

ISSN: 2594-0937

REVISTA ELECTRÓNICA MENSUAL

# Debates sobre *i*nnovación

DICIEMBRE  
2019

VOLUMEN 3  
NÚMERO 2

XVIII Congreso Latino Iberoamericano de Gestión Tecnológica  
ALTEC 2019 Medellín



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Unidad Xochimilco



MEGI  
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN  
Y POLÍTICAS DE INNOVACIÓN



LALICS

LATIN AMERICAN NETWORK FOR ECONOMICS OF LEARNING,  
INNOVATION AND COMPETENCE BUILDING SYSTEMS

# **Definición de temas prioritarios de investigación en Energías Renovables a partir de un proceso jerárquico analítico (AHP) y análisis de tendencias tecnológicas**

Alejandro Angarita-Saavedra  
Universidad Pontificia Bolivariana, Candidato a Msc en Gestión Tecnológica, Colombia  
[alejandro.angarita@upb.edu.co](mailto:alejandro.angarita@upb.edu.co)

César Nieto-Londoño  
Universidad Pontificia Bolivariana, Grupo de Energía y Termodinámica, Colombia  
[cesar.nieto@upb.edu.co](mailto:cesar.nieto@upb.edu.co)

## **Resumen**

En este trabajo se presenta la aplicación de una metodología para determinar áreas prioritarias de investigación, a partir de la aplicación de la herramienta de proceso jerárquico analítico (AHP). Está priorización busca ser la base para la construcción de agendas y planes de investigación. Inicialmente se recopilan datos de los criterios relevantes, previamente determinados para la priorización de áreas, que incluyen tendencias científicas y tecnológicas, de entorno, y algunas que pueden ser específicas al área de conocimiento abordada. Para el presente trabajo, la metodología se aplica para la priorización de áreas de investigación en energías renovables. Para este caso los criterios evaluados fueron la producción de artículos científicos, la producción de patentes, el análisis de las líneas de trabajo de grupos de investigación, la disponibilidad de fuentes de energía renovable en el país y un análisis de entorno. Los datos recopilados para los diferentes criterios son analizados y hay una calificación del peso de los diferentes criterios con base en la opinión de expertos y su priorización con la herramienta AHP:

A partir de la aplicación de la metodología se identifican unas áreas de investigación en energías renovables que pueden ser priorizadas por actores del Sistema de Ciencia y Tecnología en Colombia en sus investigaciones. Específicamente se proponen 5 áreas prioritarias de investigación correspondientes a energía eólica, energía solar, energía hidroeléctrica, almacenamiento de energía y redes inteligentes.

## **Palabras clave**

Metodología AHP, Áreas prioritarias de investigación, Energías Renovables, Agendas de Investigación.

## **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 en desarrollo como Colombia, donde Talukdar et al. (2001) citados por Halaweh (2013), encontraron que los países en desarrollo presentan tasas de adopción más lentas que los países desarrollados.

A partir de la priorización de áreas de investigación se busca la generación de agendas. 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, Piñeros, & Domínguez, 2009).

En el presente documento se plantea el análisis de tecnologías y el uso de métodos cuantitativos como la bibliometría y cienciometría, para identificación de tendencias y temas prioritarios como parte de la construcción de una agenda de investigación. Una aplicación similar corresponde a un estudio de vigilancia tecnológica realizada por Velasco et al, para el estudio de sistemas de biomasa, la que se concentró en el análisis de información de patentes, identificando empresas líderes, evolución del desarrollo tecnológico y un agrupamiento de palabras clave. A partir de las tendencias identificadas se generaron unas conclusiones generales del avance tecnológico en este tema, que aunque presenta unas tendencias generales que incluyen el comportamiento de publicación de patentes y un mapa tecnológico no llega a una propuesta de temas o una agenda de investigación concreta para los sistemas de Biomasa (Velasco, Cindy, Hamilton, & Herrera, 2011). Los análisis de tendencias propuestos en este trabajo, que incluyen información de patentes y artículos científicos, se complementarán con criterios adicionales como información de grupos de investigación en el área de estudio y de disponibilidad de recursos (en el caso de energías renovables correspondiente a recursos energéticos). Para la priorización de criterios se propone la herramienta de proceso jerárquico analítico (AHP, por sus siglas en inglés). Con esta priorización se busca, con apoyo de expertos en el área de conocimiento correspondiente, determinar la importancia de los diferentes criterios, y realizar la jerarquización de los temas de investigación que se podrían incluir en una agenda de investigación.

