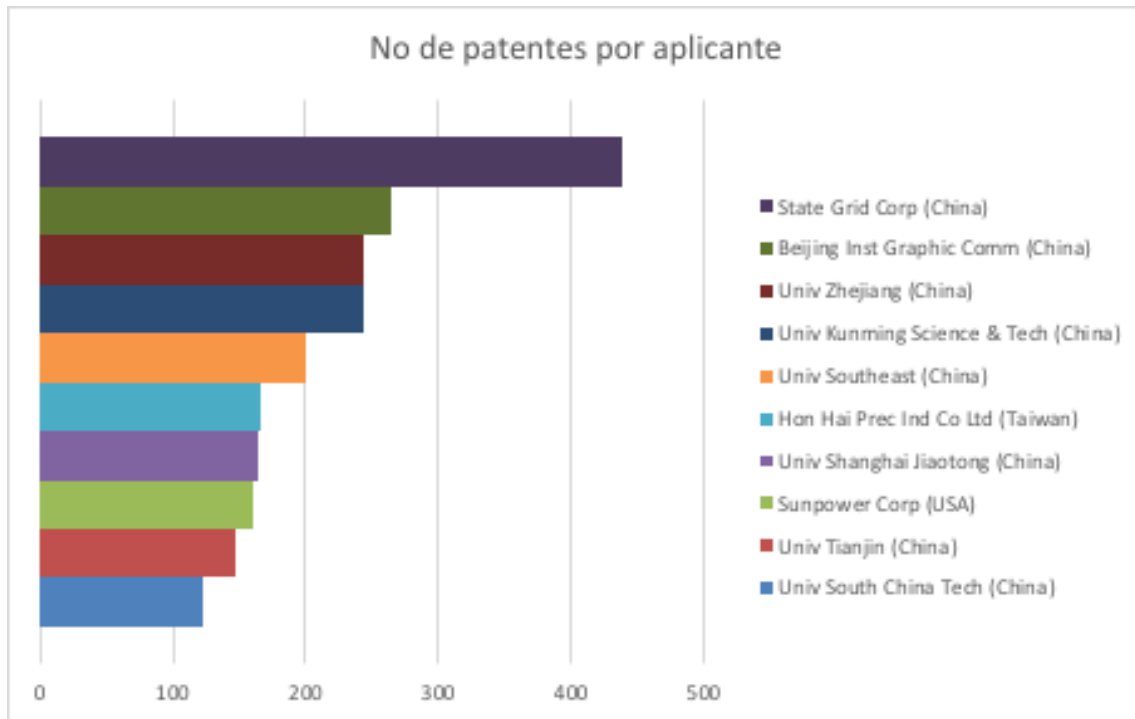


Figura 82.Principales aplicantes de patentes en energía solar:

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

En la Tabla 26. Se presenta la información de las categorías de patentes identificadas para el área de energía solar

Código CPC	Tecnología	No de patentes
Y02E10/44	Energía solar térmica - Sistemas de intercambio de calor	9376
Y02E10/40	Energía solar térmica	6837
Y02B10/20	Integración de fuentes de energía renovables en edificios - Solar térmica	6066
Y02E10/47	Energía solar térmica -Encuentros o seguimiento	5972
Y02E10/52	Energía fotovoltaica [PV]	3519
Y02E10/50	Energía fotovoltaica [fotovoltaica]: sistemas fotovoltaicos con concentradores	3500
Y02E10/46	Energía solar térmica: conversión de energía térmica en energía mecánica, p.Rankine, Stirling, motores térmicos solares	3212
Y02B20/72	Tecnologías de iluminación energéticamente eficientes	2884
Y02B10/70	"Integración de fuentes de energía renovables en edificios -	2374
H01L31/0547	Dispositivos semiconductores sensibles a la radiación infrarroja	2027

Tabla 26. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía solar.

Fuente: Elaboración propia con información de Patent Lens

## Energía hidroeléctrica

Ecuación de búsqueda: (title:("Hydroelectric Power") || abstract:("Hydroelectric Power") || claims:("Hydroelectric Power"))

Resultados: 1904

### New Patent Search

Submit Search

Query:

Query Predicate:  AND  OR

"Hydroelectric Power"	in	Title, Abstract or Claims	+	-	
First Name	Last Name	in	Inventors	+	-

Dates:

Documents:  Published  Filed

2000-01-01	2017-12-31
------------	------------

Figura 83. Visualización búsqueda de patentes energía hidroeléctrica:

Fuente Portal Patent Lens

En la Figura 84 se presenta la evolución de patentes para el área de energía hidroeléctrica en el periodo de tiempo especificado.

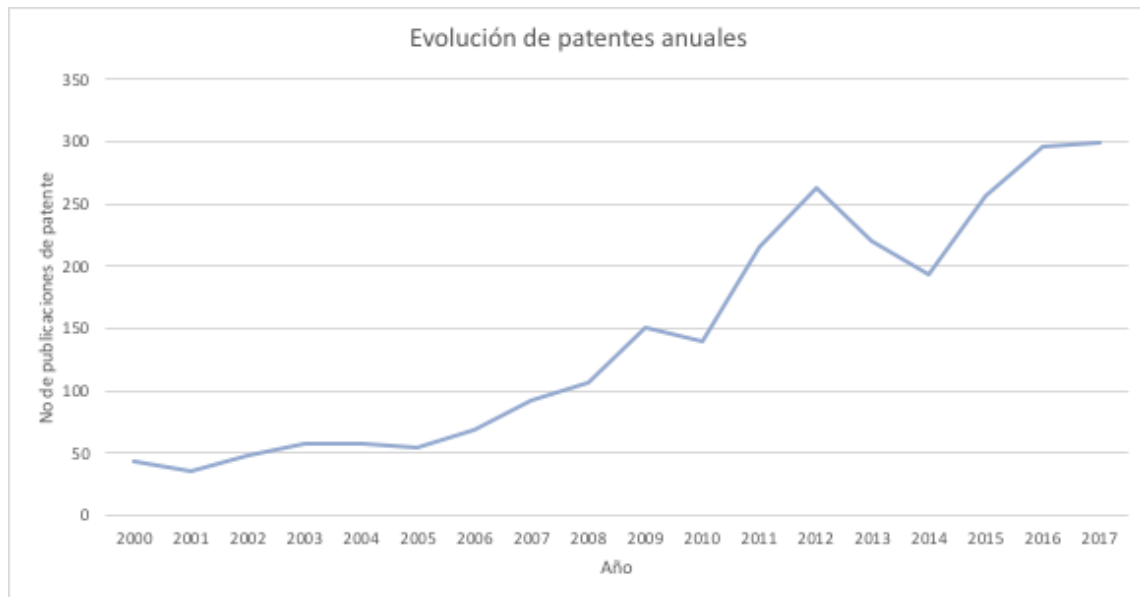


Figura 84. Evolución en número de solicitudes de patente en energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Patent Lens

En la Figura 85 se presenta la información de países líderes (o jurisdicciones) correspondientes a las solicitudes de patente relacionadas con el área de energía eléctrica.

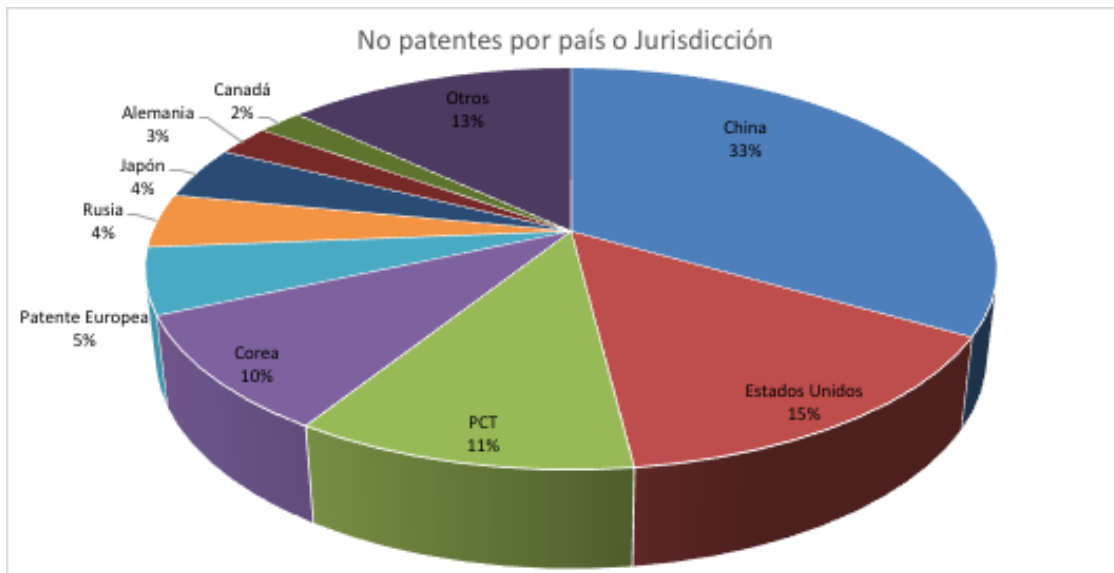


Figura 85. Países líderes en solicitudes de patentes en energía hidroeléctrica

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

En el caso de los principales aplicantes en el caso de energía hidráulica, se encuentra que en los primeros lugares se encuentran organizaciones alemanas (Ver Figura 86).

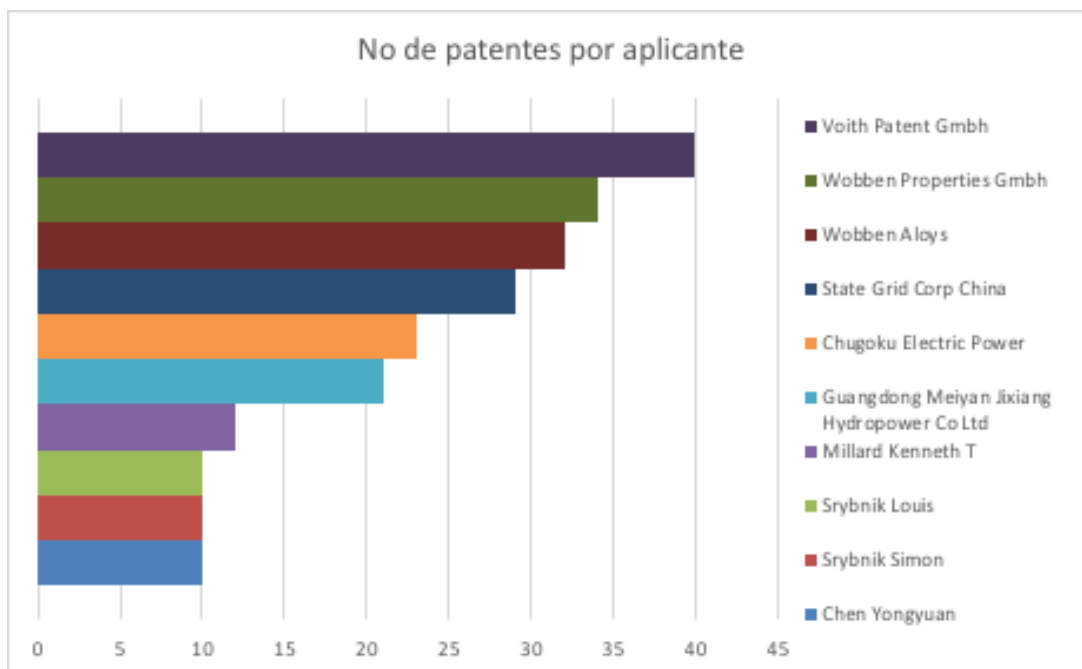


Figura 86. Principales aplicantes de patentes en energía hidroeléctrica.:

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

En la Tabla 27 se presentan las principales categorías de patentes para el área de energía hidroeléctrica

<b>Código CPC</b>	<b>Tecnología</b>	<b>No de patentes</b>
Y02E10/22	Energía hidroeléctrica convencional, con presas, turbinas y ruedas hidráulicas	686
Y02E10/223	Turbinas o ruedas hidráulicas, p. detalles del rotor	549
Y02E10/28	Corriente de marea o hidroelectricidad sin represas, p. inundación y refluo del mar, río, corriente	522
Y02E10/226	Energía hidroeléctrica - Otras partes o detalles	281
Y02E60/17	Almacenamiento de energía por bombeo	245
Y02E10/20	Energía hidroeléctrica	120
Y02E10/38	Energía de las olas o mareas	117
F03B13/08	Adaptaciones de máquinas o motores para uso especial en presas o similares	112
F03B13/06	Adaptaciones de máquinas para uso especial -Estación de tipo de almacenamiento de agua, como el que comprende una turbina y una bomba	106
F05B2240/40	Componentes de motores o bombas	94

Tabla 27. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia con información de Patent Lens

### **Almacenamiento de energía**

Ecuación de búsqueda: (title:("energy storage") || abstract:("energy storage") || claims:("energy storage")) && classification\_cpc:((Y02E60\12 OR Y02E60\122 OR Y02E60\124 OR Y02E60\126 OR Y02E60\128 OR Y02E60\13 OR Y02E60\14 OR Y02E60\142 OR Y02E60\145 OR Y02E60\147 OR Y02E60\15 OR Y02E60\16 OR Y02E60\17))

Resultados: 4370



## New Patent Search

Submit Search

Query:

Query Predicate:  AND  OR

"energy storage"	in	Title, Abstract or Claims	+	-
Y02E60/12 OR Y02E60/122 OR Y02E60/124 OR Y02E60/126 OR Y02E60/128 OR Y02E60/13 OR Y02E60	in	CPC Classifications	+	-

Dates:

Documents:  Published  Filed

2000-01-01	2017-12-31
------------	------------

Jurisdictions

<input type="checkbox"/> Armenia	<input type="checkbox"/> GCC	<input type="checkbox"/> Norway
<input type="checkbox"/> ...	<input type="checkbox"/> Georgia	<input type="checkbox"/> New Zealand

Figura 87. Visualización búsqueda de patentes en almacenamiento de energía:

Fuente Portal Patent Lens

En la Figura 88 se presenta la evolución de las publicaciones de patentes para el área de almacenamiento de energía en el periodo considerado para la búsqueda realizada.

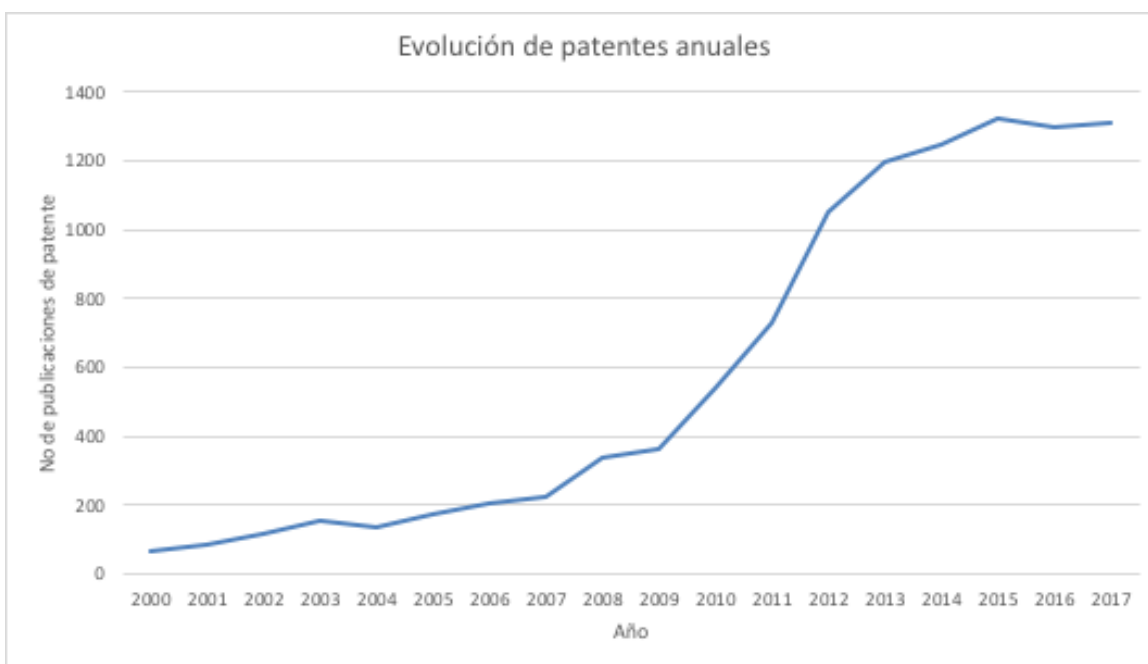


Figura 88. Evolución en número de solicitudes de patente en almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia con datos de Patent Lens

En la Figura 89 se presenta la información de los países o jurisdicciones líderes en la presentación de patentes para el área de almacenamiento de energía, siendo en este caso Estados Unidos el país con mayor número de patentes.

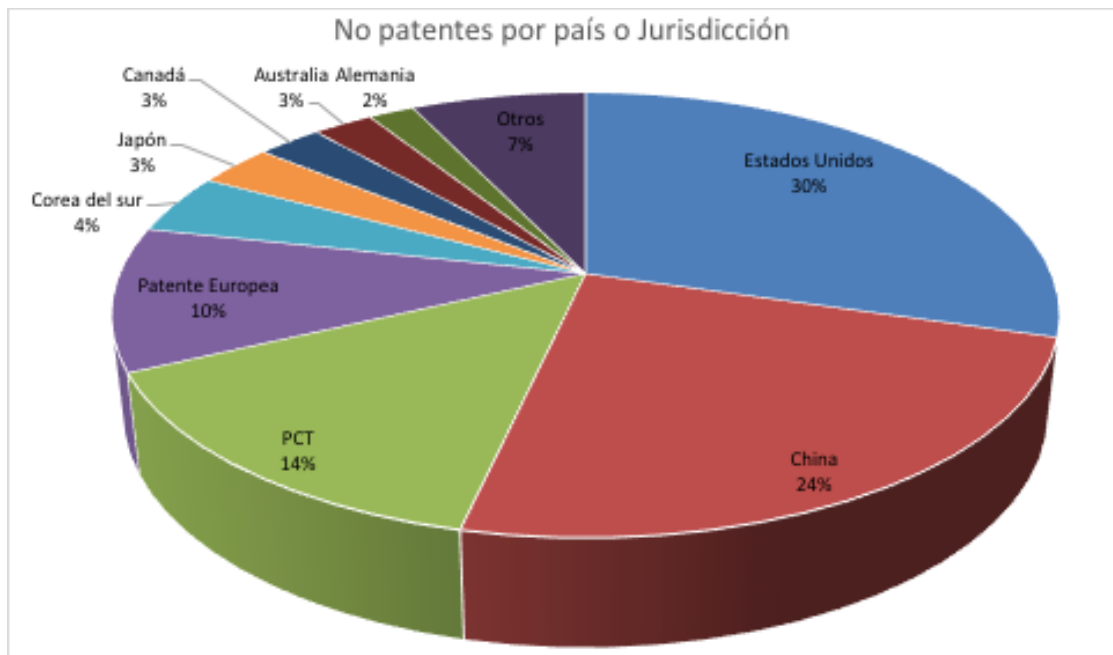


Figura 89. Países líderes en solicitudes de patentes en almacenamiento de energía

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

Frente a las patentes por aplicante para el área de almacenamiento de energía, en la Figura 90 se presenta dicha información, siendo la empresa Siemens, la que presenta mayor número de aplicaciones de patente

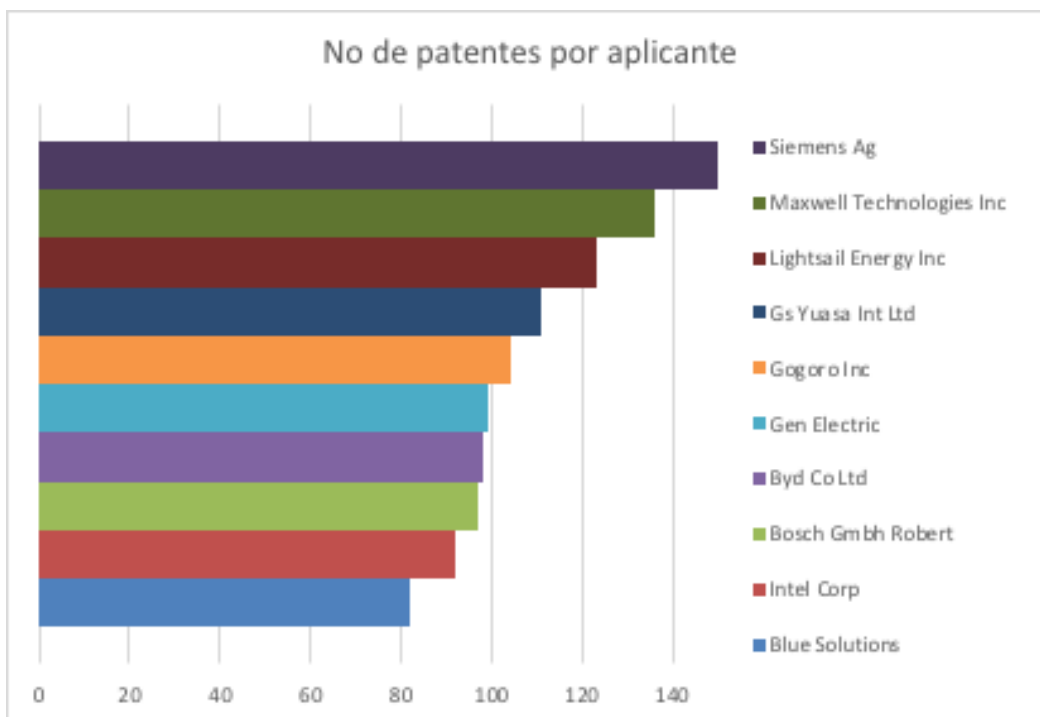


Figura 90. Principales aplicantes de patentes en almacenamiento de energía.:

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

Finalmente, en el caso del área de almacenamiento de energía, en la Tabla 28 se presenta la información de las categorías de patente que más presentan aplicaciones

Código CPC	Tecnología	No de patentes
Y02E60/13	Ultracondensadores, supercondensadores, condensadores de doble capa	3994
Y02E60/142	Almacenamiento de calor sensible	1350
Y02E60/15	Almacenamiento de fluidos presurizados	1246
Y02E60/122	Baterías de ion de Litio	1194
Y02E60/16	Almacenamiento de energía mecánica (Ej: volante)	1147
H01M10/0525	Baterías de silla mecedora, es decir, baterías con inserción de litio o intercalación en ambos electrodos Baterías de iones de litio	1116
Y02E60/145	Almacenamiento de calor latente	984
Y02T10/7022	Condensadores, supercondensadores y Ultracondensadores	957
H01M10/052	Acumuladores de litio	870

Tabla 28. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia con información de Patent Lens

## Redes inteligentes

Ecuación de búsqueda: (title:(smart power grids) || abstract:(smart power grids) || claims:(smart power grids))

No resultados: 1909

**New Patent Search** Submit Search

Query: \_\_\_\_\_

Query Predicate:  AND  OR

smart power grids in Title, Abstract or Claims +

Dates: \_\_\_\_\_

Documents:  Published  Filed

2000-01-01 2017-12-31

Figura 91. Visualización búsqueda de patentes en redes inteligentes:

Fuente Portal Patent Lens

En la Figura 92 se presenta el diagrama de la evolución de la publicación de patentes correspondiente al área de redes inteligentes, donde se evidencia una dinámica en solicitudes de patente a partir del año 2008.

