

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA - PROGRAMA GERENCIA DE PROYECTOS

**Evaluación técnica y económica de implementación de fuentes renovables para  
generación de energía eléctrica en la planta de producción de elementos de aseo en  
Cundinamarca**

AUTORES

JENNY PAOLA ACUÑA ROJAS

DAVID FELIPE BAJONERO SANDOVAL

JULIO SAMUEL PULIDO LEÓN

SEBASTIÁN ARIAS URIBE

GRUPO 3

BOGOTÁ D.C

2020

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>2</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:</b> .....	3
2.1	Antecedentes .....	3
2.2	Formulación del problema .....	6
<b>3</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	6
3.1	Objetivos Específicos.....	6
<b>4</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	7
<b>5</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	9
5.1.1	Ámbito Político .....	10
5.1.2	Ámbito Económico .....	11
5.1.3	Análisis Legal.....	14
5.1.4	Análisis Tecnológico.....	16
5.1.5	Análisis social .....	17
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA GENERAL</b> .....	20
6.1	Recolección y análisis de información .....	36
6.2	Procesamiento de datos.....	37
6.3	Diagnóstico de la información y selección de fuente .....	37
6.4	Resultados .....	38
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	42
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	45

### LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Generación de energía eléctrica en Colombia ACOLGEN.....	18
Figura 2. Mapa sistema de transmisión nacional STN UPME .....	19
Figura 3. Velocidades del viento presentes en Colombia.....	28
Figura 4. Brisas de mar, brisas de montañas y valles .....	29
Figura 5. Velocidades del viento presentes en Colombia.....	29
Figura 6. Esquema de aerogenerador .....	30
Figura 7. Promedios mensuales de radiación solar diaria .....	34
Figura 8. Valores promedio anual kWh/m <sup>2</sup> día base de datos Meteonorm .....	35
Figura 9. Plano de implantación de paneles solares en áreas disponibles .....	39

### LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Factor de residuos en Cundinamarca.....	24
Tabla 2. Poder calorífico para biomasa .....	25
Tabla 3. Potencia del viento según velocidades .....	31
Tabla 4. Estaciones meteorológicas disponibles en Cundinamarca .....	33
Tabla 5. Valores promedio anual kWh/m <sup>2</sup> día estación Nemocón.....	34
Tabla 6. Valores promedio kWh/m <sup>2</sup> día estación Nemocón.....	35
Tabla 7. Características planta solar .....	39
Tabla 8. Balances y resultados principales .....	41
Tabla 9. Costos aproximados de instalación y mano de obra de la planta solar .....	42

## **LISTADO DE ANEXOS**

Anexo 1. Barreras identificables y priorizadas en el caso de la cogeneración por biomasa

Anexo 2. Consumos anuales planta de referencia

Anexo 3. Componentes técnicos de los paneles solares

Anexo 4. Cálculo de energía producida y CO<sub>2</sub> no emitido

## 1 RESUMEN

Los altos niveles de contaminación a nivel mundial requieren de la toma de medidas inmediatas para frenar el detrimento ambiental, parte de las emisiones causantes del deterioro del aire que se respira a diario, “es causado por las emisiones de la industria, el transporte y la generación de energía eléctrica” (United Nations Clima Changed, s.f.), La exploración de fuentes no convencionales de energía, es una de las medidas que busca mitigar el daño ambiental que ya se ha hecho al planeta desde la revolución industrial (Marquardt.B, Historia de la sostenibilidad, 2006, pág. 32) y que está afectando directamente a la salud de los seres humanos. La implementación de soluciones de generación a partir de energías renovables, ha servido como medidas para reducir la emisión de gases efecto invernadero a nivel industrial ayudado a empresas a reducir gastos de factura de energía, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles e incluso de la red pública.

La presente investigación muestra la evaluación del potencial energético con el que cuenta la región de Cundinamarca en cuanto energías renovables se refiere para validar los beneficios económicos, ambientales y legales que traería para la empresa, la implementación de una planta de energía no convencional que se acople a su actual sistema de generación eléctrica basada en carbón.

**Palabras clave:** Energía no convencional, potencial energético, beneficios ambientales, beneficios económicos.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

### 2.1 Antecedentes

La contaminación del aire es un problema que empezó a ser notorio a finales del siglo XIX con la revolución industrial, según Bernd Marquardt director de investigación de la Universidad Nacional, este periodo provocó un aumento en la emisión de los gases efecto invernadero debido a que, “empezó un modelo económico muy diferente a toda la historia conocida, que quemó hasta la atmósfera terrestre en un año aquellos portadores de energía fósil que habían crecido en millones de años, sin comprender las consecuencias ni mucho menos controlarlas”, (Marquardt.B, 2009, pág. 32), de esta manera según el mismo autor, en su libro “Historia de la sostenibilidad un concepto medioambiental en la historia Europea central”, la sustitución de producción de energía limpia a la quema de carbón proporcionó a la humanidad una fuente inmensurable de energía que “(cambio) la alimentación humana, de una falta a una abundancia de comida, propiciando el crecimiento más grande y rápido de la población mundial desde el origen de la humanidad.” (Marquardt.B, 2006, pág. 191).

En la actualidad, la contaminación en la atmósfera por los gases efecto invernadero siguen en aumento. Según publicación realizada por la Organización Mundial de la Salud “Estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación de aire y sus repercusiones”, las principales causas de contaminación al aire se relacionan “con los modos ineficientes de transporte, la quema de combustible en los hogares y la quema de desechos, las centrales eléctricas y las actividades industriales”; trayendo consigo consecuencias en la salud de las personas, y provocando de esta manera “alrededor de 3 millones de muertes al año relacionadas con la exposición a la contaminación de aire (en) exteriores”. (OMS, 2016, pág. 3).

Las medidas para mitigar la contaminación y proteger al medio ambiente se han hecho notorias desde la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático realizada en el año de 1992, en el cual se fijó como objetivo lograr “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático” (Naciones Unidas, United Nations Climate Change, 1992). Luego de este acuerdo, para 1998 países como Japón y la Unión Europea firman el protocolo de Kioto, y se comprometen a:

“Reducir el total de sus emisiones de gases de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos (PFC), y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012”. (Naciones Unidas, 1998, pág. 15).

Por otro lado, de las políticas más recientes a nivel mundial, se contempla el acuerdo de París firmado en 2015, el cual “tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza” (Naciones Unidas, 2015, pág. 4).

Países como China, principal proponente del acuerdo de París y emisor del 26.8 % de gases efecto invernadero en el mundo según informe *The Truth Behind the Climate Pledges* (Watson, 2019), ha sido el país con mayor inversión en este sector, pues según comunicado de prensa publicado por la Organización de las Naciones Unidas programa para el medio ambiente (ONU, 2019, pág. 3) “China ha sido, con mucho, el mayor inversor en capacidad de energías renovables durante esta década, con un balance de US\$ 758.000 millones entre 2010 y la primera mitad de 2019. Le siguen Estados Unidos, con US\$ 356.000 millones, y Japón, con US\$ 202.000 millones”, aunque sigue estando lejos de cumplir con las metas

establecidas para 2030 en el acuerdo de París, muchas de estas iniciativas se han convertido en referentes para países como Colombia, pues este gobierno busca por medio de la Ley 1715 de 2014 “promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable” por medio de instrumentos como la anulación de impuestos, asesorías, estímulos en la investigación y el desarrollo, entre otros, y así ofrecer una amplia gama de fuentes de generación de energía en la nación (Congreso de la República de Colombia, 2014, pág. 7).

En Colombia la fuente de energía más importante, según informe publicado por el operador de sistema interconectado (SIN) XM, está dada por el sistema hidráulico, el cual representa un 63.8 %, seguido por la quema de carbón con un 31 % y finalmente otras fuentes no convencionales con el 5%, (XM, 2015, pág. 3).

Grandes empresas de producción en Cundinamarca, que se dedican a la producción de elementos del cuidado del hogar, pertenecen a ese grupo del 31% de compañías que producen su propia energía mediante la quema de carbón. En la actualidad, debido a su producción en masa, la compañía cuenta con su propia planta, sin embargo, teniendo en cuenta los objetivos de la Ley 1715 del 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014, pág. 7) el cual es diversificar la matriz energética (fuentes de generación de energía) de Colombia, la presente investigación, tiene como finalidad determinar y evaluar que tan viable es para la empresa desde lo técnico y económico, desarrollar una fuente de energía renovable complementaria a la existente, que permita reducir sus emisiones de gases efecto invernadero y cumplir con los objetivos propuestos por dicha Ley.

## 2.2 Formulación del problema

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se puede concluir que el uso de energía eléctrica es una necesidad que todas las empresas presentan como uno de sus gastos críticos, para esto recurren a proyectos de mejora en la implementación de soluciones que permitan la disminución de ese gasto.

¿Cuáles son las oportunidades técnicas y económicas de implementar fuentes de energía renovables, en la planta de producción, que permita disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la misma?

## 3 OBJETIVO GENERAL

Identificar cuál de las fuentes renovables de generación eléctrica disponibles en la zona, para determinar la viabilidad técnica y económica y su posterior implementación en la planta de producción.

### 3.1 Objetivos Específicos

- Analizar el potencial de energías renovables para generación eléctrica, con el fin de seleccionar la fuente más viable que permita disminuir la emisión de gases de efecto invernadero sin comprometer la actividad diaria de la compañía.

- Seleccionar la fuente renovable más viable en la región donde se encuentra ubicada la planta de producción, para realizar su evaluación económica y técnica.

- Determinar los beneficios técnicos, económicos, sociales, que tendría la eventual implementación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía.

- Presentar una propuesta de optimización de recursos energéticos con efectos sociales, culturales y ambientales a partir de la implementación de una cadena energética diferente a la empleada hasta la fecha.

