

Proposición y estudio de prefactibilidad de solución energética para el municipio de Cumaribo, Vichada: Zona No Interconectada colombiana

S. Bedoya-Sánchez¹; A. Rodríguez-Zabala¹

Environmental Energy and Education Policy – E3P

Departamento de Energía eléctrica, Electrónica y Computación

Facultad de Ingeniería y arquitectura

Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales

Recibido: 6 de mayo de 2022

Revisado: 16 mayo del 2022

Aceptado: 29 mayo del 2022

GIPEM 02, julio (2022) pp. 27-51

www.gipem.co/Revistagipem

gipem_fiarman@unal.edu.co

Resumen

El objetivo de análisis es reconocer oportunidades de desarrollo sostenible y autosustentable en el municipio de Cumaribo, Vichada; siendo fácilmente extrapolable a cualquier otra población de la Zona No Interconectada ZNI en Colombia.

La motivación del estudio se fundamenta en brindar soluciones coherentes y trascendentales a los principales problemas de poblaciones vulnerables de la ZNI colombiana al reconocer la transversalidad de la energía eléctrica en temas como salud, seguridad y educación con la capacidad de potenciar desarrollo sostenible y resiliente.

Para el desarrollo de análisis conceptual y caracterización compleja del municipio de Cumaribo, se aplicó la metodología del pensamiento sistemático, siendo esta una herramienta estratégica en el reconocimiento de problemas y posibles soluciones coherentes a la forma de habitar de la población. Mediante esta metodología se incluyó, en el desarrollo de la proposición energética, aspectos transversales como lo son la cultura, economía, impacto ambiental, reconocimientos de potenciales, aprovechamientos energéticos y proyección de la población y demanda actual.

Por su parte, el resultado de estudio fue la proposición de una solución energética para el municipio de Cumaribo con una mirada holística y orientada al desarrollo sostenible, autosustentable y resiliente desde el reconocimiento de las formas de habitar de la población y la contextualización de las necesidades que, desde la transversalidad de la ingeniería eléctrica se pueden satisfacer.

¹Correo electrónico: sabedoyasa@unal.edu.co

²Correo electrónico: alerodriguezzab@unal.edu.co

Palabras clave: Zona No Interconectada (ZNI), microrredes aisladas, Redes inteligentes, Cumaribo Vichada.

1. Introducción

El acceso a la ingeniería eléctrica ha sido establecido como compromiso con la comunidad internacional para superar la miseria. La corte constitucional colombiana en la sentencia T-761/15 relaciona el suministro de energía eléctrica como medio para acceder a derechos fundamentales y servicios. Vivienda digna, protección ante el clima cocción y conservación de alimentos son algunas de las actividades de la vida cotidiana que son posibilitadas por el acceso a la energía eléctrica. Además, el derecho a la salud puede verse afectado cuando el acceso a la electricidad es limitado [1].

El estado como entidad debe velar por el acceso a los derechos fundamentales de la población, en este sentido, debe promover políticas para permitir el acceso a la energía eléctrica en zonas no conectadas al sistema eléctrico nacional. En tales zonas, un estudio de prefactibilidad para la instalación de sistemas eléctricos requiere el análisis complejo y sistémico de la población desde el reconocimiento de sus formas de habitar, recursos energéticos disponibles en su región [2]. Reconocimiento del posible impacto medio ambiental, social y económico en donde se pueda esbozar una solución energética coherente a las necesidades de las comunidades y a la optimización de los recursos disponibles.

Cumaribo, el municipio más grande de Colombia con una extensión de 65.193 km² [3]. Integra diferentes amalgamas de relieves dentro de los que se destacan terrazas y cerros. La temperatura oscila entre los 27 °C y los 30 °C y la cabecera municipal se encuentra a una altura aproximada de 161 m.s.n.m [4]. Además, posee gran incidencia del recurso hídrico representado en los ríos y afluentes que hacen presencia dentro de su territorio.

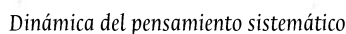
La solución energética para el municipio de Cumaribo se propone en la prospectiva de una red resiliente, inteligente y autosustentable que permita trascender en el fortalecimiento holístico de las comunidades, entendiendo la energía eléctrica como la oportunidad de potenciar desarrollo y mejorar la calidad de vida.

En primera instancia se hace la caracterización social y económica de la población que permita dar a conocer las principales debilidades que, desde la ingeniería eléctrica, se puedan mejorar, luego se hace una proyección de la demanda actual a 20 años en donde se reconoce que la proyección de la demanda eléctrica es el primer paso para cualquier análisis operacional o de estudio de planificación [4] con la posibilidad de integrar a la red comunidades cercanas a la cabecera municipal. Posteriormente se hace un oportuno análisis de los recursos energéticos que posean alto potencial de aprovechamiento energético disponibles en el municipio para trascender en la proposición de una solución energética coherente a las necesidades y potencialidades reconocidas en el municipio. Por último, se realiza la contextualización de los eventuales impactos medioambientales y sus oportunas medidas de prevención.

2. Metodología

Al hacer un reconocimiento previo de las necesidades inherentes a la concientización y empoderamiento de la responsabilidad ambiental y al hacer una oportuna extrapolación del problema u oportunidad de mejora para la comunidad de Cumaribo, se reconoce la implementación del Pensamiento Sistémico como metodología estratégica en la prospectiva de crear entornos favorables de reflexión crítica y planteamiento de soluciones que, desde la ingeniería eléctrica, se puedan satisfacer.

El pensamiento sistémico permite modelar problemas y posibles soluciones desde una mirada holística, contextualizada en un pensamiento dinámico. Cada una de las partes del sistema están relacionadas entre sí, de tal forma que, si alguna sufre cambios, se verá reflejado en el sistema total [5].



Proponer una solución energética coherente a las necesidades de las comunidades permite su oportuno empoderamiento. El reconocimiento de las principales oportunidades de mejorar en la calidad de vida se hace a partir del principio de causalidad circular, bajo la contextualización del concepto de retroalimentación [6].

3.1 Estudio Socioeconómico.

[illegible]

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal de Cumaribo se realiza la caracterización social y económica de las comunidades, donde se destaca la problemática de falta de alimento en las comunidades

indígenas que viene incrementándose año tras año, sea por problemas culturales, ambientales o la inasistencia del Estado en sus territorios. La base de la alimentación son sus conucos (parcelas pequeñas de tierra cultivada), los cuales están presentando bajos niveles productivos por la falta de tecnificación de estos o los efectos del cambio climático [8]. Además, No se presta asistencia técnica ni se generan canales de comercialización de los productos que cultivan.

En el municipio de Cumaribo no existe un modelo de salud con enfoque diferencial o propio para los pueblos indígenas, esto incrementa las tasas de morbilidad en estas comunidades, así mismo el modelo de medicina tradicional está siendo poco efectivo al momento de atender sus necesidades.[8]

De acuerdo con el modelo de internados para niños, adolescentes, jóvenes y la falta de un modelo educativo propio en las comunidades, se han perdido las costumbres y tradiciones, además del cambio de la alimentación y lingüística. [8]. Los establecimientos informales son jardines, escuelas, centros de formación que no cumplen los estándares exigidos por la educación en Colombia.