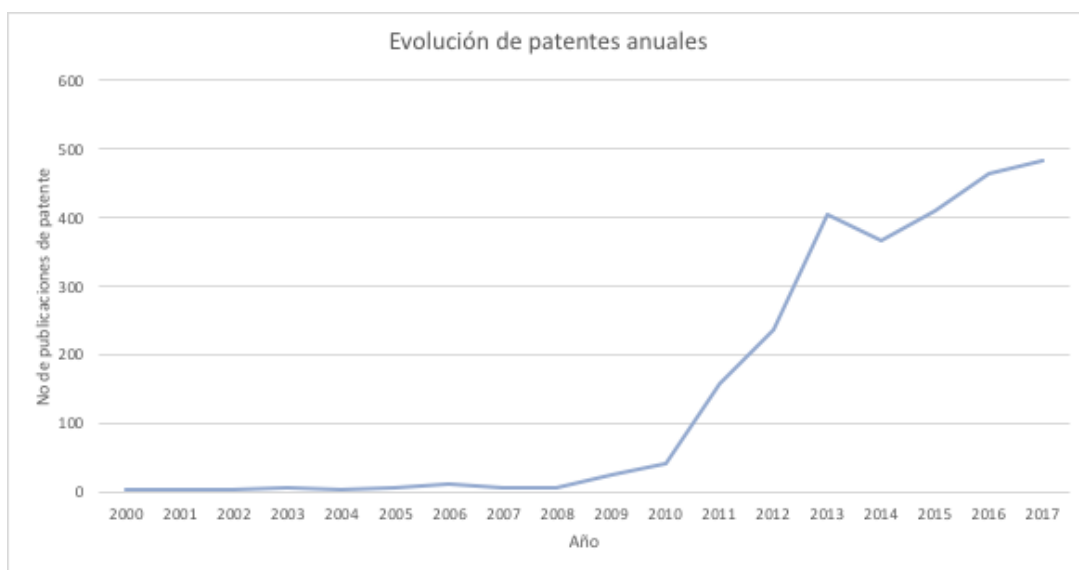


Figura 92. Evolución en número de solicitudes de patente en redes inteligentes

Fuente: Elaboración propia con datos de Patent Lens

En relación a los países o jurisdicciones donde más se presentan solicitudes de patente para el área de redes inteligentes, se encuentra que China ocupa el primer lugar, seguido por Estados Unidos (Ver Figura 93)

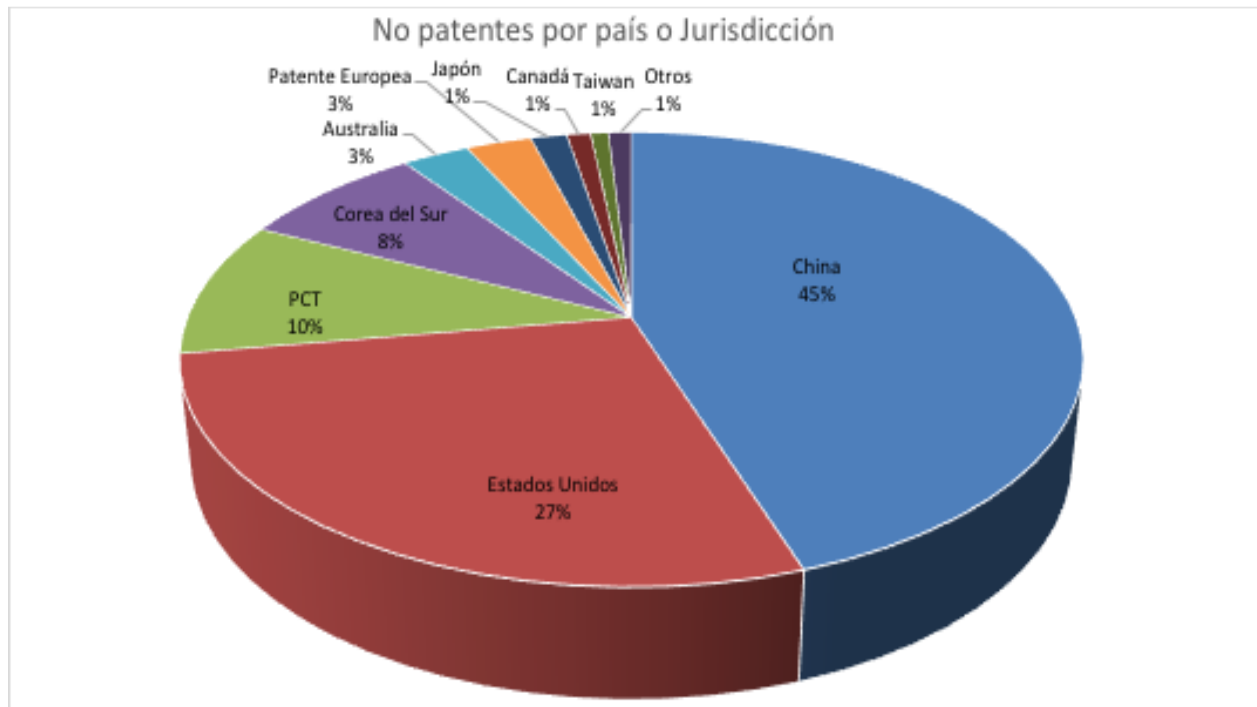


Figura 93. Países líderes en solicitudes de patentes en redes inteligentes.

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

Frente a la información de aplicantes de patentes en el área de redes inteligentes, se evidencia un dominio por parte de la empresa State Grid Corp de China, la cual se encuentra también en otras áreas de energías renovables (Ver Figura 94)

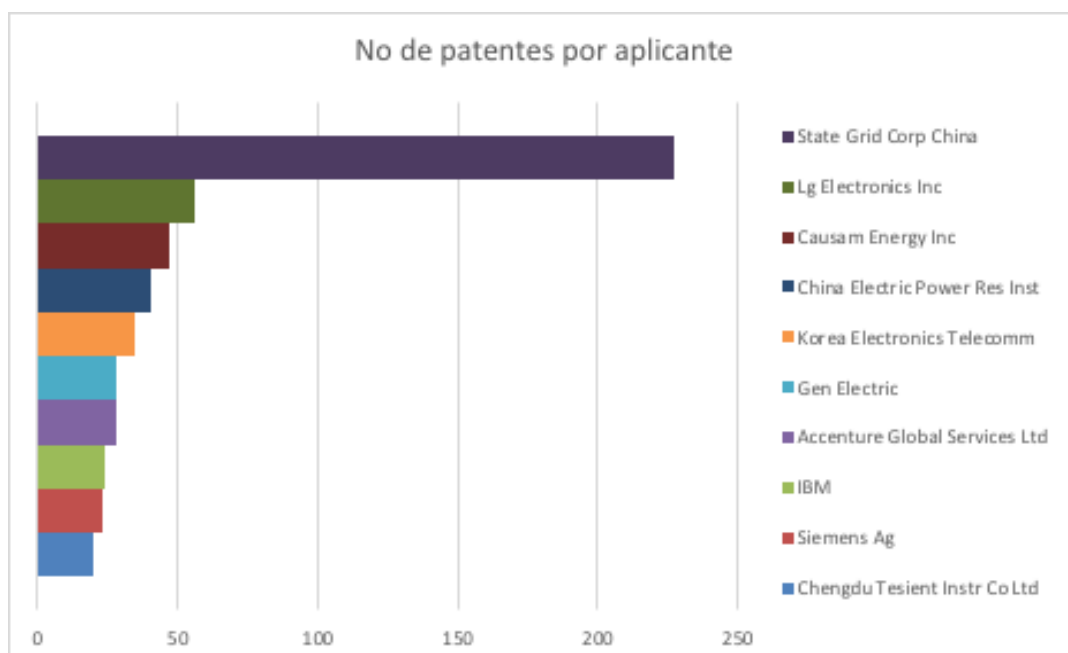


Figura 94. Principales aplicantes de patentes en redes inteligentes

Fuente: Elaboración propia con base en Patent Lens

En la Tabla 29 se presenta la información de las principales categorías de patente para el área de redes inteligentes

Código CPC	Tecnología	No de patentes
H02J3/14	Ajuste de voltaje por conmutación de cargas a la red o fuera de ella,	196
Y04S20/222	Sistemas de respuesta a la demanda	187
G06Q50/06	Sistemas de procesamiento de datos para electricidad, gas o suministro de agua	174
Y02B70/3225	Mitigación del cambio climático - Sistemas de respuesta a la demanda	170
Y02T10/7005	Movilidad eléctrica - Baterías	141
G05B15/02	sistemas eléctricos controlados por computador	136
Y04S20/242	Aplicaciones para usuarios finales que involucran electrodomésticos	118
Y02T90/14	Tecnologías para conexión de vehículos eléctricos	117
Y02B70/3266	Aplicaciones para usuarios finales que involucran electrodomésticos	117
Y02T90/121	Estaciones de carga eléctricas por transmisión de energía conductiva	116

Tabla 29. Categorías de patentes (CPC) identificadas para el área de redes inteligentes.

Fuente: Elaboración propia con información de Patent Lens

## Tendencias de investigación (artículos científicos)

### Energía eólica

Se realiza inicialmente una búsqueda en la base de datos de Scopus de las principales tendencias tecnológica en energía eólica, para la revisión se utilizan los siguientes criterios de búsqueda:

Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ( "wind power" ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2018

No de resultados: 56795

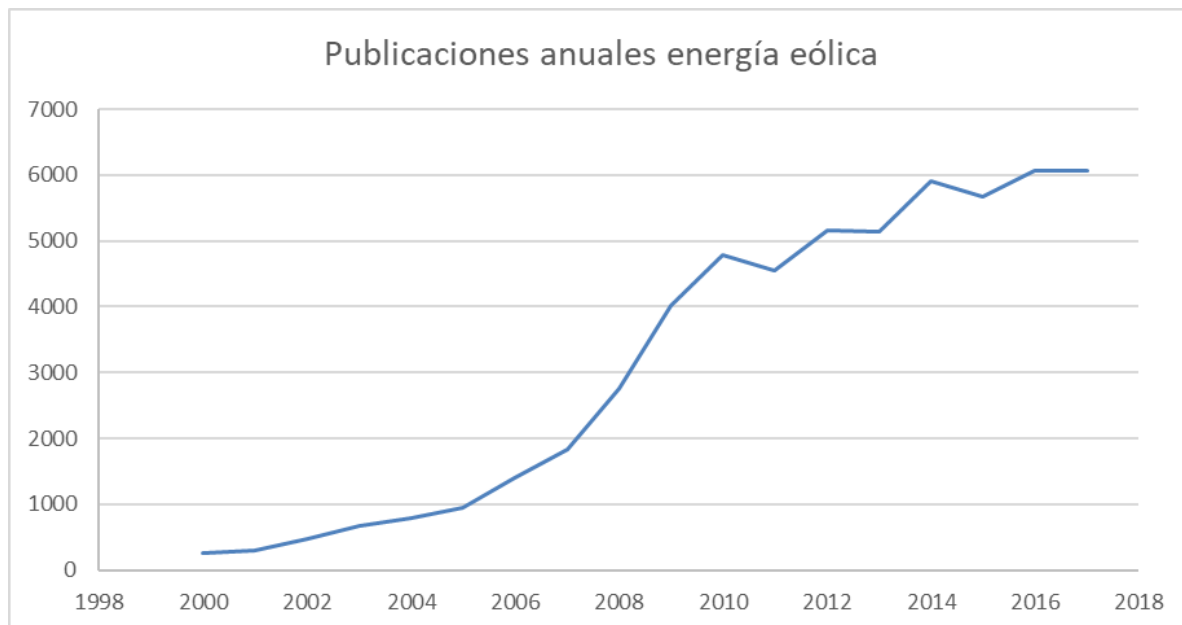


Figura 95. Evolución en publicaciones científicas en energía eólica.

Fuente Elaboración propia con base en Scopus

En la Figura 95. se presenta la evolución del número de publicaciones con base en la ecuación de búsqueda propuesta correspondiente a energía eólica, donde en líneas generales se observa una tendencia creciente en el número de publicaciones.

En relación con el número de publicaciones por país se encuentra que a nivel de producción académica hay una menor diferencia entre los diferentes países, aunque China en este caso también

lidera la producción científica en el área de energías renovables, seguida por Estados Unidos, el Reino Unido y Alemania (Ver Figura 96)

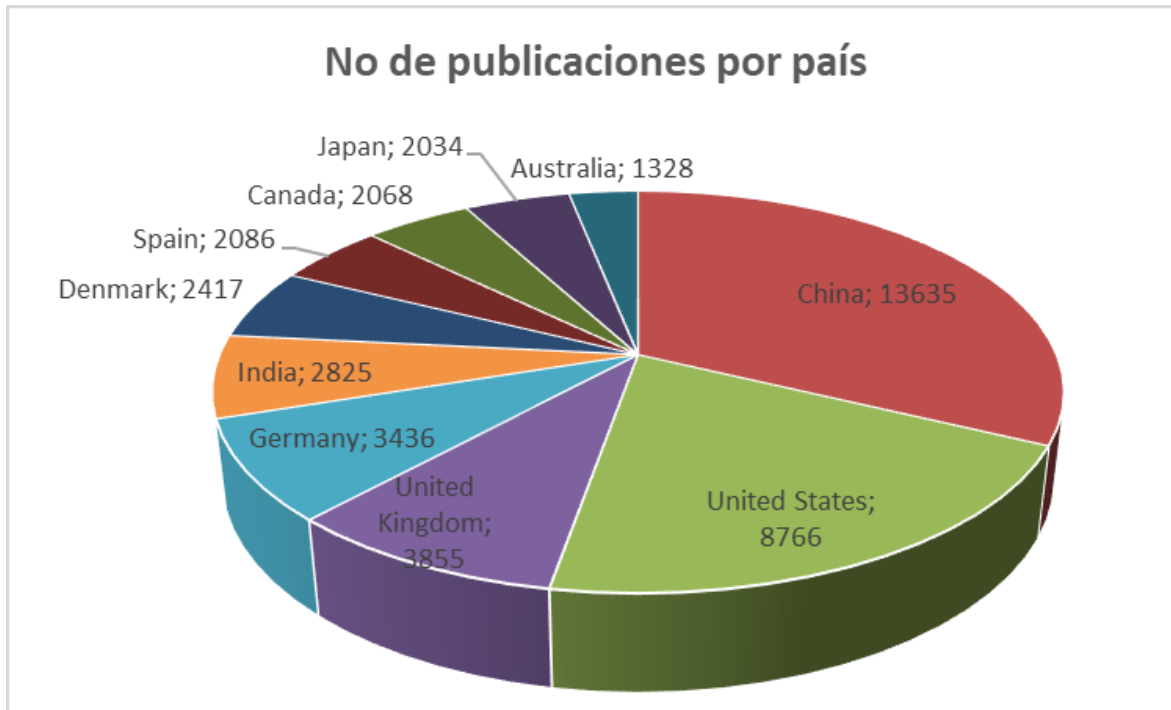


Figura 96. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Frente a las entidades como Universidades o centros de investigación que más realizan publicaciones encontramos en primer lugar la North China Electric Power University con 1319 publicaciones en el rango de tiempo indicado (2000 al 2017), seguida por la Danmarks Tekniske Universitet de Dinamarca con 1161 publicaciones (Ver Figura 97)



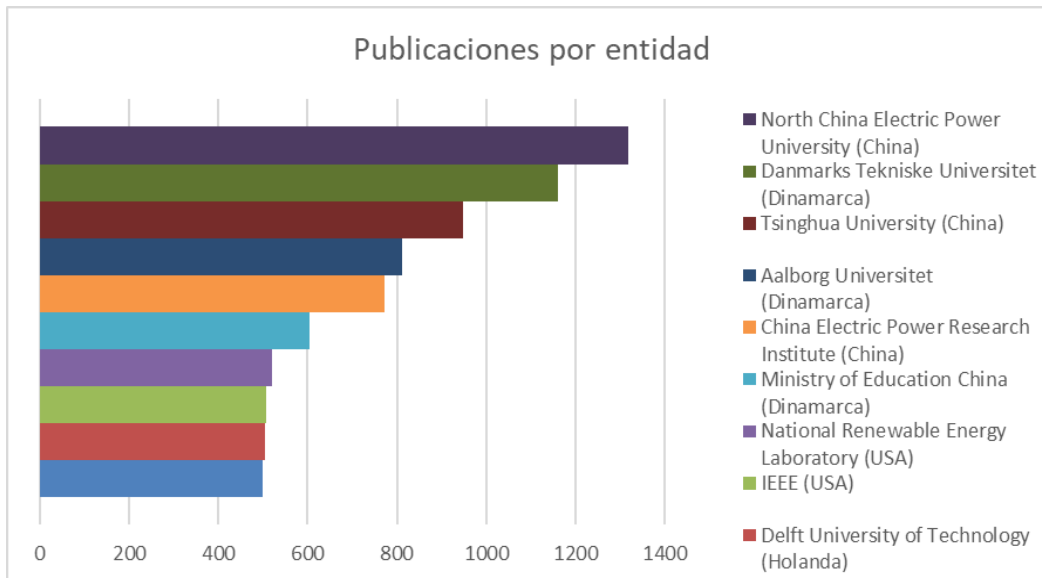


Figura 97. Publicaciones por institución.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

En la Figura 98 se presenta la información de los temas identificados a partir de las palabras clave a partir de la búsqueda se información del área de energía eólica en la base de datos de Scopus.