#### 4 JUSTIFICACIÓN

Según el Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-HABITAT), las ciudades son unos de los factores que más contribuyen al cambio climático, consumiendo el 78% de la energía mundial y produciendo más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero (United Nations Clima Changed, s.f.). Teniendo en cuenta el quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), afirma que las actividades humanas de los últimos 50 años han contribuido al calentamiento global, por actividades como la quema de carbón, petróleo, gas, la deforestación y la agricultura. (Core Writing Team, RK Pachauri, LA Meyer, 2014)

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire, los países pueden reducir la carga de morbilidad, al igual con la reducción de factores de riesgo asociados a los problemas asociados como lo son el EPOC, asma, infecciones agudas del tracto respiratorio inferior, tuberculosis y cáncer de pulmón (Organización Mundial de la Salud, 2017)

El informe del (IPCC) asegura que las emisiones de gases de efecto invernadero de la Unión Europea (UE-28) “tienen su principal origen en la generación de energía con una participación del 80.7%, seguido del transporte con un 27%. Las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura contribuyen con un 10,1%, los procesos industriales y el uso de productos con un 8,72% y la gestión de residuos con un 2,75%.” (Parlamento Europeo, 2018)

Una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial es ocasionada por la contaminación del aire. Estos fenómenos tuvieron efectos asociados a 10.527 muertes y 67.8 millones síntomas y enfermedades respiratorias según el departamento nacional de planeación. (Departamento Nacional de Planeación, 2017)

Según los últimos informes del aire, elaborados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, denotan que la sustancia contaminante con mayor potencial para afectar al territorio es el material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5), constituido por partículas pequeñas producidas por vehículos pesados que utilizan diésel como combustible (IDEAM, Calidad del aire , s.f.).

Durante el 2018 se vivió una leve mejoría en la generación de las energías renovables comparado con el 2017, pues fueron instalados un total de 181 Gigawatts (GW), lo que derivó en un crecimiento en los países participantes, complementando un total de 2378 GW instalados. Todo esto gracias a una nueva generación de tecnologías y políticas estables que han permitido que los costos y la generación sea cada vez más competitiva comparado con la generación de la energía térmica convencional (REN21, 2019)

Con la implementación de este proyecto se pretende evaluar técnica y económicamente las opciones para la disminución de la huella de carbono emitida por la compañía a través de la implementación de fuentes de generación no convencional de energía eléctrica, como lo es la energía solar siendo esta una energía limpia e inagotable.

Esta evaluación permitirá identificar las necesidades energéticas que requiere la organización para la elaboración de una oferta económica y técnica, requerida para la

construcción y puesta en marcha de una nueva planta solar y su sincronización con las unidades existentes.

Esta investigación está enmarcada en el campo de la ciencia, tecnología e innovación, ya que se plantea buscar una solución energética en una organización que beneficie no solo a su propietario, sino que ayuda a la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al daño ambiental y al calentamiento global. La investigación plantea explorar opciones tecnológicas que vienen en auge y se adaptan a las nuevas tendencias sostenibles a las que el mundo está migrando. Las energías renovables no solo pueden ser usadas en Colombia por sus beneficios ambientales pues también puede ser aplicada como solución a los problemas sociales que actualmente sufren gran cantidad de comunidades en Colombia al no contar con servicio de energía eléctrica estable.

## **5 MARCO TEÓRICO**

El mundo está viviendo una serie de avances tecnológicos que han promulgado el desarrollo de las sociedades, sin embargo, este desarrollo se ha debido en gran manera a la explotación excesiva de diferentes tipos de recursos naturales. “ofreciendo al hombre comodidades otorgándole un estilo de vida que difícilmente cambiará” (Ortiz M, Sabogal A, & H Aguirre, 2012, pág. 56). Estas tendencias de consumo, han provocado mayor demanda y por consiguiente mayor producción de energía que según el Parlamento Europeo, representan más del 80% de las emisiones de gases del efecto invernadero, (Parlamento Europeo, 2018).

Dentro del contexto de la presente investigación, la empresa, se convierte automáticamente en emisor de ese 80% de gases contaminantes. Es por este motivo que el presente capítulo, tiene por objeto, conocer la viabilidad de implementar fuentes de energía

renovables en la compañía ubicada en el departamento de Cundinamarca, analizando las diferentes posturas en el entorno nacional e internacional, desde el ámbito político, económico, social tecnológico y legal, para determinar las fortalezas y debilidades encontradas en estos sectores en cuanto a tecnologías renovables se refiere.

### 5.1.1 Ámbito Político

Dentro del contexto global, se puede observar que en la actualidad, existe una creciente preocupación por parte de las naciones en reducir de manera significativa la huella de carbono que tanto aqueja a la humanidad, pues según el informe “Un Análisis Comparativo De La Transición Energética En América Latina Y Europa” realizado por el centro de investigación de energía FGV, muestra que “la generación de electricidad, las energías renovables atrajeron más del doble de los USD 130 mil millones invertidos en combustibles fósiles en 2015.” (FGV ENERGIA,, s.f, pág. 10).

Países como China principal contaminador del aire en el mundo, han decidido invertir en energías renovables más US\$ 758.000 millones entre 2010 y la primera mitad de 2019 (ONU, 2019, pág. 3), aunque es un panorama alentador, la preferencia de los países en el mundo, por la generación de energía fósil no deja de ser notoria, pues según el mismo informe este comportamiento se debe a principalmente a “los menores niveles de precios del petróleo (que) vienen ofreciendo una oportunidad de reducción de los subsidios a combustibles en distintos países” (FGV ENERGIA,, s.f).

Según la UPME, en su informe “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia” la nación “cuenta con una amplia participación de la energía hidroeléctrica” (UPME, 2015, pág. 4). No obstante, la dependencia de las fuentes no

renovables sigue siendo la fuente principal de sustento para muchas poblaciones principalmente costeras del territorio nacional, esta afirmación, es respaldada con la investigación de la docente Mercedes Bayona denominada producción de carbón y crecimiento económico en la región del Caribe colombiano, en la cual establece que “el carbón térmico concentra el mayor valor del PIB en Cesar (42 %) y La Guajira (54 %)” (Velásquez M, 2015, pág. 3).

Hoy en día, el gobierno nacional ha lanzado políticas para tratar que regiones como el Caribe Colombiano obtengan una mayor diversificación en sus recursos energéticos. Entre ellos está la fácil financiación de proyectos de esta índole, ya que, según José Antonio Ocampo economista y político colombiano, “En cuanto a las finanzas verdes, todos los BND han sido incorporados en las políticas de crecimiento verde impulsadas por el gobierno nacional”, (BND, s.f, pág. 2) convirtiendo al sector en un fuerte atractivo para muchos inversionistas y grandes empresas.

Durante 2018 se vivió una leve mejoría en la generación de las energías renovables comparados con 2017, pues fueron instalados un total de 181 Giga watts (GW), lo que derivó en un crecimiento en los países participantes, complementando un total de 2378 GW instalados. Todo esto gracias a una nueva generación de tecnologías y políticas estables que han permitido que los costos y la generación sea cada vez más competitiva comparado con la generación de energía térmica convencional (REN21, 2019, pág. 17).

### 5.1.2 Ámbito Económico

Los incentivos económicos por parte de los gobiernos hacia el sector de las energías renovables, nacen como respuesta “a los acuerdos establecidos en el marco de las

Convenciones Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” en el cual se establecen objetivos claros en cuanto la reducción de emisiones gases efecto invernadero con el fin de evitar el aumento de la temperatura del planeta y preservar de esta manera la vida humana.” (ONU, 2019).

La historia de estas iniciativas tiene como inicio, la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático realizada en el año de 1992 en el cual se fijó como objetivo lograr “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera a un nivel que impida interferencias antropógenos peligrosas en el sistema climático” (Naciones Unidas, United Nations Climate Change, 1992).

En segundo lugar, para 1998 llega el Protocoló de Kioto, países como Japón firman este acuerdo, y se comprometen a:

“Reducir el total de sus emisiones de gases de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos (PFC), y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012”. (Naciones Unidas, 1998, pág. 15).

En tercer lugar, se logra identificar el Acuerdo de París firmado en 2015, el cual “tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza” (Naciones Unidas, 2015, pág. 4). En esta convención, tuvo como objetivo adicional el invitar a 55 de los países más contaminantes que representan al “menos el 55% de las emisiones mundiales a crear políticas que mitiguen las emisiones de gases efecto invernadero hacia la atmosfera y de esta manera mantener la temperatura del mundo en 1,5 °C” (Naciones Unidas, 2015).

Como consecuencia positiva al Acuerdo de Paris, según el informe de REN21, la porción de producción de energía por medios renovables en el mundo está alrededor del 26% sobre la matriz energética global a finales de 2018, gracias a que por cuarto año consecutivo la inversión neta de los países fue mayor al periodo inmediatamente anterior, y para finales de 2019 se estima que la capacidad instalada será de un tercio del consumo mundial (REN21, 2019, pág. 28).

Según el Ministro de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, el señor Gabriel Vallejo López, durante la Cumbre de París, “Colombia aporta el 0.46% de las emisiones globales hacia la atmósfera, cifra que es bastante preocupante pues si no se toma ninguna acción correctiva se podrían aumentar en 50% estas emisiones para el año 2030” (Vallejo L, Lou H, & Escoba M, 2016, pág. 4) Según informa el ministro, en 2015, Colombia se comprometió a una reducción progresiva de sus emisiones en un 20%, para el 2030, inclusive se compromete a 30% si logra colaboración y ayuda internacional. (Vallejo L, Lou H, & Escoba M, 2016, pág. 4).

Dentro de los fomentos económicos que ha tomado el Gobierno Nacional para incentivar la inversión por parte de las personas y organizaciones, están entre otras, la exclusión de bienes y servicios del impuesto del IVA, a través del artículo 12 de la Ley 1715 de 2014, la extensión de gravámenes arancelarios. De forma simultánea el artículo 13 de la Ley 1715 de 2014 y el del Decreto 2143 de 2015, establece que: “Las personas naturales o jurídicas que a partir de la vigencia de la presente ley sean titulares de inversiones en nuevos proyectos de FNCE gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para

labores de pre-inversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes” (Congreso de la República de Colombia, 2014, pág. 12).

