

# Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia

## Solar energy potential evaluation of Santander, Colombia

Yecid Alfonso Muñoz Maldonado<sup>1</sup>, German David Acebedo Roncancio<sup>2</sup>, Juan David Santamaría Saavedra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D en Tecnología Energética. Profesor Titular. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Grupo de investigación GIRES. Bucaramanga, Colombia.

<sup>2</sup>Ingeniero en Energía. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Grupo de investigación GIRES. Bucaramanga, Colombia.

<sup>3</sup>Ingeniero en Energía. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Grupo de investigación GIRES. Bucaramanga, Colombia.

Email: gacebedo@unab.edu.co

**Cite this article as:** Y. A. Muñoz Maldonado, G. D. Acebedo Roncancio, J. D. Santamaría Saavedra "Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia", *Prospectiva*, Vol 17, N° 1, 7-12, 2019.

**Recibido: 12/06/2018 / Aceptado: 16/05/2019**

<http://dx.doi.org/10.15665/rp.v17i2.1645>

### RESUMEN

*El crecimiento acelerado de la demanda energética es un fenómeno mundial. Para suplir esta necesidad, una de las mejores opciones es la diversificación de la matriz energética de los países. La energía solar surge como una alternativa importante debido a su carácter inagotable y el reciente incremento en su uso. En esta investigación, se evalúa el potencial solar de Santander por medio de una distribución nodal a través de la construcción de una malla. Se utilizaron versiones gratuitas académicas de Meteonorm y PVSyst; así como la base de datos libre Nasa Retscreen, y el Mapa Interactivo del IDEAM. A partir de esto se establecieron los municipios con mayor potencial y se calcularon los factores que determinan el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico.*

**Palabras clave:** Fuente renovable; Energía; Solar; Potencial; Santander-Colombia; Malla.

### ABSTRACT

*The accelerated growth of energy demand is a global phenomenon. To satisfy this need, one of the best options is the energy matrix diversification of the countries. Solar energy emerges as an important alternative due to its inexhaustible character and the recent increase in its use. In this research, the solar potential of Santander is evaluated by a nodal distribution through the construction of a mesh. Academic free versions of Meteonorm and PVSyst were use, as well as the free Nasa Retscreen database, and the IDEAM Interactive Map. From this, the municipalities with the highest potential were determined, and the factors that determine the performance of a solar photovoltaic system were calculated.*

**Key words:** Renewable source; Energy; Solar; Potential; Santander-Colombia; Grid.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la energía solar se considera una fuente de energía con mucho potencial, debido a que es libre de emisiones e inagotable [1]. El uso de este tipo de energía ha crecido en los últimos años debido a la importancia que ha tomado el tema ambiental y la necesidad de alternativas energéticas a las fósiles, tal como se evidenció en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2015 [2].

Como lo afirma la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) [3], Colombia no cuenta con el suficiente desarrollo para el aprovechamiento óptimo de los recursos renovables que posee, siendo muy pocos los proyectos eje-

cutados en los últimos años. El potencial solar del país tiene un promedio diario cercano a los 4.5 kWh/m<sup>2</sup>; asimismo, se afirma que el departamento con mayor irradiación anual es La Guajira con 1980 a 2340 kWh/m<sup>2</sup> [4, 5]. Según CorpoEma [6], para Colombia la capacidad solar fotovoltaica instalada estaría alrededor de 9MWp, correspondiente a proyectos de solución en zonas no interconectadas y aplicaciones del sector privado.

Es importante resaltar la importancia de generar proyectos de energía solar que den solución al problema de cambio climático presente en la actualidad con acciones a corto y largo plazo. Lo anterior se traduce en la creación de distintas iniciativas que buscan incentivar los planes de integración de

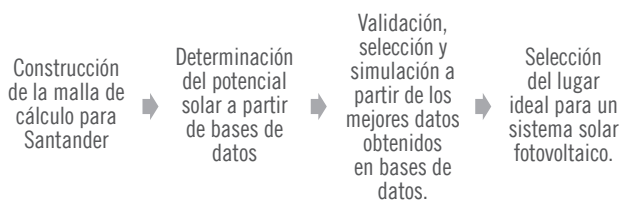
las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) dentro del Sistema Interconectado Nacional (SIN) [7,8]. Estas alternativas, sin embargo, deben estar enfocadas en disminuir los impactos negativos y potenciar los positivos que estos proyectos traen consigo a través de metodologías sencillas de identificación de impactos como la utilizada por Pasqualino, Cabrera y Vanegas [9].