Los territorios indígenas poseen la característica de dispersión de las comunidades lo que dificulta la distribución del agua y el saneamiento básico. Esto trasciende en un nivel de vida precario haciéndolos vulnerables a enfermedades. [8]

Por otro lado, Cumaribo se enfrenta a la presencia de narcotráfico, cultivos de uso ilícito, tráfico de armas y bandas criminales que, en consecuencia, produce desplazamiento forzado, altos índices de homicidios, víctimas de minas antipersona y reclutamiento de adolescentes y jóvenes por parte de grupos armados al margen de la ley [8].

En Cumaribo se encuentran distintos grupos indígenas, colonos y personas provenientes de otros departamentos. La actividad económica predominante en este municipio es la explotación de los suelos, como son el uso agrícola, pecuario, forestal y otros usos. Aproximadamente el 66 % del territorio municipal está cubierto por bosques dividido en dos clases: bosque primario se refiere a selva de transición, en este tipo de bosque no se ha realizado un aprovechamiento maderero; el otro tipo de bosque es el de galería que corresponde a selva intervenida sobre la cual se han efectuado aprovechamientos selectivos de especies y donde se han establecido pastos y cultivos de subsistencia. Los cultivos en el municipio de Cumaribo se ubican en áreas no mayores a dos hectáreas, esto se debe a que el suelo tiene bajas propiedades agronómicas y se presenta una modalidad de agricultura en donde una parte de los cultivos producen lo suficiente para suministrar alimento para el núcleo familiar que trabaja en ellos. El uso pecuario, al igual que el agrícola, no es muy representativo y está muy ligado con la producción de subsistencia. Gran parte de este territorio es selvático, por lo tanto, para realizar esta actividad intervienen áreas de bosque para la siembra de pastos.

El sistema de acueducto cuenta con dos pozos profundos en funcionamiento, dos tanques elevados y una planta de tratamiento convencional que no se encuentra funcionando. El servicio de acueducto se presta en el casco urbano durante 8 horas diarias, sin embargo, las viviendas que se encuentran más alejadas reciben un servicio deficiente debido a que la presión- del agua no es suficiente para transportarla hasta estos lugares. [8]

3.2 Estudio de la demanda actual, y futura a 20 años.

A continuación, se encuentra la demanda del casco urbano y las inspecciones aledañas del municipio de Cumaribo a la condición de plena carga. Lo anterior se justifica debido a que en los cálculos se tendrá en cuenta el crecimiento poblacional y las cargas inesperadas que puedan aparecer en el transcurso de los años: entre algunas de ellas, creación de industria y poblaciones que se interconecten a la red eléctrica.

El último censo realizado por el DANE en el año 2005 muestra que la población del municipio de Cumaribo era de aproximadamente 4.486 habitantes y 871 viviendas en la cabecera municipal.

De acuerdo con la información proporcionada por el DANE, se realizaron las siguientes proyecciones

Año	Número de habitantes (Cabecera municipal)	Número de viviendas (Cabecera municipal)
2019	8.361	1.001
2029	13.217	1.106
2039	20.895	1.222

Tabla 1. Proyección de habitantes y viviendas en la cabecera municipal del municipio de Cumaribo, Vichada [8].

Conociendo el número de viviendas que hay actualmente, y la progresión para el año 2039, se procede a calcular la carga de demanda según su tipo:

- Residencial (estrato 1,2 y 3)
- Comercial
- Rural (4 inspecciones más cercanas)
- Alumbrado público.

El procedimiento para el cálculo de la demanda residencial se realizó de acuerdo con la NTC 2050; por su parte, la carga comercial se calculó de acuerdo con el área típica de un local comercial e industrial.

Nivel socioeconómico	Demanda en w para todos los usuarios (KVA)	Demanda en w para todos los usuarios (KVA)
Estrato 1	2.068,8	1.903
Estrato 2	807,8	743,2
Estrato 3	614,7	565,5
Comercial	65	59,8
Rural	294,62	279,89
Total	3.850,92	3.551,36

Tabla 2. Demanda eléctrica actual de la cabecera municipal, incluyendo inspecciones aledañas

La Unidad De Planeación Minero Energética (UPME) plantea un crecimiento poblacional promedio, entre el periodo 2017 y 2031, en 3 escenarios: alto 5.08%, medio 4.35% y bajo 3.68%.

Para el alumbrado público se espera un decrecimiento progresivo en los próximos años debido a que se espera una renovación tecnológica en la transición a la tecnología LED. De acuerdo con lo anterior se realizan las siguientes proyecciones:

Clasificación	Proyección estimada anual
Estrato 1	3.68%
Estrato 2	3.68%
Estrato 3	4.35%
Comercial	5.08%
Alumbrado público	-2.5%
Rural	1.2%

Tabla 3. Proyección del crecimiento anual de la demanda de la electricidad.

De acuerdo con la tabla 3, la demanda para el año 2039 será:

Tipo	KVA proyectados al año 2039	KW proyectados ara el año 2039
Estrato 1	4.262,0	3.921
Estrato 2	1.664,2	1.521,1
Estrato 3	1.440,5	1.325,3
Comercial	201,0	184,92
Alumbrado público	4,9	4,5
Rural	437,75	415,86
Total	8.010,35	7.372,68

Tabla 4. Proyección total de la demanda eléctrica al año 2039 del municipio incluyendo inspecciones aledañas.

3.3 Estudio de recursos disponibles.

Recurso hídrico:

Cumaribo, el municipio más grande de Colombia [3], posee gran incidencia del recurso hídrico representado en los ríos y afluentes que hacen presencia dentro de su territorio, de los que se destacan. Además, mediante el uso de herramientas computacionales se determinan las distancias entre los principales afluentes hídricos y la cabecera municipal que se presentan en la tabla 6.

Afluente	Cuenca hidrográfica	Desembocadura	Longitud [Km]	Caudal medio [m^3/s]	Trayecto de cabecera municipal a:	Distancia lineal [Km]
Rio Guaviare	Rio Orinoco	Rio Orinoco	1497	8200	La Potrera	225,71
Rio Tomo	Rio Orinoco	Rio Orinoco	650	-	Lugar del río más cercano al municipio	4,5
Rio Vichada	Rio Orinoco	Rio Orinoco	700	2000	Puerto Umaipia	93
Rio Orinoco	Rio Orinoco	Océano Atlántico	2140	33000	Puerto Nariño	81,35

Tabla 5. Características generales y distancia entre la cabecera municipal y los principales afluentes hídricos dentro de la jurisdicción del municipio de Cumaribo. Tomado de [9] [10]

Al analizar la tabla 5 se determina que el río Vichada es el más opcionado para un aprovechamiento de su potencial hidro-energético debido a su cercanía a la cabecera municipal.

