

05-002

### **CHARACTERIZATION OF PROJECTS FOR THE GENERATION OF NON-CONVENTIONAL RENEWABLE ENERGIES IN COLOMBIA**

Fajardo-Moreno, William Stive (1); Rodríguez-Urrego, Leonardo (1)

(1) Universidad EAN

In order to make the transition to new and more efficient sources of energy, Colombia's National Development Plan 2018-2022 established a goal of generating 1,500 MW from non-conventional renewable energy sources. This research identifies the main characteristics of the projects that leverage said energy transition according to the 2021 state reports, analyzing different variables such as the distribution by type of energy, generation capacity, the geographic location of the projects, and the number of users, among others.

Keywords: Energy transition; Projects; Colombia; Non-conventional renewable energy

### **CARACTERIZACIÓN DE LOS PROYECTOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN COLOMBIA**

Con el fin de realizar la transición a nuevas y más eficientes fuentes de energía, el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 de Colombia estableció como meta la generación de 1.500 MW a partir de fuentes no convencionales de energías renovables. La presente investigación identifica las principales características de los proyectos que apalancan dicha transición energética de acuerdo a los reportes estatales de 2021, analizando distintas variables como la distribución por tipo de energía, la capacidad de generación, la ubicación geográfica de los proyectos y el número de usuarios, entre otros.

Palabras clave: Transición energética; proyectos; Colombia; Energía renovable no convencional

Correspondencia: William Stive Fajardo Moreno wfajard74913@universidadean.edu.co

Agradecimientos: Universidad EAN



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

En la 21<sup>a</sup> Conferencia de las Partes (COP) se ha reconocido a nivel mundial la importancia de establecer metas concretas en el futuro deseable y las formas de lograr dichas metas, de esta manera encontrar un balance entre clima y energía (Hajer & Pelzer, 2018). Para el caso particular de Colombia el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 se planteó una estrategia encaminada a apoyar el desarrollo de proyectos de eficiencia energética que beneficien principalmente a usuarios de bajos recursos, el plan estableció una meta encaminada a aumentar la capacidad de generación energética con energías limpias (eólica, solar, otras) de 22,4 MW a 1500 MW (CDC, 2019).

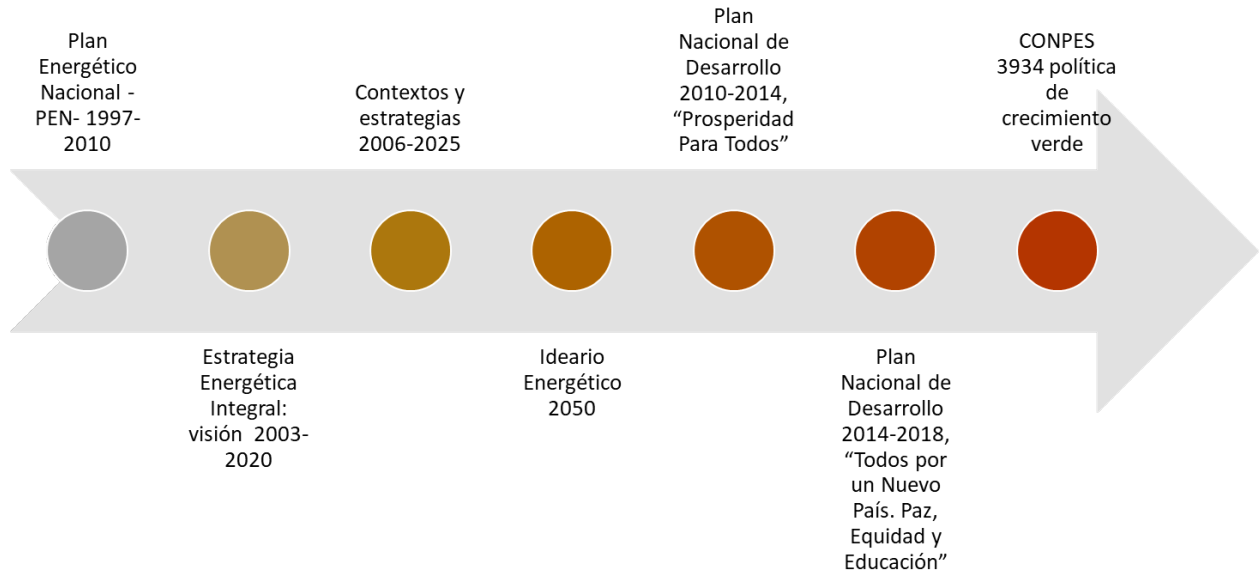
De acuerdo con las proyecciones de Naciones Unidas, se espera que Colombia tenga 54,8 millones de personas para 2030, lo que representa un crecimiento del 8% con respecto al 2020, además que esta cifra crezca hasta 62,6 para 2060 (Desa, 2019), lo que representa un crecimiento del 21,8% en 40 años. Este crecimiento poblacional aumentará la demanda en el consumo energético, lo que hace necesario que se prevean los mecanismos que permitirá suplir dicha demanda. Para 2020 la generación de electricidad en Colombia alcanzó los 75 teravatios/hora, lo que representa una disminución de 6,5% con respecto a la cifra de generación de 2019 (Dale, 2021).