En este artículo se presenta un estudio del potencial solar del departamento de Santander, realizado con ayuda de la versión gratuita de Meteonorm [10], el Mapa Interactivo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [11], la base de datos de NASA RetScreen [12] y el software PVsyst, con el fin de conocer la ubicación ideal de un sistema de sistema solar fotovoltaico. Asimismo, se evalúa el rendimiento de las plataformas utilizadas como herramientas de trabajo académico. Santander es uno de los treinta y dos departamentos que conforman a Colombia. Está situado al noreste del país, en la región andina entre los 72°25' y 74°33' de longitud oeste, y entre los 05°42'33" y 08°07'59" de latitud norte, extendiéndose a través de 30 537 km<sup>2</sup>. Está formado por 87 municipios que se agrupan en seis provincias: Vélez, Soto, Guanentá, García Rovira, Comunera y Mares. La capital administrativa y comercial es Bucaramanga [13].

El departamento cuenta con distintas centrales de generación térmicas e hidroeléctricas operadas por la Electrificadora de Santander e ISAGEN. La primera es propietaria de las centrales térmicas Termopalenque (13MW) y Termobarranca (91MW), y de las plantas hidráulicas Hidroeléctrica de Palmas e Hidroeléctrica de Cascada, que en conjunto cuentan con un total instalado de 21 MW [14]. Por su parte, ISAGEN cuenta con la Central Térmica Termocentro (300MW) y la Central Hidroeléctrica Sogamoso (820MW) [15]. Asimismo, se destaca por la presencia del primer complejo de refinación de petróleo en Colombia, ubicado en la ciudad de Barrancabermeja.

## 2. METODOLOGÍA

Figura 1. Esquema de la metodología utilizada.  
Figure 1. Scheme of the methodology used.



Fuente: Elaboración propia

### 2.1 Establecimiento y distribución de la malla de cálculo

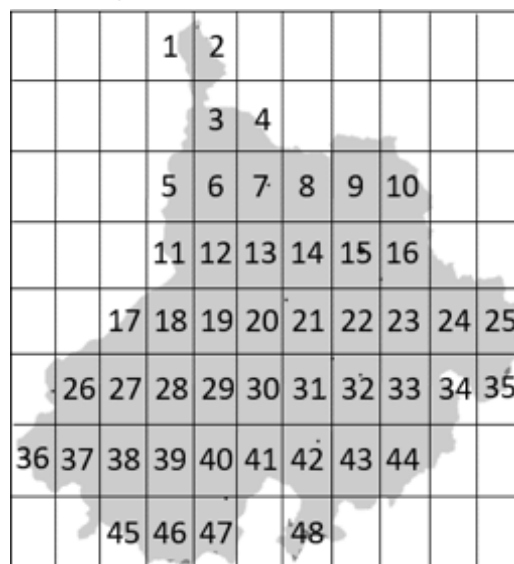
El primer paso para la determinación del potencial en el departamento de Santander es la realización de una grilla rec-

tangular sobre el mapa del departamento con el fin de definir los puntos sobre los cuales se realizarán las evaluaciones en cada una de las plataformas. Cada espacio de la malla es de 12 x 52,5 km y cubre un área 630 km<sup>2</sup>, la cual será llamada Área Nodal. Teniendo en cuenta que el área superficial de Santander es de 30 537 km<sup>2</sup> [13], el número de nodos que resultan de la distribución se halla a partir de la Ec. (1).

$$\text{Número de nodos} = \frac{\text{Área Santander}}{\text{Área Nodal}} \quad (1)$$

Como resultado, se calcula que la malla debe estar compuesta por 48 nodos. Para el cálculo de la irradiación global anual se determinan, en primera medida, las coordenadas del punto central de cada uno de los nodos; posteriormente, se calcula el potencial para este punto en cada una de las plataformas y se estima como el potencial del nodo completo. La distribución nodal final se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Distribución nodal de Santander.  
Figure 2. Nodal distribution of Santander.



