

BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN COLOMBIA

ECONOMIC BENEFITS OF
RENEWABLE ENERGY IN COLOMBIA

▮ <https://doi.org/10.22431/25005227.vol52n2.9>

09

Beneficios económicos de la energía renovable en Colombia

Economic benefits of renewable energy in Colombia

Tipología: Artículo de investigación

Cómo citar este artículo

Quirama, U.; Sepúlveda, J.; Morelo, M.; Mosquera, C. y Valle, L. (2022). Beneficios económicos de la energía renovable en Colombia. *Administración & Desarrollo*, 52(2), 171-183. <https://doi.org/10.22431/25005227.vol52n2.9>

I Uvenny Quirama Estrada*

I Mariana Morelo Machado***

I Jovany Sepúlveda Aguirre**

I Cristian Mosquera Romaña****

I Laura Cristina Valle Beleño*****

Resumen

Una de las necesidades latentes que se ha identificado en el mundo, hace referencia a las acciones que permitan el mejoramiento del medio ambiente a causa de las situaciones climáticas que hoy se viven; por ello, los Objetivos de Desarrollo Sostenible en su numeral trece proponen la atención a las situaciones del cambio climático. Y es a partir de esta propuesta, que en el mundo se viene trabajando, en especial, por la transformación a energías renovables.

Colombia no ha sido un país ajeno a esta problemática, es por ello que de ha impulsado la búsqueda de nuevos ejercicios de investigación, desarrollo e innovación en diferentes tipos de energía: como la solar, eólica, biomasa,

geotérmica, entre otras; con el fin de trabajar por la factibilidad y el beneficio de las Energías Renovables y el tiempo en que se puede llegar a tener un cambio absoluto para el beneficio del medio ambiente en el territorio, basados a su vez en la retribución económica que dicha transformación genere.

De acuerdo con lo anterior el presente documento, busca identificar cuáles son los beneficios económicos de la energía renovable en Colombia, concluyendo en primera instancia que las ER tienen un gran potencial debido a la cantidad de recursos que la región posee. Además, existen proyectos y empresas que las han desarrollado aunque aún permanezcan sin ser explotadas al máximo, sin contar con los beneficios que se podrían obtener al emplearlas y darles la importancia que poseen.

* Economista, especialista en formulación y evaluación de proyectos públicos y privados, Magister en administración, Magister en economía. Docente Investigador Corporación Universitaria Americana. Corporación Universitaria Americana. Correo electrónico: uveny@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8930-0450>.

** Magister de Gestión de la Innovación Tecnológica, Cooperación y Desarrollo Regional del Instituto Tecnológico Metropolitano. Docente Investigador e integrante del grupo de investigación AGLAIA en la Corporación Universitaria Americana. Correo electrónico: jasepulveda@americana.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1047-6673>.

*** Estudiante de Negocios Internacionales. Sexto semestre Corporación Universitaria Americana. Correo electrónico: morelomariana7678@americana.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8771-9218>.

**** Estudiante de Administración de Empresas. Cuarto semestre Corporación Universitaria Americana. Correo electrónico: mosqueracristian@coruniamericana.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8368-0926>.

***** Estudiante de Negocios Internacionales. Sexto semestre Corporación Universitaria Americana. Correo electrónico: vallelaurag657@americana.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7299-2318>.

Palabras clave: economía, energías renovables, medio ambiente, beneficio socioeconómico, Colombia.

Abstract

One of the latent needs that has been identified in the world, refers to actions that allow the improvement of the environment because of the climatic situations that are living today; therefore, the SDGs (Sustainable Development Goals) In its thirteenth paragraph they propose attention to the situations of climate change, and it is, from this proposal, that the world is working, in particular, for the transformation to renewable energies.

Colombia has not been a foreign country to this problem, so it has been pursuing new developments, dedicating itself to research, development and innovation in different types of energy, such as solar, wind, biomass, geothermal, among others, working for the feasibility and benefit of the ER (Renewable Energies) and the time in which an absolute change can be obtained for the benefit of the environment in the territory based in turn on the economic compensation that this transformation generates.

In accordance with the foregoing, the present document seeks to identify the economic benefits of renewable energy in Colombia, concluding in the first instance that RE has great potential due to the amount of resources that the region possesses and, Although there are projects and companies that have developed them, they are still not exploited to the maximum, not counting the benefits that could be obtained by using them and giving them the importance they have.