### 5.1.3 Análisis Legal

Roa y Caicedo (Roa & Caicedo, 2018) en su estudio titulado “Viabilidad técnico – financiera para la generación de energía eléctrica, con un sistema solar fotovoltaico interconectado al sistema eléctrico de la ciudad de Leticia - Amazonas, en el marco de la Resolución CREG 076 de 2016” afirman que “El Gobierno de Colombia tiene un alto interés por el desarrollo de proyectos relacionados con sistemas de energía eléctrica que sean autosuficientes y sostenibles en el tiempo, mediante la integración rentable de energías renovables y la diversificación de la matriz eléctrica del Sistema Interconectado Nacional y de Zonas No Interconectadas” pues lo visualiza con una posible solución de raíz teniendo en cuenta que al menos 95 municipios a nivel nacional, según el IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas), no hacen parte del sistema interconectado nacional y por ende, cuentan con un servicio eléctrico deficiente y con altos costos (Roa & Caicedo, 2018).

Para lograr estas metas propuestas, el Gobierno Nacional a través del Decreto 1623 de 2015 expedido por el Ministerio de Minas y Energía, establece: “los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas” (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

De manera paralela, la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG – en su Resolución 038 de 2018 delimita las actividades de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en dichas

zonas. (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018). Así mismo la, Resolución CREG 024 de 2015 regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional – SIN (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2015).

Finalmente, la CREG estableció por medio de la Resolución 030 de 2018 la regulación de todas las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional.

La búsqueda de soluciones para fomentar el cuidado del medio ambiente a través de generación de energías de manera no convencional, y a su vez enriquecer el portafolio de generación de energía eléctrica en Colombia, se hace desde el Congreso de la República, quien tiene establecido dentro de sus funciones la expedición de leyes como parte de sus funciones legislativas (Congreso de la República de Colombia, 2019).

En el marco legislativo de la generación de energía por medio de recursos no convencionales, el Congreso ha expedido una serie de normatividades para regular, y establecer todo un marco jurídico a nivel nacional, de manera que los terceros puedan desarrollar sus proyectos bajo este marco legal. En el año 2014, el Congreso de la República aprobó la Ley 1715 de 2014, “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”. Por medio de esta Ley, el Congreso busca expedir un marco normativo para la promoción, regulación, control y desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable en Colombia (Estudio Legal Hernandez, 2019).

#### 5.1.4 Análisis Tecnológico

##### 5.1.4.1 Energías Renovables

Las fuentes de energía pueden clasificarse según su plazo de producción, dividiéndose entonces en renovables y no renovables. CorpoEma clasificó en el “plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia” a las energías no renovables como aquellas que se agotarán en algún momento en el futuro, tal como los combustibles de origen fósil y la nuclear (petróleo, gas, carbón, nuclear). Las renovables por su parte son aquellas que se renuevan de forma natural (hidro-energía, solar, eólica, biomasa, geotermia, mares, etc.). (CorpoEma, 2010).

##### 5.1.4.1.1 Energía Solar

La energía solar fotovoltaica permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integradas en paneles solares elaborados con silicio. Este método de generación con energía solar se da gracias a sistema solar fotovoltaico, que puede agruparse en tres grandes tipologías según los componentes, la configuración y la forma de conexión a la red eléctrica: sistemas fotovoltaicos autónomos, sistemas híbridos o mixtos, y sistemas conectados a la red (Cantillo & Daza, 2012).

##### 5.1.4.1.1 Energía Eólica

El viento, que es el recurso principal para la explotación de la energía eólica, está presente en toda masa de aire en movimiento desde áreas de altas presiones atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, estas aparecen como resultado de las diferencias de temperatura de la superficie terrestre (Acevedo & Rojas, 2017). La energía eólica es un campo de investigación interdisciplinario en crecimiento que usa las turbinas eólicas para

convertir la energía presente en el viento desde la energía mecánica rotatoria a energía eléctrica (Bajonero & Sanabria, 2016).

#### 5.1.4.1.1 Energía Biomasa

La generación a partir de biomasa es la que se da al aprovechar el poder calorífico de residuos orgánicos, como maderas, cascara de frutas y plantas debido a su proceso de fotosíntesis, que al quemarse liberaran la energía acumulada. La biomasa puede obtenerse de restos de forestales, de las industrias de la madera, de los residuos de explotaciones agrícolas, de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, en general, de cualquier producto de origen orgánico del cual se pueda aprovechar un potencial energético (Lara & Acevedo, 2019).

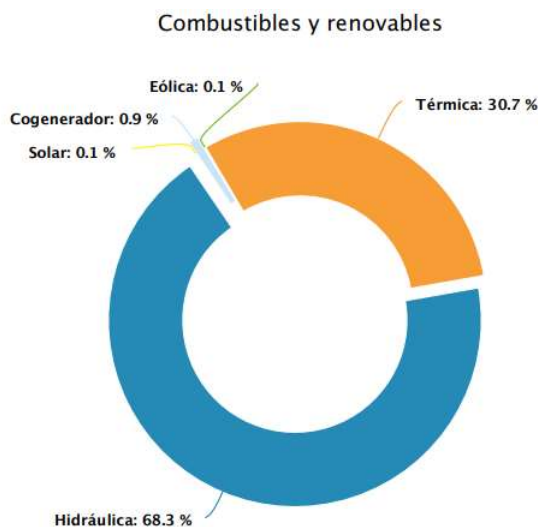
#### 5.1.4.1.1 Energía Hidráulica

Una central hidroeléctrica es una instalación que permite el aprovechamiento de las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos, para transformarlas en energía eléctrica por medio de elementos acoplados que sirvan en el proceso de conversión (turbinas y generadores) Para ser categorizadas como fuentes de energía renovable, las aguas utilizadas en este proceso son devueltas al cauce del río para que este siga su curso natural (Acevedo V, 2017).

### 5.1.5 Análisis social

#### 5.1.5.1 Sistema eléctrico colombiano

Colombia tiene un portafolio de generación eléctrica de los más limpios del mundo según XM (Expertos en mercado energético y operador del sistema interconectado nacional). A diciembre de 2018, la capacidad instalada de generación en el Sistema Interconectado Nacional fue de 17.312 Mega-watts (MW).



*Figura 1. Generación de energía eléctrica en Colombia ACOLGEN*

Según datos de Acolgen (Asociación Colombiana de Generadores, por sus siglas) de esta capacidad instalada, como se puede ver en la Figura 1, el 68,3% correspondió a generación hidráulica, casi el 30% a generación térmica (13,3% con gas natural, 7,8% con combustibles líquidos y 9,5% con carbón) y aproximadamente el 1% con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) (eólica, solar, y biomasa). Sin embargo, aunque las centrales hidroeléctricas puedan ser catalogadas como “energía renovable” tienen grandes consecuencias ambientales, como las que expone García Cano en “Diseño de una metodología de evaluación de impacto ambiental en centrales hidroeléctricas en Colombia. Caso de estudio proyecto El Quimbo”. Consecuencias como el flujo lento que ocasiona falta de oxígeno en el agua, desplazamiento de comunidades, inundaciones entre otras (García K, 2016), hacen pensar que es momento que el país empiece a buscar nuevas alternativas de generación.

Por lo anteriormente descrito la política energética en Colombia tiene mucho por mejorar y tiene un gran espacio para la exploración y desarrollo de proyectos de energía renovable. Según la definición de la UPME en el plan de expansión y generación. El objetivo

general de una política energética debería ser lograr el abastecimiento interno y externo de energía de manera eficiente, con el mínimo impacto (UPME, 2015).

El sistema eléctrico colombiano no supe las necesidades energéticas de todo el país, este se divide en dos partes, ver Figura 2; el SIN (Sistema Interconectado Nacional) y las ZNI (Zonas no interconectadas) donde este último grupo lo componen, según el IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas), 18 departamentos, que no cuenta con un servicio óptimo de energía eléctrica, la calidad es deficiente y en la mayoría de los casos el servicio es nulo, afectando directamente la calidad de vida de las personas que habitan en los casi 95 municipios de Colombia que integran esa zona, perjudicando directamente las oportunidades laborales y de educación de estas zonas del país (Roa & Caicedo, 2018).



*Figura 2. Mapa sistema de transmisión nacional STN UPME*

Cundinamarca hace parte de los departamentos que cuenta con suministro del servicio eléctrico proveniente del SIN y, por tanto, a pesar de no tener la necesidad de explorar cuenta con un gran potencial renovable que puede ser explotado. Ubicado en el centro de Colombia, según el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) sin contar a Bogotá cuenta con una extensión de 22.605 km<sup>2</sup>, una población al año 2018 de 2.804.238 habitantes y un total de 116 municipios, la secretaría de desarrollo económico define a la región Bogotá-Cundinamarca como el motor de la economía colombiana, representando el 30 % del Producto Interno Bruto del país gracias a su diversidad económica.

## **6 METODOLOGÍA GENERAL**

El desarrollo metodológico del presente documento, se realizó teniendo en cuenta los niveles de investigación descritos por el doctor José Supo en su libro “Niveles de investigación”, con el fin de demarcar claramente el alcance del mismo y orientar al lector hacia el rumbo que se pretende dar a esta publicación.

En este orden ideas, se observa que la presente investigación se enmarca dentro del campo de la investigación teórica, ya que la misma “tiene por objetivo la generación de conocimiento, sin importar su aplicación práctica. En este caso, se recurre a la recolección de datos para generar nuevos conceptos generales” (José Supo, s.f).

Dentro del subsiguiente nivel propuesto por el autor, se evidencia que el documento, se enmarca dentro de una investigación de tipo exploratorio, debido a que la recolección de datos que se llevará a cabo, tiene como finalidad entregar una primera aproximación a la solución técnica y económica más favorable del problema planteado, otorgando en este sentido, un insumo tangible para futuras investigaciones.

No obstante, es importante aclarar que el alcance del presente escrito, se delimita a una investigación cualitativa, debido a que solo se considera la recolección de información por medio de fuentes secundarias, sin realizar entrevistas, ni experimentos, pues estas actividades se llevarán a cabo en trabajos posteriores a esta investigación.

Por otro lado, se considera que la información más relevante para establecer si el tipo de tecnología estudiada cumple con los requisitos mínimos para generar energía en la zona de estudio, son datos recolectados en periodos no mayores a un año, ya que de esta manera se tendrá datos más acertados a los recursos disponibles en el sector de intervención.