Fuente: Elaboración propia

### 2.2 Plataformas utilizadas

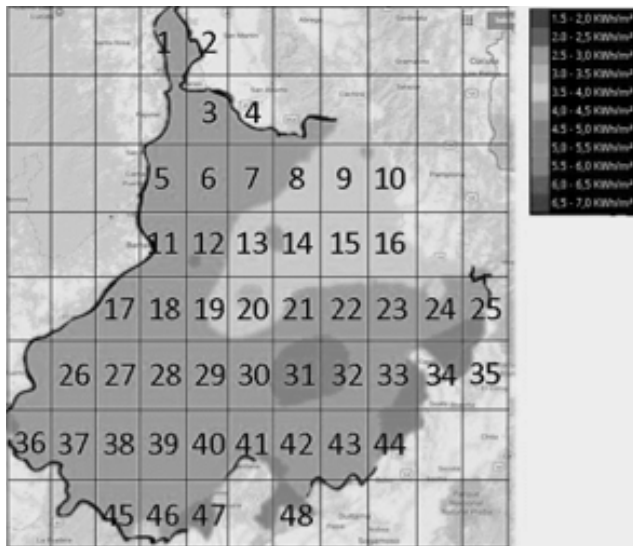
La primera plataforma utilizada es la base de datos de Nasa Ret Screen, importante debido a su facilidad para evaluar distintos puntos en la superficie terrestre considerando parámetros como la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar diaria horizontal, presión atmosférica, velocidad del viento, temperatura de la tierra, calefacción y grados de enfriamiento por día. Sin embargo, el área por nodo que utiliza la plataforma para Colombia es bastante extensa, generando incertidumbre en procedimientos de toma de datos para puntos precisos. [4]

La segunda plataforma utilizada es el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, una herramienta

fundamental en la evaluación de la disponibilidad de la irradiación y brillo solar en el territorio colombiano, así como para el conocimiento del comportamiento de la radiación ultravioleta y el ozono. Para la construcción del atlas, el IDEAM utilizó la información de alrededor de 110 piranómetros instalados en estaciones automáticas satelitales, que garantizan una alta confiabilidad por su calibración entre el año 2014 y 2015 [11]. Debido a las características de los datos, el procedimiento de cálculo de potenciales a través del Atlas del IDEAM se hace de forma gráfica, ajustando el mapa solar para la malla de cálculo utilizada y evaluando los valores según corresponda, resultando la distribución mostrada en la Figura 3.

La última plataforma utilizada es Meteonorm 7, un software de referencias meteorológicas desarrollado por la compañía suiza Meteotest. Este software cuenta con los datos meteorológicos de 5 satélites y 8350 estaciones meteorológicas distribuidas alrededor del mundo entero. Meteonorm permite escoger la fuente sobre el que el usuario quiere evaluar un lugar, ofreciendo la posibilidad de utilizar mediciones realizadas entre 1986-2005 ó 2000-2009, así como la evaluación de las prospectivas climáticas B1, A1B y A2 evaluadas por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) [13].

Figura 3. Distribución nodal de Santander en el Atlas Solar del IDEAM  
Figure 3. Nodal distribution of Santander in the IDEAM Solar Atlas.



Fuente: Adaptación del IDEAM [11].