El mercado de energía eléctrica en Colombia considera dos mercados, el regulado y el no regulado. El mercado regulado es directamente contratado y servido por compañías de distribución, abarca usuarios industriales, comerciales y residenciales con demandas de energía inferiores a 55 MWh. Por su parte en el mercado no regulado el precio de comercialización y generación se pacta libremente mediante un proceso de negociación entre el consumidor y el comercializador, y está compuesto por todos aquellos usuarios que tengan un alto consumo de energía con demandas de energía superiores o iguales a 55 MWh/mes (CREG, 2009).

En cuestión de demanda de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional - SIN en Colombia para 2020 fueron requeridos 70.422 GWh-año, que presentan una reducción del 2% con respecto a los 71.925 GWh-año registrados en 2019. Derivado de lo anterior, para febrero de 2021 se registró nuevamente una desaceleración en el crecimiento de la demanda, en donde el mercado no regulado y regulado decrecieron a tasas de 8,8% y 3,7% respectivamente. Específicamente en lo que se refiere al mercado no regulado, este agrupa 20 ramas de la actividad económica, de las cuales 5 aportan más de un 80% del total. Entre las actividades más representativas en el consumo de energía se encuentran: industrias manufactureras (42,9%), explotación de minas y canteras (24,8%), comercio al por mayor y al por menor (5,7%), administración pública y defensa (5,4%) y agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (3,7%). Las otras 15 actividades restantes aportan un 17,4% en promedio del total (UPME, 2021).

En este mismo sentido, de acuerdo con cifras de la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia – UPME (2021) el rango esperado para la demanda de energía eléctrica para los próximos 2 años se encuentra entre 187 a 211 GWh-día, con una probabilidad del 71%, esto representa un crecimiento del 3,4% con respecto al promedio del consumo en 2020 para el SIN. En el horizonte de largo plazo se estima que la capacidad instalada a 2021 sea de 40 MW y para 2035 de 716 MW, con un crecimiento promedio año del 28,6%. Considerando lo anterior se presenta en la Figura 1 la evolución en la incorporación de las Fuentes no Convencionales de Energías Renovables – FNCER desde la perspectiva de política pública en Colombia.

**Figura 1. Evolución de la política pública para la incorporación de la FNCER.**



Nota: fuente los autores con base en Escallón, S. D. T., Rodríguez, I. D. G., & Quintero, T. J. (2021).

De acuerdo con el crecimiento de la población y las necesidades energéticas previamente expuestas, Colombia avanza en la consolidación de un conjunto de fuentes no convencionales de energía renovable que le permitan atender a los desafíos que plantean aspectos tan relevantes como la eficiencia energética y la movilidad sostenible.

## 2. Objetivos

La presente investigación tiene con objetivo general analizar descriptivamente los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable instaladas o en pruebas en la matriz de generación en Colombia, para lograrlo se emplearán dos objetivos específicos, el primero encaminado a identificar las variables a analizar y el segundo a aplicar técnicas estadísticas descriptivas para el estudio de dichas variables.