Finalmente, con base en la información recolectada y la experticia profesional de los autores de la presente investigación, se plantea una hipótesis deductiva, en la cual se recomendará la tecnología que más se adapte a las condiciones técnicas y económicas de la organización estudiada.

A partir del planteamiento del problema y la investigación del entorno técnico, social y político en el ámbito de las energías renovables y sus antecedentes, en el cual se encuentra Colombia, concretamente Cundinamarca; lugar donde se encuentra ubicada la planta seleccionada, se procede a obtener los datos necesarios para la cuantificación del potencial energético de la región de interés y la información técnica necesaria, para determinar cuál podría ser la mejor opción de generación que complemente el actual sistema con el que cuenta la planta.

La planta de producción de productos de aseo objeto de esta investigación queda ubicada en el departamento de Cundinamarca. Este se encuentra ubicado en la parte central del país, localizado entre los 03°40'14'' y 05°50'11'' de latitud norte y los 73°03'08'' y

74°53'35'' de longitud oeste. Cuenta con una superficie de 24.210 km<sup>2</sup> lo que representa el 2.12 % del territorio nacional. Limita por el norte con el departamento de Boyacá; por el este con los departamentos de Boyacá y Meta; por el sur con los departamentos de Meta, Huila y Tolima, y por el oeste con el río Magdalena, que lo separa de los departamentos de Tolima y Caldas. Presenta un relieve variado de planicies, montañas, colinas, con alturas que van desde los 300 a los 3.500 msnm”. (Gobernación de Cundinamarca, 2010).

El objetivo entonces es realizar una recopilación de información mediante fuentes secundarias para cuantificar el potencial de energías renovables presentes en la región de interés.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de materia primas y de tecnologías disponibles en Cundinamarca, se decide analizar las siguientes fuentes energéticas, basados en la eficiencia de las tecnologías ofrecidas en el mercado y la disponibilidad de estas en la región; la biomasa, la energía eólica y la energía solar.

La biomasa según Acevedo y Rojas (Acevedo Torres & Rojas Quiroga, 2017), integrantes del Laboratorio de Investigación de Fuentes Alternativas de Energía (LIFAE); grupo de investigación adscrito a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de la ciudad de Bogotá, se define como “la energía almacenada en maderas, cáscaras, plantas, y otros residuos orgánicos, debido al proceso de fotosíntesis de las plantas, que al quemarse liberaran la energía acumulada” (Acevedo Torres & Rojas Quiroga, 2017), donde también asegura que “se obtiene de los restos de aprovechamientos forestales, de los productos agrícolas, de residuos sólidos urbanos, y en general; de cualquier producto de origen orgánico del cual se pueda aprovechar un potencial energético” (Acevedo Torres & Rojas Quiroga, 2017).

Si bien es cierto que la ventaja que se tiene con los productos para generación de biomasa es la predictibilidad de la disposición y concentración que puedan asegurar el suministro constante (BESEL S.A., 2007), también es cierto que la gran dificultad que presentan los cultivos de productos agrícolas son los climas fríos y las variaciones del clima (Secretaría de Agricultura de Cundinamarca, 2017), pues según el informe publicado por la Gobernación de Cundinamarca, para el año 2017, las regiones que contaban con mayor área sembrada en cultivos aprovechables de biomasa son Anapoima, Choachí, Chocontá, Facatativá, entre otros (Secretaría de Agricultura de Cundinamarca, 2017), donde predomina el clima cálido y de lluvias moderadas. La Tabla 1 muestra la disponibilidad de los productos por municipio para el año 2017 en Cundinamarca.

De igual manera, en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, publicado por Colciencias, se establecen los tipos de cultivos con mayor valor energético para obtener el máximo provecho del proceso de generación de energía (Colciencias, 2010). Dentro de este informe se establece que estos cultivos son: café, caña panelera, caña de azúcar, palma de aceite, banano y cereales (maíz, arroz).

El Instituto Europeo de Investigación Sostenible, SERI por sus siglas en inglés; en su publicación “Unused Biomass extraction in agriculture, forestry and fishery”, publicó los resultados que nos permite conocer el factor de residuo (RPR), que lo define como “la relación existente entre la cantidad de residuos producidos y la cantidad de producto principal obtenido de la cosecha” (Jölli & Giljum, 2005).

Tabla 1. Factor de residuos en Cundinamarca

FACTOR DE RESIDUO DE CULTIVOS MÁS RELEVANTES		
CULTIVO	TIPO DE RESIDUO	FACTOR DE RESIDUO
Palma de aceite	Raquis	1,06
Caña de azúcar	Hojas y cogollo	3,26
Caña panelera	Hojas y cogollo	3,75
Café	Hojas y tallo	3,02
	Rastrojo	0,93
Maíz	Tusa	0,27
	Capacho	0,21
Arroz	Tamo	2,35
	Raquis	1
Banano	Vástago	5

Fuente: Estadísticas Agropecuarias 2016 y 2017 - Secretaría de Agricultura de Cundinamarca

Según el informe "Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad", publicado por el Centro Tecnológico Agrario y Alimentario (ITAGRA) de la Universidad de Valladolid, en España, define el poder calorífico como "la energía disponible en la biomasa y es expresada como la cantidad de energía por unidad física (J/kg)", a la vez que afirma que "esta energía es la que se libera en forma de calor cuando la biomasa es quemada" (Centro Tecnológico Agrario y Alimentario (ITAGRA), 2012).

La Tabla 2 muestra el poder calorífico de los diferentes productos agrícolas que destacan en la región cercana a la planta de interés.

Tabla 2. Poder calorífico para biomasa

PODER CALORÍFICO INTERIOR PARA BIOMASA RESIDUAL		
CULTIVO	TIPO DE RESIDUO	PCI (MJ/Ton)
Palma de aceite	Raquis	16.823,864
Caña de azúcar	Hojas y cogollo	15.413,856
Caña panelera	Hojas y cogollo	15.413,856
Café	Hojas y tallo	18.342,656
	Rastrojo	14.356,000
Maíz	Tusa	14.193,000
	Capacho	15.972,000
Arroz	Tamo	13.870,000
Banano	Raquis	7.568,856
	Vástago	8.501,888

Fuente: Atlas de Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia – Colciencias 2010

Según un informe presentado por la UPME, el mercado de implementación y consumo de energía eléctrica producida por medio de biomasa está fuertemente relacionado con los ingenios azucareros en el país, pues como parte de sus desperdicios de producción, autogeneran la materia prima para la producción por biomasa, adicionalmente; presentan las condiciones propicias para generar un escalamiento a nivel industrial que permita el apalancamiento de los costos de inversión asociados a este tipo de proyectos (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2015).

De forma paralela, en este informe también se enumera las seis principales barreras para la implementación de este tipo de tecnologías en el país (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2015). El Anexo 1, muestra las barreras identificadas y priorizadas en el caso de generación con biomasa.

Para poder utilizar esta energía presente en los desechos orgánicos, se debe contar con sistemas completos y diseños que estén en la capacidad de aprovechar este recurso, pues el gran inconveniente que se tiene es el bajo poder calorífico debido al alto porcentaje de humedad que puede llegar a tener; para ello se necesitan centrales térmicas específicas con grandes calderas, con volúmenes mayores a los que son usados por los combustibles fósiles, esto se traduce en inversiones elevadas y rendimientos bajos; en función del tipo y de la cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin. (Centro Tecnológico Agrario y Alimentario (ITAGRA), 2012).

Luego de evaluar la gran cantidad de recursos agrícolas y el análisis del poder calorífico de los cultivos disponibles en la región consignados en la Tabla 2, y que a su vez se encuentran en mayor volumen y que resultan aptos para la generación de energía eléctrica en los municipios cercanos al de la ubicación de la planta, se encontraron las siguientes limitantes para determinar viable la elección de la biomasa como complemento a la generación actualmente existente en la planta:

Los cultivos agrícolas existentes tanto en el municipio de interés como en los aledaños no incluyen las materias primas que tienen aún mayor poder calorífico, considerándose aptas para la generación eléctrica a partir de biomasa.

La logística necesaria para la compra, transporte y alistamiento de los recursos óptimos para la generación de energía a partir de biomasa puede resultar un factor negativo si lo que se requiere es ahorrar recursos, y buscar practicidad para complementar el sistema de generación existente.

El almacenamiento de los productos de materias primas y la instalación de los equipos necesarios para la generación, requieren de la habilitación de zonas en la planta, lo cual se dificulta ya que los espacios disponibles actualmente son aprovechados como patio de carbón, procesos secundarios como plantas de tratamiento, entre otras, para la operación planta de generación.

Por otro lado, la energía eólica, según la Asociación empresarial Eólica Colombiana “es la energía que procede del viento. La radiación solar calienta de forma diferencial la atmósfera y provoca que la temperatura del aire sea diferente en unas zonas u otras. El aire caliente sube, lo que reduce la presión atmosférica en la superficie terrestre, y el aire frío baja para reemplazarlo” (Asociación Empresarial Eólica, s.f).

De este modo, según la Asociación de Energía Eléctrica (WWEA), para 2020, la capacidad mundial de energía eólica llegó a 650.8 GW, de las cuales se agregaron 59.667 MV en el año 2019, en comparación con el 2018, donde la capacidad de energía llegó a 50.252 MV (Asociación Mundial de Energía Eólica, 2020).

En Colombia, conforme a datos publicados por El Banco de la República, “La energía solar y eólica, suman 0.02% del total de generación actual en Colombia”, según la misma entidad, departamentos como La Guajira “cuentan con un potencial de 15.000 MW solo en energía eólica y granjas solares, lo que representaría cerca del 90% del total que en la actualidad se genera entre todos los tipos de fuentes” (Banco de La República, 2018).