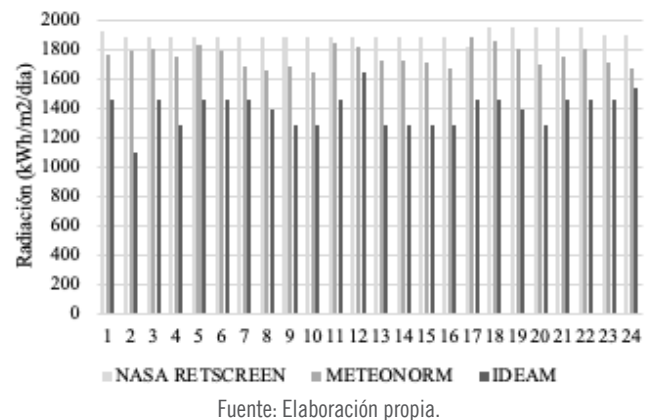
Para el caso particular de Santander, Meteonorm utiliza la información de dos estaciones meteorológicas ubicadas en Bucaramanga/Palonegro y Barrancabermeja/Yari; las anteriores son con las que el software, realiza las interpolaciones necesarias en cuanto a temperatura junto con el dato proporcionado por las estaciones de Arauca, San Antonio (Texas)

y Guasdalito (Venezuela). Por otro lado, para el caso de la interpolación de la radiación lo realiza con estaciones presentes en San Antonio, Guasdalito y Mérida (México). Es importante mencionar, que el nivel de incertidumbre en cuanto a parámetros como radiación global, radiación indirecta y temperatura son respectivamente 9%, 16% y 0.5°C, en cuanto a la variabilidad de radiación global alcanza un 6.6%. Lo anterior proporciona confiabilidad y veracidad en los datos proporcionados por Meteonorm

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

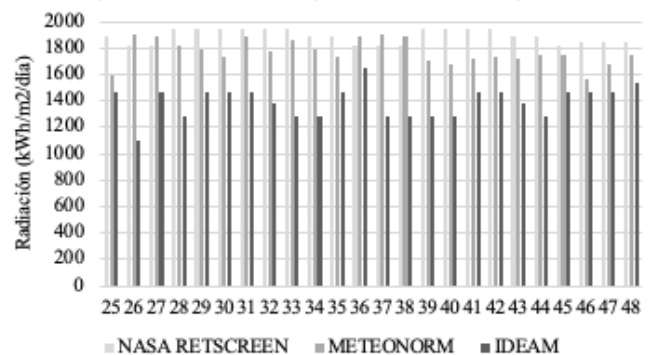
En primera medida, el análisis de los datos, son recolectados en las Figuras 4 y 5 presentando una comparación por nodo y plataforma. Las tres plataformas coinciden en que los nodos de mayor irradiación solar promedio corresponden a los nodos 31 a 33 nodo 33 alusivos a los municipios de Galán, San Gil y Curití. Sin embargo, existen otros nodos para tener en cuenta con los que es posible evaluar con una mayor profundidad la irradiación anual con el fin de obtener nuevos nichos de oportunidad con los que se empiecen nuevos proyectos de carácter investigativo y/o económico para el departamento santandereano.

Figura 4. Radiación según nodo y base de datos (parte 1).  
Figure 4. Radiation according to node and database (part 1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Radiación según nodo y base de datos (parte 2).  
Figure 5. Radiation according to node and database (part 2).



Fuente: Elaboración propia.

En la mayoría de los nodos no existe similitud en los datos de cada plataforma debido a las características ya explicadas. Se resalta que el nodo 31, correspondiente al municipio de Curití, posee la mayor irradiancia en las tres plataformas. Por otro lado, el potencial solar promedio para Santander fue calculado en cada plataforma, el resultado de este análisis se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Radiación promedio por plataforma.  
Table 1. Average radiation per platform.

Plataforma	Radiación promedio (KWh/m <sup>2</sup> ) /año
Nasa RetScreen	1891.08
Meteonorm	1758.375
IDEAM	1452.396

Con el fin de validar la información proporcionada por las bases de datos, se toma como referencia una investigación realizada por la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) en la que se evaluaron las horas de sol pico de Bucaramanga a partir de una estación meteorológica ubicada en la institución y se compara con los datos mensuales de cada una de las plataformas para este municipio. La Estación meteorológica de la UNAB, cuenta con los siguientes equipos, los cuales, ayudaron a validar la información presentada en este documento son los anemómetros, colector de lluvia, sensores de temperatura y humedad, panel solar, consola receptora y herrajes de montaje. El resultado de esta comparación se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación y validación de los resultados de cada plataforma con la Estación Meteorológica de la UNAB para el caso de Bucaramanga.  
Table 2. Comparison and validation of the results of each platform with the UNAB Meteorological Station for the case of Bucaramanga.