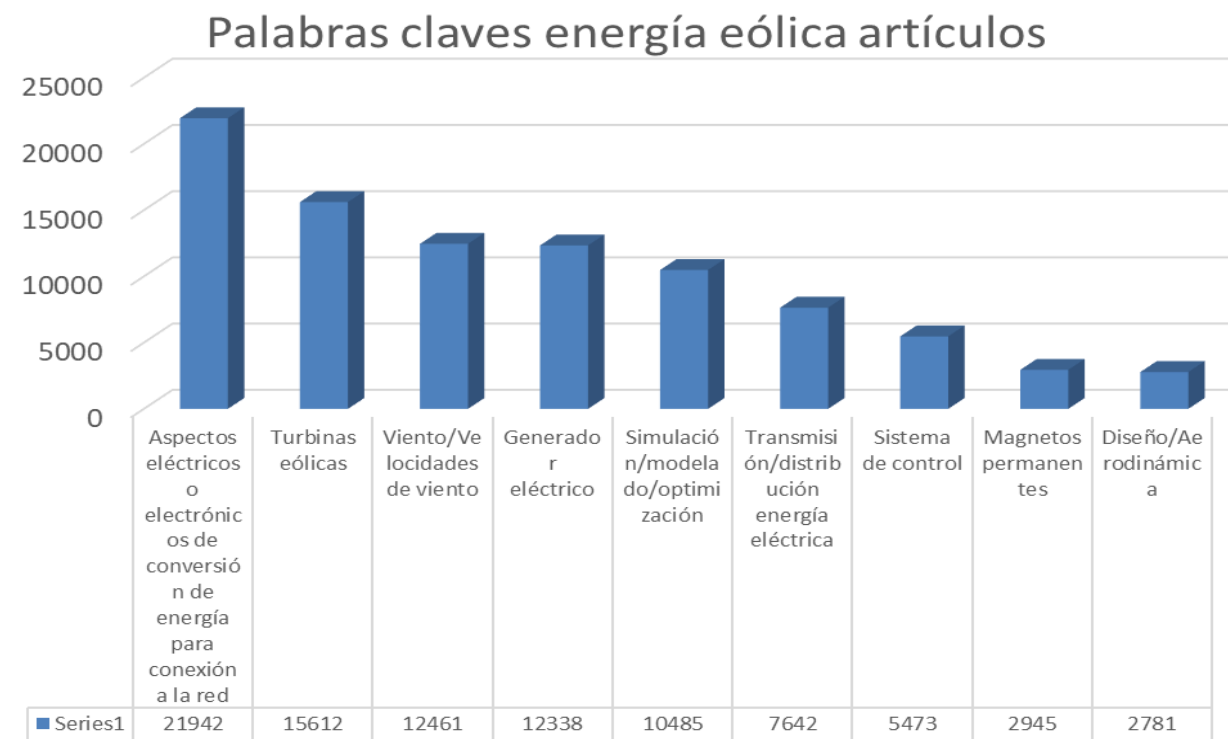


Figura 98. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en la búsqueda de palabras clave.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en Scopus

## Energía solar

Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ( "solar energy" ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2018

No de resultados: 65614

En la Figura 99 se presenta la información de la evolución de publicaciones científicas en energía solar, encontrando en líneas generales un crecimiento que se mantiene hasta la actualidad

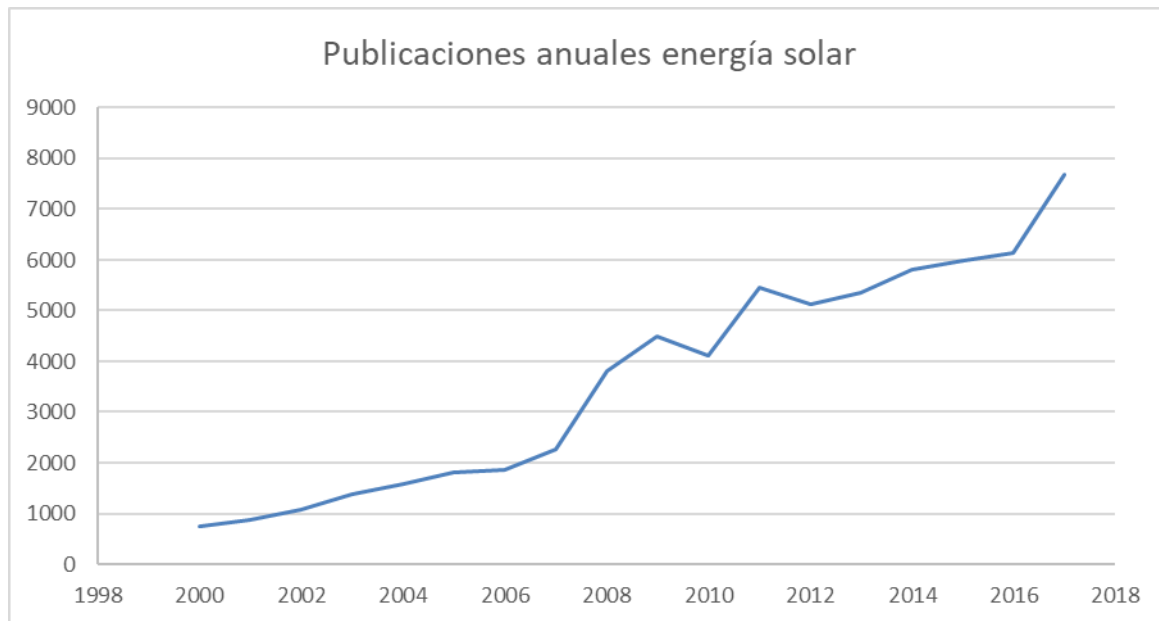


Figura 99. Evolución en publicaciones científicas en energía solar.

Fuente Elaboración propia con base en Scopus

Frente a los países que presentan más publicaciones, en el caso de energía solar, en primer lugar, se encuentra Estados Unidos, seguido por China e India (Ver Figura 100).

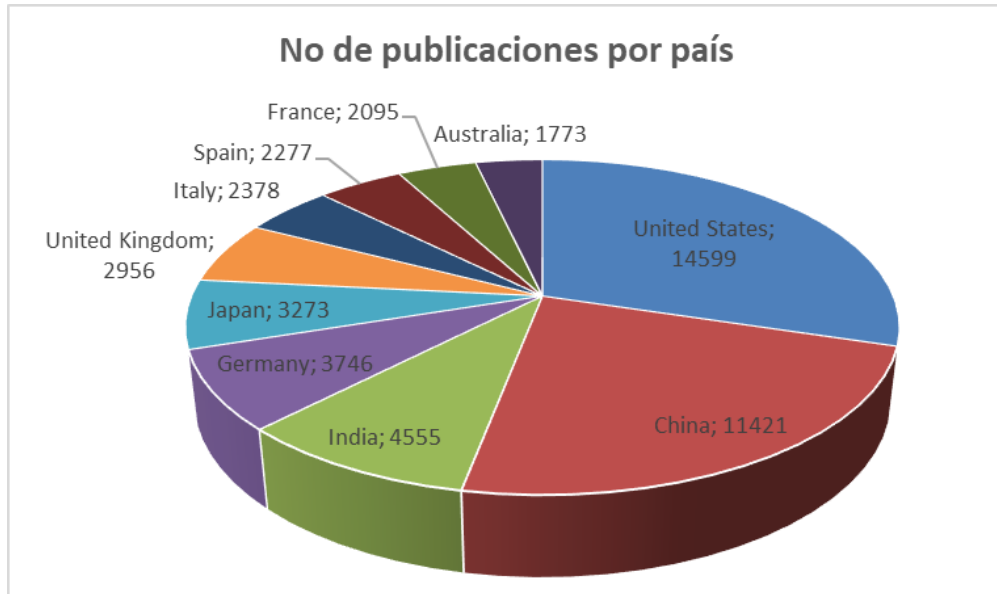


Figura 100. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

En relación con las entidades que se destacan en el área de energía solar, se resaltan dos entidades de China (Academia China de Ciencias y El Ministerio de Educación de China), seguida por NREL de Estados Unidos, en la Figura 101 se presenta la información de las 10 instituciones más representativas en esta área.

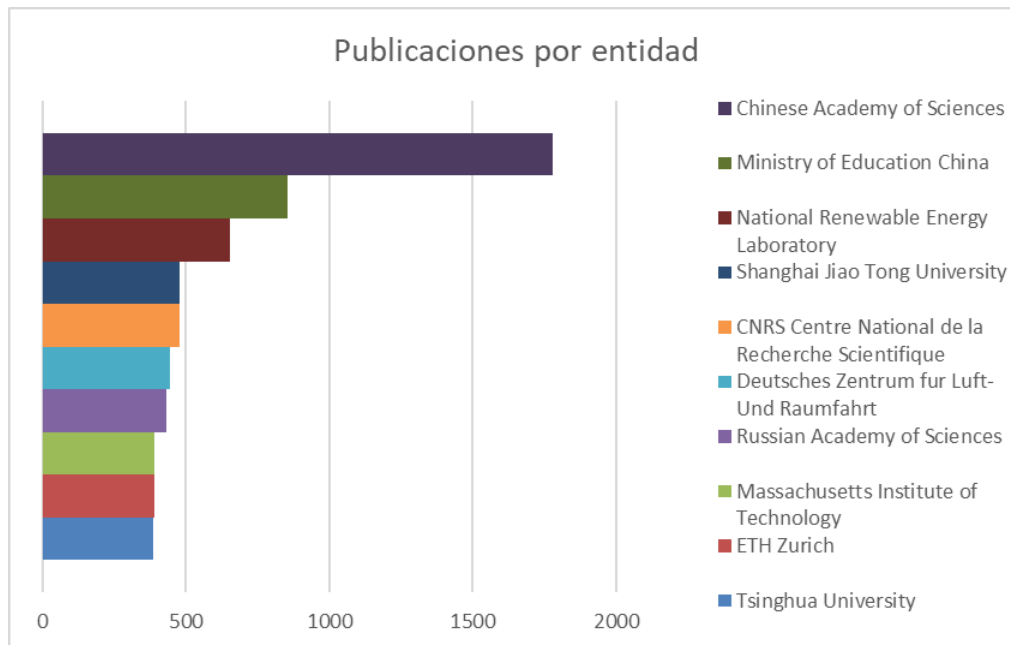


Figura 101. Publicaciones por institución.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Finalmente, para el caso de energía solar, se presenta la información de los temas identificados de acuerdo a la información de palabras claves identificadas en la búsqueda en esta base de datos

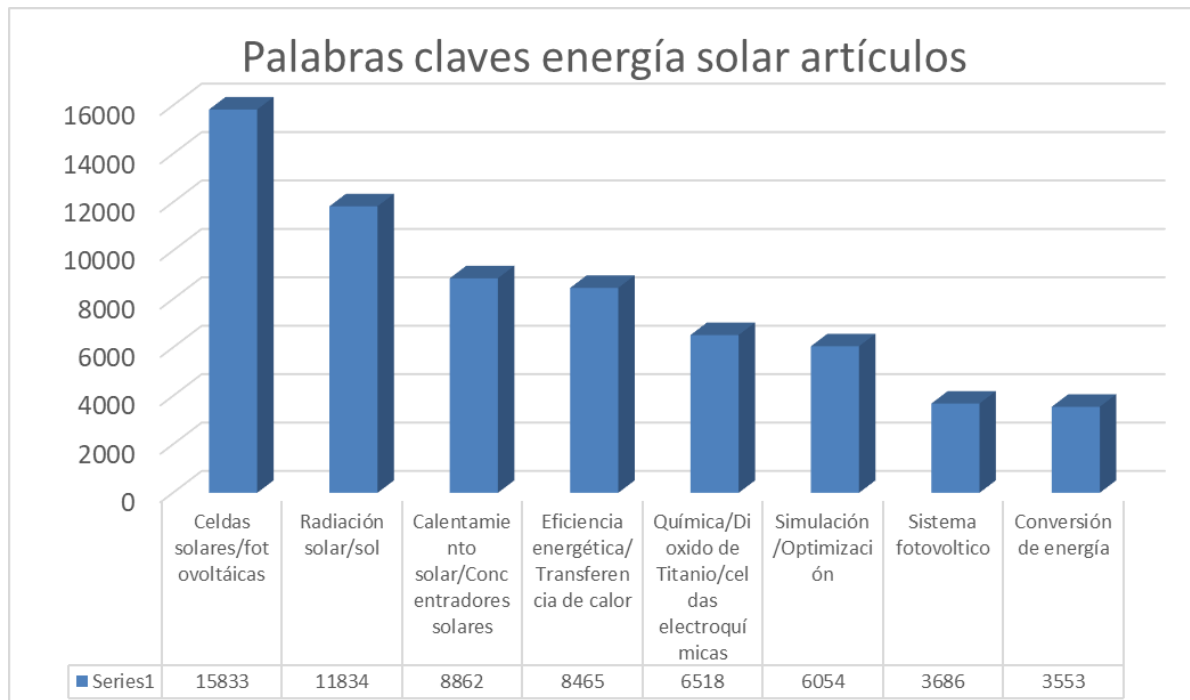


Figura 102. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en la búsqueda de palabras clave.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en Scopus

### Energía hidroeléctrica

Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ( "Hydroelectric Power" ) AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2017

No de resultados: 12077

En la Figura 103, la evolución de las publicaciones relacionadas con energía hidroeléctrica, donde en líneas generales se evidencia una tendencia de aumento de las publicaciones a lo largo del tiempo con algunos años con descensos en las mismas.

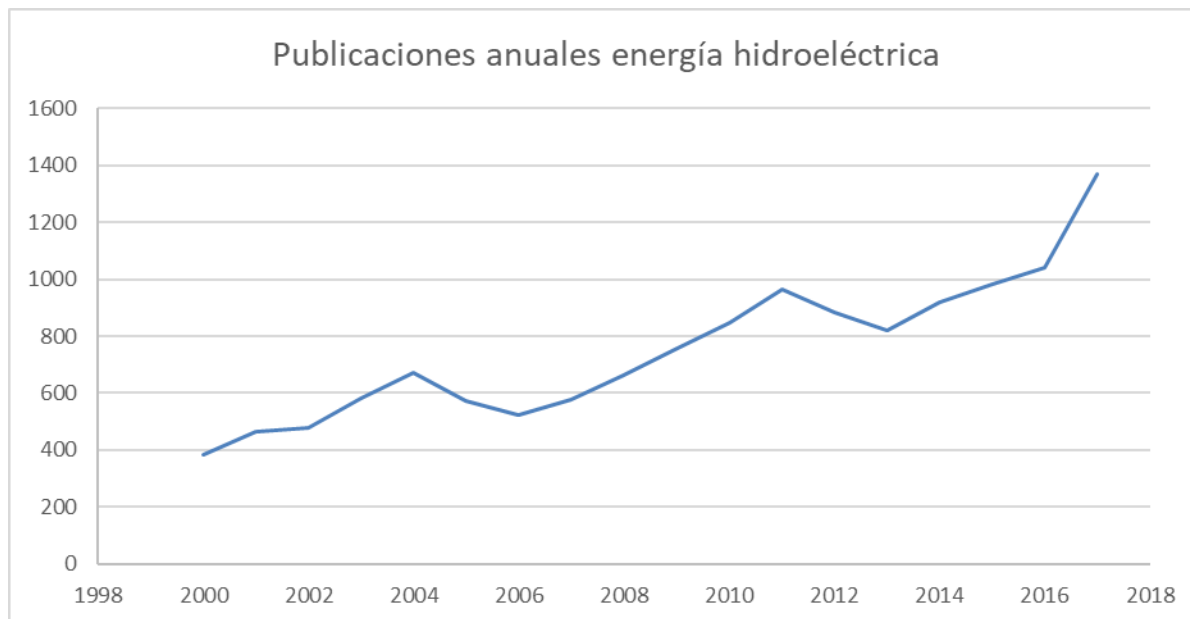


Figura 103. Evolución en publicaciones científicas en energía hidroeléctrica.

Fuente Elaboración propia con base en Scopus

En el caso de energía hidroeléctrica, el liderazgo a nivel de países en las publicaciones académicas lo tiene China, seguido por Estados Unidos, Brasil e India (Ver Figura 104)

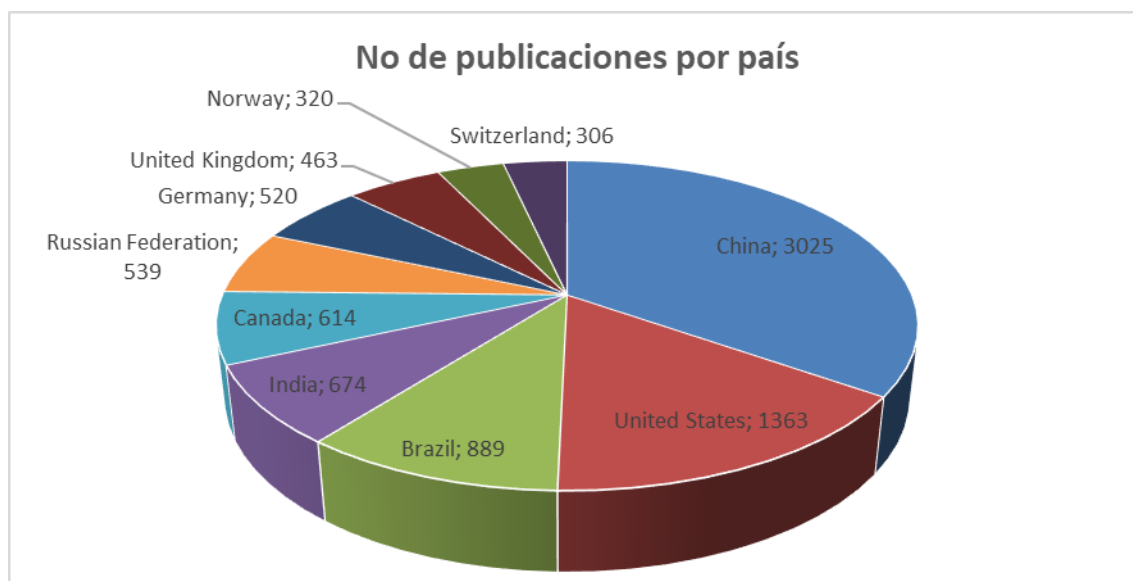


Figura 104. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Por instituciones que más publicaciones realizan en temas de energía hidroeléctrica, se encuentra un claro dominio de China en los primeros lugares, como se evidencia en la Figura 105.

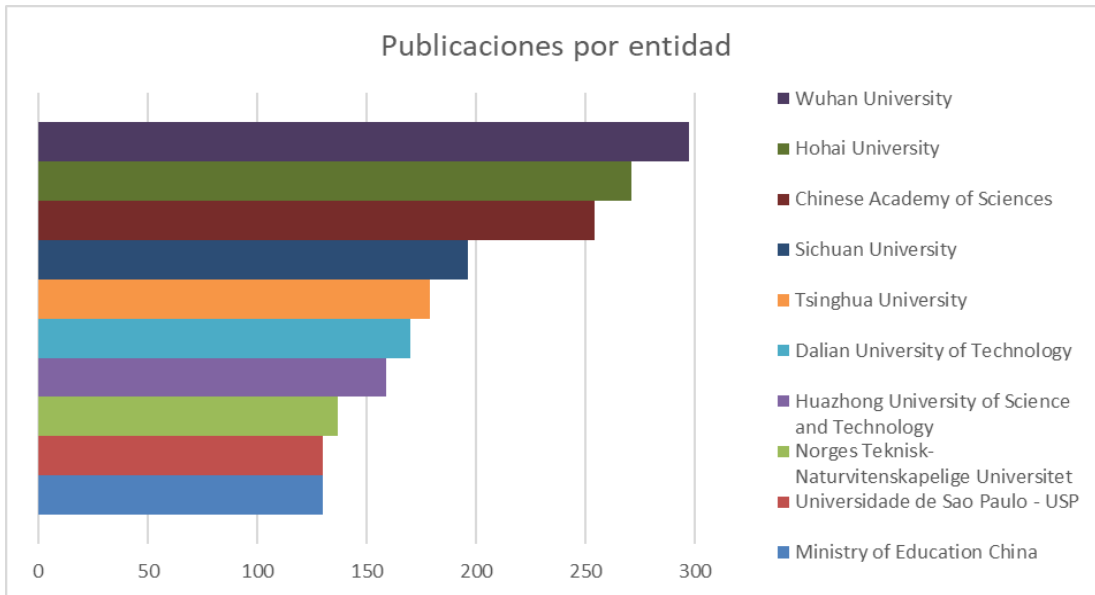


Figura 105. Publicaciones por institución.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

En el caso de energía hidroeléctrica, en la Figura 106 se presenta la información de los temas identificados con base en las palabras clave identificadas en los artículos científicos.