Se identifican antecedentes de aplicación de metodologías multicriterio para la priorización de temas de trabajo en energía, como es el caso de Dester & Francato (2018), donde basado en una metodología multicriterio se clasifican las mejores alternativas para la producción de energía eléctrica según criterios vinculados con la sostenibilidad y las dimensiones ambientales, técnicas y económicas. Así mismo, se identifica un trabajo donde se propone una metodología multicriterio basada en la teoría de gráficos combinados y AHP para la evaluación y selección de sistemas energéticos a partir de hidrógeno, entre una gran cantidad de sistemas alternativos disponibles. La metodología propuesta es adecuada para la evaluación de tecnologías energéticas y considera los atributos del sistema energético y sus interrelaciones para un problema determinado de selección del sistema energético (Lanjewar, Rao, & Kale, 2014). El presente trabajo se enfoca en una propuesta metodológica para la priorización de temas de investigación en energías renovables, basado en criterios específicos aplicables al contexto colombiano.

## **1 Metodología**

La metodología propuesta está enfocada tanto el análisis de tendencias a partir de información científica y tecnológica, que puede ser 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 información de grupos de investigación relacionados con

el área de conocimiento a abordar. 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 1 se presenta un esquema de la metodología utilizada:

Figura 1. Esquema de metodología para determinar temas prioritarios de investigación.



Fuente: Elaboración propia

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

Para este trabajo se toma la información de la base de datos de Scopus, a partir de aplicar una ecuación de búsqueda general, correspondiente a artículos que en su título, palabras claves o resumen involucraran el término “renewable energy”, en un rango de fechas que abarcó los últimos 25 años. Se parte de las palabras clave de los artículos para la definición de las tecnologías o áreas de investigación con mayor producción en el campo de estudio. Es importante mencionar que dentro de algunas de las categorías analizadas por medio de palabras clave, no fue posible identificar un área de investigación o una categoría general, en estos casos se agruparon las tecnologías con una clasificación más general y se generaron conjuntos de palabras de las diferentes tecnologías.

### ***Análisis de patentes***

La búsqueda de patentes se efectuó en el Portal Patent Inspiration, tomando como base, patentes que en su título o resumen tenían el término energía renovable. La búsqueda al igual que con los artículos científicos se realizó entre 1990 y 2016. Acorde con la clasificación Cooperativa de Patentes (CPC), se incluyó 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.

### ***Producción grupos investigación***

De acuerdo a una revisión de la información de grupos de investigación en Colombia en la base de datos GrupLAC, se buscó identificar los grupos de investigación que trabajan en temas relacionados al desarrollo y aplicación de tecnologías usen y transformen energías renovables, de acuerdo a las categorías de selección que se encuentran en esta plataforma. Se tomó como base, la correspondiente a grupos de investigación incluidos en “Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología” por ser más específica en las áreas y líneas de investigación que abarcan. Los Programas de Ciencia y Tecnología se clasifican en 13 Programas diferentes (Colciencias, 2017), dentro de los cuales se incluye el correspondiente a “Investigaciones en Energía y Minería”.

Para la revisión de las líneas de investigación de los grupos relacionados con energías renovables, se tomó la información de los grupos de investigación correspondientes al Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería (100 grupos). Con base en esto, se revisa en cada uno de los grupos si tienen líneas de investigación declaradas en energías renovables y específicamente, que áreas de investigación son trabajadas por cada uno de los grupos.