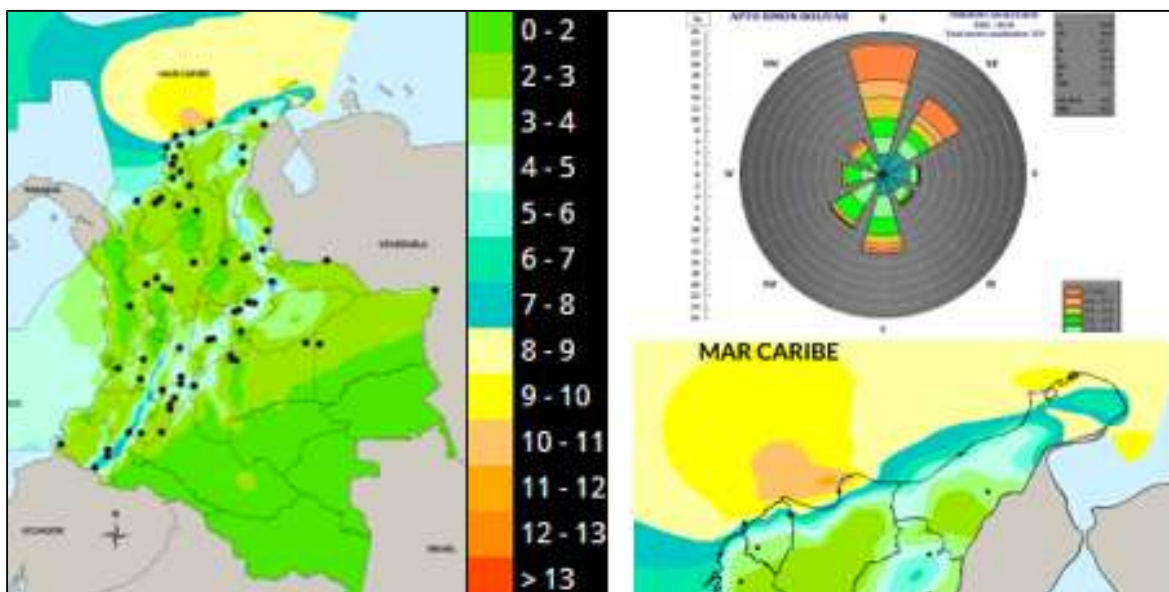


Figura 3. Velocidades del viento presentes en Colombia

El desarrollo de los vientos en Colombia, como se puede ver en la Figura 3, se debe a que los rayos del sol se fijan directamente sobre la zona ecuatorial de la tierra, esta zona se calienta con mayor frecuencia que en otros lugares del mundo, provocando el constante movimiento del viento que “asciende hasta la tropósfera originando la condensación por enfriamiento y, por consiguiente, la formación de nubes de gran desarrollo vertical” (IDEAM, La atmósfera, el tiempo y el clima, s.f).

Sin embargo, las condiciones geográficas del país también influyen en el desarrollo de los mismos, pues en zonas de aproximación a las costas marinas la circulación del aire es mucho más rápida debido a que no hay muchas barreras en el entorno que impidan su desarrollo. Caso contrario sucede en zonas con presencia de montañas, pues según la Fundación Española de Ciencia y Tecnología “Durante el día, el aire del valle se calienta rápidamente y tiende a ascender por la colina. Por la noche, el enfriamiento del aire lo hace más denso y desciende hacia el valle desde las cumbres”. Cuando el aire llega a las cimas de

las montañas, su aproximación con la tropósfera hace que “el aire que allí se presenta sea más denso que en muchas partes del planeta” (Fundación Española Ciencia y Tecnología, 2004). Ver Figura 4

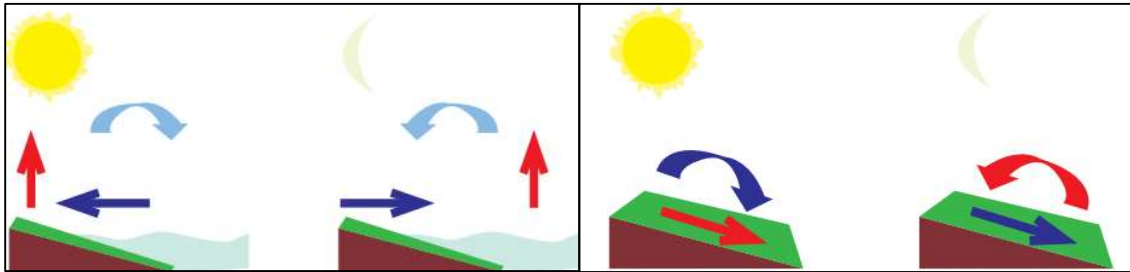


Figura 4. Brisas de mar, brisas de montañas y valles

El Atlas de Vientos publicado por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, menciona que:

Como se puede ver en la Figura 5, “en general, en el departamento de Cundinamarca, prevalecen vientos débiles en la mayor parte del año, no obstante, vale la pena mencionar algunas épocas para las cuales el viento alcanza valores cercanos a 5 m/s, caso de los meses de enero y a mitad de año entre julio y agosto, entre la 1 y 4 p.m.” (Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, s.f)

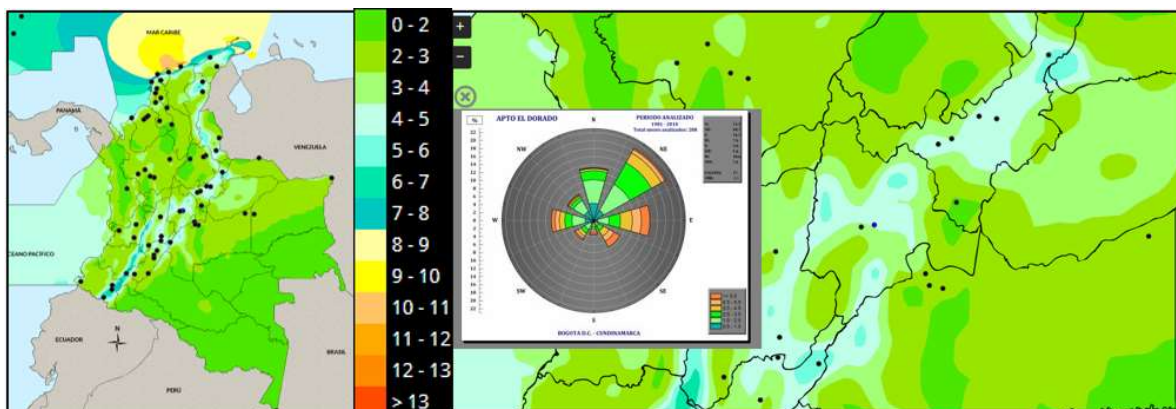


Figura 5. Velocidades del viento presentes en Colombia

De este modo, según la Asociación Eólica de Catalunya, la velocidad que tiene que tener el viento para accionar aerogeneradores debe oscilar entre “3 y 4 m/s, llegando a la máxima producción de electricidad con un viento promedio de 13 a 14 m/s”. (Asociación Eólica de Catalunya, 2006).

Por otro lado, “el espacio que se necesita para instalar un parque eólico formado por veinte aerogeneradores como se muestra en la Ilustración 6, puede ocupar una superficie de un kilómetro cuadrado, pero solo se utiliza un 1 % del territorio. El resto del espacio se puede dedicar a otros usos que ya son existentes, como agricultura ganadería o, simplemente, como hábitat natural” (Asociación Eólica de Catalunya, 2006).

Dentro de las tecnologías más comunes para producir energía eléctrica, se encuentran los aerogeneradores verticales, o turbinas de pala, que cuentan con dimensiones “entre 30 y 90m de diámetro, y una altura entre 25 y 100m” (Asociación Eólica de Catalunya, 2006).

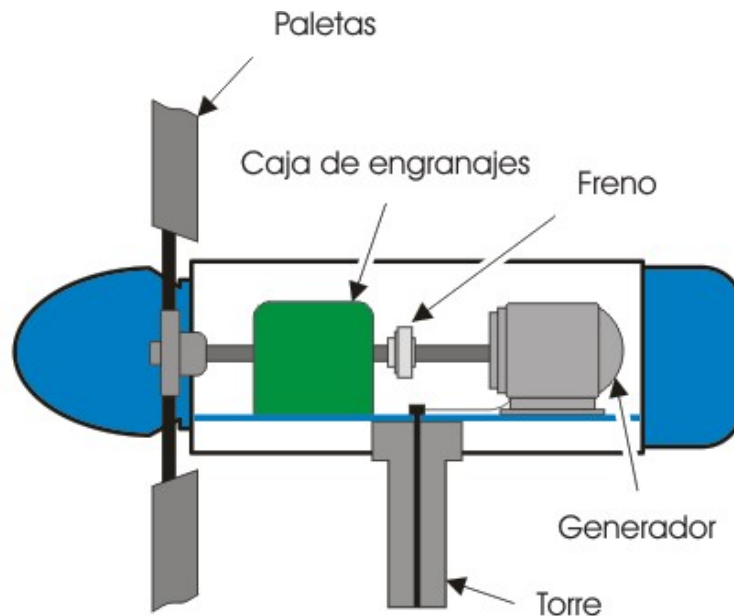


Figura 6. Esquema de aerogenerador

La energía que produce un aerogenerador depende de la velocidad del viento, según la Adish Wind Industry Association “Si la velocidad del viento se duplica, la cantidad de energía que contenga será 8 veces mayor”. En este sentido, la Tabla 3, muestra la potencia generada, a diferentes velocidades promedio del viento. (Danish Wind Industry Association, 2003)

*Tabla 3. Potencia del viento según velocidades*

<b>m/s</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>m/s</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>m/s</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>
0	0	8	313.6	16	2508.8
1	0.6	9	446.5	17	3000.2
2	4.9	10	615.5	18	3572.1
3	16.5	11	815.2	19	4201.1
4	39.2	12	1058.4	20	4900.0
5	76.5	13	1345.7	21	5672.4
6	132.3	14	1680.7	22	6521.9
7	210.1	15	2067.2	23	7452.3

La Tabla 3, muestra resaltado la velocidad promedio del viento en Cundinamarca, y la potencia máxima que se podría obtener por medio de aerogeneración.

Finalmente luego de evaluar los recursos eólicos del lugar, las tecnologías convencionales en el mercado y los valores mínimos de velocidad del viento, se puede concluir que:

El recurso eólico presente en el sector es muy débil en comparación con zonas como La Guajira en donde su potencial eólico se encuentra entre los 6 y 17 m/s.