## 3. Metodología

En la presente investigación se empleó un conjunto de datos abierto que ofrece el gobierno de Colombia a través del Ministerio de Minas y Energía y que se encuentra disponible en portal <https://www.datos.gov.co>. Dicho conjunto contiene los reportes de la capacidad instalada a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable instaladas o en pruebas en la matriz de generación y la actualización con la que se realizaron los análisis fue al 15 de marzo de 2022. El conjunto de datos contiene 13 variables correspondientes a 74 proyectos, dichas variables se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Variables analizadas**

Variable	Tipo	Descripción
Project	Text	Identificador de cada uno de los proyectos que hacen parte de las metas en cada corte reportado.
Type	Text	Tecnología FNCER correspondiente el proyecto
Capacity	Float	Capacidad instalada en MW del proyecto relacionado.
Department	Text	Nombre del departamento del proyecto referenciado.
State	Text	Nombre del municipio del proyecto referenciado.
Dep_code	Integer	Código del Departamento.
Sta_code	Integer	Código del Municipio.
Estimated start-up date	Date	Fecha de Puesta en Operación
Energy [kWh/day]	Float	Energía estimada que produce la central en kWh/día, corresponde a un factor de planta de 0,2 para energía solar y 0,4 para las demás tecnologías.
Users	Integer	Equivalente de los usuarios residenciales que puede atender el proyecto de generación tomando como referencia el factor de planta y un consumo de subsistencia por usuario de 173 kWh/mes.
Estimated investment [USD]	Float	Inversión en dólares estimada indirectamente con la potencia de cada planta
Estimated jobs	Integer	Número aproximado de empleos directos calculados de acuerdo a referencias bibliográficas en función de la capacidad de la central.
Emissions CO2 [Ton/year]	Float	Cantidad de emisiones de CO2 estimadas tomando como referencia la energía de la central en un año y el factor de emisiones de 0,8 gr/kWh correspondiente a una central a carbón.

Nota: fuente <https://www.datos.gov.co>.

A partir de las variables se empleó un método de análisis estadístico descriptivo empleando el software SPSS, dicho método tiene como fin presentar resúmenes de un conjunto de datos y exponer sus características, principalmente a través de representaciones gráficas, además es útil para realizar comparaciones (Sarmiento & Fernández, 2013). Con base en lo anterior, se identificaron elementos importantes sobre el comportamiento de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable instaladas o en pruebas en la matriz de generación con corte a marzo de 2022.

#### 4. Resultados

En primera instancia se analizó la distribución geográfica de los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable instaladas o en pruebas en la matriz de generación, en el cual se pudo establecer que el departamento de Risaralda es el que tiene mayor número de proyectos a nivel nacional, seguido de Antioquia y Valle del Cauca. En la Tabla 2 se presenta una tabla de frecuencia con el acumulado hasta el 82,43%.

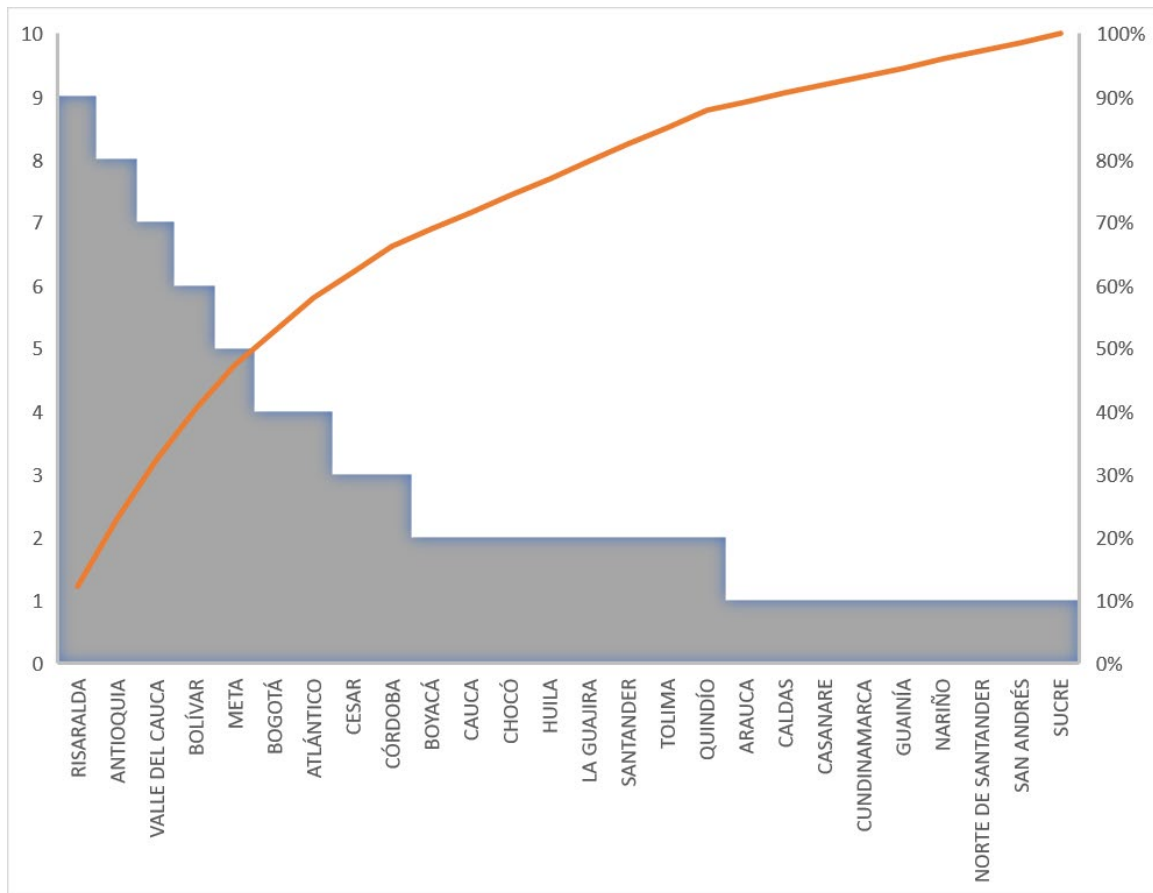
**Tabla 2. Tabla de frecuencias de proyectos de Fuentes de Energías Renovables No Convencionales en los principales departamentos.**