### ***Análisis de disponibilidad de recursos***

Este criterio es específico para el tema de energías renovables. En el caso de priorizar temas de investigación en otras áreas del conocimiento, es necesario evaluar qué criterios adicionales pueden afectar la selección de temas en el contexto del estudio. Para la evaluación de los recursos para la generación de energía a partir de recursos renovables en Colombia, se tomaron como fuente de información varios estudios que buscan determinar el potencial de los mismos, entre los cuales se encuentran atlas y mapas de recursos como el hídrico, solar, eólico, geotérmico y de biomasa residual (IDEAM, 2014, 2015; INGEOMINAS, 2000; Torres, 2003; UPME, Colciencias, Pontificia Universidad Javeriana, IDEAM, & IGAC, 2015; UPME, IDEAM, Colciencias, & Universidad Industrial de Santander, 2009) y una tesis que incluye la 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 los estudios se realizaron hace varios años, sin embargo, la información se consideró apropiada para una clasificación inicial de recursos y potenciales.

### ***Priorización AHP***

Se aplicó el proceso jerárquico analítico (AHP por sus siglas en inglés) elaborada por Klaus D. Goepel. Para realizar esta priorización, se tuvieron en cuenta análisis realizados previamente de artículos científicos, patentes, líneas de grupos de investigación y disponibilidad de recursos. Igualmente se realizaron las siguientes actividades:

- Consulta a expertos importancia de los diferentes criterios
- Análisis con base en herramienta AHP de los criterios
- Priorización de criterios

Se realizaron consultas para determinar la priorización de los criterios a tener en cuenta para la evaluación de las áreas de investigación, basados en la calificación de expertos en estos criterios, a los que previamente se enviaron encuestas para su diligenciamiento, basadas en los

requerimientos de la metodología AHP. El formulario se envió a expertos relacionados con investigación energías renovables en empresas, grupos de investigación y de gobierno (Colciencias). Posteriormente se introducen los datos de las encuestas a la herramienta AHP para una priorización inicial.

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 procedió a realizar la clasificación de las áreas o temas de investigación. De acuerdo a estas tendencias, se obtuvo un listado de temas en orden de prioridad que podrían hacer parte de la agenda.

### ***Análisis de entorno***

Los estudios y planes internacionales usados como referencia para evaluar la evolución y tendencias relacionadas con energías renovables, incluyen aquellos realizados por la Agencia internacional de Energías Renovables – IRENA- y la Agencia Internacional de Energía – EIA. Estos fueron usados para contrastar los resultados obtenidos a partir de la clasificación obtenida luego de aplicar la AHP a partir de las tendencias científicas, tecnológicas, de recursos y de información de grupos de investigación locales, con las directrices internacionales identificadas. De esta forma se obtuvo una clasificación final de áreas de investigación que pueden ser desarrollados en la agenda de investigación.

## **2 Resultados**

Con base en el contraste de los temas de investigación priorizados, basados en tendencias científicas y tecnológicas con el análisis de entorno, se realiza a continuación de la propuesta final de priorización de las áreas a incluir en la agenda de investigación. En primer lugar, se presenta los resultados obtenidos luego de hacer el análisis de producción de artículos científicos, patentes, grupos de investigación y disponibilidad de recursos. Luego se aplica la metodología de análisis AHP, que es complementada con el estudio del entorno, para finalmente hacer la propuesta de temas de investigación priorizados a incluir en la agenda de investigación a proponer en temas de energías renovables.