Aunque el potencial eólico en Cundinamarca alcanza en los 5 m/s en horas de la tarde, no hay seguridad de que este comportamiento se constante a lo largo del día.

El espacio requerido para instalar un aerogenerador con astas de pala, es de 30 m de diámetro podría llegar a ocupar un área considerable dentro de la planta, llegando a obstruir procesos.

Finalmente, con medios de generación solar, en primer lugar se define un sistema solar fotovoltaico como un conjunto de equipos eléctricos y electrónico que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar (Perpiñán Lamigueiro, 2013). Para lograr realizar de manera adecuada el estudio que permitirá su correcto dimensionamiento, uno de los requisitos más importantes según Johann Hernández y Julio Trujillo en su estudio "Modelamiento de irradiancia y la temperatura ambiente", es conocer el recurso solar disponible, desafortunadamente, como la mayoría de las fuentes no convencionales de energía, la irradiancia solar tiene un comportamiento inestable e impredecible (Hernández, Trujillo, & Vallejo, 2013). La irradiancia es definida como "la radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada y de especifica como  $W/m^2$ " (Montoya Rasero, 2011). Existen diferentes categorías de modelos de estimación de la radiación solar directa, siendo los llamados modelos de descomposición, los que permiten a partir de la radiación global, obtener sus componentes difusa y directa sobre un plano horizontal, los de uso más frecuente (Raichijk & Taddei, 2012).

La correcta evaluación del recurso solar dependerá de la cantidad y la fiabilidad de los datos con los que se cuente, por esta razón se decide consultar dos fuentes de información; en primer lugar la base de datos del IDEAM, y en segundo lugar Meeonorm.

En Colombia, la entidad encargada de recopilar la información hidrológica y meteorológica es el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), creado y vinculado directamente al Ministerio del Medio Ambiente según la Ley 99 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993)

El IDEAM, cuenta con el Atlas de Radiación Solar de Colombia que se alimenta de diferentes bases meteorológicas ubicadas por toda la geografía nacional. Por su veracidad y reconocimiento legal y científico, esta es la primera fuente de información que se consulta para tener el potencial solar de la región de interés.

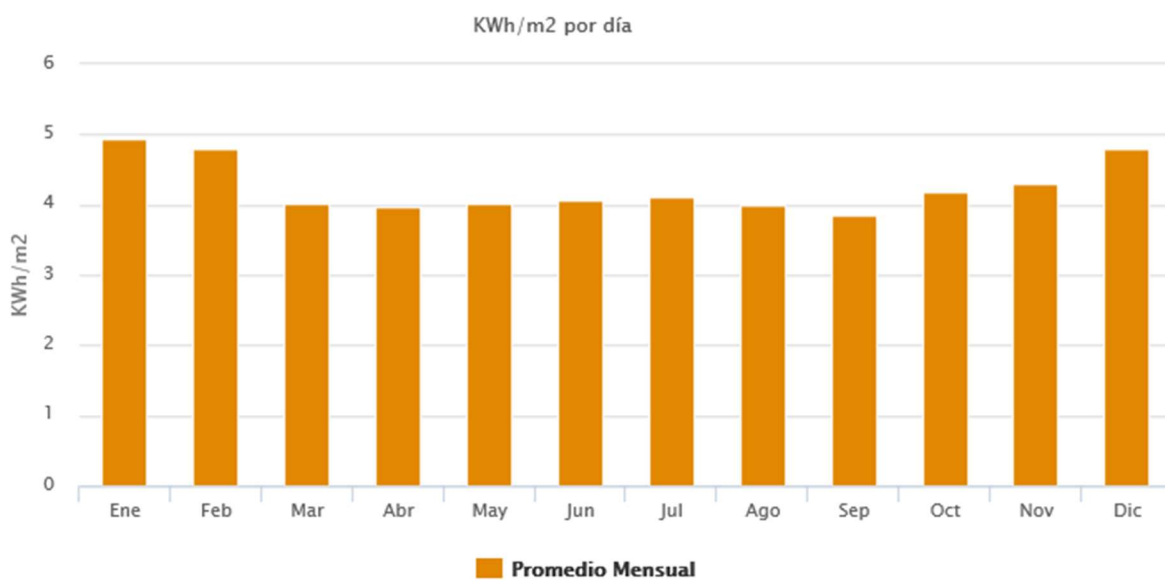
En Cundinamarca existen varias estaciones meteorológicas que se nombran a continuación en la Tabla 4 (IDEAM, 2016):

*Tabla 4. Estaciones meteorológicas disponibles en Cundinamarca*

<b>Nombre</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>
Universidad de Cundinamarca	Girardot	Cundinamarca
Santa Cruz de Siecha	Guasca	Cundinamarca
Tibaitata	Mosquera	Cundinamarca
Hacienda Santa Ana	Nemocón	Cundinamarca
Pasca	Pasca	Cundinamarca
Quebrada Negra	Quebrada Negra	Cundinamarca
San Cayetano	San Cayetano	Cundinamarca
Villa Teresa	Sumapaz	Cundinamarca
La Boyera	Ubaté	Cundinamarca

Villeta	Villeta	Cundinamarca
Aeropuerto Eldorado	Bogotá	Cundinamarca
Tibaitata	Mosquera	Cundinamarca

Debido a que no existe una base meteorológica en el municipio donde queda ubicada la planta de evaluación, se opta por tomar los datos registrados en el municipio más cercano, Nemocón. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra los datos promedios mensuales de radiación solar diaria en la región según la organización Energie



(energie.ws, 2020)

A continuación, las tablas 5 y 6 muestran los datos de la gráfica anterior:

Tabla 5. Valores promedio anual kWh/m<sup>2</sup> día estación Nemocón

Entidad	Valores promedio (kWh/m <sup>2</sup> por día)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic

Figura 7. Promedios mensuales de radiación solar diaria

IDEAM	4,94	4,79	4,01	3,96	4,00	4,06	4,11	3,98	3,85	4,18	4,29	4,79
	43	06	96	47	57	74	07	30	40	78	55	35

Tabla 6. Valores promedio kWh/m<sup>2</sup> día estación Nemocón

Promedio anual (kWh/m <sup>2</sup> por día)	Años de información	Fecha de inicio	Fecha final
4,2514	9	mar-05	may-14

De igual forma se consultaron otras fuentes de información como lo pueden ser otras bases de datos meteorológicas. Meteonorm (Ver Figura 8), un software de datos climáticos y es usada también como herramientas de cálculo. Proporciona acceso a años típicos y series de tiempo históricas de la radiación solar, velocidades de vientos entre otros parámetros.

The screenshot shows the Meteonorm software interface for the location 'Cajicá'. The data source is 'Meteonorm 7.1 (1964-1998)'. The main table displays the following data:

	Irrad. Global kWh/m <sup>2</sup> .día	Difuso kWh/m <sup>2</sup> .día	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	4.99	2.35	15.2	2.10
Febrero	4.83	2.40	15.6	2.20
Marzo	4.51	2.61	15.7	2.00
Abril	4.08	2.26	15.7	2.00
Mayo	3.80	2.38	16.0	2.00
Junio	3.84	2.07	15.5	2.30
Julio	4.04	2.15	15.8	2.49
Agosto	4.32	2.02	15.7	2.50
Septiembre	4.32	2.37	15.4	2.30
Octubre	4.33	2.27	15.5	2.00
Noviembre	4.09	2.50	15.3	1.90
Diciembre	4.54	2.26	15.4	2.00
<b>Año</b>	<b>4.31</b>	<b>2.30</b>	<b>15.6</b>	<b>2.1</b>

On the right side, there are three sections:

- Datos Requeridos:**
  - Irradiación global horizontal
  - Temp. Exterior Media
- Datos adicionales:**
  - Irradiación difusa horizontal
  - Velocidad del viento
- Unidades de insolación:**
  - kWh/m<sup>2</sup>.día
  - kWh/m<sup>2</sup>.mes
  - MJ/m<sup>2</sup>.día
  - MJ/m<sup>2</sup>.mes
  - W/m<sup>2</sup>
  - Índice de claridad Kt

Figura 8. Valores promedio anual kWh/m<sup>2</sup> día base de datos Meteonorm

Luego de consultar las bases de datos y cuantificar el recurso solar disponible en el área de interés, se analizaron otros factores para lograr determinar la viabilidad del uso de la energía solar fotovoltaica, como complemento del sistema actual de generación con el que cuenta la planta.

Se cuenta con la materia prima para la generación de energía eléctrica directamente en el sitio y no requeriría gastos en procesos de transporte ni logística para disponer de esta.

Se requiere de un área despejada para la instalación del grupo generador compuesto de una gran cantidad de equipos como paneles fotovoltaicos, inversores y transformadores. Aunque la planta no cuenta con este espacio, las actuales tecnologías de estructuras de fijación permiten instalar paneles sobre cubiertas de edificios existentes en planta, aprovechando esta disponibilidad sin la necesidad de realizar otras ocupaciones.

#### 6.1 Recolección y análisis de información

Con la ayuda de las bases de datos meteorológicas de libre acceso, como la información que puede proveer el IDEAM o las estaciones de la NASA, se recolectarán datos como la radiación solar en la zona y velocidades promedio de viento, también se analizarán estudios ya existentes como “Cuantificación del potencial energético de los residuos agrícolas de la caña de azúcar en el departamento de Cundinamarca.” para determinar qué clase de residuos orgánicos en el departamento de Cundinamarca pueden ser utilizados para generación de energía eléctrica limpia ya sea mediante el uso de planta solar fotovoltaica, eólica o Biomasa.

## 6.2 Procesamiento de datos

Se realizará una recolección de los datos técnicos relevantes de la planta de producción como son: disposición de espacios aprovechables, mediciones de consumos de energía hora a hora, recibos de energía, gastos relacionados con la generación de energía eléctrica y planos de planta, que permitan encontrar patrones de consumo energéticos, vitales para la implementación de una nueva planta de generación. Adicionalmente, se realizarán estimaciones que permitan llegar a establecer cuáles son los requerimientos energéticos a cubrir para determinar la viabilidad de la nueva fuente de generación de energía que se acoplaría a la ya existente.