<i>Departamento</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>%</i>	<i>% Acumulado</i>
<i>RISARALDA</i>	9	12,2%	12,2%
<i>ANTIOQUIA</i>	8	10,8%	23,0%
<i>VALLE DEL CAUCA</i>	7	9,5%	32,4%
<i>BOLÍVAR</i>	6	8,1%	40,5%
<i>META</i>	5	6,8%	47,3%
<i>BOGOTÁ</i>	4	5,4%	52,7%
<i>ATLÁNTICO</i>	4	5,4%	58,1%
<i>CESAR</i>	3	4,1%	62,2%
<i>CÓRDOBA</i>	3	4,1%	66,2%
<i>BOYACÁ</i>	2	2,7%	68,9%
<i>CAUCA</i>	2	2,7%	71,6%
<i>CHOCÓ</i>	2	2,7%	74,3%
<i>HUILA</i>	2	2,7%	77,0%
<i>LA GUAJIRA</i>	2	2,7%	79,7%
<i>SANTANDER</i>	2	2,7%	82,4%

Nota: fuente los autores.

En la Figura 2 se presenta el total de los proyectos por departamento, se destaca que departamentos cercanos en términos de ubicación tienen diferencias significativas en lo que respecta al número de proyectos implementados, como es el caso del departamento de Bolívar (6 proyectos) con el departamento de Sucre (1 proyecto).

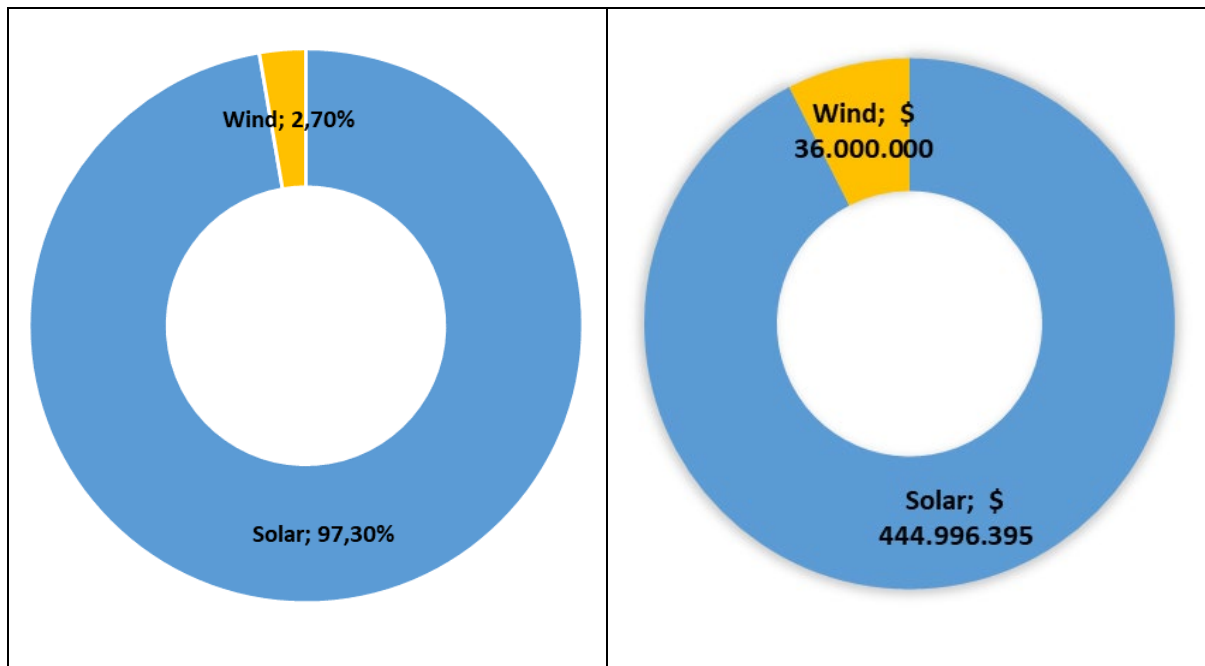
**Figura 2. Diagrama de Pareto por departamento de proyecto.**