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

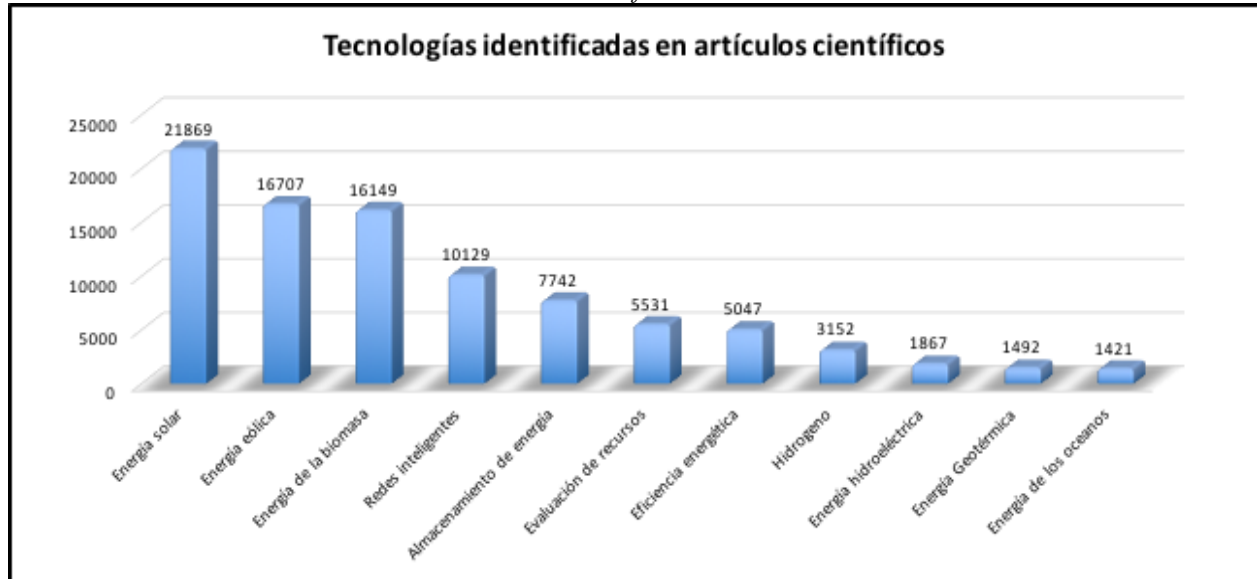
Para el análisis de artículos científicos se incluyeron los siguientes criterios de búsqueda en la Base de Datos Scopus.

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

Se recopiló la información de las palabras clave, que representan los componentes principales de cada investigación y se depuró la información. Para la selección, se consideraron únicamente las palabras clave relacionadas con tecnologías o áreas de investigación específicas. Las tres principales tecnologías identificadas corresponden a tecnologías para generación de energía a partir de fuentes renovables correspondientes a energía eólica, solar y energía de la Biomasa, llama la

atención que las cuatro categorías siguientes corresponden a tecnologías habilitadoras para el desarrollo de energías renovables, como es el caso de las redes inteligentes, el almacenamiento de energía, entre otras, desplazando a tecnologías para generación de energía importantes como la energía hidroeléctrica o la geotérmica. En la Figura 2, la información de las principales áreas identificadas en artículos científicos.

Figura 2. Tecnologías agrupadas en energías renovables con base en frecuencia de palabras clave en artículos científicos.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Scopus

### Análisis de patentes

A continuación, los parámetros de la búsqueda en la plataforma Patent Inspiration:

- Base de datos: Patent inspiration
- Acceso: <https://app.patentinspiration.com/>
- 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

De acuerdo con la revisión de la clasificación de las diferentes patentes y agrupando de acuerdo a las tecnologías correspondientes a generación de energía eléctrica a partir de energías renovables se tiene la clasificación de la Tabla 1.

Tabla 1. No de patentes por tecnología con base en la clasificación de patentes (CPC).

CPC	Tecnología	No patentes
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

CPC	Tecnología	No patentes
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

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

Como resultado del análisis de patentes, se encuentra, que al igual que en las tendencias de artículos científicos, los temas asociados a energía eólica y solar son los que más relevancia tienen, sin embargo, la energía de la biomasa pierde importancia bajo este criterio, y la siguiente tecnología priorizada en este análisis es la hidráulica, muy importante igualmente la aparición en el listado de tecnologías habilitadoras para el desarrollo de energías renovables, como es el caso del almacenamiento de energía y las redes inteligentes.

### ***Producción grupos investigación***

De acuerdo a la información recopilada, se encuentra que, de los 100 grupos asociados al Programa de Energía y Minería, 58 tienen líneas de investigación asociadas a energías renovables. A continuación, se presentan los resultados del análisis representado en el número de grupos por cada una de las líneas de investigación relacionadas con energías renovables como se observa en la Figura 3. En este caso, se resalta la importancia de los grupos de investigación que trabajan con líneas de investigación asociadas al aprovechamiento de la biomasa como recurso energético, así mismo, en segundo lugar, se encuentran las investigaciones asociadas a energía solar y especialmente a energía solar fotovoltaica. Bajo este criterio también se identifican tecnologías habilitadoras de las energías renovables como es el caso de las redes inteligentes o la movilidad eléctrica.