## 6.3 Diagnóstico de la información y selección de fuente

Teniendo en cuenta la información recolectada se procederá hacer una evaluación técnica y económica basados en el potencial de cada fuente en el sitio de interés. Esto determinará que fuente tiene una mayor viabilidad de implementación y de cuál se podrán obtener mejores beneficios económicos y ambientales.

Luego de seleccionada la fuente con mayor potencial y proyección, se procederá a hacer el dimensionamiento técnico y económico de la planta que suplirá parte de las necesidades energéticas de la compañía. En esta etapa se seleccionarán cantidades de materiales, marca de equipos, se estimará la potencia en kW requeridos, las pérdidas que podrían tenerse en el sistema (en términos de potencia), el área de instalación, evaluación de impacto ambiental (cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> que se dejan de emitir con el proyecto), entre otros.

#### 6.4 Resultados

Luego de la evaluación de los potenciales presentes en la región de recursos de energías renovables, se determinó que la energía solar fotovoltaica por beneficios de espacio y logísticos, sería la más adecuada para complementar el sistema de generación existente. Para iniciar el dimensionamiento del generador fotovoltaico deben analizarse los consumos anuales de la planta.

Como se mencionó anteriormente, la compañía genera su energía eléctrica a partir de carbón, sin embargo por confiabilidad del sistema debe contar con una conexión al Sistema interconectado nacional, además debe tener un contrato con un comercializador que supla la energía mientras sus calderas no están en funcionamiento.

El Anexo 2, muestra los consumos anuales de la energía que consume de la red y por la cual paga en promedio \$319 COP kWh.

Una vez se tienen los datos de consumos se deben analizar los espacios disponibles en la planta para realizar la instalación de los paneles solares, pues la potencia de la planta se verá directamente afectado del área que pueda ocuparse, en la Figura 9 se puede ver el plano de la implantación de los paneles en las cubiertas disponibles en la central de producción de productos de aseo objeto del análisis presentado en este documento.



Figura 9. Plano de implantación de paneles solares en áreas disponibles

Ocupando los edificios disponibles, pueden instalarse en las cubiertas de la planta hasta 2000 paneles solares. A partir de este valor se pudo simular en el software de dimensionamiento de plantas solares fotovoltaicas llamado PVSYST. A continuación se muestran las características de la planta simulada.

Tabla 7. Características planta solar

Características Generales	Descripción
Capacidad instalada	630 kWp
Producción de la planta estimada año 1	857.9 MWh/año
Productible específico anual	1300 kWh/kWp
Cantidad de paneles solares	2000
Marca paneles solares	JA SOLAR

Referencia paneles solares	JAM60S09 330/PR
Potencia unitaria paneles	330 Wp
Cantidad de inversores	6
Marca inversores	ABB
Referencia inversores*	PVS 100-TL
Potencia unitaria inversores	100 kW

En el Anexo 4, se listan los principales componentes de la planta solar con sus principales características. Para estimar el potencial de producción del sistema se simuló su comportamiento durante todo un año con el programa profesional PVSyst V6.45. La base de datos meteorológica de irradiación utilizada fue Meteonorm que arrojó los datos a las coordenadas correspondientes a la planta seleccionada.

La Tabla 8, muestra los resultados de la simulación, señalando las condiciones medio ambientales en la que operaría la planta, la potencia de energía generada, así como también el factor de rendimiento esperado.

Tabla 8. Balances y resultados principales

**Nueva variante de simulación**  
**Balances y resultados principales**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	154.6	78.30	12.80	154.5	146.5	89.63	86.72	0.851
Febrero	135.3	72.30	13.30	135.2	127.9	78.57	76.05	0.852
Marzo	139.7	63.30	13.40	139.4	132.3	79.28	67.12	0.729
Abril	122.6	61.30	13.50	122.3	116.1	70.32	67.92	0.841
Mayo	118.0	62.60	13.70	117.8	111.4	68.99	66.66	0.857
Junio	115.3	68.90	13.20	115.1	108.5	67.30	65.08	0.857
Julio	125.9	70.70	13.30	125.7	118.4	73.34	58.82	0.709
Agosto	134.1	69.90	13.20	133.9	126.5	77.91	75.34	0.852
Septiembre	129.4	67.70	12.90	129.2	122.7	74.76	72.27	0.847
Octubre	134.0	68.50	13.20	133.8	126.9	77.44	74.88	0.848
Noviembre	122.8	58.90	13.10	122.5	116.1	70.58	68.21	0.843
Diciembre	140.4	68.20	13.10	140.2	132.8	81.50	78.83	0.852
Año	1572.1	810.59	13.22	1569.8	1486.2	909.61	857.91	0.828

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
	DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del generador
	T Amb	Temperatura Ambiente	E_Grid	Energía reinyectada en la red
	GlobInc	Global incidente plano receptor	PR	Factor de rendimiento

Teniendo en cuenta que el ciclo de vida de una planta solar fotovoltaica está alrededor de los 25 años, su principal componente (módulos solares) tiene una degradación de su potencia nominal lineal sobre los 30 años. En el Anexo 3, se muestra la energía que sería generada aproximadamente desde el año 1 hasta el año 30 año. Adicionalmente se estimó que la planta reducirá las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2eq</sub>) en aproximadamente 8333,6 Toneladas a lo largo de su vida útil. Este cálculo de reducción de emisiones se hizo tomando como base el factor de emisiones de 0.374 dado por la UPME.

Una vez evaluado el comportamiento que tendría la planta y los beneficios ambientales que traería al iniciar su operación, se debe analizar el funcionamiento que tendría al vincularse al sistema de generación implementado actualmente en la compañía.

Debido a que no se contaba con un gran área disponible para la ubicación de los paneles, la planta se dimensionó en función del espacio habilitado en las cubiertas de dos

aguas de los edificios, por esta razón no podrá cubrir más del 4% del consumo general de la planta siendo suficiente para alimentar áreas comunes y las oficinas administrativas.

Como se mencionó anteriormente el costo promedio del kWh que se paga por la energía de la red es de \$320 COP kWh, teniendo en cuenta la producción máxima de la planta al año que puede llegar hasta 857.9 MWh, se puede concluir que el ahorro anual total de la empresa si llegará a consumir toda la energía de la planta será de \$273.670.100 COP.

Tabla 9. Costos aproximados de instalación y mano de obra de la planta solar

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Paneles solares	\$ 579.600.000
Inversores	\$ 147.336.000
Estructura	\$ 73.080.000
Material solar	\$ 55.320.000
Monitoreo	\$ 13.760.000
Transporte y nacionalización	\$ 53.537.931
Material eléctrico (Corriente alterna)	\$ 170.000.000
MO y Maquinaria	\$ 110.300.000
Otros	\$ 121.215.500
<b>Total</b>	<b>\$ 1.324.149.431</b>

Finalmente, la Tabla 9 muestra el costo total aproximado de la implementación del proyecto en la planta de producción analizada.

## **7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se identificaron las fuentes renovables con los resultados obtenidos, se encontró que la mejor alternativa renovable para la empresa analizada sería la generación solar fotovoltaica, pues en la región donde se encuentra ubicada, según el IDEAM, la incidencia

del sol presenta valores promedios aprovechables a lo largo del año, contrario a los valores de velocidades del viento encontradas en la zona, no aptas para la generación de energía eólica, y la falta de disponibilidad de los recursos orgánicos para la generación por biomasa.

Se seleccionó la energía solar fotovoltaica como la fuente renovable más viable para ser implementada, teniendo en cuenta la actividad diaria de la empresa analizada, ya que es la que presenta una menor interferencia con la operación normal de la organización y no requiere de mayores esfuerzos logísticos.

Se presenta el dimensionamiento de una planta solar fotovoltaica que optimiza los recursos energéticos disponibles en el área de interés. La planta representaría ahorros aproximados de \$200.000.000 COP anuales reduciendo la dependencia del uso de recursos no renovables y disminuyendo la cantidad de energía comprada al operador de red de la región. Además, se evitaría la emisión de 8.300 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (ONU, 2019).

En cuanto al factor social, el Gobierno Colombiano, ha demostrado un mayor interés ofreciendo incentivos tributarios para la implementación de nuevas tecnologías de generación con fuentes no convencionales de energía.

Uno de los impedimentos más grandes que podría llegar a tener la implementación de este proyecto es el retorno de la inversión, pues podría no ser viable para algunas compañías ya que se contempla un periodo entre 5 a 6 años aproximadamente para recuperar lo invertido.

Como se demostró durante el desarrollo de la presente investigación, se pudo demostrar que si bien es cierto que en Cundinamarca el potencial de recursos agrícolas para

la generación de energía eléctrica por biomasa es alto, se encontró que en términos logísticos y de inversión la más adecuada es la energía solar, pues en esta el gasto de la inversión sería al comienzo del proyecto y una vez entrado en operación los gastos serán netamente de mantenimiento y no para compra y transporte de materia prima.

Como recomendación principal, se plantea la implementación de un sistema energético complementario al que actualmente se utiliza en la organización, con el objetivo de ir eliminando la dependencia que se tiene a la quema de los combustibles fósiles y de manera paralela reducir los niveles de contaminación.

Debido a que el alcance inicial de esta investigación fue suplir la necesidad de energía de las áreas administrativas en la planta, las zonas disponibles para la instalación de la plana solar fueron suficientes para suplir este consumo, sin embargo; si en el futuro se desea aumentar la capacidad de esta planta para alimentar otras áreas, este espacio no sería suficiente para cubrir el requisito, por lo cual se recomienda que en los futuros proyectos de edificaciones, se contemple las necesidades técnicas para de que esta manera se pueda ampliar las instalaciones de paneles solares en el futuro.