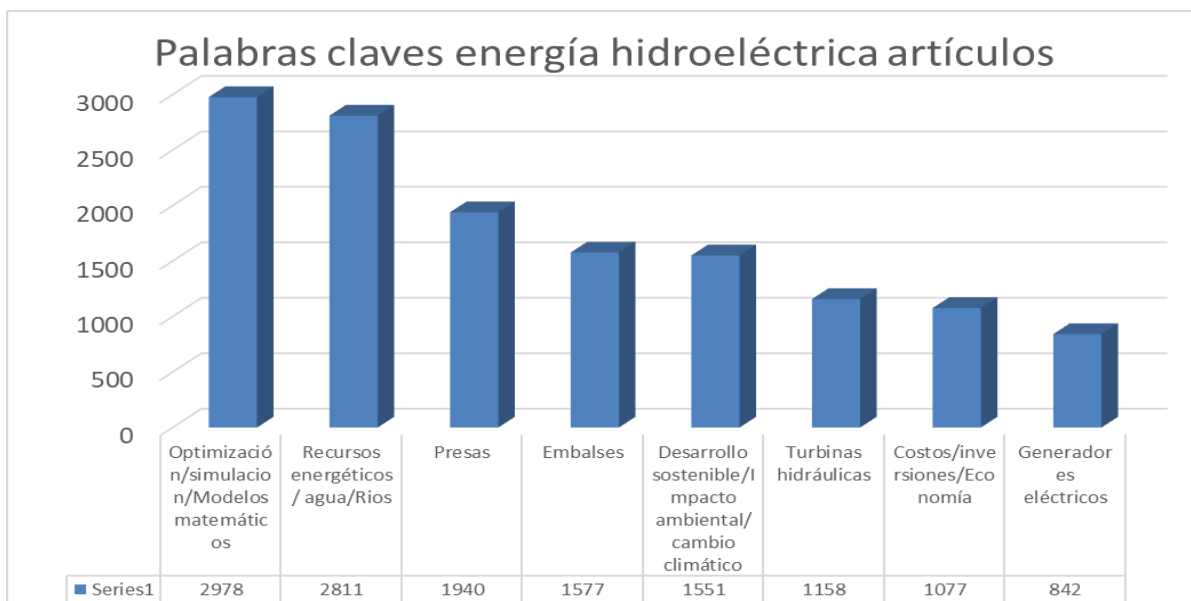


Figura 106. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en las palabras clave.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en Scopus

## Almacenamiento de energía

Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ("energy storage") AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2017

No de resultados: 53189

En la Figura 107 se representa la evolución de las publicaciones en el área de almacenamiento de energía, presentando un crecimiento sostenido en el número de publicaciones a excepción del año 2009, donde presenta una disminución.

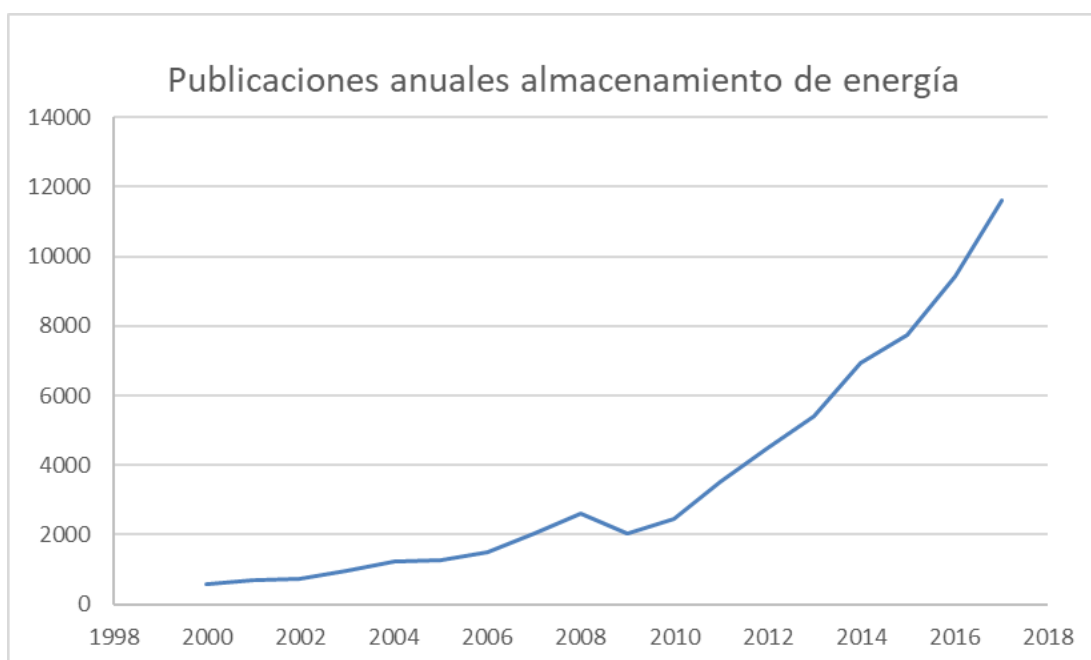


Figura 107. Evolución en publicaciones científicas en almacenamiento de energía.

Fuente Elaboración propia con base en Scopus

Respecto al número de publicaciones por país, en el caso del área de almacenamiento de energía, se encuentra que el país que lidera este listado es China, seguida por Estados Unidos, Alemania, Japón e India (Ver Figura 108)

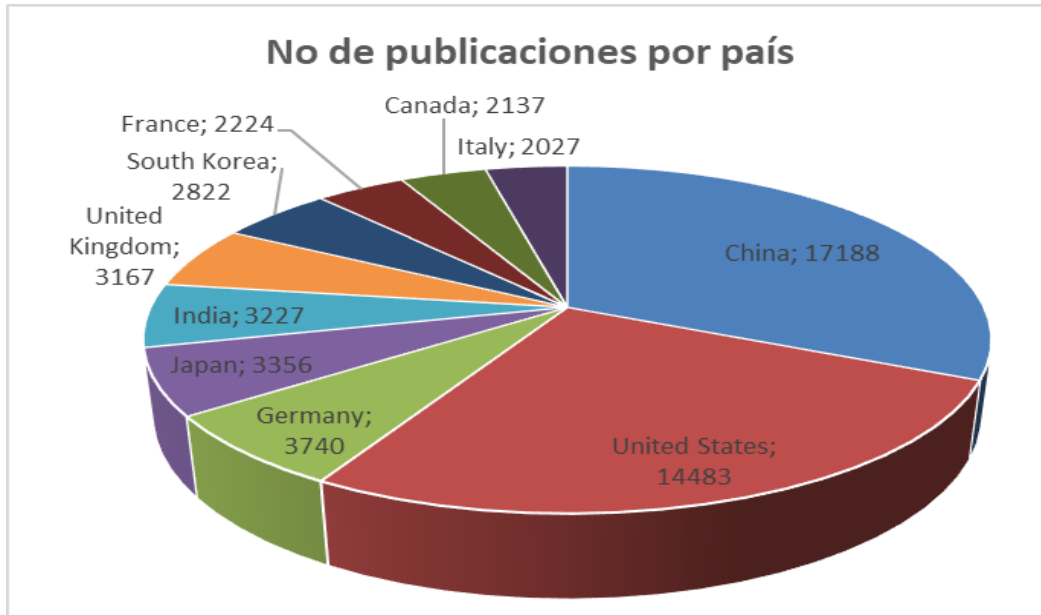


Figura 108. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Por entidades que realizan publicaciones científicas en almacenamiento de energía, nuevamente, organizaciones originarias de China lideran este listado (Ver Figura 109)

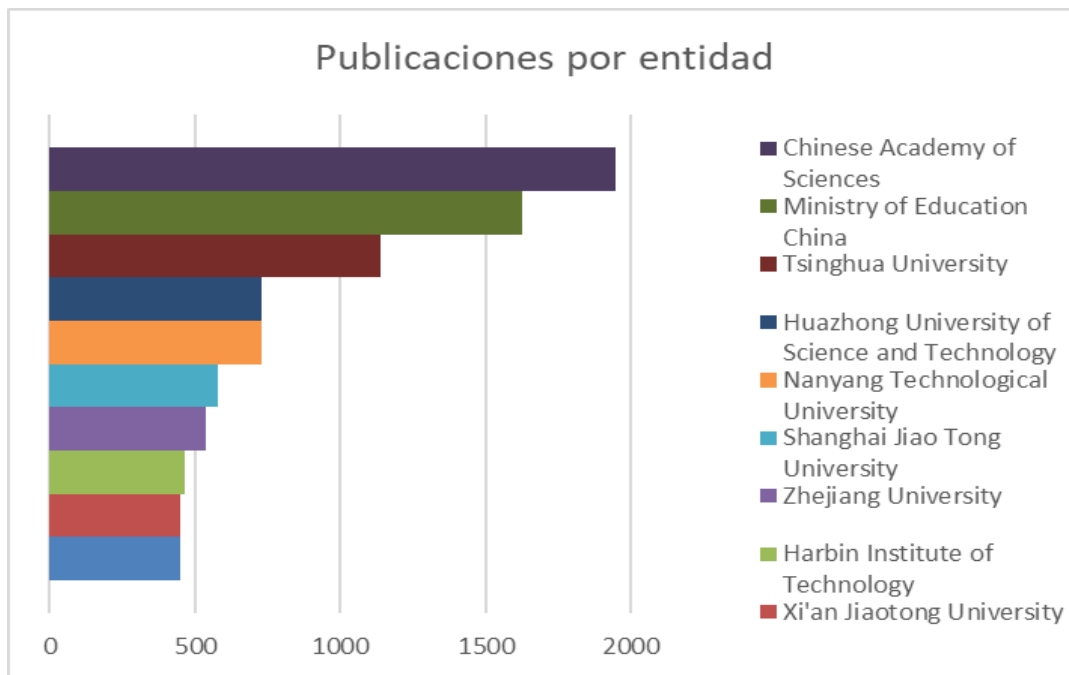


Figura 109. Publicaciones por institución.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus



En la Figura 110 se presenta la visualización de los temas identificados en el análisis de palabras clave en los artículos relacionados con el área de almacenamiento de energía.

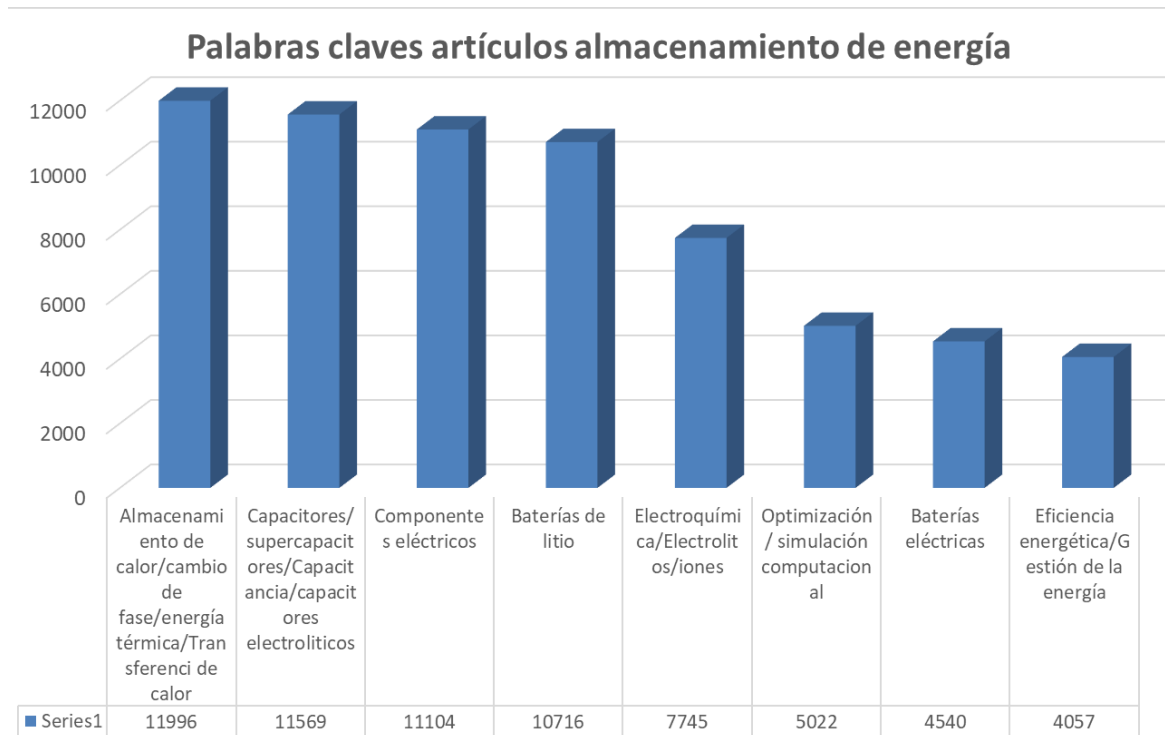


Figura 110. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en las palabras clave.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en Scopus

## Redes inteligentes

Ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ("smart power grids")AND PUBYEAR > 1999 AND PUBYEAR < 2017

No de resultados: 17070

En relación a la evolución de la producción científica en redes inteligentes, preliminarmente no se presenta una tendencia clara y se evidencia que el crecimiento de publicaciones en esta área inicia en el año 2009 (Ver Figura 111).

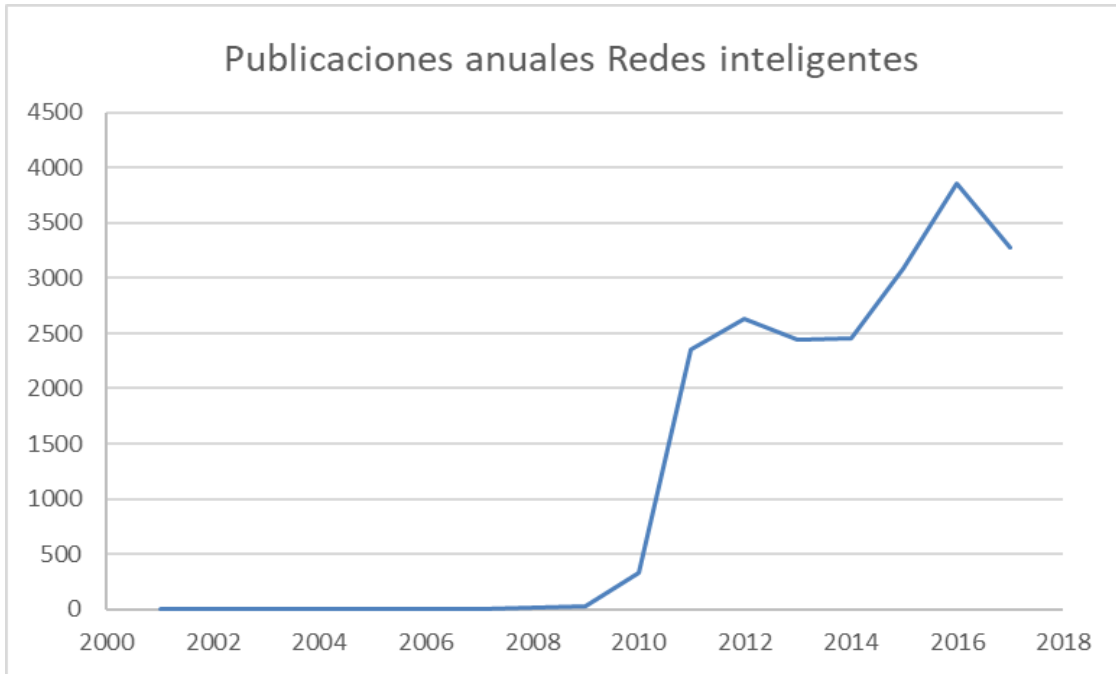


Figura 111. Evolución en publicaciones científicas en redes inteligentes.

Fuente Elaboración propia con base en Scopus

En la Figura 112 se presentan los países líderes por publicaciones en el área de Redes inteligentes, en este caso, el país líder es Estados Unidos, seguido por China, Alemania y Reino Unido.

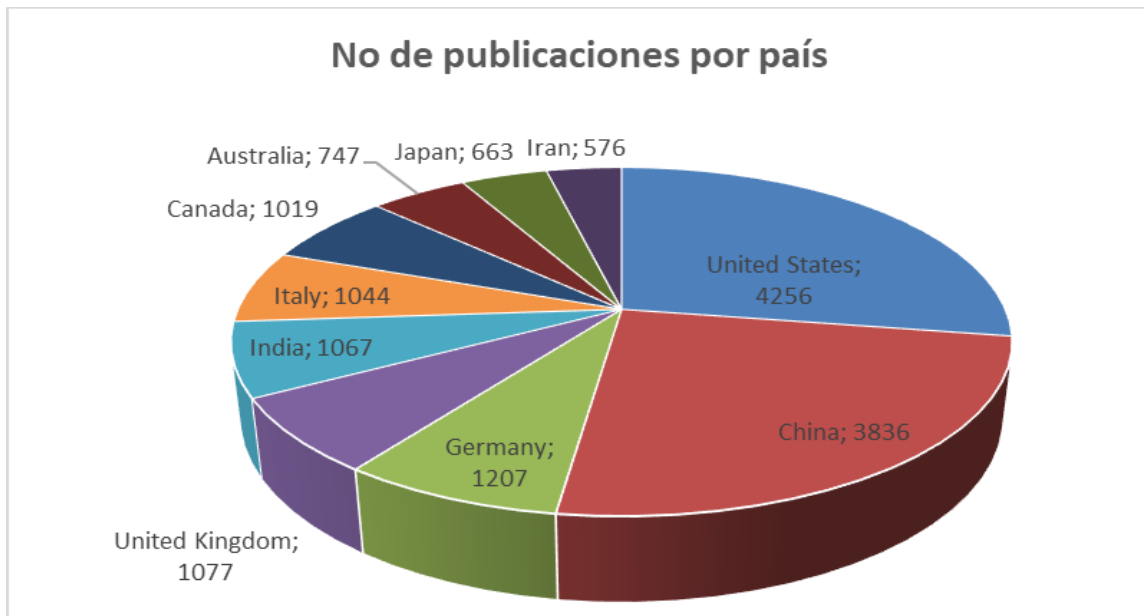


Figura 112. Distribución por número de publicaciones del top 10 de países con mayor producción.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Por entidades, organizaciones chinas como la North China Electric Power University o el Instituto “China Electric Power Research Institute” lideran este listado (Ver Figura 113)

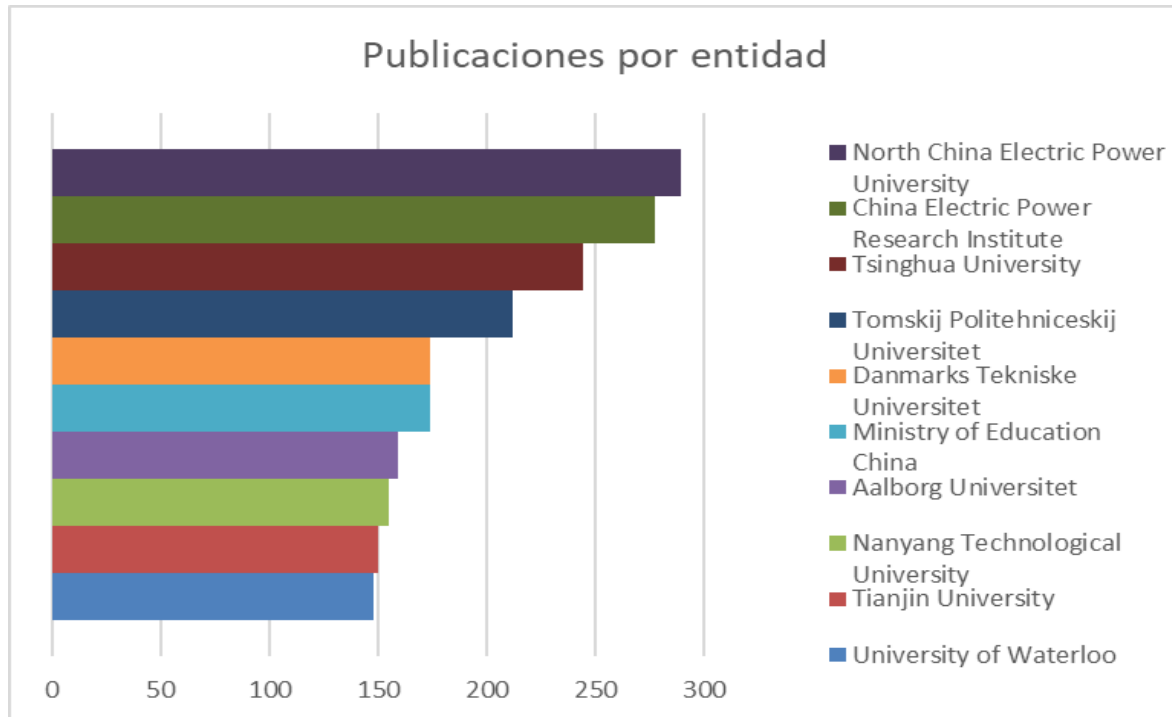


Figura 113. Publicaciones por institución.