Key words: economy, renewable energy, environment, socio-economic benefit, Colombia.

Introducción

En el mundo la situación climática se ha visto afectada en cuanto al cuidado del medio ambiente, se puede considerar que uno de los mayores contaminantes es el sistema eléctrico convencional que la mayoría del planeta emplea, por esto se da la búsqueda y atención de las Energías Renovables a partir de nuevas investigaciones con el fin de dar solución a las problemáticas actuales relacionadas con la contaminación que causan las emisiones de CO₂ y mal aprovechamiento de recursos naturales.

Colombia a nivel latinoamericano tiene una gran representación en el tema de energías renovables por los diversos recursos naturales que posee, así como también la posible exportación de estas; debido a lo anterior, el país ha venido incursionando en el asunto de las energías no convencionales a partir de las condiciones de de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que se deben implementar en el plan de desarrollo. Es importante resaltar que la región, actualmente viene impulsando la incorporación de energías limpias, aprovechando los diversos recursos naturales que posee.

Por consiguiente, el presente documento científico busca atender a la pregunta de investigación ¿Cuáles son los beneficios económicos de la energía renovable en Colombia? Y a partir de ello, generar recomendaciones, discusiones y conclusiones, bajo una serie de procesos investigativos enfocados inicialmente en el reconocimiento de las diferencias en las ER y no renovables; posteriormente, identificar los desarrollos que actualmente han sido explorados en Colombia para luego indagar acerca de los beneficios económicos que las energías limpias poseen; y finalmente, presentar las posibles ac-

ciones que el país pudiese desarrollar frente a las energías con mayor oportunidad económica y social.

Metodología

La metodología que se empleó en la presente investigación es mixta tipo descriptiva, donde se realizó un ejercicio hermenéutico, en el que se desarrolló la búsqueda de información secundaria del contexto de las ER en el mercado colombiano, y cómo estas han evolucionado a medida que se ha gestado una transición de las energías no renovables a las ER posterior a esto se realizó un análisis frente a los costos y a los ingresos monetarios y financieros de algunas de las energías mencionadas en el contexto anterior, en relación a las ER y el beneficio económico y social que se presenta.

El mundo y las energías renovables

Hablar del origen de las energías conocidas por el hombre, que se encuentran en la naturaleza del planeta es de gran relevancia, ya que estas se buscan transformar mediante procesos de alta tecnología que son desarrollados en el área de la ingeniería para obtener los beneficios energéticos de los recursos naturales. Es así como se encuentra que las fuentes primarias de energía disponibles para el uso por parte del ser humano y su debida transformación en energía eléctrica se clasifican en renovables y no renovables (Medina & Vanegas, 2018).

Es importante tener en cuenta que las ER son de fácil acceso en casi cualquier parte del mundo y a su vez generan beneficios para quienes optan por su implementación tales como: estimular el crecimiento económico de la población, generación de empleos, maximización en la creación de valor de la comunidad, mejoran el acceso a la

energía disponible para los habitantes, reducen el impacto ambiental y contribuyen al desarrollo de una nación etc. (Lisperguer, 2017, citado en Medina & Vanegas, 2018).

En el caso de las energías no renovables a pesar de que han sido explotadas desde hace muchísimo tiempo y presentan una condición interesante de beneficio económico para las regiones, se ha venido identificando que afecta de manera negativa la atención por el medio ambiente ya que las fuentes de energía no renovables se obtienen a partir de los combustibles fósiles que se encuentran presentes en la superficie terrestre, tales como el petróleo crudo, gas natural y el carbón. Con base a lo anterior los métodos de extracción y uso de estos recursos generan grandes emisiones de CO₂ a la atmósfera, los cuales contribuyen a la contaminación medio ambiental. (Henry & Heinke, 1999, citado en Medina & Vanegas, 2018). Lo mencionado es de suma importancia debido a las implicaciones que presenta el consumo de las energías convencionales por los daños permanentes que causa tanto en la naturaleza como en la sociedad, ya que pueden ser nocivas a mediano y largo plazo.