Nota: fuente los autores

Derivado de lo anterior, se determinó la distribución de los proyectos por tipo de tecnología del proyecto Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, en la cual se presenta una alta concentración de proyectos en la energía solar con un 97,3%, mientras que la energía eólica representa el 2,7%. Los proyectos relacionados con energía eólica se encuentran en el departamento de La Guajira, que se encuentra más al norte de territorio nacional de Colombia. Este comportamiento también se refleja en la inversión en cada tecnología, dado que los recursos aportados en el desarrollo de proyectos de energía eólica ascienden a 36 millones de dólares, mientras que la inversión en proyectos de energía solar es de 444.9 millones de dólares (Ver Figura 3).

**Figura 3. Proyecto de inversión y tecnología.**



Nota: fuente los autores

Posteriormente se analizó la capacidad de generación de los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, en la cual se identificó una muy alta dispersión entre los datos, lo anterior debido a que hay un proyectos en particular con una capacidad de generación significativamente alta con respecto a los demás proyectos del conjunto, el proyecto “Sol de Inírida” registra una capacidad de generación de 25.875 MW, mientras que el siguiente proyecto en la lista asciende a 11.232 MW, asimismo hay 27 proyectos que generan menos de 1 MW. En la Tabla 3 se presentan los estadísticos de la variable de capacidad de generación.

**Tabla 3. Estadísticas de la variable capacidad de generación.**

<i>Statistical</i>	<i>Value</i>
<i>Mean</i>	624,12
<i>Standard Error of the Mean (SEM)</i>	380,30
<i>Median</i>	4,97
<i>Standard Deviation</i>	3.271,45
<i>Variance</i>	10.702.386,05
<i>Asymmetry</i>	6,95
<i>Range</i>	25.874,98
<i>Mín</i>	0,02
<i>Max</i>	25.875,00
<i>Q1</i>	0,24
<i>Q2</i>	4,97