Fuente: Elaboración propia con base en Scopus

Finalmente, en la Figura 114 se presentan los temas identificados en redes inteligentes con base en la información de palabras clave de los artículos publicados en este tema.

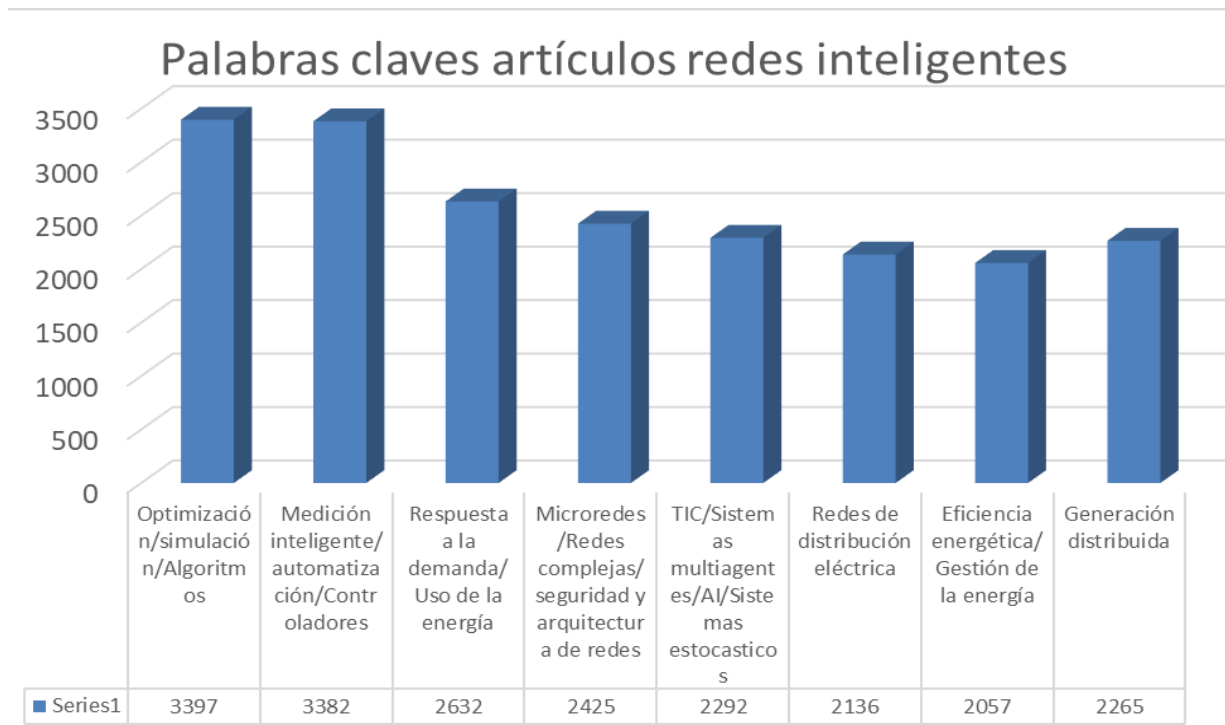


Figura 114. Principales categorías o temas identificados en la búsqueda bibliográfica con base en las palabras clave.

Fuente: Elaboración propia con datos generados en Scopus

## ANEXO 4. Parámetros de modelos a partir de series de tiempo de tecnologías en energías renovables

### Análisis de patentes

A continuación, se presentan los cuadros que incluyen los parámetros de los 13 modelos arrojados por el software SigmaPlot para cada uno de los temas evaluados correspondientes a las áreas de investigación propuestas.

### Energía eólica

- Eje vertical

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2013,7	0,9924	Cumple	Cumple	0,1592	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2011,8	0,9968	Cumple	Cumple	0,1804	SI
<b>Sigmoid, 5 Parameter</b>	<b>2013,8</b>	<b>0,9982</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,374</b>	<b>SI</b>
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0188	NO
Logistic, 4 Parameter	2722	0	No cumple	No cumple	0,0188	NO
Weibull, 4 Parameter	2011,0	0,9937	No cumple	No cumple	0,1394	NO
Weibull, 5 Parameter	2010,6	0,9975	No cumple	No cumple	0,264	NO
Gompertz, 3 Parameter	2033	0,9877	No cumple	No cumple	0,2035	NO
Gompertz, 4 Parameter	2013,9	0,9935	Cumple	Cumple	0,1891	SI
Hill, 3 Parameter	2097,2	0,6252	No cumple	No cumple	0,0259	NO
Hill, 4 Parameter	2080,9	0,8704	No cumple	No cumple	0,0423	NO
Chapman, 3 Parameter	2420,6	0,6587	No cumple	No cumple	0,0263	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,7319	No cumple	No cumple	0,039	NO

Tabla 30. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica eje vertical

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Eje horizontal

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2015,1	0,9956	Cumple	Cumple	0,1834	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2013,3	0,9984	Cumple	Cumple	0,2416	Si
<b>Sigmoid, 5 Parameter</b>	<b>2014,8</b>	<b>0,9992</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,5136</b>	<b>SI</b>
Logistic, 3 Parameter	N.A	(0,56)	No cumple	No cumple	0,0135	NO
Logistic, 4 Parameter	2887	0	No cumple	No cumple	0,0210	NO
Weibull, 4 Parameter	2012,1	0,9963	No cumple	No cumple	0,1486	NO
Weibull, 5 Parameter	2011,6	0,9989	No cumple	No cumple	0,2965	NO
Gompertz, 3 Parameter	2040,8	0,9924	No cumple	No cumple	0,2393	NO
Gompertz, 4 Parameter	2018,5	0,9962	Cumple	Cumple	0,2583	SI
Hill, 3 Parameter	2102	0,5989	No cumple	No cumple	0,0285	NO
Hill, 4 Parameter	2085	0,8521	No cumple	No cumple	0,0428	NO
Chapman, 3 Parameter	3031	0,6530	No cumple	No cumple	0,0293	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,8402	No cumple	No cumple	0,0414	NO

Tabla 31. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica eje horizontal

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Control y caja de velocidades

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2021	0,9958	No cumple	Cumple	0,2311	NO
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2016,7</b>	<b>0,9983</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,6737</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2016,8	0,9983	No cumple	No cumple	0,6976	NO
Logistic, 3 Parameter	43697	(0,5044)	No cumple	No cumple	0,0208	NO
Logistic, 4 Parameter	3250	0	No cumple	No cumple	0,0313	NO
Weibull, 4 Parameter	2016,8	0,9959	No cumple	No cumple	0,2437	NO
Weibull, 5 Parameter	2014,2	0,9982	No cumple	No cumple	0,7332	NO
Gompertz, 3 Parameter	2152,4	0,9948	No cumple	No cumple	0,1936	NO
Gompertz, 4 Parameter	2034,6	0,9977	No cumple	Cumple	0,3953	NO
Hill, 3 Parameter	213,8	0,5648	No cumple	No cumple	0,0457	NO
Hill, 4 Parameter	2077,7	0,8141	No cumple	No cumple	0,0676	NO
Chapman, 3 Parameter	2505	0,5944	No cumple	No cumple	0,0469	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6543	No cumple	No cumple	0,9212	NO

Tabla 32. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Control y caja de velocidades

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Energía Eólica en edificaciones

<b>Modelo</b>	<b>Punto de inflexión</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P</b>	<b>t</b>	<b>DW</b>	<b>¿Valido?</b>
Sigmoid, 3 Parameter	2013,8	0,9954	Cumple	Cumple	0,1801	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2012,6	0,9983	Cumple	Cumple	0,2597	SI
<b>Sigmoid, 5 Parameter</b>	<b>2014,2</b>	<b>0,999</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,4995</b>	<b>SI</b>
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,5201	No cumple	No cumple	0,0142	No
Logistic, 4 Parameter	2944	0	No cumple	No cumple	0,0215	No
Weibull, 4 Parameter	2011,6	0,9963	No cumple	No cumple	0,1624	No
Weibull, 5 Parameter	2011,4	0,9987	No cumple	No cumple	0,3787	No
Gompertz, 3 Parameter	2024,7	0,9916	No cumple	Cumple	0,2224	No
Gompertz, 4 Parameter	2015,2	0,9958	Cumple	Cumple	0,2539	SI
Hill, 3 Parameter	2102	0,5817	No cumple	No cumple	0,0291	No
Hill, 4 Parameter	2086,8	0,8398	No cumple	No cumple	0,0435	No
Chapman, 3 Parameter	3588	0,6499	No cumple	No cumple	0,0302	No
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6908	No cumple	No cumple	0,0416	No

Tabla 33. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Energía Eólica en edificaciones

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## Energía solar

- Solar fotovoltaica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2059	0,9866	No cumple	No cumple	0,1736	NO
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2016,3</b>	<b>0,9956</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,1992</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2016,1	0,9968	No cumple	Cumple	0,27	NO
Logistic, 3 Parameter	2057,5	0,9865	No cumple	No cumple	0,1705	NO
Logistic, 4 Parameter	3071	0	No cumple	No cumple	0,0278	NO
Weibull, 4 Parameter	2061,5	0,9865	No cumple	No cumple	0,1723	NO
Weibull, 5 Parameter	2013,5	0,996	No cumple	No cumple	0,1818	NO
Gompertz, 3 Parameter	2239,9	0,9837	No cumple	No cumple	0,1219	NO
Gompertz, 4 Parameter	2048,5	0,9936	No cumple	No cumple	0,2784	NO
Hill, 3 Parameter	N.A	0,1936	No cumple	No cumple	0,0321	NO
Hill, 4 Parameter	2126,2	0,8244	No cumple	No cumple	0,0582	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,5946	No cumple	No cumple	0,0414	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6709	No cumple	No cumple	0,0538	NO

Tabla 34. Modelos y parámetros estadísticos Energía Solar fotovoltaica

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Solar térmica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2012,7	0,9985	Cumple	Cumple	0,6839	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2014,2	0,9993	Cumple	Cumple	1,0571	SI
Sigmoid, 5 Parameter	2003,5	0,9993	No cumple	No cumple	1,0738	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0268	NO
<b>Logistic, 4 Parameter</b>	<b>2014,2</b>	<b>0,9993</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,058</b>	<b>SI</b>
Weibull, 4 Parameter	2015,2	0,9993	Cumple	Cumple	1,0402	SI
Weibull, 5 Parameter	2015,1	0,9993	No cumple	No cumple	1,0413	NO
Gompertz, 3 Parameter	2018,1	0,9993	Cumple	Cumple	1,0196	SI
Gompertz, 4 Parameter	2018	0,9993	No cumple	No cumple	1,0215	NO
Hill, 3 Parameter	N.A	0,4628	No cumple	No cumple	0,0299	NO
Hill, 4 Parameter	2030	0,4696	No cumple	No cumple	0,0301	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,3798	No cumple	No cumple	0,0283	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,9395	No cumple	No cumple	0,102	NO

Tabla 35. Modelos y parámetros estadísticos Energía Solar térmica

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot



- Energía solar en edificaciones

<b>Modelo</b>	<b>Punto de inflexión</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P</b>	<b>t</b>	<b>DW</b>	<b>¿Valido?</b>
Sigmoid, 3 Parameter	2068,5	0,9675	No cumple	No cumple	0,1836	NO
Sigmoid, 4 Parameter	2012,8	0,9938	Cumple	Cumple	0,2871	SI
Sigmoid, 5 Parameter	2014,4	0,9947	No cumple	Cumple	0,3212	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0247	NO
Logistic, 4 Parameter	2012,8	0,9938	Cumple	Cumple	0,2867	SI
Weibull, 4 Parameter	2067,3	0,9674	No cumple	No cumple	0,1825	NO
Weibull, 5 Parameter	2011,7	0,9944	No cumple	No cumple	0,2813	NO
Gompertz, 3 Parameter	2292	0,9632	No cumple	No cumple	0,1489	NO
Gompertz, 4 Parameter	2013,8	0,9911	Cumple	Cumple	0,2736	SI
Hill, 3 Parameter	2088,3	0,6497	No cumple	No cumple	0,0397	NO
Hill, 4 Parameter	2080,5	0,8192	No cumple	No cumple	0,0536	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,5922	No cumple	No cumple	0,0372	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6756	No cumple	No cumple	0,0472	NO

Tabla 36. Modelos y parámetros estadísticos Energía solar en edificaciones

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## **Energía hidroeléctrica**

- Hidroeléctrica convencional

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2016,3</b>	<b>0,9969</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,8791</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2019,3	0,9972	No cumple	No cumple	0,8839	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2019,5	0,9972	No cumple	No cumple	0,894	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0317	NO
Logistic, 4 Parameter	2019,5	0,9972	No cumple	No cumple	0,883	NO
Weibull, 4 Parameter	2019,8	0,9971	No cumple	No cumple	0,8409	NO
Weibull, 5 Parameter	2015,1	0,9972	No cumple	No cumple	0,8928	NO
Gompertz, 3 Parameter	2038,1	0,9971	No cumple	Cumple	0,8084	NO
Gompertz, 4 Parameter	2043,2	0,9971	No cumple	No cumple	0,801	NO
Hill, 3 Parameter	2035,1	0,4975	No cumple	No cumple	0,0396	NO
Hill, 4 Parameter	2032,2	0,5191	No cumple	No cumple	0,0406	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4045	No cumple	No cumple	0,0365	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,9148	No cumple	No cumple	0,1251	NO

Tabla 37. Modelos y parámetros estadísticos Energía Hidroeléctrica convencional

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Hidroeléctrica sin represa

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2018,4	0,9895	Cumple	Cumple	0,2378	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2013,9	0,9962	Cumple	Cumple	0,3117	SI
<b>Sigmoid, 5 Parameter</b>	<b>2015,1</b>	<b>0,9976</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,5263</b>	<b>SI</b>
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,5526	No cumple	No cumple	0,0168	NO
Logistic, 4 Parameter	3056,5	0	No cumple	No cumple	0,0261	NO
Weibull, 4 Parameter	2013,9	0,9901	No cumple	No cumple	0,2019	NO
Weibull, 5 Parameter	2012,3	0,9969	No cumple	No cumple	0,3467	NO
Gompertz, 3 Parameter	2155,2	0,9871	No cumple	No cumple	0,3082	NO
Gompertz, 4 Parameter	2019,9	0,9933	Cumple	Cumple	0,3121	SI
Hill, 3 Parameter	2095,9	0,5784	No cumple	No cumple	0,0375	NO
Hill, 4 Parameter	2111,6	0,82	No cumple	No cumple	0,0542	NO
Chapman, 3 Parameter	2239	0,6012	No cumple	No cumple	0,038	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6648	No cumple	No cumple	0,0497	NO

Tabla 38. Modelos y parámetros estadísticos Energía Hidroeléctrica sin represa

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Turbinas hidroeléctricas

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2019,7	0,9945	Cumple	Cumple	0,4438	SI
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2015,2</b>	<b>0,9968</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,6851</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2016	0,997	No cumple	No cumple	0,8228	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0417	NO
Logistic, 4 Parameter	2015,2	0,9968	Cumple	Cumple	0,6835	SI
Weibull, 4 Parameter	2015,5	0,9948	No cumple	No cumple	0,4516	NO
Weibull, 5 Parameter	2013,4	0,9968	No cumple	No cumple	0,7736	NO
Gompertz, 3 Parameter	2124,3	0,9966	No cumple	No cumple	0,4383	NO
Gompertz, 4 Parameter	2023,6	0,9955	No cumple	No cumple	0,513	NO
Hill, 3 Parameter	2044,1	0,4356	No cumple	No cumple	0,0514	NO
Hill, 4 Parameter	2033,2	0,492	No cumple	No cumple	0,0518	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,3438	No cumple	No cumple	0,048	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,8201	No cumple	No cumple	0,1031	NO

Tabla 39. Modelos y parámetros estadísticos Turbinas hidroeléctricas

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Adaptaciones equipos hidroeléctrica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2096,1	0,939	No cumple	No cumple	0,1629	NO
Sigmoid, 4 Parameter	2054,6	0,9598	No cumple	No cumple	0,2566	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2015,8	0,9631	No cumple	No cumple	0,2541	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0303	NO
Logistic, 4 Parameter	2057,8	0,9597	No cumple	No cumple	0,2561	NO
Weibull, 4 Parameter	2107,1	0,9388	No cumple	No cumple	0,1627	NO
Weibull, 5 Parameter	2045,7	0,9598	No cumple	No cumple	0,2566	NO
Gompertz, 3 Parameter	2446,1	0,9319	No cumple	No cumple	0,1487	NO
Gompertz, 4 Parameter	2222,8	0,9582	No cumple	No cumple	0,2413	NO
Hill, 3 Parameter	2046,7	0,6893	No cumple	No cumple	0,0633	NO
Hill, 4 Parameter	2033,41	0,7893	No cumple	No cumple	0,086	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,6541	No cumple	No cumple	0,0578	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,7492	No cumple	No cumple	0,0786	NO

Tabla 40. Modelos y parámetros estadísticos. Adaptaciones equipos hidroeléctrica

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## Redes inteligentes

- Transmisión y distribución

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2013,1	0,997	Cumple	Cumple	1,4609	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2013,1	0,9972	No cumple	No cumple	1,4713	NO
Sigmoid, 5 Parameter	1999,4	0,9992	No cumple	No cumple	2,4996	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,1813	No cumple	No cumple	0,0449	NO
Logistic, 4 Parameter	4334,6	0	No cumple	No cumple	0,0531	NO
Weibull, 4 Parameter	2013,3	0,9991	Cumple	Cumple	2,6376	SI
Weibull, 5 Parameter	2013,3	0,9992	No cumple	No cumple	2,6421	NO
<b>Gompertz, 3 Parameter</b>	<b>2012,5</b>	<b>0,9992</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>2,5023</b>	<b>SI</b>
Gompertz, 4 Parameter	2012,5	0,9992	No cumple	No cumple	2,5027	NO
Hill, 3 Parameter	2188,3	0,3341	No cumple	No cumple	0,0667	NO
Hill, 4 Parameter	2157,7	0,5804	No cumple	No cumple	0,0849	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,416	No cumple	No cumple	0,0707	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,4164	No cumple	No cumple	0,0765	NO

Tabla 41. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Transmisión y distribución

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Respuesta a la demanda

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2013</b>	<b>0,9959</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>2,2435</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2013	0,9959	No cumple	No cumple	2,2554	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2001,2	0,9976	No cumple	No cumple	2,9797	NO
Logistic, 3 Parameter	2013	0,9959	Cumple	Cumple	2,2454	SI
Logistic, 4 Parameter	4300,6	0	No cumple	No cumple	0,0586	NO
Weibull, 4 Parameter	2013,1	0,9974	Cumple	Cumple	2,9390	SI
Weibull, 5 Parameter	2013,1	0,9974	No cumple	No cumple	2,9436	NO
Gompertz, 3 Parameter	2012,4	0,9976	Cumple	Cumple	2,9800	SI
Gompertz, 4 Parameter	2012,4	0,9976	No cumple	No cumple	2,9807	NO
Hill, 3 Parameter	2181,6	0,3337	No cumple	No cumple	0,0753	NO
Hill, 4 Parameter	2148,1	0,579	No cumple	No cumple	0,099	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4073	No cumple	No cumple	0,0801	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,4155	No cumple	No cumple	0,0862	NO

Tabla 42. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Respuesta a la demanda