Se debe tener en consideración que hoy en día la gran mayoría de los medios utilizados provienen de una fuente de energía no renovable, el transporte y algunos productos de consumo con electricidad convencional, siguen arraigados en la gran parte de las culturas y personas, por ello debe ser la misma colectividad la que tenga conciencia de mejorar sus hábitos y reconciliarse con el entorno; de no ser así, ni todos los proyectos MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) implementados en un país podrían mejorar la calidad del ambiente (Marten et al., 2009 citado en Jimenez & Hurtado, 2013). Es por ello que, para la transición de un país hacia la ER es importante tener en consideración, la importan-

cia de la consciencia de ciudad; es decir, adicional a la implementación de normativas, cada ciudadano debe ser parte activa en su compromiso con el medio ambiente, cambiando hábitos de vida y apoyando empresas que producen diferentes tipos de bienes que trabajan por el medio ambiente y con ello lograr reducir el impacto ambiental que genera la humanidad con actos de cuidado desde el individuo.

Según IRENA (Agencia Internacional De Energías Renovables) los países con un mayor índice de progreso en el tema de las ER son: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, Colombia, Bolivia, Ecuador, Perú, Venezuela, Argentina, Chile, Paraguay, Uruguay y con amplia trayectoria México y Brasil (Medina & Vanegas, 2018) con relación a Colombia, el país ha venido trabajando por la obtención de energías que pueden satisfacer las necesidades, no solo de la región, sino también de América Latina, el Caribe y otras regiones, buscando ser uno de los países en vía de desarrollo con mayor nivel de exportación en ER, a partir de la construcción y adquisición de patentes y nuevos procesos de investigación y desarrollo en el campo foco de estudio.

Las ER son fundamentales para el desarrollo humano y económico de un país, por sus beneficios y utilidades, su incorporación puede solucionar el problema del suministro de energía eléctrica en zonas no interconectadas, además minimizar los riesgos o daños que puede causar el uso de energías convencionales; por ejemplo, la energía solar es una opción muy atractiva para atender la demanda en zonas apartadas, como las comunidades rurales y su impacto en la naturaleza es mínimo comparado con otro tipo de energías no renovables (Arango & Cortés, 2017). Además de lo anterior, Colombia posee lugares en donde nunca ha llegado o es limitado

el servicio de energía eléctrica; según el Índice de Cobertura de Energía Eléctrica del Sistema de Información Eléctrico Colombiano con corte a diciembre de 2019, se reportaron cerca de 495,988 viviendas sin servicio eléctrico distribuidas en los siguientes departamentos: La Guajira con 81,960 viviendas, Nariño con 36,264, Cauca con 32,275, Chocó con 29,559, Valle del Cauca con 27,837, Bolívar con 24,910 Antioquia con 23,785, Meta con 23,377, Putumayo con 22,135 y Magdalena con 17,966 (Sistema de Información Eléctrico Colombiano - SIEL, 2019). Es por ello que, ER hoy en día, se denota como una solución en energía a las comunidades más apartadas de los centros urbanos y que poseen una escasez en este mínimo vital.

Tipos de energía en Colombia

De acuerdo con las condiciones climáticas favorables del país, se ha evidenciado que Colombia subió 9 posiciones en el Índice de Transición Energética del Foro Económico Mundial (2020) al pasar del puesto 34 al puesto 25, en el último año, entre 115 países. (Portal Único del Estado Colombiano, 2020).

Debido a sus condiciones climáticas, su ubicación en el trópico y en las montañas de los Andes, Colombia es un país con un alto potencial para el desarrollo de las ER en sus diferentes regiones, teniendo en cuenta que, para Colombia por las características antes mencionadas, las principales ER se encuentran en la energía eólica, solar, biomasa, geotérmica y pequeñas centrales hidroeléctricas. Cabe destacar que el país, debe crear las condiciones necesarias para propiciar su desarrollo y así poder consolidarse como un país líder en reducción de la huella de carbono con capacidad para exportar energías limpias que cuenta con todas las condiciones necesarias para adaptarse y satisfacer las condi-

ciones del mercado (Robles & Rodríguez, 2018) y adicional, atender los requerimientos internos de atención al mínimo vital de energía no solo en la parte urbana, sino también en la zona rural del país.

A partir de las oportunidades que presenta la región, se exponen algunas de las energías con las que se genera un mayor beneficio social y económico y que tuvieron acogida al momento de establecer la necesidad de transformación energética y atención al medio ambiente.