El modelo de negocio analizado contempla la inversión completa para la adquisición de una planta solar fotovoltaica que se instale en las cubiertas disponibles de la compañía, sin embargo, podría contactarse a una firma consultora que presente un modelo de venta de energía donde los beneficios podrían verse desde el principio sin la necesidad de la inversión de un capital de manera anticipada, y de esta manera maximizar los ahorros desde el inicio.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Torres, C. E., & Rojas Quiroga, H. D. (2017). *Cuantificación del potencial energético de los residuos agrícolas de la caña de azúcar en el departamento de Cundinamarca*. Bogotá.
- Acevedo V, N. (Octubre de 2017). Cuantificación del potencial hidroenergético de Cundinamarca par la generacion hidroelectrica como energía alternativa. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas .
- Acevedo, C., & Rojas, H. (2017). Cuantificación del potencial energético de los residuos agrícolas de la caña de azúcar en el departamento de Cundinamarca. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA). (s.f.). *Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA)*. Obtenido de <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>
- Asociación Empresarial Eólica. (s.f de s.f de s.f). *aeolica.org*. Obtenido de [aeolica.org](https://www.aeelica.org/sobre-la-eolica/preguntas-frecuentes): <https://www.aeelica.org/sobre-la-eolica/preguntas-frecuentes>
- Asociación Eólica de Catalunya. (s.f de s.f de 2006). *EOLICCAT*. Obtenido de EOLICCAT: <http://eoliccat.net/preguntas-frecuentes/?lang=es>
- Asociación Mundial de Energía Eólica, (. (17 de 04 de 2020). *REVE (Revista Eólica y del vehpiculo Eléctrico)*. Obtenido de REVE (Revista Eólica y del vehpiculo Eléctrico): <https://www.evwind.com/2020/04/17/la-capacidad-de-energia-eolica-en-todo-el-mundo-alcanza-6508-gw-597-gw-anadidos-en-2019/>

Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. (s.f de s.f de s.f). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM:

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019813/Capitulo4.pdf>

Bajonero, D., & Sanabria, J. (Diciembre de 2016). Diseño e implementación de un emulador de una turbina eólica mediante el acople de un motor y un generador . Universidad Distrital Francisco José de Caldas .

Banco de La República. (22 de 03 de 2018). *La República.co*. Obtenido de La República.co: <https://www.larepublica.co/especiales/minas-y-energia/energia-solar-y-eolica-suman-002-del-total-de-generacion-actual-en-colombia-2613069>

BESEL S.A. (2007). *Biomasa: Cultivos energéticos*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

BND. (s.f). La banca nacional de desarrollo en Colombia. *Banco de la república de Colombia, 2*.

Cantillo, E., & Daza, J. (2012). El sector solar fotovoltaico en el caribe Colombiano: Análisis técnico y de mercado . Barranquilla : Universidad Autonoma del Caribe .

Centro Tecnológico Agrario y Alimentario (ITAGRA). (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Madrid: Universidad de Valladolid.

Cerdá Tena, E. (2012). Energía obtenida a partir de la biomasa . *Cuadernos económicos de ICE*, 118.

Colciencias. (2010). *Atlas de Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Bogotá: Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (13 de MARzo de 2015). *Resolución 024 de 2015*. Obtenido de

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/\\$FILE/Creg024-2015.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/$FILE/Creg024-2015.pdf)

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (4 de Mayo de 2018). *Resolución 038 de 2018*.

Obtenido de

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/71e64d5b21da40e8052582830078b66e?OpenDocument>

Comision de Regulación de Energía y Gas. (2019). *CREG*. Obtenido de

<https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/estructura-del-sector>

Congreso de la República de Colombia. (1993). *Fundamento de la política ambiental colombiana*. Bogotá: Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1715*. Bogotá.

Congreso de la República de Colombia. (2014). *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá.

Congreso de la República de Colombia. (30 de Julio de 2019). *senado.gov.co*. Obtenido de

<http://www.senado.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/110-preguntas-frecuentes?Itemid=101>

Core Writing Team, RK Pachauri, LA Meyer. (2014). *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático*. Ginebra.

- CorpoEma. (2010). *Formulación de un plan de desarrollo par las fuentes no convencionales de energía en Colombia*. Bogotá .
- Danish Wind Indsutry Association. (s.f de 05 de 2003). *Danish Wind Indsutry Association*.  
Obtenido de Danish Wind Indsutry Association: <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/enrspeed.htm>
- Departamento Nacional de Planeación. (Mayo de 2017). *Departamento Nacional de Planeación*. Obtenido de [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)
- energie.ws. (18 de 04 de 2020). *Energie*. Obtenido de <https://www.energie.ws/datos-radiacion-solar-colombia-atla>
- Estudio Legal Hernandez. (3 de Mayo de 2019). *estudiolegalhernandez.com*. Obtenido de <http://www.estudiolegalhernandez.com/energia-renovable/marco-juridico-de-las-energias-renovables-en-colombia/>
- FGV ENERGIA,. (s.f). *Un análisis omparativo de la transición energética en América Latina y Europa*. Brasil: FGV ENERGIA.
- Fundación Española Ciencia y Tecnología. (2004). *Meteorología y Climatología*.  
Fundación Española Ciencia y Tecnología.
- Garcia K, K. (2016). Diseño de una metodología de evaluación de impacto ambiental en centrales hidroeléctricas en Colombia.Caso de estudio Poryecto El Quimbo. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

- Gobernación de Cundinamarca. (2010). *Plan de Desarrollo, Cundinamarca Calidad de Vida*. Cundinamarca: Secretaría de Planeación.
- Hernández, J., Trujillo, C. L., & Vallejo, W. (mayo de 2013). Modelamiento de la irradiancia y la temperatura ambiente utilizando funciones de probabilidad. *TECNURA*, 130.
- IDEAM. (2016). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (s.f.). *Calidad del aire*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
- IDEAM. (s.f.). *La atmósfera, el tiempo y el clima*. Bogotá D.C. Obtenido de IDEAM.
- Jölli, D., & Giljum, S. (2005). *Unused biomass extraction in agriculture, forestry and fishery*. Viena: Sustainable Europe Research Institute (SERI).
- José Supo. (s.f). *Niveles de Investigación*.
- Lara, J., & Acevedo, C. (Agosto de 2019). Análisis de conveniencia en la implementación de sistema de generación de energía a través de biomasa, que use como fuente primaria los residuos agroindustriales de la caña de azúcar (bagazo), en la industria panelera ubicada en el municipio de Villeta Cu. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Marquardt.B. (2006). *Historia de la sostenibilidad*. Bogotá: Uniandes.
- Marquardt.B. (2009). La cuestión ecológica de la revolución industrial y la habilidad para el futuro de la civilización industrial. *bdigital UNAL*, 4-5.

Ministerio de Minas y Energía. (2014). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. Bogotá.

Ministerio de Minas y Energía. (11 de Agosto de 2015). *Decreto 1623 de 2015*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=66410>

Montoya Rasero, C. (2011). Energía solar fotovoltaica. *Escuela de Organización Industrial*, 11.

Naciones Unidas. (31 de 10 de 2018). *Desastre natural*. Obtenido de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-cities-day-2018.html>

Naciones Unidas, C. (s.f de s.f de 1992). *United Nations Climate Change*. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Naciones Unidas, C. (s.f de s.f de 1998). *United Nations Climate Change*. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Naciones Unidas, C. (s.f de s.f de 2015). *United Nations Climate Change*. Obtenido de Climate Change: [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)

OMS. (s,f de s.f de 2016). *Estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>

- OMS. (s.f de s.f de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>
- ONU, P. p. (05 de Septiembre de 2019). *ONU Programa para el medio ambiente*. Obtenido de ONU Programa para el medio ambiente: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/las-inversiones-en-energia-renovable-alcanzaran-us-26>
- Organizacion Mundial de la Salud. (2017). *Impacto mundial de la enfermedad respiratoria*. México: Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales.
- Organización Mundial de la Salud. (29 de 10 de 2018). *Más del 90% de los niños del mundo respiran aire tóxico a diario*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/detail/29-10-2018-more-than-90-of-the-world%E2%80%99s-children-breathe-toxic-air-every-day>
- Ortiz M, D. C., Sabogal A, J., & H Aguirre, E. (2012). <http://www.redalyc.org/>. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90925810009>
- Parlamento Europeo. (07 de 03 de 2018). *Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>
- Perpiñán Lamigueiro, O. (2013). *Researchgate.net*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Oscar\\_Perpinan\\_Lamigueiro/publication/2490](https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Perpinan_Lamigueiro/publication/2490)

12821\_Energia\_Solar\_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf

Raichijk, C., & Taddei, F. (2012). Estudio comparativo de modelos empíricos de estimación de la radiación solar directa horaria . En *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (pág. 11.23). Lujan.

REN21. (2019). *Renewables 2019. Global Status Report*. París.

República, C. d. (14 de Marzo de 2014). *Diario oficial República de Colombia*. Obtenido de Diario oficial República de Colombia:  
[https://sidn.ramajudicial.gov.co/SIDN/NORMATIVA/DIARIOS\\_OFICIALES/2014%20\(49021%20a%2049381\)/DO.%2049150%20de%202014.pdf](https://sidn.ramajudicial.gov.co/SIDN/NORMATIVA/DIARIOS_OFICIALES/2014%20(49021%20a%2049381)/DO.%2049150%20de%202014.pdf)

Roa, J. E., & Caicedo, J. C. (2018). Viabilidad Técnico-Financiera para la Gerenciarción de Energía Eléctrica , con un Sistema Solar Fotovoltaico interconecado al Sistema Eléctrico de la Ciudad de Leticia-Amazonas en el marco de la resolución CREG 076 de 2016 .

Secretaría de Agricultura de Cundinamarca. (2017). *Estadísticas Agropecuarias 2016 y 2017*. Bogotá: Gobernación de Cundinamarca.

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Obtenido de  
[http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

United Nations Climate Changed. (s.f.). *Cambio climático*. Obtenido de  
<https://www.un.org/es/climatechange/cities-pollution.shtml>

UPME. (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Bogotá.

Vallejo L, G., Lou H, M., & Escoba M, E. (2016). *El acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. Cali: WWF-Colombia.

Velásquez M. (2015). Producción de carbón y crecimiento económico en la región minera del Caribe colombiano. *Revista de economía del caribe*, 3.

Watson, R. (2019). *The Truth Behind the Climate Pledges*. FEU-US, Acting on Climate Together.

XM, S. (2015). *Informe de Operación del SIN y Administración del Mercado*. Bogotá D.C.