La caracterización del río Vichada se realiza a partir de datos de la estación Santa Rita, que corresponde a un poblado rivereño dentro de la jurisdicción del municipio de Cumaribo, cerca de la cabecera municipal. El caudal del río se calcula por medio del método de la máxima entropía [11] El análisis se fundamenta en la toma de 8 aforos, entendiéndose como aforo la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado. Para cada uno se determina la ubicación de la velocidad máxima en la sección transversal del río. Los datos de los aforos, y la ubicación de la velocidad máxima se presentan en la tabla 6. A partir del análisis de los perfiles encontrados, se realiza una relación entre velocidad media de cada aforo, y velocidad máxima que servirá como insumo para el cálculo del caudal. Los resultados y la comparación entre valores teóricos y experimentales, se presenta en la tabla 7.

ID	Año	Aforo	U máx. (m/s)	Abcs (m)
1	20-nov-08	54	1,26	100

2	21-jun-08	71	1,32	98
3	22-nov-09	97	1,03	94
4	06-jun-10	105	1,39	105
5	21-jun-08	130	1,4	84
6	22-mar-09	140	0,76	16
7	15-may-09	294	1,19	40
8	14-ago-10	322	1,51	99

Tabla 6. Alguano de los aforos de la estación Santa Rita y localización de eje “Y”. Tomado de [11].

Aforo	Área[m ²]	Vprom [m/s]	Q calculado [m ³ /s]	Q aforo [m ³ /s]	% error (1)	Q medio mes [m ³ / s]	% error (2)
54	1290,5	0,9	1160	1152	0,7	1202	3,5
71	1390,8	0,85	1178	1230	4,2	1122	5
97	1310,6	0,97	1271	997	27,5	1120	13,5
105	1500,9	0,84	1265	1371	7,8	1378	8,2
130	1460,9	0,86	1252	1445	13,4	1223	2,4
140	640,5	0,5	320	234	36,8	193,6	64,4
294	1120,52	0,8	893	919	2,8	965,4	7,5
322	1770,6	0,88	1559	1722	9,4	1741	10,4
Promedio					10,73		6,16

Tabla 7. Caudales del río Vichada mediante la aplicación del método de la máxima entropía. Tomado de [11]

Donde:

Área	Área calculada a partir de cada perfil de aforo en el programa AutoCAD.
V prom	Velocidad promedio encontrada en el eje “Y”.
Q calculado	Multiplicación del área de velocidad promedio hallada (método de máxima entropía).
Q aforo	Caudales medidos.
Q medio mes	Caudales medios mensuales a la fecha del aforo.
% error (1)	Porcentaje de error comparando Q calculado y Q de aforo.
% error (2)	Porcentaje de error comprando Q calculado y Q medio mes.

Luego del análisis oportuno de las variables técnicas del río Vichada inherentes al análisis de aprovechamiento energético que se puede presentar en el transcurso del año, se procede a caracterizar la potencia máxima, media y mínima tomadas de [11] correspondiente a 1378 m³/s. 1118 m³/s y 194 m³/s. Debido a que el río Vichada no cuenta con una significativa altura efectiva, se propone la aplicación de turbinas tipo Hélice o Kaplan sumergidas, con un sistema automático de optimización de aprovechamiento del caudal según el nivel hidráulico para cada época del año. La altura efectiva neta se toma como valor constante de 1 m bajo el criterio de que la turbina o turbinas se encontrarían sumergidas, asemejando la aplicación de aprovechamiento mareomotriz que, junto al control automático de aprovechamiento de caudal, es la solución más viable y coherente a las condiciones físicas de la zona.

Por último, se asume un valor típico de eficiencia para estos procesos de generación de energía del 90% y, además, un 30% de factor de planta, reconociendo el difícil acceso al municipio para llevar repuestos en caso de contingencias mecánicas, sumado a la alta variabilidad del caudal en el transcurso del año lo que afecta en proporción directa la producción energética de la hidroeléctrica. A continuación, se presenta la ecuación (1), caracteriza la potencia asociada al aprovechamiento energético hidráulico.

$$P = 9,8 * Q * h * fp * \eta \quad (1)$$

Donde:

P	Potencia efectiva neta
Q	Caudal
h	Altura
fp	Factor de planta
η	Eficiencia.

Al integrar los valores asociados a la ecuación (1), se obtienen los valores de potencia máxima, media y mínima que corresponde a 3,65 MW, 2,95 MW y 0,51 MW respectivamente según las mediciones de la estación Santa Rita.

Energía solar

En el análisis de energía solar como recurso para la generación de energía eléctrica se tiene en cuenta la radiación global horizontal media (GHI). Esta variable considera las componentes de radiación directa, difusa y reflejada [12]. Tanto el atlas del IDEAM, como el Global Solar Atlas presentan datos de irradiación global horizontal media (GHI) en **kWh/m²** por día. Sin embargo, el segundo permite consultar otros datos como las componentes difusas (DIF) y directa (DNI). Además, permite obtener la energía de salida, en kWh por día, de un sistema fotovoltaico (PV) con la posibilidad de modificar características como el tipo de instalación (residencial, comercial o a gran escala), los ángulos de azimut e inclinación, dimensionar el tamaño del arreglo en kWp y calcular la energía de salida para el ángulo de inclinación óptimo.

Según Datos del IDEAM, en los meses de febrero y junio ocurren las irradiaciones máxima y mínima de 6,0 y 3,5 **kWh/m²** respectivamente. Además, se tiene que la probabilidad de obtener 5.7 **kWh/m²** es del 20%, mientras que para 4,3 **kWh/m²** existe una probabilidad del 90%.

Por su parte, los Datos del Global Solar Atlas, que se muestran en la tabla 8, presentan los resultados máximos y mínimos de GHI y salida PV para Vichada y Cumaribo. El resultado de energía es de 3,826 kWh promedio por día y 3,851 kWh para un valor óptimo de inclinación de 9° obtenido para Cumaribo.

	GHI [KWh/m²]		DNI [KWh/m²]		DIF [KWh/m²]		Salida PV [KWh]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Vichada	4,83	5,56	3,23	4,23	2,50	2,31	3,79	4,33
Cumaribo	5,03	5,07	3,50	3,58	2,48	2,47	3,94	3,98

Tabla 8. Valores de GHI y salida PV para Vichada y Cumaribo. Datos tomados de [13]

A partir de los datos se tiene que el valor promedio de GHI diario es de 5,5 **kWh/m²** a 6,0 **kWh/m²** para el IDEAM y 5,052 **kWh/m²** para el Global Solar Atlas.

Recurso eólico

El atlas del IDEAM presenta valores de velocidad del viento para diferentes alturas, entre ellas se encuentran 10 m, 50 m, 80 m, 100 m y 200 m [14]. El análisis se realiza con los datos a 50 m por

recomendación de la IEC 61400-1 [15] para el mejor aprovechamiento de energía eólica. El Global Wind Atlas permite obtener la velocidad y densidad del viento para diferentes regiones geográficas como continente, país, departamento y municipio en el caso de Colombia.

Según datos del IDEAM, para calcular la densidad de potencia del viento [16] se aplica la fórmula (2) con los datos obtenidos del Atlas del viento y energía eólica en Colombia. Se tiene que, a una altura de 50 metros en superficie, el valor promedio de densidad de potencia eólica y la velocidad del viento en enero es de 72,9657 W/m²; a 126,084 W/m²; y de 5,0 m/s a 6,0 m/s, respectivamente. Para el resto de los meses predominan velocidades promedio de 1 m/s a 4 m/s y densidades de potencia de 0,5837 W/m²; a 37,3584 W/m².

$$WDP = \frac{1}{2} * \rho * v^3 \quad (2)$$

Donde:

ρ	P_{atm}/RT
P_{atm}	Presión atmosférica
R	Constante del gas ideal
T	Temperatura del aire.