Energía Eólica

Uno de los tipos de energía con mayor uso desde la inclusión de la ER al país, es la energía eólica; la cual se presenta como el medio de obtención de energía mediante la utilización de la fuerza del viento, transformando la energía cinética en energía eléctrica a través de aerogeneradores o turbinas. Dichos aerogeneradores constan de un sistema mecánico basado en los antiguos molinos de viento dotado de un generador eléctrico en su eje, que se acciona mediante la fuerza que el viento infringe sobre sus aspas (Medina & Vanegas, 2018).

Debido a nivel de vientos y demás condiciones climáticas, el país posee un alto interés en la explotación de la energía eólica; junto con la Guajira se encuentran otras regiones muy prometedoras en la producción de energía eólica y la instalación de parques eólicos. Se poseen regiones con zonas con un gran potencial como lo son las islas de San Andrés, Santa Catalina, Providencia y Villa de Leiva (Centro de Formación Lecciona, 2021).

En la actualidad, la energía eólica en Colombia representa un 0,1% de la producción de energía nacional y esta proviene del Parque Eólico Jepirachi, situado en el municipio de Uribia, La Guajira. Este parque fue el primero que se construyó

en 2003 y requirió una inversión de 27,8 millones de dólares, cuenta con 15 turbinas eólicas Nordex (N60) entre las que se distribuye una producción total de 19,5 megavatios (MW). En este contexto, hoy en día se conoce que el grupo español Elecnor (Electrificaciones del Norte) ha formalizado un contrato para la construcción del segundo parque eólico de Colombia en La Guajira. El mismo contará con capacidad para generar 20 MW (megavatios) y su presupuesto se situará en 31,7 millones de euros; la instalación estará compuesta por 10 turbinas de 78 metros capaces de generar 2 MW cada una (Centro de Formación Lecciona, 2021).

Por lo anterior, es importante saber que el país ha estado fortaleciendo las inversiones económicas progresivamente, las cuales solidifican un futuro muy prometedor en la construcción e implementación de nuevas infraestructuras en materia de las ER en la región.

Energía solar fotovoltaica

En cuanto a la energía solar, en Colombia la Unidad de Planeación Minero Energética UPME (s.f.) muestra que entre las iniciativas que se presentan en cuanto a ER, el 88,3% se relacionan con energía solar, en donde 9 de cada 10 propuestas para generar energías se implementan paneles solares. Otro dato, es que la UPME y el Ministerio de Minas y Energía estiman que para el 2030, alrededor del 10% de la energía consumida en Colombia provendrá de proyectos fotovoltaicos o solares.

Para obtener energía eléctrica a partir de la radiación solar es necesario instalar paneles solares que contienen células fotovoltaicas que acumulan la energía que reciben para uso posterior, generando un mínimo impacto ambiental, considerándola como la más aplicada en el mundo,

de poca producción de residuos contaminantes, de mantenimiento sencillo y de bajo costo. De igual forma, analizando las desventajas se tiene que las baterías que almacenan las cargas son elaboradas con agentes químicos peligrosos, que al ser aplicadas en grandes extensiones puede afectar al ecosistema y genera un impacto visual negativo (REN21, 2017 citado en Medina & Vanegas, 2018).

Un estudio del potencial de creación de trabajos en la industria global de energía solar descubrió que a corto plazo cada nuevo megavatio de capacidad de energía fotovoltaica creará 20 empleos de manufactura, 30 de instalación y uno de mantenimiento. Suponiendo una vida de 25 años para las plantas de energía fotovoltaica, esto tendría como resultado 0,8 empleos de manufactura y 1,2 empleos de instalación al año por Megavatio de capacidad instalada. Por añadidura, muchos de los empleos iniciales de energía renovable ocurren en instalación, operación y mantenimiento (Doleza, 2013).

De modo similar la industria debería aprovechar ahora el impulso a la generación y consumo de energía renovable debido a la convergencia de los siguientes factores: madurez tecnológica de los sistemas, el descenso de los precios de los sistemas de generación renovable, de la electricidad y la alta volatilidad de los precios (Martín et al., 2021).

La biomasa

Aparte de la energía eólica, existe otro tipo de energía que no es muy conocida ni explotada; la biomasa es una materia orgánica utilizada como fuente energética que se obtiene a partir de recursos naturales tales como: excrementos de animales específicamente ganadero, residuos de las podas de árboles, ciertos cereales, restos de aceites industriales etc. (Endesa, 2022).