Figura 3. Líneas de investigación en Energías Renovables identificadas en grupos de investigación colombianos.



Fuente: Elaboración propia con base en datos de GrupLAC (Colciencias, 2017)



### ***Análisis de disponibilidad de recursos***

Potencial Hidroenergético: 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 (UPME et al., 2015).

Energía eólica: Pinilla (2009), Citado por Corpoema (2010), estima que podrían desarrollarse 35 GW de potencia con energía eólica. Si al potencial calculado previamente le adicionamos una parte del potencial offshore, que fue incluido en los mapas realizados en el año 2015 (IDEAM, 2015), e incluyendo solamente en el potencial la distancia a 500 metros de la costa, para 295 km<sup>2</sup> daría un potencial adicional de 295 GW, para un potencial de 147 GW, que sumados a los 35 GW equivaldría a un potencial total de 182 GW que incluyen el factor de planta.

Energía de la Biomasa: de acuerdo al análisis de potencial energético de biomasa residual se establece a partir de información de potenciales en Colombia de Biomasa Residual del sector agrícola, biomasa proveniente del sector Pecuario, Residuos Sólidos Urbanos, un potencial total de 124.944 GWh/año. (UPME et al., 2009)

Energía de los océanos: 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, para un total aproximado de potencia de 100MW.

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 realizan los cálculos de energía por tipo de fuente en las mismas unidades (GWh/año) para cada una de las fuentes de energía renovable. En la Tabla 2, se presenta una relación del potencial de energía anual por tipo de fuente.

*Tabla 2. Potencial de generación de energía anual (GWh/año) para las diferentes fuentes de energía renovable.*

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

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

Diferente a lo esperado por la matriz energética actual de Colombia, donde a julio de 2016 la capacidad efectiva de generación hidroeléctrica era del 70% (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2016), se encuentra que los mayores potenciales provienen de la energía eólica y solar, esto evidencia una oportunidad importante en el aprovechamiento energético de estos

recursos que, de acuerdo al análisis de los otros criterios en consideración para el desarrollo de la agenda de investigación, pueden ser tecnologías a priorizar para el desarrollo de investigaciones en el país.

### Priorización AHP

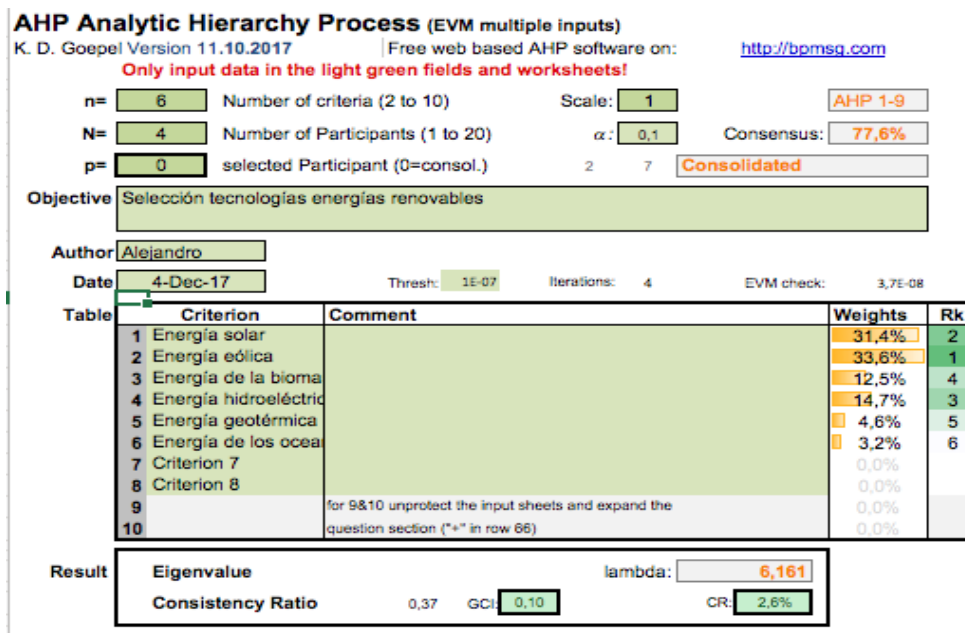
Para la realización de las encuestas para la priorización de criterios se envió el formulario a expertos relacionados con investigación energías renovables a partir de encuestas. La encuesta fue respondida por 10 personas relacionadas con energías renovables, que incluyeron perfiles de grupos de investigación en el área, de empresas en el sector energético y una entidad pública de promoción de Ciencia y Tecnología en Colombia.