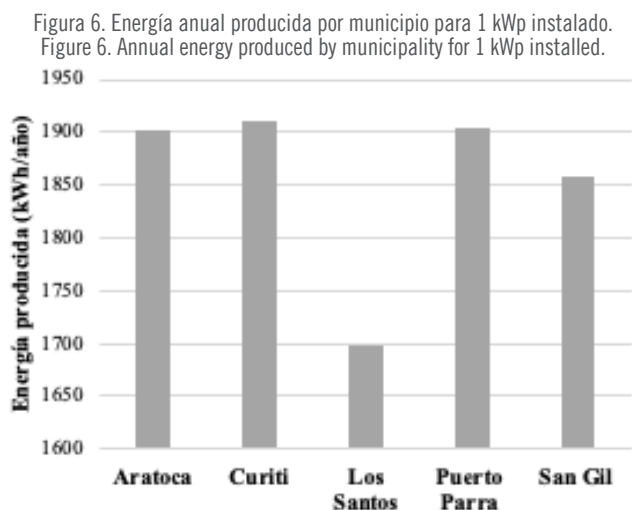
Mes	Dato UNAB	Meteonorm	IDEAM	Nasa Retscreen
Enero	153,71	-6,3%	-20,8%	4,2%
Febrero	138,07	-0,8%	-11,9%	16,0%
Marzo	153,06	-2,7%	-20,5%	3,5%
Abril	146,46	-7,8%	-16,9%	1,6%
Mayo	149,34	-4,9%	-18,5%	0,6%
Junio	132,27	5,8%	-8,0%	17,0%
Julio	140,63	2,4%	-13,5%	18,8%
Agosto	135,84	5,3%	-10,4%	22,6%
Septiembre	125,45	6,8%	-3,0%	26,0%
Octubre	125,49	13,2%	-3,1%	14,7%
Noviembre	124,65	1,1%	-2,4%	13,6%
Diciembre	127,82	0,1%	-4,8%	14,1%
<b>Total</b>	<b>1652,79</b>	<b>0,7%</b>	<b>-11,7%</b>	<b>12,3%</b>

El comportamiento mensual de cada una de las plataformas es muy distinto entre sí. En el IDEAM, los datos son menores a los obtenidos en la estación meteorológica con errores de más del 10% en casi todos los meses. Por otra

parte, en Nasa Retscreen ocurre lo contrario, sobreestimando el potencial solar de la ciudad todos los meses con más de 10% de error para casi todos los datos. Por último, en Meteonorm los datos mensuales no tienen un comportamiento constante, siendo más bajitos en los primeros meses y más altos en el resto del año; para esta plataforma el error no supera el 7% en la mayoría de los meses, a excepción de los datos de abril y octubre.

El potencial total que más se acerca al dato obtenido de la estación meteorológica de la UNAB es el de Meteonorm con 0.7% de diferencia. IDEAM y Nasa Retscreen no son fiables en sus cálculos para la ciudad ya que presentan diferencias acordes con sus datos mensuales: IDEAM subestima el potencial de Bucaramanga 11.7% mientras que Nasa Retscreen lo sobreestima 12.3%. A partir de estos resultados, y teniendo en cuenta que Bucaramanga es la capital del departamento estudiado, se estiman los datos obtenidos por Meteonorm como los reales. Después de definir los municipios sobre los que se realiza la simulación se establece 1kW como la potencia pico del sistema. Posteriormente, se seleccionan el inversor SOFAR 1100 TL fabricado por la empresa china Sofarsolar y el panel Renesola JC200F-24 de 200Wp y 16% de eficiencia.