Por otra parte, los métodos biológicos de la biomasa conllevan a la facilidad de tener emisiones de CO₂ relativamente bajas, siendo la fermentación oscura el método más recomendable para la obtención de H₂, registrando valores entre el 60% - 80% de eficiencia global, a un costo de 2.57 \$ kg/H₂ (Ruiz & Sanchz, 2021).

Al investigar sobre biomasa en Colombia es poco lo que se encuentra, ya que no es uno de los métodos de ER utilizados en el territorio; sin embargo, podría ser una fuente de energía interesante para su explotación en regiones con un alto grado de actividad ganadera.

Energía geotérmica

“La energía geotérmica se define como una fuente energética renovable que ocupa el calor contenido en el interior de la tierra” (Biométricos, 2008 citado en Valenzuela, 2011, p. 55) y se puede encontrar en el suelo a varios kilómetros bajo la superficie e incluso más abajo del magma (rocas fundidas que se encuentran al interior de la tierra, se origina por la presión y las elevadas temperaturas). Es una ER que se obtiene mediante el calor que proviene del interior de la tierra y se manifiesta de forma natural mediante fuentes termales, géiseres o volcanes, se considera la única fuente de energía presente en todo el mundo, que no necesita importación ya que posee una vida útil larga con beneficios superiores comparados con otras energías presentando un menor costo (Valenzuela, 2011).

Colombia es un país con gran potencial para la explotación de energía geotérmica, debido a su alta actividad volcánica generada por la subducción de la placa tectónica de Nazca bajo la placa sudamericana. A pesar de esto, en el país dicha energía todavía no se ha explotado debi-

do a las aplicaciones de los recursos geotérmicos diversos, características de fluidos, el calor y la entalpía (Moreno et al, 2018).

Hidrógeno verde

No obstante, en el tema de las energías poco desarrolladas en el territorio se obtiene el hidrógeno verde, que ha sido recientemente estudiado e implementado en la historia de las ER existentes en el país. Es relativamente nuevo, tanto su estudio como desarrollo; este se trata de un combustible universal, ligero y muy reactivo pero, el hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza, sino combinado con otros elementos como el oxígeno, el carbono y el nitrógeno (Gutiérrez, 2005 citado en Kazimierski, 2021). Está presente en recursos como el agua, hidrocarburos, biomasa, sulfuro de hidrógeno y desechos antropogénicos (aguas residuales, desechos agrícolas, entre otros residuos que generan gases de vertedero por degradación anaerobia) (Kazimierski, 2021).

El grupo Ecopetrol, empresa de petróleo en Colombia, actualmente posee un proyecto piloto, que utiliza aguas industriales de la refinería para producir diariamente 20 kg de hidrógeno verde de alta pureza (99.999%). Esta prueba permitirá recopilar información sobre la operación, mantenimiento, confiabilidad y escalabilidad de las tecnologías utilizadas. Al finalizar el piloto en la refinería, se continuará con otras pruebas en las operaciones de la compañía, teniendo en cuenta que el objetivo principal del piloto es evaluar la viabilidad técnica y ambiental, así como el desempeño de la generación de hidrógeno verde en la refinería de Cartagena. También servirá para conocer el impacto en el uso de insumos como el agua y la potencia eléctrica (Grupo Ecopetrol, 2021).

A pesar de que hoy es una novedad la implementación del hidrógeno verde en Colombia, conociendo sus beneficios, se debe tener en cuenta que es lenta la entrada de esta nueva ER por sus altos costos de producción; sin embargo, el país cuenta con la capacidad de producir mediante otro tipo de tecnologías energías limpias.

En congruencia con lo anterior, en las tendencias que reflejan esta búsqueda de los consumidores de este tipo de energía, se destacan las ciudades que están integrando las ER en sus planes de ciudades en el país, como los proyectos energéticos comunitarios orientados a democratizar el acceso a las ventajas que ofrecen las ER, estén o no conectadas a la red, los mercados emergentes que lideran la incorporación de las ER en su transición hacia el desarrollo, y las empresas que amplían el alcance de sus compras de energías solar y eólica. Estas acciones conllevan a satisfacer las necesidades primordiales en el mercado en cuanto la oferta y la demanda de energía, en este caso no convencional, a la generación de empleo, al acceso equitativo de toda la sociedad a una fuente de energía a la producción y exportación de otros recursos como lo es este tipo de energía, y así a la contribución de un desarrollo económico y social verdaderamente importante en el país.