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- TIC en redes

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2013,8</b>	<b>0,9961</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>2,0173</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2013,8	0,9961	No cumple	No cumple	2,0266	NO
Sigmoid, 5 Parameter	1994,9	0,9981	No cumple	No cumple	2,9685	NO
Logistic, 3 Parameter	2013,8	0,9961	Cumple	Cumple	2,0196	SI
Logistic, 4 Parameter	4458,4	0	No cumple	No cumple	0,0586	NO
Weibull, 4 Parameter	2018,1	0,9984	No cumple	Cumple	3,0352	NO
Weibull, 5 Parameter	2018,1	0,9984	No cumple	No cumple	3,0965	NO
Gompertz, 3 Parameter	2013,5	0,9981	Cumple	Cumple	2,9655	SI
Gompertz, 4 Parameter	2013,5	0,9981	No cumple	No cumple	2,9712	NO
Hill, 3 Parameter	2176,9	0,3388	No cumple	No cumple	0,074	NO
Hill, 4 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0586	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4114	No cumple	No cumple	0,0779	NO

Tabla 43. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - TIC en redes

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Gestión usuario final

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2012,4	0,9939	Cumple	Cumple	1,4482	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2012,4	0,994	No cumple	No cumple	1,4557	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2112,4	0,9977	No cumple	No cumple	1,9631	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0534	NO
Logistic, 4 Parameter	4111,3	0	No cumple	No cumple	0,0534	NO
Weibull, 4 Parameter	2012,6	0,999	Cumple	Cumple	2,9784	SI
Weibull, 5 Parameter	2012,6	0,999	No cumple	No cumple	2,9785	NO
<b>Gompertz, 3 Parameter</b>	<b>2011,8</b>	<b>0,9977</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,9582</b>	<b>SI</b>
Gompertz, 4 Parameter	2011,8	0,9977	No cumple	No cumple	1,9637	NO
Hill, 3 Parameter	2766,6	0,1937	No cumple	No cumple	0,0448	NO
Hill, 4 Parameter	2126,2	0,5999	No cumple	No cumple	0,0943	NO
Chapman, 3 Parameter	4792,2	0,4169	No cumple	No cumple	0,074	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,4355	No cumple	No cumple	0,0808	NO

Tabla 44. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Gestión usuario final

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## Análisis de artículos científicos

### Energía eólica

- Eléctrica - electrónica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2012,8	0,9986	Cumple	Cumple	0,3434	SI
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2012,7</b>	<b>0,9992</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,6614</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2009,5	0,9995	Cumple	Cumple	0,4672	SI
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,3321	No cumple	No cumple	0,022	NO
Logistic, 4 Parameter	3565	0	No cumple	No cumple	0,0294	NO
Weibull, 4 Parameter	2012,4	0,9983	Cumple	Cumple	0,3095	SI
Weibull, 5 Parameter	2012,7	0,9992	Cumple	Cumple	0,4432	SI
Gompertz, 3 Parameter	2013,1	0,9979	Cumple	Cumple	0,1447	SI
Gompertz, 4 Parameter	2012,8	0,9993	Cumple	Cumple	0,2786	SI
Hill, 3 Parameter	2638,4	-0,3321	No cumple	No cumple	0,022	NO
Hill, 4 Parameter	2175,6	0,7461	No cumple	No cumple	0,0498	NO
Chapman, 3 Parameter	3858	0,5381	No cumple	No cumple	0,039	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,5765	No cumple	No cumple	0,0483	NO

Tabla 45. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – electrónica

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Turbinas

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2025,2	0,9849	No cumple	No cumple	0,125	NO
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2013,6</b>	<b>0,9963</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,172</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2014,6	0,9964	No cumple	Cumple	0,2224	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A.	0	No cumple	No cumple	0,0251	NO
Logistic, 4 Parameter	3013	0	No cumple	No cumple	0,0251	NO
Weibull, 4 Parameter	2017,7	0,985	No cumple	No cumple	0,1098	NO
Weibull, 5 Parameter	2012,2	0,9962	No cumple	No cumple	0,2368	NO
Gompertz, 3 Parameter	2208	0,983	No cumple	No cumple	0,1269	NO
Gompertz, 4 Parameter	2016,8	0,9947	Cumple	Cumple	0,1258	SI
Hill, 3 Parameter	2468	0,972	No cumple	No cumple	NAN	NO
Hill, 4 Parameter	2119	0,827	No cumple	No cumple	0,0494	NO
Chapman, 3 Parameter	1707	0,6045	No cumple	No cumple	0,0363	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A.	0,6738	No cumple	No cumple	0,0475	NO

Tabla 46. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – Turbinas

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Generadores

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2011,9	0,9967	Cumple	Cumple	0,4244	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2011,7	0,9973	No cumple	Cumple	0,5598	NO
Sigmoid, 5 Parameter	1997,13	0,9982	No cumple	No cumple	0,4477	NO
Logistic, 3 Parameter	0	-0,4116	No cumple	No cumple	0,0167	NO
Logistic, 4 Parameter	31706	0	No cumple	No cumple	0,0236	NO
Weibull, 4 Parameter	2011,7	0,9962	No cumple	Cumple	0,3294	NO
Weibull, 5 Parameter	2012,7	0,9989	Cumple	Cumple	0,4157	SI
Gompertz, 3 Parameter	2011,9	0,9962	Cumple	Cumple	0,2365	SI
<b>Gompertz, 4 Parameter</b>	<b>2011,5</b>	<b>0,9981</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,43</b>	<b>SI</b>
Hill, 3 Parameter	2112,4	0,7278	No cumple	No cumple	0,0309	NO
Hill, 4 Parameter	2091	0,806	No cumple	No cumple	0,0443	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,5903	No cumple	No cumple	0,0318	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6484	No cumple	No cumple	0,0428	NO

Tabla 47. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – Generadores

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Control

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2013,7	0,999	Cumple	Cumple	0,3771	SI
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2013,5</b>	<b>0,9993</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,6029</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2010,8	0,9995	Cumple	Cumple	0,4355	SI
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,35	No cumple	No cumple	0,0217	NO
Logistic, 4 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0293	NO
Weibull, 4 Parameter	2012,9	0,9987	No cumple	Cumple	0,3621	NO
Weibull, 5 Parameter	2013,4	0,9993	Cumple	Cumple	0,4162	SI
Gompertz, 3 Parameter	2016,3	0,9983	Cumple	Cumple	0,1448	SI
Gompertz, 4 Parameter	2015,2	0,9992	Cumple	Cumple	0,2301	SI
Hill, 3 Parameter	2634,1	-0,35	No cumple	No cumple	0,0217	NO
Hill, 4 Parameter	2177,6	0,7886	No cumple	No cumple	0,0511	NO
Chapman, 3 Parameter	3644,2	0,5521	No cumple	No cumple	0,0393	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6002	No cumple	No cumple	0,05	NO

Tabla 48. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Eléctrica – Control

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Palas o rotores

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2012,8</b>	<b>0,9937</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,8963</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2012,8	0,9937	No cumple	No cumple	0,899	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2008,6	0,9941	No cumple	No cumple	0,8753	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,365	No cumple	No cumple	0,0224	NO
Logistic, 4 Parameter	3339,2	0	No cumple	No cumple	0,0306	NO
Weibull, 4 Parameter	2012,8	0,9934	No cumple	No cumple	0,8226	NO
Weibull, 5 Parameter	2013,1	0,9936	No cumple	No cumple	0,8297	NO
Gompertz, 3 Parameter	2014,5	0,9935	Cumple	Cumple	0,7723	SI
Gompertz, 4 Parameter	2013,9	0,9938	No cumple	No cumple	0,8105	NO
Hill, 3 Parameter	2118	0,5085	No cumple	No cumple	0,0429	NO
Hill, 4 Parameter	2094,2	0,7952	No cumple	No cumple	0,0692	NO
Chapman, 3 Parameter	3413,2	0,5675	No cumple	No cumple	0,0449	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6021	No cumple	No cumple	0,0588	NO

Tabla 49. Modelos y parámetros estadísticos Energía eólica - Palas o rotores

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot



## Energía solar

- Solar fotovoltaica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2052,3	0,99	No cumple	No cumple	0,1717	NO
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2015,9</b>	<b>0,9955</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,1784</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2016,1	0,9961	No cumple	No cumple	0,2678	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,7401	No cumple	No cumple	0,0139	NO
Logistic, 4 Parameter	2853	0	No cumple	No cumple	0,0239	NO
Weibull, 4 Parameter	2055,3	0,99	No cumple	No cumple	0,1729	NO
Weibull, 5 Parameter	2013	0,9957	No cumple	No cumple	0,1999	NO
Gompertz, 3 Parameter	2249,2	0,9883	No cumple	No cumple	0,1238	NO
Gompertz, 4 Parameter	2042,8	0,9936	No cumple	No cumple	0,1844	NO
Hill, 3 Parameter	2093,4	0,6395	No cumple	No cumple	0,0359	NO
Hill, 4 Parameter	2085	0,8572	No cumple	No cumple	0,0534	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,624	No cumple	No cumple	0,0353	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,7164	No cumple	No cumple	0,0495	NO

Tabla 50. Modelos y parámetros estadísticos Energía solar fotovoltaica

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Solar térmica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2016,1</b>	<b>0,9987</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,1702</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2016,4	0,9987	No cumple	No cumple	1,1471	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2014,2	0,9987	No cumple	No cumple	1,0988	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0353	NO
Logistic, 4 Parameter	2016,5	0,9987	No cumple	No cumple	1,146	NO
Weibull, 4 Parameter	2014,9	0,9986	No cumple	No cumple	1,0836	NO
Weibull, 5 Parameter	2015,6	0,9986	No cumple	No cumple	1,0704	NO
Gompertz, 3 Parameter	2036	0,9984	No cumple	No cumple	0,756	NO
Gompertz, 4 Parameter	2026,4	0,9986	No cumple	No cumple	0,9283	NO
Hill, 3 Parameter	2041,6	0,4616	No cumple	No cumple	0,0425	NO
Hill, 4 Parameter	2035,3	0,5199	No cumple	No cumple	0,0451	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,3708	No cumple	No cumple	0,0399	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,8844	No cumple	No cumple	0,1105	NO

Tabla 51. Modelos y parámetros estadísticos Energía Solar térmica

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Materiales energía solar

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2014,12	0,9976	Cumple	Cumple	0,4282	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2013,5	0,9988	Cumple	Cumple	0,7269	SI
<b>Sigmoid, 5 Parameter</b>	<b>2014,6</b>	<b>0,9991</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,1114</b>	<b>SI</b>
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,43	No cumple	No cumple	0,018	NO
Logistic, 4 Parameter	3216,1	0	No cumple	No cumple	0,0258	NO
Weibull, 4 Parameter	2012,3	0,998	No cumple	No cumple	0,5172	NO
Weibull, 5 Parameter	2012,1	0,9989	No cumple	No cumple	0,9692	NO
Gompertz, 3 Parameter	2022,5	0,995	Cumple	Cumple	0,3491	SI
Gompertz, 4 Parameter	2017,3	0,997	Cumple	Cumple	0,4532	SI
Hill, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0258	NO
Hill, 4 Parameter	2406,2	0	No cumple	No cumple	0,0258	NO
Chapman, 3 Parameter	3379,5	0,597	No cumple	No cumple	0,036	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6497	No cumple	No cumple	0,0478	NO

Tabla 52. Modelos y parámetros estadísticos Materiales energía solar

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## Energía hidroeléctrica

- Presas/embalses

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2013,6	0,9958	Cumple	Cumple	0,3042	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2080,9	0,9995	No cumple	No cumple	1,0743	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2082,8	0,9995	No cumple	No cumple	1,0918	NO
Logistic, 3 Parameter	2013,7	0,9979	Cumple	Cumple	0,305	SI
Logistic, 4 Parameter	2084,3	0,9995	No cumple	No cumple	1,071	NO
Weibull, 4 Parameter	2376	0,9988	No cumple	No cumple	0,5979	SI
Weibull, 5 Parameter	2074,2	0,9995	No cumple	No cumple	1,0457	NO
<b>Gompertz, 3 Parameter</b>	<b>2021,6</b>	<b>0,9979</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,4187</b>	<b>SI</b>
Gompertz, 4 Parameter	2173,11	0,9993	No cumple	No cumple	0,9574	NO
Hill, 3 Parameter	2018,1	0,4818	No cumple	No cumple	0,0288	NO
Hill, 4 Parameter	2020,3	0,4669	No cumple	No cumple	0,0282	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4668	No cumple	No cumple	0,0273	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,9772	No cumple	No cumple	0,1345	NO

Tabla 53. Modelos y parámetros estadísticos Energía hidroeléctrica - Presas/embalses

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Turbinas hidroeléctricas

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2017,5	0,9913	Cumple	Cumple	0,4222	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2096,7	0,9962	No cumple	No cumple	0,7113	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2093,6	0,9962	No cumple	No cumple	0,7139	NO
<b>Logistic, 3 Parameter</b>	<b>2017,7</b>	<b>0,9914</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,4231</b>	<b>SI</b>
Logistic, 4 Parameter	2099,8	0,9962	No cumple	No cumple	0,71	NO
Weibull, 4 Parameter	2324,7	0,9946	No cumple	No cumple	0,587	NO
Weibull, 5 Parameter	2092,1	0,9961	No cumple	No cumple	0,706	NO
Gompertz, 3 Parameter	2034,2	0,9935	No cumple	No cumple	0,5105	NO
Gompertz, 4 Parameter	2224,6	0,9959	No cumple	No cumple	0,6853	NO
Hill, 3 Parameter	2017,4	0,5109	No cumple	No cumple	0,0392	NO
Hill, 4 Parameter	2021,8	0,4899	No cumple	No cumple	0,0384	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4633	No cumple	No cumple	0,0367	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,975	No cumple	No cumple	0,245	NO

Tabla 54. Modelos y parámetros estadísticos Turbinas hidroeléctricas

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Generadores

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2014,1</b>	<b>0,9978</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,693</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2015,3	0,9979	No cumple	No cumple	0,6867	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2017	0,9981	No cumple	No cumple	0,7683	NO
Logistic, 3 Parameter	2014,2	0,9978	Cumple	Cumple	0,6925	SI
Logistic, 4 Parameter	2015,4	0,9979	No cumple	No cumple	0,6858	NO
Weibull, 4 Parameter	2012,6	0,9979	No cumple	No cumple	0,6971	NO
Weibull, 5 Parameter	2011,6	0,998	No cumple	No cumple	0,7245	NO
Gompertz, 3 Parameter	2026,8	0,9976	Cumple	Cumple	0,5849	SI
Gompertz, 4 Parameter	2023,8	0,9976	No cumple	No cumple	0,5982	NO
Hill, 3 Parameter	2020,6	0,4775	No cumple	No cumple	0,0302	NO
Hill, 4 Parameter	2025	0,4582	No cumple	No cumple	0,0298	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4128	No cumple	No cumple	0,0285	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,9551	No cumple	No cumple	0,1094	NO

Tabla 55. Modelos y parámetros estadísticos Generadores

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Hidráulica/estructuras hidráulicas

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2010,6</b>	<b>0,9945</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,5062</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2010,1	0,9943	No cumple	No cumple	0,541	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2013,6	0,9971	No cumple	No cumple	0,858	NO
Logistic, 3 Parameter	2010,7	0,9945	Cumple	Cumple	0,5049	SI
Logistic, 4 Parameter	2010,1	0,9951	No cumple	No cumple	0,5403	NO
Weibull, 4 Parameter	2008,7	0,9959	No cumple	No cumple	0,6241	NO
Weibull, 5 Parameter	2008,7	0,9961	No cumple	No cumple	0,6554	NO
Gompertz, 3 Parameter	2014,3	0,9914	Cumple	Cumple	0,4079	SI
Gompertz, 4 Parameter	2010,7	0,9928	No cumple	Cumple	0,4641	NO
Hill, 3 Parameter	2015,6	0,4335	No cumple	No cumple	0,0266	NO
Hill, 4 Parameter	2019,3	0,4174	No cumple	No cumple	0,0264	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4105	No cumple	No cumple	0,0256	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,959	No cumple	No cumple	0,1288	NO

Tabla 56. Modelos y parámetros estadísticos Hidráulica/estructuras hidráulicas

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## Redes inteligentes

- Transmisión y distribución

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
<b>Sigmoid, 3 Parameter</b>	<b>2016,5</b>	<b>0,9976</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,8170</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 4 Parameter	2016,5	0,9976	No cumple	No cumple	1,8033	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2016,5	0,9991	No cumple	No cumple	1,5365	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,1162	No cumple	No cumple	0,1263	NO
Logistic, 4 Parameter	5352	0	No cumple	No cumple	0,1410	NO
Weibull, 4 Parameter	2015,6	0,9980	No cumple	No cumple	1,6183	NO
Weibull, 5 Parameter	2015,6	0,9980	No cumple	No cumple	1,6023	NO
Gompertz, 3 Parameter	2023,3	0,9962	No cumple	No cumple	2,0803	NO
Gompertz, 4 Parameter	2023,1	0,9962	No cumple	No cumple	2,0734	NO
Hill, 3 Parameter	222,5	0,238	No cumple	No cumple	0,1703	NO
Hill, 4 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,1410	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,2944	No cumple	No cumple	0,1786	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,2917	No cumple	No cumple	0,1838	NO

Tabla 57. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Transmisión y distribución

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Respuesta a la demanda

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2014,9	0,9974	Cumple	Cumple	0,9263	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2014,9	0,9975	No cumple	No cumple	0,9339	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2014,9	0,9991	No cumple	No cumple	1,4537	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,1573	No cumple	No cumple	0,0612	NO
Logistic, 4 Parameter	4793,9	0	No cumple	No cumple	0,0709	NO
Weibull, 4 Parameter	2203,2	0,9997	No cumple	No cumple	2,2706	NO
Weibull, 5 Parameter	2202,4	0,9997	No cumple	No cumple	2,2707	NO
<b>Gompertz, 3 Parameter</b>	<b>2015,5</b>	<b>0,9991</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,4484</b>	<b>SI</b>
Gompertz, 4 Parameter	2015,5	0,9991	No cumple	No cumple	1,4581	NO
Hill, 3 Parameter	2160,8	0,3005	No cumple	No cumple	0,0871	NO
Hill, 4 Parameter	2203,9	0,5317	No cumple	No cumple	0,1052	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,375	No cumple	No cumple	0,0912	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,3751	No cumple	No cumple	0,0974	NO

Tabla 58. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Respuesta a la demanda

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- TIC en redes

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2014,3	0,9956	Cumple	Cumple	0,9753	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2014,3	0,9958	No cumple	No cumple	0,9808	NO
Sigmoid, 5 Parameter	1992,7	0,9983	No cumple	No cumple	1,3684	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0614	NO
Logistic, 4 Parameter	4623,7	0	No cumple	No cumple	0,0614	NO
Weibull, 4 Parameter	2432,6	0,9997	No cumple	No cumple	2,169	NO
Weibull, 5 Parameter	2431,8	0,9997	No cumple	No cumple	2,168	NO
<b>Gompertz, 3 Parameter</b>	<b>2014,3</b>	<b>0,9983</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,3633</b>	<b>SI</b>
Gompertz, 4 Parameter	2014,3	0,9983	No cumple	No cumple	1,3697	NO
Hill, 3 Parameter	2448,1	0,3166	No cumple	No cumple	0,0758	NO
Hill, 4 Parameter	2079	0,5562	No cumple	No cumple	0,0932	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,3932	No cumple	No cumple	0,0795	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,3976	No cumple	No cumple	0,086	NO

Tabla 59. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - TIC en redes

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Medición avanzada

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2014	0,9955	Cumple	Cumple	1,0238	SI
Sigmoid, 4 Parameter	2014	0,9956	No cumple	No cumple	1,0272	NO
Sigmoid, 5 Parameter	1993,8	0,9985	No cumple	No cumple	1,3451	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,1706	No cumple	No cumple	0,0508	NO
Logistic, 4 Parameter	4590	0	No cumple	No cumple	0,0594	NO
Weibull, 4 Parameter	2049,3	0,9999	No cumple	No cumple	2,5917	NO
Weibull, 5 Parameter	2049,4	0,9999	No cumple	No cumple	2,5931	NO
<b>Gompertz, 3 Parameter</b>	<b>2013,7</b>	<b>0,9985</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>1,3402</b>	<b>SI</b>
Gompertz, 4 Parameter	2013,7	0,9985	No cumple	No cumple	1,3457	NO
Hill, 3 Parameter	2200,6	0,3189	No cumple	No cumple	0,0733	NO
Hill, 4 Parameter	2019,5	0,3857	No cumple	No cumple	0,0826	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,3944	No cumple	No cumple	0,0768	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,3989	No cumple	No cumple	0,0831	NO

Tabla 60. Modelos y parámetros estadísticos Redes inteligentes - Medición avanzada

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## Almacenamiento de energía

- Almacenamiento energía térmica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2114,1	0,9347	No cumple	No cumple	0,1588	NO
Sigmoid, 4 Parameter	2074,4	0,9595	No cumple	No cumple	0,1109	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2050,3	0,9595	No cumple	No cumple	0,1110	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0381	NO
Logistic, 4 Parameter	2076,7	0,9593	No cumple	No cumple	0,1110	NO
Weibull, 4 Parameter	2130,8	0,9346	No cumple	No cumple	0,1588	NO
Weibull, 5 Parameter	2082,6	0,9594	No cumple	No cumple	0,1111	NO
Gompertz, 3 Parameter	2506,2	0,9272	No cumple	No cumple	0,1572	NO
Gompertz, 4 Parameter	2310,9	0,9554	No cumple	No cumple	0,1130	NO
Hill, 3 Parameter	2048,4	0,7584	No cumple	No cumple	0,0983	NO
Hill, 4 Parameter	2072,13	0,8847	No cumple	No cumple	0,1532	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,6349	No cumple	No cumple	0,0734	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,7936	No cumple	No cumple	0,1194	NO

Tabla 61. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía térmica.