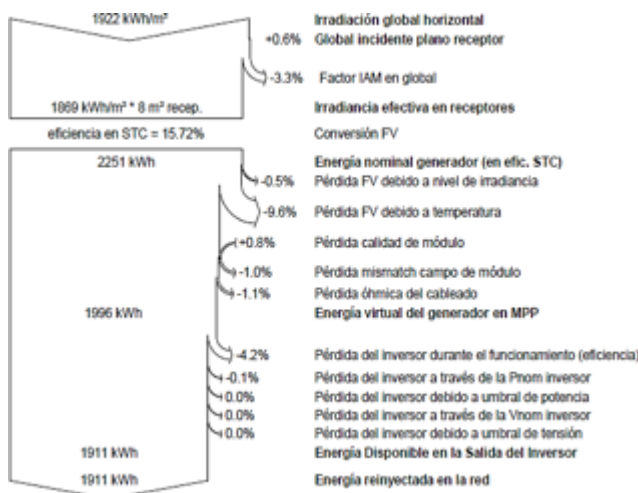
La energía producida en cada uno de los municipios es consecuente con el potencial solar, es decir, el orden de los municipios según la producción y el potencial es igual. Curití es el municipio en el que se logra mayor producción energética con 1911 kWh anuales por cada kW pico instalado. Puerto Parra y Aratoca muestran un comportamiento similar con 1905 y 1900 kWh, respectivamente. Los resultados de la simulación se muestran en la Figura 6.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se observa un diagrama de Sankey obtenido en la simulación de PVSyst en el que se especifican las pérdidas del sistema a partir de los diferentes factores e instrumentos necesarios para el funcionamiento de un sistema. La temperatura ambiente del municipio (que rodea los 20 C [15]) y las pérdidas del inversor durante el funcionamiento son los factores que más afectan el rendimiento. Según la simulación, el factor de rendimiento de Curití es 82.4%.

Figura 7. Diagrama de Sankey para 1 kWp instalado en Curití.  
Figure 7. Sankey diagram for 1 kWp installed in Curití.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En Santander, el único proyecto grande de generación solar hasta la fecha se encuentra en desarrollo en el municipio de Los Santos y se espera que tenga una capacidad de 80MW (AC). Debido a la escasez de proyectos solares en la región, es de gran importancia aplicar metodologías de evaluación que permitan determinar el potencial solar de zonas con amplia extensión de terreno, tal como la enunciada en el presente documento. Asimismo, dada la facilidad que ofrece utilizar software gratuito para llevar a cabo este tipo de estimaciones, es relevante tener en cuenta que, según los resultados obtenidos, los datos de Meteonorm son más confiables que los de NASA Retscreen e IDEAM.

A pesar de que el único proyecto se encuentra en Los Santos, cabe mencionar que los municipios de Aratoca, Puerto Parra y Curití poseen el mejor potencial solar del departamento de Santander, por lo que se recomienda realizar estudios in situ en estos lugares para determinar el potencial real y realizar proyecciones exactas de los posibles proyectos de generación.

Habiendo establecido el potencial que tiene Santander para el desarrollo de estudios de factibilidad para grandes granjas solares, hay otro punto que es muy importante tener

presente para la implementación de la energía solar en el departamento: la generación distribuida. Sobre esto, la CREG expidió la resolución 038 de 2018, que reglamenta los sistemas de generación distribuida y la retribución que tendrán los excedentes de energía.

Esta reglamentación abrió las puertas para que los usuarios residenciales puedan generar ahorros en su factura de energía a través de la instalación de su propio sistema de generación mientras se ayuda a los grandes generadores a disminuir la generación en una de las horas pico para el país (el mediodía). Cabe recordar existen empresas que asumen todos los costos asociados a los equipos, su instalación y mantenimiento a cambio de un contrato de compraventa de la energía generada durante 12, 15 o hasta 20 años con una tarifa hasta 40% más económica comparada con lo que se paga normalmente.

Este tipo de alternativas de negocios son ideales para instituciones públicas (colegios, universidades, alcaldías, gobernaciones) ya que son edificaciones que perduran en el tiempo. Además, al disminuir los costos de operación, se disminuye la utilización de los recursos públicos. El mayor aprovechamiento del recurso solar es una responsabilidad tanto del gobierno como de los privados, quienes tienen el potencial aprovechar la legislación actual y las herramientas tecnológicas existentes. Bajo este panorama, la utilización de Meteonorm tiene un papel vital, ya que al representar con más exactitud el potencial de un punto específico, permite conocer realmente el alcance que puede tener cualquier proyecto.