Por su parte, los datos del Global Wind Atlas, para el departamento de Vichada, tienen valores máximos y mínimos de velocidad del viento de 3,86 m/s y 2,5 m/s, respectivamente. La densidad de potencia presenta valores máximos y mínimos de 66,6 W/m² y 25,0 W/m². Además, se tiene que el 10% de las áreas presentan una velocidad de 3,3 m/s y 42 W/m²; mientras el 90% mantiene una velocidad de 3,02 m/s y 32,9 W/m².

Recurso geotérmico

Colombia se encuentra ubicado geográficamente sobre el cinturón de fuego del pacífico, punto privilegiado para el aprovechamiento del recurso geotérmico, pero este potencial geotérmico se encuentra ubicado en el nevado del Huila, nevado del Tolima, Cerro Negro y el nevado del Ruiz, todas estas zonas se caracterizan por las altas temperaturas del subsuelo, se manifiesta con la actividad volcánica actual y mediante la expulsión de vapores. Por tanto, este tipo de recurso para la zona en cuestión es inexistente.

Recursos con base en hidrocarburos

Se realizó un estudio de la viabilidad para la implementación de fuentes de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles para el municipio de Cumaribo, en la tabla 9 se observan los más utilizados.

CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE FÓSILES		
Combustible	Energía por volumen [KWh/L]	Energía por masa [KWh/L]
Diésel	10,70	12,70
Carbón	9,40	6,60
Gas natural (a 250 bares)	3,10	12,10
GLP	7,20	13,75

Tabla 9. Capacidad de generación con hidrocarburo, tabla adaptada de [17], [18]

Carbón

El carbón es un recurso muy contaminante debido a los diferentes gases que emite a la atmósfera como el dióxido de carbono que genera un mayor efecto invernadero y consigo lluvia ácida. También por su combustión expide partículas volantes las cuales contienen metales pesados en su composición. Este recurso para nuestro caso de estudio será descartado, debido a la poca eficiencia que tiene para generar energía y se evidencia un mejor rendimiento del diésel o del gas natural como combustibles fósiles, se debe hacer un estudio económico basado en el costo del recurso y en el costo de su transporte para así concluir cuál de las dos alternativas es más factible para el proyecto.

Electro - combustible: fueloil y ACPM

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas IPSE es la encargada de la asignación o modificación del cupo del electrocombustible para zonas no interconectadas. La cantidad del cupo lo suministra en galones mensuales siempre y cuando la IPSE tenga conocimiento previo de la empresa u operador que entre a prestar el servicio de energía eléctrica en ZNI [19]. La Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH se encarga de administrar los recursos de petróleo y gas para la generación de energía, asignando las áreas para exploración y producción de hidrocarburos. Dichos estudios muestran que el área disponible para yacimientos de petróleo abarca 63.212.547 hectáreas (Ha). Cumaribo posee gran terreno a disposición de explotación petrolífera ya que el departamento de Vichada se encuentra sobre la faja petrolífera del Orinoco [20] pero, según el artículo "En dos departamentos del país, petróleo no alcanza a cubrir los costos [21], se establece que no es conveniente producir petróleo en el departamento del Vichada ya que la producción de un barril sobrepasa a la compra de un barril WTI o Brent en el mercado actual.

Las plantas térmicas utilizan generadores a base de diésel (ACPM). El consumo de combustible de un generador depende del tipo de modelo y marca a utilizar se realiza mediante el consumo específico del combustible o mce. [18]

$$mce = \frac{C_c}{P_g} \quad (3)$$

Donde:

mce	Consumo específico del combustible
C_c	Consumo de combustible a potencia nominal
P_g	Potencia nominal del grupo generador.

En el valor Q_c interviene el poder calorífico del mismo, este puede ser inferior o superior, la diferencia entre ambos radica en el calor latente. Para medir la eficiencia de un motor de combustible gaseoso se utiliza el poder calorífico inferior LHV (Low heating value) y en motores de combustibles líquidos se utiliza el poder calorífico superior HHV (High heating value). En el caso del diésel se utiliza el HHV [18].

$$Q_c [KW] = \frac{mce * HHV}{3,6} \quad (4)$$

Q_c	Potencia de entrada en el combustible consumido.
mce	Consumo específico del nominal
HHV	High heating value.

Gas combustible

Es un recurso energético aprovechado como fuente de combustión para la generación de energía eléctrica mediante termoeléctricas, los tipos de gases más utilizados para generación son el gas natural, siendo el más accesible y compuesto principalmente por metano y etano, y el gas licuado del petróleo

(GLP), el cual sale del gas natural o de la destilación del petróleo y es principalmente compuesto por propano o butano.

La tabla 10 contiene los datos del gasoducto Cusiana - Bogotá, y su derivación ramal en Apiay dado que Apiay (Meta), siendo este el lugar más cercano y primera opción de suministro de gas combustible al municipio de Cumaribo (Vichada) [22].

Gasoducto Cusiana - Bogotá	
Capacidad de transporte	30 MPCD (Millones de pie Cúbicos por Día)
Departamentos	Casanare, Meta y Cundinamarca
Propietario y operador	TGI S.A. E.S.P.

Tabla 10. Datos gasoducto Cusiana – Bogotá, tabla adaptada de [22]

De acuerdo con la tabla 10 se obtiene una relación de capacidad de generación para un mismo volumen de 1:2:3 de diésel, gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural comprimido a 250 bares (GNC), respectivamente.

El transporte del diésel comparado con el transporte del gas natural comprimido (GNC), mediante gasoducto virtual (carrotaques cisternas), es 3 veces más eficaz con respecto a la capacidad de generación por cada litro.

Análisis de biomasa y biogás

Guiados por el documento del plan del desarrollo municipal de Cumaribo (2016-2019) [8], se tienen respectivos mapas donde son visibles las zonas colombianas en las cuales hay mayor porcentaje de cultivos tanto permanentes como transitorios. Observando específicamente la zona demarcada del departamento de Vichada, se procede a analizar análogamente el departamento, como una aproximación a Cumaribo. Cabe resaltar que, en este sector, la agricultura presenta pequeñas explotaciones debido a varios factores como el alto costo de los insumos, el mal uso de la tierra, falta de políticas apropiadas, etc. Cumaribo posee para cada tipo de cultivo entre 0 y 200 hectáreas, siendo un municipio de poca producción agrícola.

En el municipio de Cumaribo, destacan los cultivos de palma de aceite y maíz. basándonos en el texto de los principales cultivos por área sembrada realizado por el Grupo de Evaluaciones Agropecuarias Gubernamentales del 2014. La tabla 11 contiene información acerca de dichos cultivos en el departamento de Vichada, con los cuales se podrán realizar cálculos del potencial energético utilizable por medio de biomasa.