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Condensadores

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2052,8	0,998	No cumple	No cumple	0,4379	NO
Sigmoid, 4 Parameter	2048,8	0,9984	No cumple	No cumple	0,5071	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2041	0,9984	No cumple	No cumple	0,5073	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,546	No cumple	No cumple	0,0277	NO
Logistic, 4 Parameter	3391,8	0	No cumple	No cumple	0,0405	NO
Weibull, 4 Parameter	2055,8	0,9979	No cumple	No cumple	0,4324	NO
Weibull, 5 Parameter	2050,2	0,9984	No cumple	No cumple	0,504	NO
Gompertz, 3 Parameter	2192,3	0,9964	No cumple	No cumple	0,3398	NO
Gompertz, 4 Parameter	2161,6	0,9977	No cumple	No cumple	0,4495	NO
Hill, 3 Parameter	2138,1	0,5474	No cumple	No cumple	0,0624	NO
Hill, 4 Parameter	2164,4	0,8067	No cumple	No cumple	0,1006	NO
Chapman, 3 Parameter	3118,4	0,5978	No cumple	No cumple	0,0659	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6479	No cumple	No cumple	0,0831	NO

Tabla 62. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía - Condensadores.

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Baterías

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2052,3	0,9629	No cumple	No cumple	0,1264	NO
Sigmoid, 4 Parameter	2042,5	0,9869	No cumple	No cumple	0,1263	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2033,1	0,988	No cumple	No cumple	0,1264	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,4398	No cumple	No cumple	0,0526	NO
Logistic, 4 Parameter	3857,6	0	No cumple	No cumple	0,0786	NO
Weibull, 4 Parameter	2058,2	0,9629	No cumple	No cumple	0,1265	NO
Weibull, 5 Parameter	2045,7	0,9879	No cumple	No cumple	0,1262	NO
Gompertz, 3 Parameter	2209,5	0,9562	No cumple	No cumple	0,1234	NO
Gompertz, 4 Parameter	2144,3	0,985	No cumple	No cumple	0,1212	NO
Hill, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0786	NO
Hill, 4 Parameter	2185,3	0,6944	No cumple	No cumple	0,1737	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,4783	No cumple	No cumple	0,124	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,5456	No cumple	No cumple	0,1444	NO

Tabla 63. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía - Baterías

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Almacenamiento energía cinética

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2009,2	0,9823	Cumple	Cumple	0,3314	SI
<b>Sigmoid, 4 Parameter</b>	<b>2009,2</b>	<b>0,9914</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>0,4397</b>	<b>SI</b>
Sigmoid, 5 Parameter	2011	0,9936	Cumple	No cumple	0,5572	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0257	NO
Logistic, 4 Parameter	2009,2	0,9914	Cumple	Cumple	0,4391	SI
Weibull, 4 Parameter	2008,9	0,9858	No cumple	No cumple	0,4162	NO
Weibull, 5 Parameter	2009,1	0,992	No cumple	No cumple	0,5509	NO
Gompertz, 3 Parameter	2008,2	0,9727	Cumple	Cumple	0,2865	SI
Gompertz, 4 Parameter	2008,3	0,9868	Cumple	Cumple	0,3699	SI
Hill, 3 Parameter	2044,4	0,5113	No cumple	No cumple	0,0392	SI
Hill, 4 Parameter	2034	0,6159	No cumple	No cumple	0,0474	NO
Chapman, 3 Parameter	1575,8	0,5683	No cumple	No cumple	0,0415	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,7648	No cumple	No cumple	0,0748	NO

Tabla 64. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento energía cinética

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot



- Materiales almacenamiento de energía

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2040,8	0,9966	No cumple	No cumple	0,6333	NO
Sigmoid, 4 Parameter	2037,9	0,9981	No cumple	No cumple	0,9057	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2029,6	0,9981	No cumple	No cumple	0,9097	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	-0,5016	No cumple	No cumple	0,041	NO
Logistic, 4 Parameter	4095,7	0	No cumple	No cumple	0,0962	NO
Weibull, 4 Parameter	2043,2	0,9968	No cumple	No cumple	0,6247	NO
Weibull, 5 Parameter	2039,2	0,9976	No cumple	No cumple	0,8868	NO
Gompertz, 3 Parameter	2136,5	0,9944	No cumple	No cumple	0,4618	NO
Gompertz, 4 Parameter	2113,6	0,9969	No cumple	No cumple	0,6387	NO
Hill, 3 Parameter	2117,6	0,3565	No cumple	No cumple	0,124	NO
Hill, 4 Parameter	2104,6	0,7506	No cumple	No cumple	0,2184	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,2715	No cumple	No cumple	0,1161	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,652	No cumple	No cumple	0,1971	NO

Tabla 65. Modelos y parámetros estadísticos - Materiales almacenamiento de energía

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

- Electroquímica

Modelo	Punto de inflexión	R <sup>2</sup>	P	t	DW	¿Valido?
Sigmoid, 3 Parameter	2034,3	0,9992	No cumple	No cumple	0,467	NO
Sigmoid, 4 Parameter	2023,5	0,9996	Cumple	No cumple	0,5962	NO
Sigmoid, 5 Parameter	2017,8	0,9997	No cumple	No cumple	0,6585	NO
Logistic, 3 Parameter	N.A	0	No cumple	No cumple	0,0906	NO
Logistic, 4 Parameter	4275,1	0	No cumple	No cumple	0,0906	NO
Weibull, 4 Parameter	2035,8	0,9902	No cumple	No cumple	0,4524	NO
Weibull, 5 Parameter	2020,3	0,9996	No cumple	No cumple	0,5801	NO
Gompertz, 3 Parameter	2112,3	0,9982	No cumple	No cumple	0,1646	NO
Gompertz, 4 Parameter	2093,8	0,9993	No cumple	No cumple	0,338	NO
Hill, 3 Parameter	2136,8	0,3386	No cumple	No cumple	0,1134	NO
Hill, 4 Parameter	2105,5	0,7342	No cumple	No cumple	0,188	NO
Chapman, 3 Parameter	N.A	0,2584	No cumple	No cumple	0,1073	NO
Chapman, 4 Parameter	N.A	0,6325	No cumple	No cumple	0,1742	NO

Tabla 66. Modelos y parámetros estadísticos - Almacenamiento de energía - Electroquímica

Fuente: Elaboración propia con información de SigmaPlot

## ANEXO 5. Principales actores (países y entidades) relacionados con producción científica y tecnológica en las energías renovables

### Energía eólica

#### Países líderes











Ranking	Patentes	Artículos científicos
1	China (32.541) 	China (13.635) 
2	Corea de sur (5.209) 	Estados Unidos (8.766) 
3	Estados Unidos (5.153) 	Reino Unido (3.855) 
4	Japón (3.723) 	Alemania (3.436) 
5	OMPI (WO) (3.145) 	India (2.825) 

Tabla 67. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en energía eólica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Scopus y Patent Lens

#### Instituciones líderes

##### Patentes

Institución	Ubicación	Descripción
Wobben Aloys (Enercon)	Rastdorf, Alemania	Enercon es la compañía fundada por Aloys Wobben, cuarto mayor fabricante de aerogeneradores en

		<p>el mundo. A diciembre de 2017, Enercon había instalado más de 26.300 aerogeneradores, con una capacidad de generación de energía superior a 43 GW</p>
<p>State Grid Corp China  <a href="http://www.sgcc.com.cn/">http://www.sgcc.com.cn/</a></p> 	<p>Distrito de Beijing  Xicheng,  China</p>	<p>Creada en el 2002, es la empresa de servicios públicos más grande del mundo, State Grid construye y opera redes eléctricas como su negocio principal. Su misión es proporcionar energía más segura, limpia, económica y sostenible.</p>
<p>Mitsubishi Heavy Ind Ltd  <a href="http://www.mhi.com">www.mhi.com</a></p> 	<p>Minato,  Tokyo, Japan</p>	<p>es una de las compañías principales del Grupo Mitsubishi. es una empresa multinacional japonesa de ingeniería, equipos eléctricos y electrónica con sede en Tokio, Japón. Los productos de MHI incluyen componentes aeroespaciales, equipos de generación de energía, entre otros.</p>
<p>Wobben Properties Gmbh  (Alemania)</p> 	<p>Alemania</p>	<p>Compañía encargada de las patentes de Enercon. Enercon es el cuarto mayor fabricante de aerogeneradores en el mundo. A diciembre de 2017, Enercon había instalado más de 26.300 aerogeneradores, con una capacidad de generación de energía superior a 43 GW</p>
<p>Vestas Wind Sys As  <a href="https://www.vestas.com/">https://www.vestas.com/</a></p> 	<p>Aarhus,  Dinamarca</p>	<p>Socio global de la industria energética en soluciones de energía sostenible. Diseña, fabrica, instala y brinda servicio a aerogeneradores en todo el mundo, y con 92 GW de turbinas eólicas en 79 países.</p>

Tabla 68. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de energía eólico,

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Patent Lens

Artículos científicos.

Institución	Ubicación	Descripción
<p>North China Electric Power University  <a href="http://english.ncepu.edu.cn/">http://english.ncepu.edu.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China</p>	<p>Universidad nacional con sede en Beijing, China, dependiente del Ministerio de Educación nacional, se especializa en disciplinas politécnicas. tiene un campus filial en Baoding, provincia de Hebei. Hay aproximadamente 3,000 profesores y personal a tiempo completo, 20,000 estudiantes de pregrado y 7,000 estudiantes de posgrado</p>
<p>Danmarks Tekniske Universitet  <a href="https://www.dtu.dk/">https://www.dtu.dk/</a></p> 	<p>Kongens Lyngby, Dinamarca</p>	<p>La Universidad Técnica de Dinamarca o DTU, ubicada en Kongens Lyngby, justo al norte de Copenhague, Dinamarca. Fue fundada en 1829 por iniciativa de Hans Christian Ørsted como el primer politécnico de Dinamarca, y hoy se encuentra entre las principales instituciones de ingeniería de Europa.</p>
<p>Tsinghua University  <a href="http://www.tsinghua.edu.cn">www.tsinghua.edu.cn</a></p> 	<p>Distrito de Haidian, Beijing, China</p>	<p>La Universidad de Tsinghua también conocida como Qinghua es una importante universidad de investigación en Beijing, China y miembro de la élite de la Liga C9 de universidades chinas. Desde su creación en 1911, ha graduado a numerosos líderes chinos en política, negocios, academia y cultura.</p>
<p>Aalborg Universitet  <a href="http://www.aau.dk">www.aau.dk</a></p> 	<p>Copenhague, Dinamarca</p>	<p>Aalborg University (AAU) es una universidad pública danesa con campus en Aalborg, Esbjerg y Copenhague fundada en 1974, otorga títulos de licenciatura, maestría y doctorado en una amplia variedad de asignaturas de humanidades, ciencias sociales, tecnología de la información, diseño, ingeniería, ciencias exactas y medicina.</p>
<p>China Electric Power Research Institute  <a href="http://www.epri.sgcc.com.cn/">http://www.epri.sgcc.com.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China.</p>	<p>Se dedica a la investigación científica, consultas técnicas y actividades de desarrollo de productos. Sus áreas de investigación relacionadas con la ciencia eléctrica y los negocios. La compañía fue fundada en 1951, tiene su sede en Beijing, China. y opera como una subsidiaria de State Grid Corporation of China.</p>

Tabla 69. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de energía eólica,

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Scopus

## Energía solar

### Países líderes












Ranking	Patentes	Artículos científicos
1	China (67.604) 	Estados Unidos (14.599) 
2	Estados Unidos (7.955) 	China (11.421) 
3	OMPI (WO) (4.157) 	India (4.555) 
4	Corea del sur (2.451) 	Alemania (3.746) 
5	Patente Europea (1.694) 	Japón (3.273) 

Tabla 70. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en energía solar.

Fuente: Elaboración propia con datos de Scopus y Patent Lens

### Instituciones líderes

#### Patentes

Institución	Ubicación	Descripción
State Grid Corp China <a href="http://www.sgcc.com.cn/">http://www.sgcc.com.cn/</a> 	Distrito de Beijing Xicheng, China	Creada en el 2002, es la empresa de servicios públicos más grande del mundo, State Grid construye y opera redes eléctricas como su negocio principal. Su misión es proporcionar energía más segura, limpia, económica y sostenible.

<p>Beijing Inst Graphic Comm (China) <a href="http://www.bigc.edu.cn/">http://www.bigc.edu.cn/</a></p> 	<p>Distrito de Daxing, Beijing, China</p>	<p>Universidad general bajo jurisdicción conjunta de la Administración General de Prensa y Publicaciones (GAPP) y el Municipio de Beijing. Tiene programas de postgrado en áreas de: Comunicación, Física de Materiales y Química, Arte y Diseño, Ingeniería Mecatrónica, Procesamiento de Señales e Información y administración de empresas. Actualmente, BIGC tiene más de 6700 estudiantes de tiempo completo y aproximadamente 2500 estudiantes de educación continua.</p>
<p>Univ Kunming Science &amp; Tech <a href="http://www.kmust.edu.cn">www.kmust.edu.cn</a></p> 	<p>Kunming, Yunnan, China</p>	<p>La Universidad de Ciencia y Tecnología de Kunming (KMUST) se en el suroeste de China. Como objetivo para 2010, KUST se convertiría en una universidad clave con una sólida formación en ciencias e ingeniería. El Parque Científico de la Universidad de Yunnan (YNUSP) se estableció como un sitio experimental del Parque Científico Universitario en 1999 y recibió el estatus de parque científico nacional universitario en mayo de 2001.</p>
<p>Zhejiang University <a href="http://www.zju.edu.cn/">http://www.zju.edu.cn/</a></p> 	<p>Hangzhou, Zhejiang, China</p>	<p>Conocida como la Universidad de Che Kiang, es una universidad élite de la Liga C9. También es una Universidad de Clase A de Primera Clase del Ministerio de Educación de China. Fundada en 1897, es una de las instituciones de educación superior más antiguas de China. La colección de la Biblioteca contiene alrededor de 7 millones de volúmenes, convirtiéndola en una de las bibliotecas académicas más grandes de China.</p>
<p>Univ Southeast <a href="http://www.seu.edu.cn/">http://www.seu.edu.cn/</a></p> 	<p>Nanjing, Jiangsu, China</p>	<p>Universidad pública de investigación. Es una Universidad de Clase A de Primera Clase del Ministerio de Educación de China, ha sido clasificada entre las 20 mejores universidades de investigación en China y clasificado tres primeros a nivel nacional en 8 campos incluyendo arquitectura, arquitectura paisajista, planificación urbana, historia del arte, ingeniería civil, ingeniería electrónica, ingeniería de transporte e ingeniería biomédica.</p>

Tabla 71. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de energía solar,

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Patent Lens

Artículos científicos

Institución	Ubicación	Descripción
<p>Chinese Academy of Sciences  <a href="http://english.cas.cn/">http://english.cas.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China</p>	<p>Es la academia nacional de ciencias naturales de la República Popular China con sede en el distrito de Xicheng, Beijing, con institutos secundarios en China continental. También ha creado cientos de empresas comerciales, siendo Lenovo una de las más famosas. Es la organización de investigación más grande del mundo, que comprende alrededor de 60,000 investigadores que trabajan en 114 institutos.</p>
<p>Ministry of Education                      China  <a href="http://www.moe.edu.cn">www.moe.edu.cn</a></p> 	<p>Beijing, China</p>	<p>Establecido en 1949, su título actual fue asignado durante la reestructuración del Consejo de Estado en 1998, es una agencia del Consejo de Estado que regula todos los aspectos del sistema educativo en China continental, incluida la educación básica obligatoria, la educación vocacional y la educación terciaria.</p>
<p>National Renewable Energy Laboratory  <a href="http://www.nrel.gov">www.nrel.gov</a></p> 	<p>Golden,                      Colorado, USA</p>	<p>Se especializa en investigación y desarrollo de energía renovable y eficiencia energética. NREL es una instalación propiedad del gobierno, operada por contratistas y financiada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. NREL también realiza investigaciones en energía fotovoltaica (PV) bajo el Centro Nacional de Fotovoltaica. NREL tiene una serie de capacidades de investigación PV que incluyen investigación y desarrollo, pruebas y despliegue.</p>
<p>CNRS Centre National de la Recherche Scientifique  <a href="http://www.cnrs.fr">www.cnrs.fr</a></p> 	<p>Paris, Francia</p>	<p>Es la organización de investigación gubernamental más grande de Francia y la agencia de ciencia fundamental más grande de Europa. [4] En 2016, empleó a 31.637 empleados, incluidos 11.137 investigadores titulares. Tiene su sede en París y oficinas administrativas en Bruselas, Beijing, Tokio, Singapur, Washington, D.C., Bonn, Moscú, Túnez, Johannesburgo, Santiago de Chile, Israel y Nueva Delhi.</p>

<p>Shanghai Jiao Tong University  <a href="http://www.sjtu.edu.cn">www.sjtu.edu.cn</a></p> 	<p>Shanghai, China</p>	<p>Es una universidad pública de investigación en Shanghai, China. Establecida en 1896 como la Escuela Pública de Nanyang por un edicto imperial, se lo conoce como "El MIT de Oriente" desde la década de 1930. Es uno de los nueve miembros de la Liga C9 de élite, y es una Universidad de Doble Clase de Primera Clase de Ministerio de Educación de China.</p>
--	----------------------------	---

Tabla 72. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de energía solar,

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Scopus

## Energía hidroeléctrica

### Países líderes











Ranking	Patentes	Artículos científicos
1	China (864) 	China (3.025) 
2	Estados Unidos (384) 	Estados Unidos (1.363) 
3	OMPI (WO) (284) 	Brasil (889) 
4	Corea del sur (245) 	India (889) 
5	Patente Europea (138) 	Canadá (614) 

Tabla 73. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en energía hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia con datos de Scopus y Patent Lens

### Instituciones líderes



Patentes






Institución	Ubicación	Descripción
<p>Voith Patent Gmbh  <a href="http://voith.com/">http://voith.com/</a>  </p>	<p>Heidenheim                      an der Brenz,                      Alemania</p>	<p>Empresa multinacional de propiedad familiar en el sector de la ingeniería mecánica con operaciones en todo el mundo. Voith Corporate Group está dirigido por la sede central en Heidenheim. The Voith GmbH tiene alrededor de 19,045 empleados en todo el mundo, con más de 7,500 trabajando en Alemania. Para el año fiscal 2016/17, el grupo consolidado tuvo un volumen de ventas de € 4.220 millones.</p>
<p>Wobben Properties Gmbh                      (Alemania)  </p>	<p>Alemania</p>	<p>Compañía encargada de las patentes de Enercon. Enercon es el cuarto mayor fabricante de aerogeneradores en el mundo. A diciembre de 2017, Enercon había instalado más de 26.300 aerogeneradores, con una capacidad de generación de energía superior a 43 GW</p>
<p>Wobben Aloys (Enercon)  </p>	<p>Rastdorf,                      Alemania</p>	<p>Enercon es la compañía fundada por Aloys Wobben, cuarto mayor fabricante de aerogeneradores en el mundo. A diciembre de 2017, Enercon había instalado más de 26.300 aerogeneradores, con una capacidad de generación de energía superior a 43 GW</p>
<p>State Grid Corp China  <a href="http://www.sgcc.com.cn/">http://www.sgcc.com.cn/</a>  </p>	<p>Distrito de                      Beijing                      Xicheng,                      China</p>	<p>Creada en el 2002, es la empresa de servicios públicos más grande del mundo, State Grid construye y opera redes eléctricas como su negocio principal. Su misión es proporcionar energía más segura, limpia, económica y sostenible.</p>
<p>Chugoku Electric Power  <a href="http://www.energia.co.jp">www.energia.co.jp</a>                        THE CHUGOKU</p>	<p>Hiroshima,                      Hiroshima,                      Japón</p>	<p>La Compañía es una empresa de Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica con su área operativa exclusiva de la región Chūgoku de Japón. Es el sexto más grande por ventas de electricidad entre las diez empresas eléctricas de Japón. Opera la Central Nuclear de Shimane.</p>