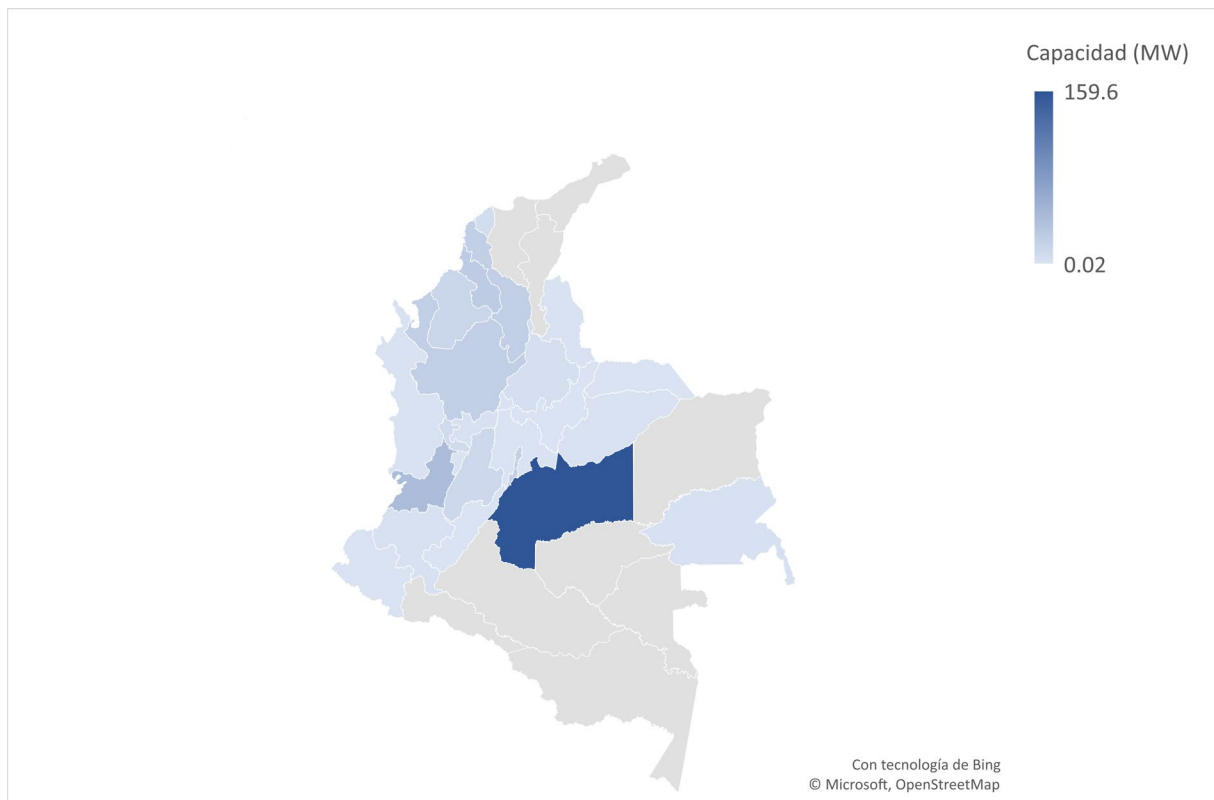
Q3

24,65

Note: source the authors.

Con base en lo anterior, a continuación, el la Figura 4 se presenta un mapa que permite situar geográficamente los departamentos de Colombia en los que se impulsan proyectos de generación de energía a partir de fuentes no convencionales, adicionalmente se presenta una escala de colores con su capacidad de generación.