Cultivo	Área sembrada [ha]	Área cosechada [ha]	Producción [ton]	Rendimiento [ton/ha]
Maíz tradicional	2.240	328	466	1.42
Palma e aceite	1.694	1.000	3.110	3.11

Tabla 11. Principales cultivos por área sembrada. Adaptada de [23]

Después de tener los datos de cultivo de maíz y palma de aceite, se procede a mostrar otros datos necesarios de estos dos cultivos, debido a que también se utilizan algunos residuos en específico para someterlos al proceso de gasificación. Se tiene en cuenta la ecuación (5) con la cual se obtiene el potencial energético a partir de la biomasa [24].

$$PE = M_{rs} * E \quad (5)$$

Donde:

$$\begin{aligned} PE & \text{Potencial energético [TJ/año]} \\ M_{rs} & \text{Masa de residuo seco [ton/año]} \\ PCI & \text{Energía del residuo por unidad de masa [TJ/ton]} \\ = E \end{aligned}$$

$$M_{rs} = A * R_C * F_r * Y_{rs} \quad (6)$$

Donde:

$$\begin{aligned} A & \text{Área cultivada [ha/año]} \\ R_C & \text{Rendimiento del cultivo [ton producto principal/ha]} \\ F_r & \text{Factor de residuo de cultivo [ton residuo/ton producto principal]} \\ Y_{rs} & \text{Fracción de residuo seco [ton residuo [ton residuo seco/ton residuo húmedo]} \end{aligned}$$

En la tabla 12 se encuentran los valores obtenidos de los residuos de cada cultivo.

Cultivo	Residuo	F_r [ton resid/ ton prod princ]	F_r [ton resid sec/ ton reid hum]	Y_{rs} [TJ/ton]
Palma de aceite	Cuesco	0,217	0,832	0,0167
	Fibra	0,627	0,694	0,0179
	Raquis de palma	1,060	0,424	0,0168
Maíz	Rastrojo	0,934	0,641	0,0143
	Tusa	0,270	0,735	0,0142
	Capacho	0,211	0,953	0,0159

Tabla 12. Datos de los residuos de maíz. Adaptada de [23]

Entonces:

$$PE_{Total Aceite} = PE_{Cuesco} + PE_{Tusa} + PE_{Raquis} \quad (7)$$

$$PE_{Total Maíz} = PE_{Rastrojo} + PE_{Tusa} + PE_{Capacho} \quad (8)$$

Se obtiene el potencial energético de la palma de aceite y de maíz a partir de la suma de los valores individuales de cada residuo. De la palma de aceite se generan 96,68 TJ/año (26,856 GWh/año), y del maíz 46,36 TJ/año (12,878 GWh/año).

Biogás

El biogás se genera por medios naturales, entre estos medios se destaca el estiércol de algunos animales como materia orgánica al igual que la biomasa se realiza un proceso de gasificación. En el caso del municipio de Cumaribo, se cuenta con un total aproximado de 39.000 bovinos, 605 porcinos y 3.800 de aves traspatio. Por tanto, se concluye que es estratégico utilizar los residuos del ganado bovino y porcino para generar energía por medio del biogás. Basados en [24], se obtiene el cálculo de la energía extraída de la biomasa con la ecuación (9).

$$PE = MA * MS * PCI \quad (9)$$

Donde:

$$PE \text{ Potencia energética [TJ/ton]}$$

MA	Número de cabezas
MS	Materia seca [$Kg/cabeza * año$]
PCI	Poder calorífico inferior [KWh/kg]

Para utilizar la ecuación (9) es necesario hallar el PCI (poder calorífico inferior) del metano (CH₄), debido a que éste es el resultante del estiércol [24].

Para determinar el potencial energético que pueden aportar los sectores bovinos y de porcicultura se toma del plan de desarrollo de Cumaribo los valores promedios de estiércol generados en cada sector, y se emplea la ecuación (9), obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 13. Se debe tener en cuenta que se realizan las conversiones tomando que 1 kJ equivale a 3600 kWh y que la potencia calculada es ideal, porque no se realiza una estimación de pérdidas.

	Sector bovino	Sector porcicultor
Cantidad promedio de estiércol	3.285 k cabeza-año	2.051 kg/cabezas-año
Energía ideal estimada por año	6,4062 PJ/año	62,048 TJ/ año
Potencia ideal estimada	203,12 MW	1,96 MW

Tabla 13. Generación de energía a partir del estiércol aportado por el sector bovino y porcicultor.

3.4 Estudio de solución energética

Se realiza el diseño de un sistema híbrido como solución y complemento al sistema de generación de energía actual a través de del hidrocarburo Diesel, para mejorar las condiciones y aumentar el abastecimiento de la demanda eléctrica de la población Cumaribo del departamento de Vichada durante un lapso de 20 años a partir del 2019.

Dadas las condiciones de la zona no se encontró viable implementar únicamente uno de los sistemas, ya que, si se implementa una planta de gasificación de biomasa, no se cuenta con la suficiente materia prima para generar las 24 horas continuas. Y una granja solar no podría abastecer la demanda en horas de la noche.

Descripción técnica planta de gasificación de biomasa.

La planta de gasificación de biomasa es un equipo de energía que convierte todo tipo de desechos forestales y cultivos con gran potencial energético en energía eléctrica de alta calidad y energía térmica, para resolver la contaminación de los desechos y la utilización racional de la energía.

La planta de energía de gasificación de biomasa se refiere al proceso mediante el cual las materias primas de biomasa se convierten en gas combustible en el gasificador, seguidamente el gas se purifica y luego se quema en el generador de gas para generar electricidad.

Características del equipo

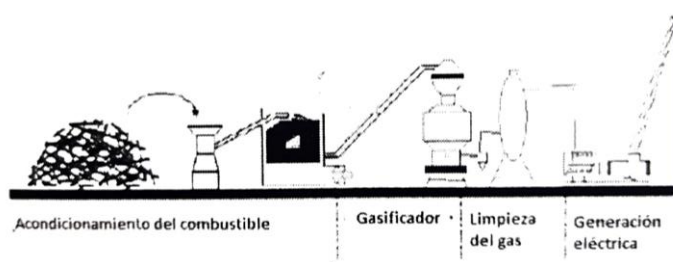
Es una estructura compacta con bajos requisitos del sitio para su instalación, de tipo descendente de lecho fijo, el gas combustible pasa por la zona de oxidación a alta temperatura, gran producción de gas estable que además puede integrarse en la red estatal y bajo contenido de alquitrán.

- Amplia variedad de fuentes de materia prima, entre ellas residuos agrícolas y residuos forestales.
- No necesita ayudas externas de combustión, depende de su propio calor para pirolizar, gasificar y generar energía de manera continua y constante.

- El sistema se encuentra automatizado con: compuerta hidráulica automática de aleta, sistema automático de alimentación y distribución, sistema de descarga automática de escoria de tornillo.
- Ventajas en la protección del medio ambiente, contenido de cenizas inferior al 1-1,5%. emisiones de dióxido de carbono y gases de combustión inferiores a 50 mg/m³.
- La eficiencia de gasificación del gasificador es del 80%.