Tabla 74. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de energía hidroeléctrica,

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Patent Lens

Artículos científicos

Institución	Ubicación	Descripción
<p>Wuhan University <a href="http://www.whu.edu.cn">www.whu.edu.cn</a></p> 	<p>Wuhan, Hubei, China</p>	<p>Es una Universidad de Clase A de Primera Clase del Ministerio de Educación de China. La universidad está en Luojia Hill. Es administrado por el Ministerio de Educación de China. Fue seleccionado por el Proyecto 985 y el Proyecto 211 como un importante receptor de fondos estatales.</p>
<p>Hohai University <a href="http://en.hhu.edu.cn/">http://en.hhu.edu.cn/</a></p> 	<p>Nanjing, Jiangsu, China</p>	<p>Universidad de investigación en Nanjing, China, bajo la jurisdicción directa del Ministerio de Educación de China. El enfoque principal es la investigación y el estudio de la ingeniería costera, ingeniería hidráulica, recursos hídricos, ingeniería oceánica y principalmente educa a sujetos de ingeniería, con el desarrollo coordinado de ingeniería, ciencia, economía, administración, artes y derecho.</p>
<p>Chinese Academy of Sciences <a href="http://english.cas.cn/">http://english.cas.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China</p>	<p>Tiene su sede en el distrito de Xicheng, Beijing, con institutos secundarios en China continental. También ha creado cientos de empresas comerciales, siendo Lenovo una de las más famosas. Es la organización de investigación más grande del mundo, que comprende alrededor de 60,000 investigadores que trabajan en 114 institutos.</p>
<p>Sichuan University <a href="http://en.scu.edu.cn">http://en.scu.edu.cn</a></p> 	<p>Chengdu, Sichuan, China</p>	<p>La Universidad de Sichuan (SCU) es una de las universidades nacionales directamente dependiente del Ministerio de Educación (MOE). También es una de las universidades del Proyecto 211 y del Proyecto 985 que disfruta de una construcción privilegiada en el período del Noveno Plan Quinquenal, y es una Universidad de Doble Clase de Primera Clase del Ministerio de Educación de China.</p>
<p>Tsinghua University <a href="http://www.tsinghua.edu.cn">www.tsinghua.edu.cn</a></p> 	<p>Distrito de Haidian, Beijing, China</p>	<p>La Universidad de Tsinghua también conocida como Qinghua es una importante universidad de investigación en Beijing, China y miembro de la élite de la Liga C9 de universidades chinas. Desde su creación en 1911, ha graduado a numerosos líderes chinos en política, negocios, academia y cultura.</p>

Tabla 75. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de energía hidroeléctrica,

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Scopus

## Almacenamiento de energía

### Países líderes












Ranking	Patentes	Artículos científicos
1	Estados Unidos (3.121) 	China (17.188) 
2	China (2.535) 	Estados Unidos (14.483) 
3	OMPI (WO) (1.527) 	Alemania (3.740) 
4	Patente Europea (1.104) 	Japón (3.356) 
5	Corea del sur (464) 	India (3.227) 

Tabla 76. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en almacenamiento de energía.

Fuente: Elaboración propia con datos de Scopus y Patent Lens

### Instituciones líderes

#### Patentes

Institución	Ubicación	Descripción
 Siemens Ag <a href="http://www.siemens.com">www.siemens.com</a>	Berlin y Munich, Alemania	Empresa conglomerada alemana con sede en Berlín y Munich y la mayor empresa de fabricación industrial en Europa con sucursales en el extranjero. Las principales divisiones de la empresa son Industria, Energía, Asistencia sanitaria e Infraestructura y Ciudades. Siemens y sus subsidiarias emplean aproximadamente a 372,000 personas en todo el mundo y reportaron

		ingresos globales de alrededor de € 83 mil millones en 2017.
<p>Maxwell Technologies Inc  <a href="http://www.maxwell.com">www.maxwell.com</a>  </p>	San Diego, CA, Estados Unidos	Maxwell Technologies es un desarrollador y fabricante estadounidense con sede en San Diego, California. Se enfoca en desarrollar y fabricar productos relacionados con soluciones de almacenamiento de energía y entrega de energía para automoción, transporte pesado, energía renovable, energía de respaldo, comunicaciones inalámbricas y aplicaciones industriales y de electrónica de consumo.
<p>Lightsail Energy Inc  <a href="http://www.lightsail.com/">http://www.lightsail.com/</a>  </p>	Berkeley, California, Estados Unidos	Empresa de tecnología de almacenamiento de energía de aire comprimido ubicada en Berkeley, California, fundada en 2008, inicialmente se centró en el uso de aire comprimido para impulsar un scooter, pero se desplazó hacia un generador de aire comprimido que cabe dentro de un contenedor de envío estándar. En febrero de 2016, LightSail había recaudado aproximadamente \$ 70 millones en inversión de capital de riesgo.
<p>Gs Yuasa Int Ltd  <a href="http://www.gs-yuasa.com/en/">http://www.gs-yuasa.com/en/</a>  </p>	Kyoto, Japón	fundada en 2004, fabrica y comercializa baterías automotrices, baterías industriales, sistemas de suministro de energía, equipos de conmutación, equipos de iluminación, sistemas ultravioletas, equipos especiales y otros equipos eléctricos. También ofrece cargadores para baterías de motocicletas y automóviles; baterías estacionarias de plomo-ácido, tracción y Ni-MH; y sensores de oxígeno, opera como subsidiaria de GS Yuasa Corporation.
<p>Gogoro Inc  <a href="https://www.gogoro.com/">https://www.gogoro.com/</a>  </p>	Taiwan	Empresa con sede en Taiwán que desarrolla y vende scooters eléctricas e infraestructura de intercambio de baterías. Fundada en 2011 por Horace Luke y Matt Taylor. Gogoro Smartscooter, el primer producto de consumo de Gogoro, se reveló en Consumer Electronics Show (CES) en Las Vegas en enero de 2015. Junto con la scooter, Gogoro anunció una red de intercambio de baterías bajo el nombre de Gogoro Energy Network.

Tabla 77. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de almacenamiento de energía.

Fuente. Elaboración propia con base

Artículos científicos

Institución	Ubicación	Descripción
<p>Chinese Academy of Sciences  <a href="http://english.cas.cn/">http://english.cas.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China</p>	<p>Es la academia nacional de ciencias naturales de la República Popular China (RPC). Tiene su sede en el distrito de Xicheng, Beijing, con institutos secundarios en China continental. También ha creado cientos de empresas comerciales, siendo Lenovo una de las más famosas. Es la organización de investigación más grande del mundo, que comprende alrededor de 60,000 investigadores que trabajan en 114 institutos.</p>
<p>Ministry of Education China  <a href="http://www.moe.edu.cn">www.moe.edu.cn</a></p> 	<p>Beijing, China</p>	<p>Agencia del Consejo de Estado que regula todos los aspectos del sistema educativo en China continental, incluida la educación básica obligatoria, la educación vocacional y la educación terciaria. El Ministerio de Educación fue establecido en 1949, y pasó a llamarse Comisión Estatal de Educación de la República Popular China desde 1985 hasta 1998. Su título actual fue asignado durante la reestructuración del Consejo de Estado en 1998.</p>
<p>Tsinghua University  <a href="http://www.tsinghua.edu.cn">www.tsinghua.edu.cn</a></p> 	<p>Distrito de Haidian, Beijing, China</p>	<p>La Universidad de Tsinghua también conocida como Qinghua es una importante universidad de investigación en Beijing, China y miembro de la élite de la Liga C9 de universidades chinas. Desde su creación en 1911, ha graduado a numerosos líderes chinos en política, negocios, academia y cultura.</p>
<p>Huazhong University of Science and Technology  <a href="http://www.hust.edu.cn">www.hust.edu.cn</a></p> 	<p>Wuhan, Hubei, China</p>	<p>Es una universidad pública de investigación mixta en Wuhan, provincia de Hubei, China. Como universidad clave nacional, HUST está directamente afiliada al Ministerio de Educación de China. Universidad de Clase A de Primera Clase del Ministerio de Educación de China, administra Wuhan National Laboratories para Optoelectrónica (WNLO) en Wuchang, que es uno de los cinco laboratorios nacionales en China.</p>


<p>Nanyang Technological University  <a href="http://www.ntu.edu.sg">www.ntu.edu.sg</a></p> 	<p>Jurong West, Singapore</p>	<p>La Universidad Tecnológica de Nanyang (NTU) es una universidad de investigación autónoma en Singapur. NTU se clasifica consistentemente entre las mejores universidades del mundo en todos los rankings principales de universidades y universidades y es considerada como una de las mejores universidades del mundo. En el QS World University Rankings de 2019, NTU ocupa el puesto 12 en el mundo y el 2º en Asia.</p>
---	-----------------------------------	---

Tabla 78. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de almacenamiento de energía.

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Scopus

## Redes inteligentes

### Países líderes











Ranking	Patentes	Artículos científicos
1	China (1.184) 	Estados Unidos (4.256) 
2	Estados Unidos (730) 	China (3.836) 
3	OMPI (WO) (256) 	Alemania (1.207) 
4	Corea del Sur (208) 	Reino Unido (1.077) 
5	Australia (76) 	India (1.067) 

Tabla 79. Países líderes en solicitudes de patentes y publicaciones científicas en redes inteligentes.

Fuente: Elaboración propia con datos de Scopus y Patent Lens

### Instituciones líderes

Patentes

Institución	Ubicación	Descripción
<p>State Grid Corp China  <a href="http://www.sgcc.com.cn/">http://www.sgcc.com.cn/</a></p> 	<p>Distrito de Beijing                      Xicheng, China</p>	<p>Creada en el 2002, es la empresa de servicios públicos más grande del mundo, State Grid construye y opera redes eléctricas como su negocio principal. Su misión es proporcionar energía más segura, limpia, económica y sostenible.</p>
<p>Lg Electronics Inc  <a href="http://www.lg.com">www.lg.com</a></p> 	<p>Yeouido-dong, Seúl, Corea del Sur</p>	<p>LG Electronics Inc es una compañía multinacional de electrónica de Corea y es parte del Grupo LG, que emplea a 82,000 personas que trabajan en 119 subsidiarias locales en todo el mundo. LG comprende cuatro unidades de negocios: entretenimiento doméstico, comunicaciones móviles, electrodomésticos y soluciones aéreas, y componentes de vehículos.</p>
<p>Causam Energy Inc  <a href="http://www.causamenergy.com">www.causamenergy.com</a></p> 	<p>Raleigh, NC, Estados Unidos</p>	<p>Empresa de desarrollo de tecnología, opera una plataforma de software que ofrece comunicaciones, pagos y servicios de datos en tiempo real a los participantes de la red eléctrica. A través de su plataforma, permite la construcción de aplicaciones de red de software de energía que proporcionan asentamientos energéticos avanzados, generación distribuida, comunicación Ethernet de alta velocidad y soluciones analíticas y de inteligencia.</p>
<p>China Electric Power Research Institute  <a href="http://www.epri.sgcc.com.cn/">http://www.epri.sgcc.com.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China.</p>	<p>Se dedica a la investigación científica, consultas técnicas y actividades de desarrollo de productos. Sus áreas de investigación relacionadas con la ciencia eléctrica y los negocios. La compañía fue fundada en 1951, tiene su sede en Beijing, China. y opera como una subsidiaria de State Grid Corporation of China.</p>
<p>Korea Electronics Telecomm  <a href="http://www.sktelecom.com">www.sktelecom.com</a></p> 	<p>Jung District, Seoul, Corea del Sur</p>	<p>Mayor proveedor de servicios inalámbricos de Corea del Sur, Las marcas en línea de la compañía incluyen "Nate", un portal web; "June", un servicio multimedia móvil; "Moneta", una aplicación móvil de banca electrónica; "Nate Drive", un servicio de telemática y "Digital Home", una interfaz en línea para electrodomésticos de control remoto.</p>

Tabla 80. Instituciones con mayor número de solicitudes de patente en temas de redes inteligentes.

Fuente. Elaboración propia con base de Patent Lens

Artículos científicos

Institución	Ubicación	Descripción
<p>North China Electric Power University  <a href="http://english.ncepu.edu.cn/">http://english.ncepu.edu.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China</p>	<p>Universidad nacional con sede en Beijing, China, dependiente del Ministerio de Educación nacional, se especializa en disciplinas politécnicas. tiene un campus filial en Baoding, provincia de Hebei. Hay aproximadamente 3,000 profesores y personal a tiempo completo, 20,000 estudiantes de pregrado y 7,000 estudiantes de posgrado</p>
<p>China Electric Power Research Institute  <a href="http://www.epri.sgcc.com.cn/">http://www.epri.sgcc.com.cn/</a></p> 	<p>Beijing, China.</p>	<p>se dedica a la investigación científica, consultas técnicas y actividades de desarrollo de productos. Sus áreas de investigación relacionadas con la ciencia eléctrica y los negocios. La compañía fue fundada en 1951, tiene su sede en Beijing, China. y opera como una subsidiaria de State Grid Corporation of China.</p>
<p>Tsinghua University  <a href="http://www.tsinghua.edu.cn">www.tsinghua.edu.cn</a></p> 	<p>Distrito de Haidian, Beijing, China</p>	<p>La Universidad de Tsinghua también conocida como Qinghua es una importante universidad de investigación en Beijing, China y miembro de la élite de la Liga C9 de universidades chinas. Desde su creación en 1911, ha graduado a numerosos líderes chinos en política, negocios, academia y cultura.</p>
<p>Tomskij Politehniceskij Universitet  <a href="https://tpu.ru/en">https://tpu.ru/en</a></p> 		<p>Fundada en 1896 como el Instituto Tecnológico Tomsk del Emperador Nicolás II. La primera institución de educación superior técnica en la parte asiática. En 2007, la universidad se convirtió en ganadora de la competencia de programas educativos innovadores en el marco del Proyecto Nacional Prioritario "Educación".</p>
<p>Danmarks Tekniske Universitet  <a href="https://www.dtu.dk/">https://www.dtu.dk/</a></p> 	<p>Kongens Lyngby, Dinamarca</p>	<p>La Universidad Técnica de Dinamarca o DTU, ubicada en Kongens Lyngby, justo al norte de Copenhague, Dinamarca. Fue fundada en 1829 por iniciativa de Hans Christian Ørsted como el primer politécnico de Dinamarca, y hoy se encuentra entre las principales instituciones de ingeniería de Europa.</p>

Tabla 81. Instituciones con mayor número publicaciones científicas en temas de redes inteligentes.

Fuente. Elaboración propia con base en datos de Scopus



**ANEXO 6. Observaciones grupos de investigación a agenda de investigación y documentos enviados**

<b>No</b>	<b>Observación</b>
1	<p>Es muy grande el potencial hidro energético en Colombia. Pero debe estar incluido el potencial hídrico debido a los mares y océanos.</p> <p>En Colombia es vital para desarrollo de costa pacífica y también atlántica.</p> <p>Deberían quedar plasmadas las necesidades y los resultados de trabajos que venimos haciendo los grupos en este tema.</p> <p>Ni son muchos los países que cuentan con este recurso por lo tanto no se encuentra intensivo trabajo en desarrollos Dada la variedad de características de la energía de j fuente.</p> <p>Otro aspecto vital corresponde a la acumulación de energía y en este caso la tecnología de las celdas de combustible aprovechada por los países nórdicos que pronto nos invadirá con esta tecnología.</p> <p>Pregunto sobre la energía de biomasa en caso de biodigestores de sectores avícola. Porcicola, etc. Los potenciales son grandes. Use desaprovechan.</p>
2	<p>Hay un tema que es fundamental "multigeneración" considero pertinente incluirlo.</p>
3	<p>Considero que el "Desarrollo de una metodología para análisis de tendencias tecnológicas como base para la construcción de una agenda de investigación en energías renovables en Colombia" se constituye en referente para definir proyectos o actividades de investigación; sin embargo existen temas asociados en el ámbito de la FR que no necesariamente están relacionados solamente con las tecnologías; es decir, sería conveniente evaluar la tecnología en función de los usos finales y útiles en los diferentes sectores de consumo, y también en el contexto de la gestión de proyectos de FR y su impacto o relación en el uso utilizado de dichas fuentes. Por ejemplo, la interacción con los sistemas de potencia por intercambio de energía, estacionalidad, intermitencia o en el ámbito de la generación distribuida</p>

4	Creo que sería bueno incluir en la agenda los temas regulatorios para la inclusión de las energías renovables en las redes de transmisión y distribución.
5	La construcción de una agenda no sólo debe considerar escenarios basados en tendencias históricas, sino también las plataformas de crecimiento - soportadas en I+D - que un país o región necesita. Además, debe considerar la capacidad del entorno industrial y social de adoptar lo desarrollado para generación de riqueza.
6	Incrementar exploración de laboratorios piloto y manejo de datos.
7	Analizar teniendo en cuenta como se comportarían las tendencias examinadas en el contexto colombiano: condiciones atmosféricas, características de las fuentes disponibles y condiciones de las escalas técnico -económicas.
8	Algunos temas se cruzan con la agenda de nuestro Grupo
9	Es raro que en el documento se diga que el grupo GIEN-UAO no tenga la línea de energías renovables. El Grupo de Investigación en Energías GIEN de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) tiene la línea de Fuentes renovables de energía y la UAO cuenta con el Sistema Fotovoltaico más grande del país de 450 kW.
10	Ninguna
11	Hizo falta incluir el tema de la biomasa como fuente energética.
12	Creería que es conveniente también lo relacionado con auditoria energética a las empresas colombianas con el fin de incentivar el uso eficiente de la energía, que adicionalmente se hable de cogeneración.
13	Información más específica de tendencias y líneas de investigación
14	No hay observaciones al respecto.
15	Dado que, en la última, la evolución de las tecnologías se caracteriza por generar nuevo conocimiento enfocado hacia el mejoramiento de la eficiencia de los productos y procesos, es imperativo dar más peso específico también a la investigación básica.

16	En las áreas prioritarias de investigación no se incluye el análisis y desarrollo de políticas energéticas dentro de la exploración. Si bien el componente técnico es de gran importancia, los desarrollos no articulados con políticas y modelos de negocio
17	Podría complementarse con estudios amplios consultando la opinión de expertos e instituciones que den directrices de desarrollo científico, tanto nacionales como internacionales) y que tienen panoramas más amplios que lo que se visualiza en publicaciones científicas.
18	<p>No se consideró estratégico el sector de Combustibles y Motores.</p> <p>Los combustibles seguirán juntando un rol protagónico en el futuro de nuestra sociedad, cuyo modelo de desarrollo se basa en la movilidad concentrada en grandes centros urbanos. La llamada "transición energética", por lo demás nada nueva como lo muestra la utilización actual del Carbón como energético, se está enfocando hacia la electricidad y la digitalización, las cuales encuentro altamente valiosas, pero como elementos adicionales dentro de múltiples opciones que se deben considerar desde el punto de vista energético.</p> <p>Todo nuevo paradigma energético aparece a primera vista como la solución, pero la historia ha mostrado que lo único que ha generado es un cambio en el tipo de impacto que terminará generando</p>
19	Faltaría en la metodología considerar política pública en el tema.
20	Tener en cuenta indicadores de introducción de resultados y no solo de innovación.
21	Falta información sobre las implicaciones de la introducción en el mercado de dichas tecnologías, especialmente relacionadas con la volatilidad del recurso y las implicaciones en los sistemas de distribución y transmisión.

Tabla 82. Observaciones encuesta de validación de agenda de investigación:

Fuente: Elaboración propia con resultados de encuesta en plataforma Google Forms