De acuerdo al ejercicio de priorización, a continuación, se presentan los criterios más importantes y los pesos correspondientes, los cuales son un insumo para tener un listado priorizado de temas de investigación:

1. Recursos disponibles: 59,0%
2. Tendencias patentes: 17,0%
3. Líneas grupos de investigación: 12,5%
4. Tendencias artículos de investigación: 11,6

A partir de los criterios priorizados y la información obtenida del análisis de temas por criterio se obtiene un listado inicial de temas en orden de prioridad que podrían ser parte de la agenda. En la Figura 4, se presenta una visualización de los resultados de priorización para la agenda.

Figura 4. Visualización resultados priorización de tecnologías o áreas de investigación con base en tendencias tecnológicas y de investigación



Fuente: Herramienta AHP (Goepel (2017))

Del anterior análisis se obtiene que el tema que cobra mayor relevancia es el de energía eólica con

un 33,6%, lo cual se explica por el gran peso de la disponibilidad de recursos energéticos en la evaluación realizada. Cabe anotar que en la mayoría de criterios (salvo las líneas de los grupos de investigación en el país) las tecnologías de energía eólica y solar son las más importantes. Las tecnologías que se priorizan posteriormente en el listado, corresponden a tecnologías hidroeléctrica y de biomasa, que actualmente tienen una gran importancia en el país, lo cual se evidencia tanto en la disponibilidad de estos recursos como en las líneas de trabajo de los grupos de investigación.

### **Análisis de entorno**

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, así como información de la International Energy Agency - IEA (2016), donde se presentan las adiciones de capacidad instalada por fuente de energía.

Así mismo se tiene en cuenta la capacidad de generación en energías renovables (IRENA, 2017), y la evolución entre el 2010 y 2015 de diferentes tecnologías. Otro aspecto a analizar es la inversión en tecnologías de energías renovables, para el 2015 (IRENA, 2017) y los escenarios incluidos en el Plan Energético Nacional. A continuación, en la Tabla 3, se presenta un resumen de las tendencias de energías renovables identificadas en el análisis de entorno, de acuerdo con la clasificación realizada en el análisis de los diferentes criterios y las tendencias presentadas, basados principalmente en estudios de IRENA y la IEA (International Energy Agency (IEA), 2016; IRENA, 2014, 2017).

*Tabla 3. Resumen de priorización de tecnologías en planes y estudios internacionales en Energías Renovables*

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

Fuente: Elaboración propia

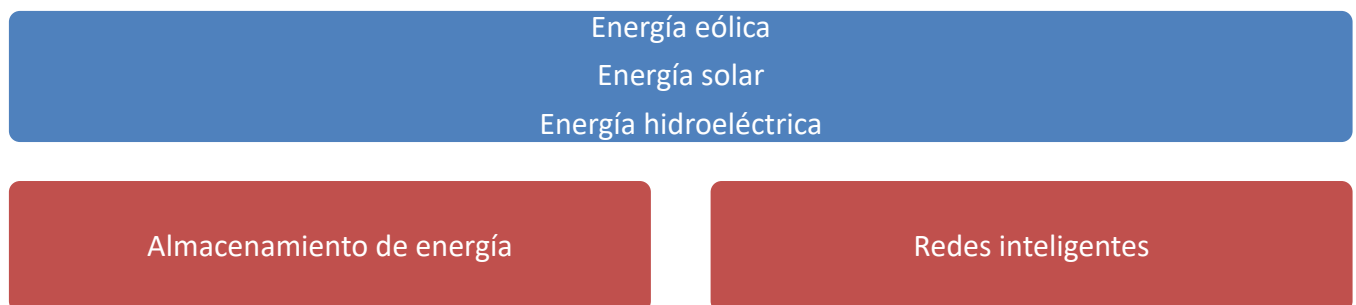
### 3 Temas prioritarios de investigación