En cuanto al grupo generador, debido a la composición especial del gas sintético producido a través de la gasificación por pirolisis de biomasa, el contenido de impurezas en el gas es alto, por ello la selección del grupo electrógeno debe ser muy específica. Por ende, en este caso es recomendable desde el proveedor elegir un generador de combustión interna de gran diámetro y baja velocidad de rotación de manera que pueda generar energía de forma estable.

La figura 2 presenta el esquema del sistema de planta de gasificación seleccionada con capacidad de abastecimiento de la demanda energética en Cumaribo municipio de del Departamento del Vichada.



Arreglo de
solares

los paneles

Los paneles serán distribuidos de la siguiente manera:

Agrupación en paralelo de strings de paneles fotovoltaicos. Cuadros de conexión en corriente continua. Una vez definido el número de paneles fotovoltaicos que formará un string, se define la agrupación en paralelo de éstos, para adaptar la potencia de los paneles fotovoltaicos que ataquen a un inversor a la potencia por éste.

Para ello, no habrá más que dividir la potencia nominal del inversor elegido, por la potencial nominal de un string de paneles fotovoltaicos. La agrupación de 25 paneles de 330 Wp da un total de 8,25 KW de potencia pico de 1 string. De este modo, si se elige un inversor de 1000 KW, resulta que para atacarlo se requieren 24 strings en paralelo.

Mediante cálculos rigurosos se determinó un área aproximada de 2,5 hectáreas para la instalación de la granja solar.

Grupo electrógeno a diésel

De acuerdo con lo expuesto en la anterior sección, cada componente del sistema híbrido tendrá una capacidad de 4MW instalada; luego para suplir la demanda para un lapso de 20 años en el municipio de Cumaribo se hará uso del suministro de energía existente por parte de las unidades generadoras con una capacidad actual de 3MW a partir del combustible Diesel, adicionando una unidad generadora extra de 1MW, esto con el fin de proveer la demanda energética de 8MW.

Conexión a la red primaria de distribución

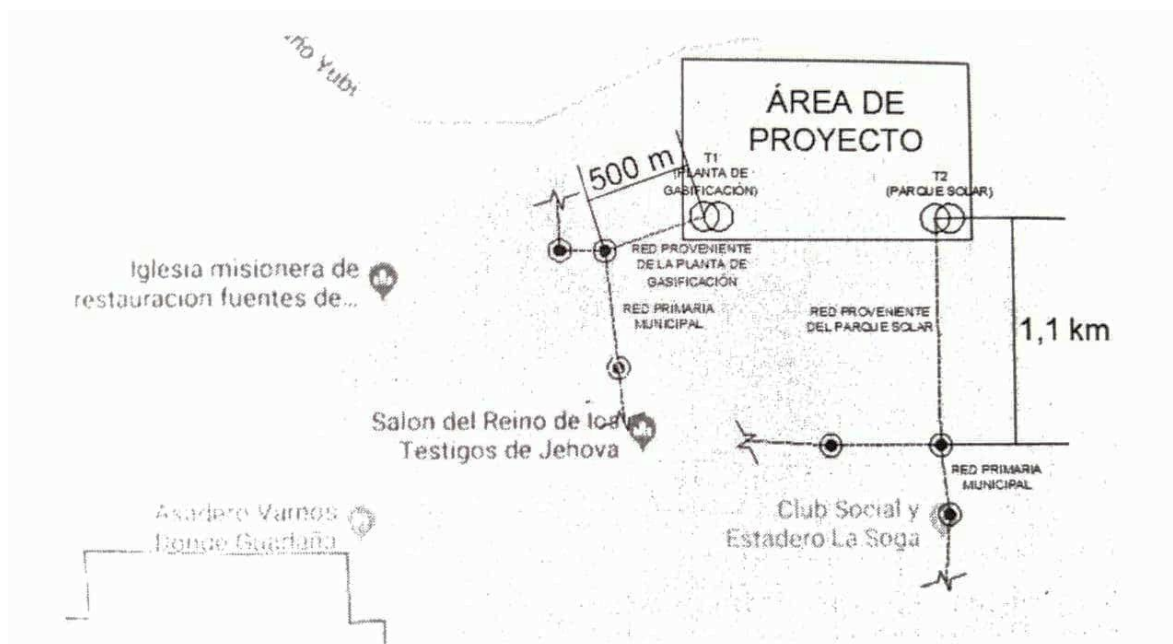


Figura 3. Puntos de conexión y longitud de red desde transformadores elevadores planta de gasificación y parque solar.

La figura 3, muestra la longitud (500m) existente entre el transformador de la planta de gasificación y el poste más cercano de la red de distribución primaria municipal. De igual manera, entre el transformador del parque solar y el poste más cercano de la red primaria municipal se evidencia una distancia de 1,1 Km.

Sistema de Supervisión y Adquisición de Datos SCADA

Finalmente se empleará el uso de un sistema de Supervisión y Adquisición de Datos SCADA el cual permita controlar y supervisar los procesos de producción de energía tanto en el sistema híbrido Biomasa - paneles fotovoltaicos como el sistema existente de generación a través de la combustión del hidrocarburo Diesel, facilitando la monitorización y el mando en tiempo real por medio de sensores y actuadores. El Sistema se encarga de gestionar la demanda y la generación en tiempo real para iniciar el proceso de sincronización a la red de distribución para el abastecimiento de la demanda energética en el municipio de Cumaribo.

3.5. Estudio de impacto ambiental.

Este estudio sigue la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales propuesto por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) [25].

En general se dan a conocer propuestas alternativas, tal como la ubicación y localización de la planta generadora de energía eléctrica que estaría enfocada a no causar impactos negativos al ecosistema y la comunidad; además, respetar los límites territoriales donde tengan influencia resguardos indígenas o áreas que pertenezcan a parques naturales y áreas protegidas.