Resultados

El siguiente ejercicio se basa en dos artículos de investigación, en los que se analizan los costos de la generación de energía mediante fuentes renovables, en este caso solo se extrajo la información de la energía eólica, biomasa y solar para las cuales se realizó un supuesto con proyección a 20 años con año base 2012 para la eólica y biomasa y 2020 para la solar. El modelo del proyecto energía eólica y biomasa está apoyado

en la propuesta de la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) en el plan de expansión Generación - Transmisión 2010 - 2014 (Bueno et. al, 2016) por otro lado el proyecto de energía solar se sustenta en la factibilidad financiera de una instalación solar fotovoltaica, financiada mediante un contrato PPA (*Power Purchase Agreement*), entre un inversionista y una empresa del sector comercial (cliente) (Villegas & Espinal, 2020).

Los cálculos de los datos de la energía eólica y biomasa fueron analizados en base a tres escenarios que comprenden: 1. Generación eléctrica teniendo en cuenta las proyecciones de capacidad instalada de acuerdo con el Plan de Expansión gubernamental (2012 - 2024); 2. Generación incentivando la implementación de ER, específicamente eólica y biomasa; y 3. Incentivar la generación de la energía eólica

(Bueno et. al, 2016). En el proyecto de la instalación de energía solar fotovoltaica, su financiación se basa en el acuerdo de compra PPA, que trata de un contrato de compra de energía renovable donde el dueño de la infraestructura asume los costos de inversión, operación, mantenimiento e instalación, en las instalaciones del cliente, el mismo está sujeto a pagar una tarifa por energía consumida que es acordada a un costo menor al de la red eléctrica (Villegas & Espinal, 2020).

Cabe resaltar que en el ejercicio comparativo que se realizó de la energía eólica, la biomasa y la solar, se encuentra cierta discrepancia que es importante tener en cuenta al momento de análisis, ya que la energía eólica y la biomasa se desarrolla bajo un ejercicio de proyecto ambiental, mientras que el de la energía solar es un ejercicio dirigido a empresas u organizaciones.

Tabla 1.

Datos y supuestos del modelo energía eólica, biomasa y solar.

Descripción de supuestos	Datos		
	Eólica	Biomasa	Solar
Vida útil del modelo	20 años	20 años	20 años
Tasa de descuento	5%	105%	N/A
Capacidad acumulada	Año base 2012	Año base 2012	Año base 2020
Capacidad acumulada total para cada escenario en el año	16.325,7 MW (Mega watts)	16.325,7 MW	N/A
Productividad del panel solar	N/A	N/A	100%
Degradación anual del panel solar	N/A	N/A	0.55%
Disponibilidad anual panel solar	N/A	N/A	98%
Tamaño de la instalación - capacidad instalada	N/A	N/A	432.36 kWp

Nota: la información relacionada con N/A fue información difícil de encontrar en el mercado.

Fuente: Adaptación propia (2022) con datos de los documentos científicos Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema (Bueno et. al, 2016) y factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA (Villegas, & Espinal, 2020).

En la tabla 1 se muestra la capacidad acumulada de la energía eólica y biomasa al final de los 20 años (desde 2012 hasta 2031) que será de 16.325,7 MW para los tres escenarios, esto con el fin de que cualquiera supla la misma demanda (Bueno et. al, 2016). Entiéndase kWp como una unidad de medida de la capacidad de un sistema fotovoltaico para generar energía en su punto de máximo rendimiento (Villegas, & Espinal, 2020).

Tabla 2.

Costos y datos por tipo de energía seleccionada.

Descripción de supuestos	Datos		
	Eólica	Biomasa	Solar
Costo unitario de capital (USD/MW)	2,213,000	8,180,000	N/A
Costo unitario fijo (USD/MW)	72,720	1,454,40	N/A
Costo O&M Variable (USD/MW) dólares por Mega watt	10	17,49	N/A
Factor de capacidad	0.25	0.95	1
Tasa de Emisión (t CO ₂ /MW)	144	793	N/A
Paneles solares e inversores (USD)	N/A	N/A	178,109
Sistema solar fotovoltaico (USD)	N/A	N/A	255,361
IVA (USD)	N/A	N/A	48,436
Operación y mantenimiento (USD/kWp)	N/A	N/A	9,809,782
Total, costos	2,285,730	8,180,000	10,291,688

Nota: la información relacionada con N/A fue información poco sustentada en el mercado.