Cruzando la información de tendencias con el entorno, se encontró que las tecnologías de generación priorizadas de acuerdo al análisis de tendencias de investigación y patentes, son las correspondientes a energía eólica, solar e hidroeléctrica. Este resultado es consistente con el análisis de entorno, siendo las tecnologías de energía solar y eólica las principales de acuerdo a la mayoría de planes y programas internacionales reportados en la literatura. Otro aspecto a 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 a partir de energías renovables, pero que son tecnologías habilitadoras para el desarrollo de estas. Se identificaron específicamente dos que están presentes tanto en las tendencias científico tecnológicas como en el análisis de entorno. Estas son las redes inteligentes y las tecnologías para el almacenamiento de energía (térmica, eléctrica, química, mecánica, entre otras).

De acuerdo a las anteriores consideraciones sobre 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 áreas de investigación prioritarias que indican en la Figura 7, las cuales tienen en cuenta tanto los análisis de tendencias científicas y tecnológicas, la priorización de criterios y áreas con base en la herramienta AHP y el análisis de entorno.

#### *Áreas de investigación prioritarias*

*Figura 5. Resultados finales de priorización de áreas de investigación en Energías renovables*



Fuente: Elaboración propia

### 4 Conclusiones

Como principales resultados del estudio se encuentra que con base en la metodología usada en el análisis de información científica, tecnológica y de entorno, fue posible determinar unos temas prioritarios de investigación para Energías Renovables en Colombia, en este caso corresponden a cinco áreas de investigación, tres correspondientes a tecnologías medulares (energía eólica, energía solar y energía hidroeléctrica) y dos tecnologías transversales (Almacenamiento de energía y redes inteligentes)

Un aporte importante de este trabajo corresponde a la aplicación de herramientas de Vigilancia Tecnológica como la bibliometría o la Cienciometría en conjunto con análisis de información relevante en un área específica del conocimiento para la determinación de temas prioritarios de investigación con miras a establecer agendas de investigación y establecer una metodología concreta para determinar estas prioridades. Acogiéndonos a la concepción de la UNESCO de

agendas de investigación (UNESCO, 2012), este trabajo aportaría a la primera parte de la definición de estas agendas y planes de investigación correspondiente a determinar áreas prioritarias de investigación.

La aplicación de la herramienta de análisis jerárquico analítico (AHP) resultó muy 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.

Un trabajo complementario, una vez se determinen las áreas prioritarias, consistirá en determinar unos temas específicos de investigación y unas estrategias para desarrollar un plan de investigación mas detallado, para este punto es importante determinar las madurez de las tecnologías y/o las trayectorias tecnológicas para tener un mejor panorama de las áreas de investigación identificadas.

En un estudio futuro se planea continuar este trabajo con la aplicación de herramientas de análisis de información científica y tecnológica para profundizar en cada una de las áreas priorizadas y establecer temas de trabajo a corto, mediano y largo plazo, en una agenda de investigación.

Los aportes de este trabajo corresponden a una metodología que puede ser aplicada en Colombia u otros países para determinar prioridades 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

- 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 Editó). 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)
- Colciencias. (2017). GrupLAC - Consulta grupos de investigación. Retrieved March 26, 2017, from <http://scienti.colciencias.gov.co:8083/ciencia-war/>
- Dester, M., & Francato, A. L. (2018). Comparative analysis of sustainable electric energy generation technologies using a multi-criteria decision methodology. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 14(1), 64–87. <https://doi.org/10.1504/IJETP.2018.088258>
- Halaweh, M. (2013). Emerging Technology: What is it? *Journal of Technology Management & Innovation*, 8(3), 19–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242013000400010>
- 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)

- 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.
- Lanjewar, P. B., Rao, R. V., & Kale, A. V. (2014). A combined graph theory and analytic hierarchy process approach for multicriteria evaluation of hydrogen energy systems. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 10(1), 80–96. <https://doi.org/10.1504/IJETP.2014.065049>
- 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>
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. (2016). Boletín Estadístico de Minas y energía 2012 – 2016. *Ministerio de Minas y Energía*, 200. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- UPME; Minminas. (2016). Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2015-2029, (45).
- 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*.