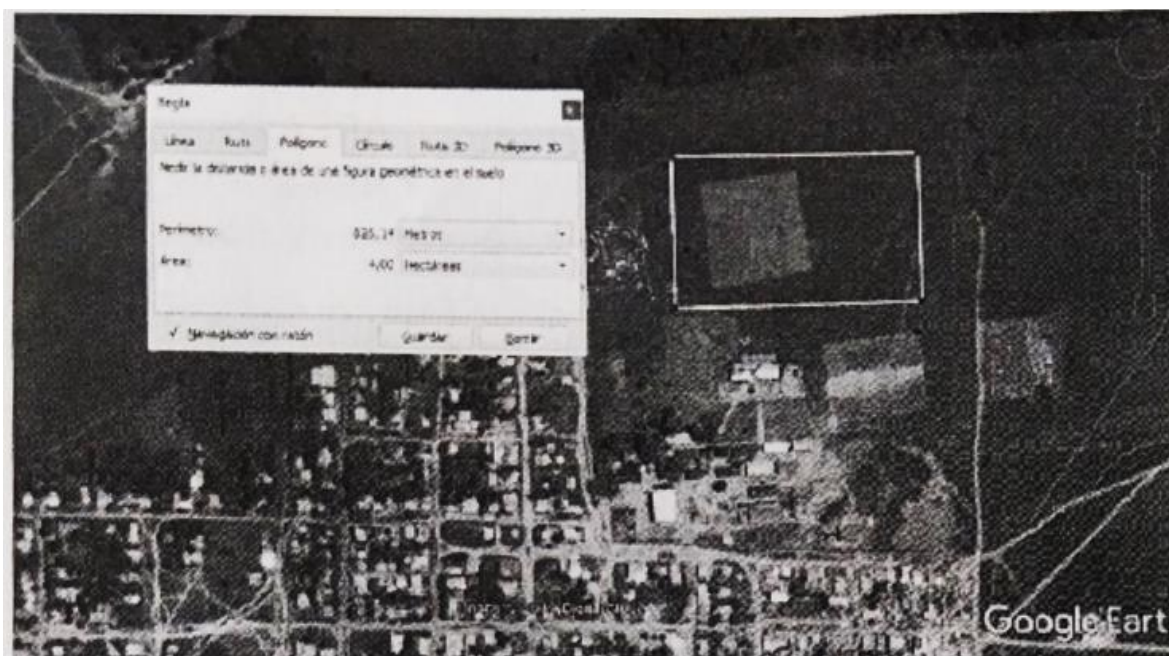


Figura 4. Ubicación y área estimada a usar Fuente: construcción propia a partir de Google Earth

Alternativa propuesta:

Características del proyecto:

Para el cumplimiento de los objetivos, se llevará a cabo la instalación de una planta de generación eléctrica a base de gasificación de biomasa como fuente de calor por medio de los residuos agrícolas, la instalación de paneles solares fotovoltaicos y plantas a base de combustible diésel.

Impactos negativos

- Emisión de gases de efecto invernadero en la producción de gas a partir de la biomasa y diésel.
- Contaminación del aire por el transporte usado para el traslado de biomasa y de diésel.
- Producción de contaminantes como el alquitrán y algunas partículas contaminantes a partir de los residuos de gasificación de la biomasa.
- Reubicación de parcelas y posible desplazamiento de personas.
- Exclusión de fauna y flora.

Impactos positivos

- Aprovechamiento de residuos orgánicos de los productos agrícolas.
- Implementación de tecnología con recursos renovables y menor grado de contaminación.
- Crear un sector productivo en la comunidad.
- Disminución de emisiones de CO₂.

Criterio de selección:

En primera instancia, no es viable aprovechar el aceite de la palma de cera; esto implicaría la explotación con exclusividad para generación de energía eléctrica lo que finalmente conlleva al deterioro de los suelos, pérdida de vegetación nativa, entre otros. Además, para la extracción del aceite de palma es necesario el recurso hídrico para purificarlo, por lo que el agua debe recibir un tratamiento especial en este proceso antes de devolverla a su cauce. La alternativa seleccionada permite un

Área de estudio preliminar

VICHADA

PUNTA DAZIDEA

RIOS TONDO Y WERRER

LA ESMERALDA

SAN LUIS DEL GUANO

MUCO MAYORAGUA

RIOS MUCO Y EL APARICITO

LA AMAYE NATALITO

SANTA TERESA DEL TUPACARI

EL CAYO URBANO CUMATHE

SELVA DE MATAVEN

FLORES DOMESTICO

ALTO URUMA

MANCUECACA

CHOCOR

RIO SARE

AMAZONIA

VENEZUELA

Se tiene en cuenta, para el análisis ambiental, el Parque Natural Nacional el Tuparro declarado como monumento nacional y zona núcleo de la reserva de la biosfera de nivel mundial por la UNESCO. Alberga 557 especies de plantas, 74 de mamíferos y 112 de aves. Posee todos los ecosistemas, excepto el marino y el tercer río más largo del mundo (Orinoco). [26]

Concluidos los estudios de impacto ambiental se inicia un proceso de socialización del proyecto a las comunidades del área de influencia, a las autoridades ambientales, municipales y población en general con el fin de conocer la percepción que tienen respecto al proyecto, recibir sugerencias acerca de los aspectos ambientales y sociales relacionados con el mismo. Por lo cual se definen 4 etapas y actividades a desarrollarse, las cuales se describen a continuación: [27, 28]

- Las actividades para realizar están demarcadas por las siguientes características:

- Caracterización: se realiza mediante encuestas y consultas estadísticas sobre la población.
- Taller: identificación y evaluación de impactos del proyecto con la comunidad.
- Reunión: solución de dudas por parte de los representantes del proyecto a los actores involucrados con el fin de llegar a un acuerdo.

43

Flora:

En Orinoquia la documentación diferente a la flora es limitada, existen estudios realizados en el Parque Nacional el Tuparro y a nivel de las provincias biogeográficas. [29].

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	CLASIFICACIÓN	REFERENCIA
Ficus sp	Caucho, higuérón	LR/1C	I.U.C.N
Guarea venenata	Cedro	LR/cd	I.U.C.N
Bombacopsis guinata	Cedro macho	Altamente amenazado	Corporinoquia
Juglans spp	Nogal o cedro negro	Altamente amenazado	Corporinoquia
Quercus Humboldtii	roble	Altamente amenazado	Corporinoquia

Tabla 14. Nivel de amenaza para especies arbóreas del municipio de Cumaribo Fuente: UICN, 2002 y Corporinoquia

Fauna:

Las especies que representan mayor presión frente a actividades de extracción y comercio ilícito en el municipio, siguiendo la clasificación de la Convención sobre el Comercio Internacional de especies amenazadas de Fauna y Flora Silvestre, CITES (válida a partir del 01 de Julio de 2008, apéndice I, II y III) [29], son:

CLASE	ORDEN	ESPECIE	NOMBRE COMÚN
Mammalia (Mamíferos)	Artiodactylia	Tayassu pecari	Cajuche
		Tayassu tajacu	Chácharo
		Odocoileus virginianus	Venado
	Perissodactylia	Tapirus terrestres	Danta, Tapir
	Pilosa	Myrmecophaga Tridactyla	Oso palmero, hormiguero
		Bradypus Variegatus	Perezoso
	Carnivora	Pteronura Brasiliensis	Perro de agua
		Panthera Onca	Tigre, tigre mariposa
		Cerdocyon Thous	Zorro perruno
Reptilia (Reptiles)	Crocodylia	Caiman Crocodiles	Babilla
		Boa Constrictor	Boa tragavenado
	Serpentes	Crocodylus Intermedius	Caimán del Orinoco
	Sauria	Iguana Iguana	Iguana
Aves	Ciconiiformes	Eudocimus Ruber	Corocora
	Charadriiformes	Jabirú Mycteria	Garzón soldado

		Burhinus Bistriatus	Guerere (Dará)
--	--	------------------------	----------------

Tabla 15. Especies que presentan mayor presión frente a actividades de extracción y comercio ilícito Fuente: Apéndices I, II y III – Convención sobre el Comercio Internacional de especies amenazadas de Fauna y Flora Silvestre, CITES – 01 de julio de 2008.