Fuente: Adaptación propia (2022) con datos de los documentos científicos Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema (Bueno et. al, 2016) y factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA (Villegas, & Espinal, 2020).

En la tabla 2 se muestran los costos asociados al supuesto que tiene cada tipo de energía, se realizó una conversión a dólares en el caso de la energía solar, el valor de la tasa de cambio utilizada fue de \$3,262.05 COP para el año 2020 en el mes de junio, entiéndase O&M como operación y mantenimiento, Co₂/Mw como la contaminación que se genera por capacidad de Mw (Mega watt unidad de potencia equivalente a un millón de vatios) y kWp como una unidad de medida de la capacidad de un sistema fotovoltaico para generar energía en su punto de máximo rendimiento.

Tabla 3.

Relación entre las energías según capacidad y costo total.

Rango de edad	Eólica	Biomasa	Solar	Biomasa	Solar
Capacidad	0.25	0.95	1	0.25	0.25
Costo total (USD)	\$ 2,285,730	\$ 8,180,000	\$ 10,291,688	\$ 2,152,632	\$ 2,572,922

Nota: Se relacionaron todas las energías con base a la capacidad de 2.5

Fuente: elaboración propia (2022) con datos de los documentos científicos: Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema (Bueno et. al, 2016) y factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA (Villegas, & Espinal, 2020).

En la tabla 3 se hace una relación con una capacidad de 0.25 para todas las energías partiendo de los costos totales ya mencionados en las tablas anteriores, a partir de ello se identificó que los costos generados sobre la misma capacidad son más bajos en la energía de biomasa.

Tabla 4.

Costo de energía por hora.

Tipo de energía	Costo Total (USD)	Capacidad total (MW)	Costo Total (USD/MWH)
Eólica	\$109,460,015.00	16,325.70	\$6,704.77
Biomasa	\$61,051,770.00	16,325.70	\$3,739.61
Solar	\$352,447.08	16,325.70	\$21.6

Fuente: elaboración propia (2022) con datos de los documentos científicos: Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema (Bueno et. al. 2016) y Factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA (Villegas, & Espinal, 2020).

En esta tabla se analizan los costos totales del escenario dos en el caso de la energía eólica y biomasa, el cual, fomenta la implementación de ambas energías; esta tabla permite calcular el costo de energía por hora de cada ER en la cual se evidencia que la energía con mayor rentabilidad en Colombia es la biomasa en relación con la eólica, ya que, en el mismo periodo de tiempo con la misma capacidad de producción de energía, se presentan costos por debajo de la energía comparada. En este caso es importante tener en cuenta que la energía de biomasa y la eólica tienen una posición igualitaria basadas en un ejercicio de proyecto a gran escala, mientras que en el caso de la información soportada para la energía solar es un ejercicio basado en empresa.

Conclusiones y discusiones

Las ER en Colombia poseen un gran potencial de explotación, y a pesar de que son empleadas, muchas de estas no son explotadas al máximo, pues existen pocos proyectos que inviertan en este tipo de energías, lo que genera que sus beneficios sean reducidos. De otro lado, se considera que el fomento del uso en el país de ER debería expandirse aprovechando el

conocimiento y las condiciones naturales que el territorio posee, dado que los ODS en el numeral trece, propenden que la energía renovable cree una fuente de mayor fuerza en un país, permitiendo satisfacer las condiciones climáticas y los daños ambientales que se presentan del mismo.

De acuerdo con los resultados, se evidencia que después de haber hecho una observancia de toda la información correspondiente a las energías, se hace una relación con la misma capacidad de 0,25 partiendo de los costos totales mencionados en las tablas. A partir de ello se identificó desde una regla de tres que los costos generados sobre la misma capacidad eran de \$2,285,730 USD para la energía eólica, \$2,152,632 USD para la biomasa y \$2,572,922 USD para la solar, concluyéndose que la energía que presenta mayor rentabilidad es la biomasa, en relación con las otras 2. Lo que permite evidenciar que la energía de biomasa es la que representa un menor costo según la capacidad.