**Figura 4. Capacidad de generación por departamento**

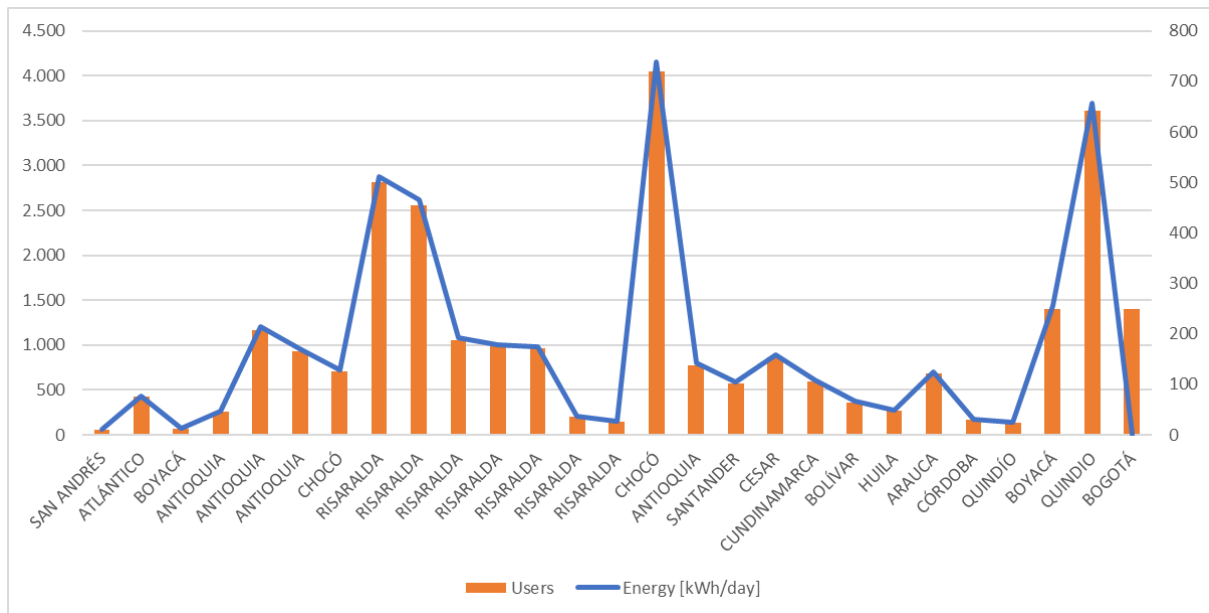


Nota: fuente los autores

En la presente investigación también se analizó el comportamiento de la energía producida por el proyecto en comparación con los usuarios que se encuentra en capacidad de atender, en este caso, dichas variables presentaron un comportamiento similar, superando ampliamente los valores en dos departamentos, el primero de ellos es Chocó, el cual con el proyecto de “El sol brilla para Unguía” registra 720 usuarios y el segundo es Quindío, que con el proyecto de “EDEQ GD Y AG” previendo un total de 641 usuarios atendidos tomando como referencia el factor de planta y un consumo de subsistencia por usuario de 173 kWh/mes (Ver Figura 5).

**Figura 5. Usuarios vs capacidad de generación por proyecto**



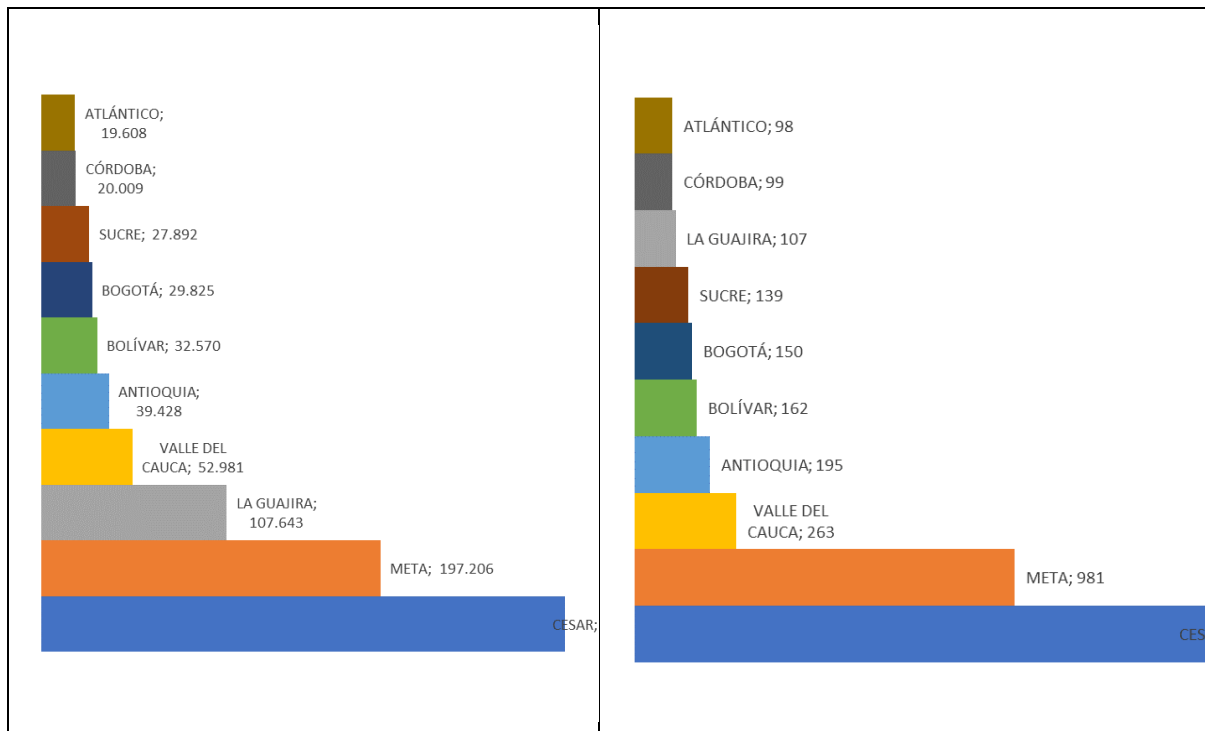


Nota: fuente los autores

Finalmente se analizaron las emisiones de CO<sub>2</sub> medidas en toneladas por año en comparación con los empleos estimados del proyecto por departamento, esto permitió identificar los diez departamentos con mayores valores en las dichas variables (Ver Figura 6). Para establecer las emisiones de CO<sub>2</sub> se tomó como referencia la energía de la central en un año y el factor de emisiones de 0,8 gr/kWh correspondiente a una central a carbón. Mientras que, para el número aproximado de empleos directos, se calcularon de acuerdo a referencias bibliográficas en función de la capacidad de la central. Con base en los anterior, se puede observar como los departamentos de Cesar y Meta lidera se encuentran al frente de este listado, registrando altos valores en número de empleos y emisiones generadas.