Por último, se recomienda disminuir el área nodal con el fin de captar una mejor información acerca de la radiación anual de la zona deseada. Asimismo, se recomienda ampliar el número de bases de datos para una mejor comparación y validación de estos.

#### REFERENCIAS

- [1] O. Malinkiewicz, "Low cost, efficient hybrid solar cells", Ph.D. dissertation, Universitat de València, Valencia, 2017.
- [2] A.C. Álvarez, D.A. Ordóñez, A. Nieto, W. Wills, G. Romero, S.L. Calderón, G. Hernández, R. Argüello, R. Delgado, "Evaluación económica de los compromisos de Colombia en el marco de COP21", Revista Desarrollo y Sociedad., 1, 79, pp. 15-54, 2017.
- [3] C.A Toledo, "Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia", Trabajo Final de Máster, Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.
- [4] Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. 2010, Programa de uso racional y eficiente de la energía y fuentes no convencionales – PROURE, [Online]. [Acceso: Abril 28 del 2017]. Disponible en: [https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558752/Informe\\_Final\\_Consultoria\\_Plan\\_de\\_accion\\_Proure.pdf/e8cdf796-d7b1-4bb1-90b9-e756c7f48347](https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558752/Informe_Final_Consultoria_Plan_de_accion_Proure.pdf/e8cdf796-d7b1-4bb1-90b9-e756c7f48347)

- [5] J. Núñez Rodríguez, "Potencialidades de las energías alternativas en el Desarrollo del departamento Norte de Santander, Colombia," *Revista Línea Imaginaria*, 2, 4, pp. 7-14, Dic 2017.
- [6] UPME. (2015) Integración de las energías no convencionales en Colombia. [Online]. [Acceso: Abril 20 del 2017]. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERG\\_IAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERG_IAS_RENOVANLES_WEB.pdf)
- [7] UPME. (2016) Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. [Online]. [Acceso: Mayo 21 del 2019]. Disponible en: [http://www1.upme.gov.co/Documents/PAI\\_PROURE\\_2017\\_2022.pdf](http://www1.upme.gov.co/Documents/PAI_PROURE_2017_2022.pdf)
- [8] Y. Castillo, M. Castrillón, M. Vanegas-Chamorro, G. Valencia, E. Villicaña, "Rol de las fuentes no convencionales de energía en el sector eléctrico colombiano", *Revista Prospectiva*, 13, 1, pp. 39-51, 2015.
- [9] J. Pasqualino, C. Cabrera, M. Vanegas, "Los impactos ambientales de la implementación de las energía eólica y solar en el Caribe Colombiano", *Revista Prospectiva*, 12, 1, pp. 68-75, 2015.
- [10] Meteotest. (2017) Meteonorm. [Online]. [Acceso: Abril 2 del 2017]. Disponible en: <http://www.meteonorm.com/>
- [11] IDEAM. (2017) Atlas Solar de Radiación. [Online]. [Acceso: Mayo 17 del 2017]. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- [12] NASA. (2017) Surface Meteorology and Solar Energy. [Online]. [Acceso: Mayo 17 del 2017]. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETSscreen/>
- [13] Sociedad Geográfica de Colombia. (2011) Santander [Online]. [Acceso: Mayo 20 del 2017]. Disponible en: <https://sogeocol.edu.co/santander.htm>
- [14] ESSA. (2012) Negocio de generación. [Online]. [Acceso: Mayo 20 del 2017] Disponible en: <https://www.essa.com.co/site/%C2%BFQui%C3%A9nessomos/SubgerenciasyNegocios/Negociodegeneraci%C3%B3n.aspx>
- [15] G. Osmá, C. Flórez, W. Zambrano, J. Flórez y G. Ordóñez, "Mejoramiento del desempeño de paneles fotovoltaicos a partir de la irrigación forzada de la superficie superior", *UIS Ingenierías*, 16, 2, pp. 161-172, 2017