En consecuencia, el nivel de empleo que generan las ER es amplia, ya que la construcción de un proyecto conlleva a la generación de diversos campos como los son el área de manteni-

miento, manufactura, instalación, entre otros; y estos permiten la oferta de nuevas vacantes laborales que contribuyen a la disminución del desempleo en una nación. Además, el hecho de que se esté trabajando por el incremento de aquellas actividades económicas que promulguen el mejoramiento ambiental genera una mayor atracción en el territorio para la inversión extranjera.

En efecto, pueden llegar a atender un bien de necesidad básica en espacios donde existe el difícil acceso de energía, como en espacios rurales en los que la mayoría de la población actualmente tiene acceso a ella de manera parcial o no la posee; por ejemplo, La Guajira con 81.960, Nariño con 36.264, Cauca con 32.275, Chocó con 29.559 y Valle del Cauca con 27.837.

Referencias

- Arango, A. y Cortés, S. (2017, abril - junio). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista ciencias estratégicas*, 25 (38). 375 - 390. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8035>
- Blessent, D., Lopez, I.J y Moreno, D.A. (2019 junio - febrero 2020). Geothermal Energy in Colombia as of 2018. *Ingeniería y universidad: engineering for development*, 24 (0). 2 - 27. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu24.geic>
- Bueno, M y Rodriguez, J. (2016 julio - diciembre). Análisis de costos de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en el sistema eléctrico colombiano. *Ingeniería y Desarrollo* 34 (2). 397 - 419. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.34.2.7282>
- Carro, F., Cortés, B., Martín, S. y Parra, R (2021). El papel del hidrógeno verde en la transición energética de la industria. *Revista DYNA*, 96 (2). 200 - 206. <https://www.revistadyna.com/inicio-dyna>
- Celsia, (2019). *Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia*. <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>
- Centro de Formación Lecciona. (2021). ¿Qué es la energía eólica? Infórmate sobre un sector de gran futuro en Colombia.
- Dolezal, A. Majano, A., Ochs A. y Palencia, R. (2013). *La Ruta hacia el Futuro para la Energía Renovable en Centroamérica*. [Archivo PDF].
- Endesa. (10 de enero del 2022). Energía de biomasa: qué es, cómo funciona y sus ventajas. <https://www.endesa.com/es/la-cara-e-centrales-electricas/energia-biomasa>
- Grupo Ecopetrol, (2021). *El Grupo Ecopetrol inició la producción de hidrógeno verde en Colombia*. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/el-grupo-ecopetrol-inicio-la-produccion-de-hidrogeno-verde-en-colombia>
- Gualteros, M. y Hurtado, E. (2013, agosto - septiembre). Implementación de proyectos en el marco de la utilización de energías renovables en Colombia. *Revista Ingeniería de los Recursos Naturales y el Ambiente*, (12). 101 - 107.
- Kazimierski, M. (2021 marzo - julio). Hidrógeno verde en Argentina ¿un nuevo orden extractivo? *Revista Huellas*, 25 (2). 104

- Medina, S. y Vanegas, A. (2018). Energías renovables. Un futuro óptimo para Colombia. *Revista Punto de Vista*, 9 (13). 1 - 16.
- Portal Único del Estado Colombiano. (29 de mayo de 2020). Colombia es el país de América Latina con mayores avances hacia la transición energética, según el Foro Económico Mundial.
- Robles, C. y Rodríguez, O. (2018, marzo - abril). Un panorama de las energías renovables en el mundo, Latinoamérica y Colombia. *Revista espacios*, 39 (34). 10 - 26.
- Robles, C. y Rodríguez, O. (2018, marzo - abril). Un panorama de las energías renovables en el mundo, Latinoamérica y Colombia. *Revista espacios*, 39 (34). 10 - 26.
- Ruiz Graus, K. y Sánchez Sánchez, A. (2021) "*Hidrógeno, el futuro de la sostenibilidad, una revisión sistemática de la realidad internacional en la última década - 2021*." [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional UCV.
- Sistema de información eléctrico (2018). *índice de Cobertura de Energía Eléctrica* <http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturaDelSistemaInterconectadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx>
- Valenzuela, F. (2011 abril - julio). Energía Geotérmica y su Implementación en Chile. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 7 (1). 1 - 9.
- Villegas, M. A y Espinal L. J. (2020). *Factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA* [Tesis de Maestría, Universidad EAFIT]. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/24825/LeidyJohana_EspinalZapata_MayraAlejandra_VillegasMachado_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y