En este mismo análisis se identificó que el departamento de la Guajira presenta un comportamiento diferente en las dos variables previamente dichas, esto se tiene en cuenta que ocupa el tercer lugar en emisiones con 107.643 Ton/año, pero la está en los tres departamentos con valores más bajos en el número de empleos generados, logrando 107.

**Figura 6. Emisiones de CO2 (Ton/año) Vs. Empleos generados**



Nota: Fuente

## 5. Conclusiones

Partiendo del objetivo general de la presente investigación, el cual pretende analizar descriptivamente los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable instaladas o en pruebas en la matriz de generación en Colombia, y para el cual se definieron dos objetivos específicos, el primero encaminado a identificar las variables a analizar, para este objetivo se empleó la Tabla 1, en la cual se exponen detalladamente las 13 variables que se empleadas en la investigación.

En lo que respecta al segundo objetivo, encaminado a aplicar técnicas estadísticas descriptivas para el estudio de dichas variables, a continuación se presenta el resultado de la aplicación de dichas técnicas. En primera instancia y con base en el análisis previamente expuesto se pudieron establecer tres principales conclusiones, la primera está relacionada con que en Colombia el 81,25% de los 32 departamentos ya cuentan con al menos un proyecto de energía de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable instaladas o en pruebas en la matriz de generación, esto permite comprobar que se están desarrollando esfuerzos hacia el logro de la carbono neutralidad. Dichos esfuerzos están concentrados principalmente en las fuentes de energía solar, que representan un 97,3% del total de los proyectos identificados y además representan un 92,52%, equivalente a 444.9 millones de dólares, del total invertido en las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable.

La segunda conclusión está relacionada con la alta dispersión que se encuentra una de las variables clave de los proyectos, en términos de la capacidad de generación, el 75% (Q3) de los proyectos está en capacidad de proveer 24,65 MW, y este valor es considerablemente menor con respecto a los 25.845 MW que genera el proyecto con mayor capacidad. Lo anterior provoca que medidas como la varianza y la desviación estándar de dicha variable presenten valores altos al analizar la capacidad de generación.

La tercera conclusión se relaciona con el análisis realizado con las variables de emisiones de CO<sub>2</sub> y los empleos generados, al respecto, se guarda una relación directamente proporcional entre las dos variables al considerar los departamentos que tienen los valores más altos en dichas variables, excepto por el departamento de la Guajira, en este caso, genera 107.643 Ton/año de emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo el tercer departamento con mayores emisiones, sin embargo, en los que respecta a los empleos, genera 107, ubicándolo lejos del departamento de Cesar que es quien encabeza la lista con 1511 empleos generados.

## 6. Bibliografía

- CDC. (2019). Ley 1955: Plan nacional de desarrollo 2018-2022: "Pacto por Colombia, pacto por la equidad". In.
- CREG. (2009). RESOLUCIÓN No. 183 Por la cual se adoptan reglas relativas al cambio de usuarios entre el mercado no regulado y el mercado regulado y se adoptan otras disposiciones.
- Dale, S. (2021). BP statistical review of world energy. British Petroleum Company.
- Desa, U. N. (2019). World Population Prospects 2019. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019.
- Escallón, S. D. T., Rodríguez, I. D. G., & Quintero, T. J. (2021). Transición energética en Colombia: No necesariamente una realidad que se sustenta en el cambio climático. *Verba luris*, 46(2), 105-128.
- Hajer, M. A., & Pelzer, P. (2018). 2050—An Energetic Odyssey: Understanding 'Techniques of Futuring' in the transition towards renewable energy. *Energy Research & Social Science*, 44, 222-231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.01.013>
- Sarmiento, B., & Fernández, F. (2013). Estadística Descriptiva, Introducción al análisis de datos. Ediciones de la U. Bogotá DC.
- UPME. (2021). Proyección demanda energía eléctrica y gas natural 2021 - 2035. In.

## Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