Etapas del proyecto	Factor de impactos	Impacto resultante
Construcción	Acondicionamiento del terreno para habilitar la construcción del proyecto e instalación de los paneles y tendidos eléctricos	• Cambio de relieve • Disminución de la calidad del suelo con previsión agrícola • Pérdida de vegetación • Desplazamiento y reubicación de fauna • Desplazamiento y reubicación de personas • Aumento de los niveles de ruido y material particulado • Impacto visual
Funcionamiento	Operación y labores de mantenimiento	• Disminución de la calidad del suelo con previsión agrícola • Pérdida de vegetación • Desplazamiento de fauna • Impacto visual
Abandono	Desmantelamiento de los paneles	• Liberación de materiales peligrosos: contaminación del medio biótico y abiótico • Generación de escombros y residuos tecnológicos • Aumento del tránsito de vehículos, esto genera: • Emisiones de partículas y gases • Aumento de los niveles sonoros • Disminución de la dinamización económica • Impacto social

Tabla 16. Impactos negativos de la implementación de paneles fotovoltaicos.

Etapas del proyecto	Factor de impactos	Impacto resultante
Construcción	Acondicionamiento del terreno para habilitar la construcción del proyecto y construcción de la planta.	• Cambio de relieve • Disminución de la calidad del suelo con previsión agrícola • Pérdida de vegetación en bajas proporciones Desplazamiento y reubicación de fauna • Aumento de los niveles de ruido y material particulado • Impacto visual

Funcionamiento abandono	Operación	- Disminución de la calidad del suelo con previsión agrícola - Disminución de la calidad del agua Generación de alquitrán y partículas contaminantes - Disminución de la calidad del aire debido a: -Propagación de plagas (zancudos, ratas, insectos, etc.) -Emisión de gases de efecto invernadero -Emisión de gases odoríferos - Perdida de vegetación en bajas proporciones - Perturbación de la fauna
		Impacto visual
	Transporte de materia prima (biomasa) y residuos.	Mayor flujo de transporte y, por ende: -emisión de gases -aumento de ruido y material particulado -impacto visual
Abandono	Desmantelamiento de planta de biomasa	- Generación de escombros y residuos tecnológicos - Aumento del tránsito de vehículos, esto genera: Emisiones de partículas y gases - Aumento de los niveles sonoros - Disminución de la dinamización económica - Impacto visual

Tabla 17. Impactos negativos de la implementación de la planta de biomasa.

Etapas del proyecto	Factor de impactos	Impacto resultante
Construcción	Acondicionamiento del terreno para habilitar la construcción del proyecto y construcción de la planta.	- Cambio de relieve - Disminución de la calidad del suelo con previsión agrícola - Perdida de vegetación en bajas proporciones. - Desplazamiento y reubicación de fauna - Aumento de los niveles de ruido y material particulado - Impacto visual
Funcionamiento abandono	Operación	- Disminución de la calidad del suelo con previsión agrícola - Disminución de la calidad del agua Disminución de la calidad del aire debido a: -Emisión de gases de efecto invernadero -Emisión de gases odoríferos

		-Emisión de material particulado proporciones • Pérdida de vegetación en bajas • Perturbación de la fauna • Impacto visual
	Transporte de materia prima (diésel)	Mayor flujo de transporte y, por ende: -emisión de gases -aumento de ruido y material particulado -impacto visual
Abandono	Desmantelamiento de planta de diésel	Generación de escombros y residuos tecnológicos Aumento del tránsito de vehículos, esto genera: Emisiones de partículas y gases Aumento de los niveles sonoros Disminución de la dinamización económica Impacto visual

Tabla 18. Impactos negativos de la planta de diésel.

Etapas del proyecto	Factor de impactos	Impacto resultante
Construcción	Acondicionamiento del terreno para habilitar la construcción del proyecto e instalación de los paneles y tendidos eléctricos	Generación de empleo (temporal) Mejoramiento de vías de acceso
Funcionamiento	Operación	• Aumento de la calidad de vida • Mejora en el servicio de energía • Mejora en servicio de las instalaciones públicas • Mejora en los sistemas de comunicación • Generación de empleo • Sin emisión de gases efecto invernadero • Dinamización económica • Aumento en la seguridad (debido a mejoras en el alumbrado)
abandono	Desmantelamiento de los paneles	• Generación de empleo (temporal) • Recuperación del medio biótico • Recuperación del medio abiótico • Recuperación paisajística

Tabla 19. Impactos positivos de la implantación de paneles fotovoltaicos.

Etapas del proyecto	Factor de impactos	Impacto resultante
Construcción	Acondicionamiento del terreno para habilitar la construcción del proyecto e instalación de los paneles y tendidos eléctricos	Generación de empleo (temporal) Mejoramiento de vías de acceso
Funcionamiento	Operación	Posee los mismos impactos positivos del sistema fotovoltaico (exceptuando las emisiones de gases) y se añaden las siguientes: • Menores emisiones de gases perjudiciales a comparación de combustibles fósiles • Aprovechamiento de material residual • Aumento en la seguridad (debido a la mejora en el alumbrado)
abandono	Desmantelamiento de los paneles	• Generación de empleo (temporal) • Recuperación del medio biótico • Recuperación del medio abiótico • Disminución de la emisión de gases • Recuperación paisajística

Tabla 20. Impactos positivos de la implementación de la planta de biomasa.

Etapas del proyecto	Factor de impactos	Impacto resultante
Construcción	Acondicionamiento del terreno para habilitar la construcción del proyecto e instalación de los paneles y tendidos eléctricos	• Generación de empleo (temporal)
Funcionamiento	Operación	• Aumento de la calidad de vida • Mejora en el servicio de energía • Mejora en servicio de las instalaciones públicas • Mejora en los sistemas de comunicación • Generación de empleo • Aumento en la seguridad (debido a la mejora en el alumbrado)
abandono	Desmantelamiento de los paneles	• Generación de empleo • Recuperación del medio biótico

		• Recuperación del medio abiótico • Disminución de la emisión de gases • Recuperación paisajística
--	--	--

Tabla 21. Impactos positivos de la planta de diésel.

4. Conclusiones

- Una solución energética debe estar fundamentada en una mirada holística con pensamiento dinámico, capaz de gestionar y optimizar respuestas coherentes a las necesidades que, desde la transversalidad de la ingeniería eléctrica, se puedan satisfacer.
- La caracterización compleja de las formas de habitar de las comunidades, junto con el reconocimiento de su territorio, permite potenciar desarrollo resiliente, sostenible y autosustentable. El recurso energético se plantea como eje transversal para la dinamización y fortalecimiento de requerimientos fundamentales como el acceso a agua potable, educación y salud, en la dignificación de su calidad de vida.
- Si bien existía la posibilidad de un aprovechamiento hídrico, este no fue viable debido a que, desde el reconocimiento del mapa de actores, se identifica que el municipio de Cumaribo cuenta con una fuerte presencia de comunidades indígenas quienes reconocen al río Vichada como expresión viva de su cultura y costumbres ancestrales.

Agradecimientos:

La investigación para este trabajo fue apoyada y financiada por la docente PhD. Belizza Janet Ruiz Mendoza, y contó con la participación activa de los estudiantes del curso de Generación Eléctrica 2018-2 del pregrado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

Referencias

- [1] C. constitucional, Sentencia T-761, 2015.
- [2] F. León-Vargas, M. García-Jaramillo, and E. Krejci, "Pre-feasibility of wind and solar systems for residential self-sufficiency in four urban locations of Colombia: Implication of new incentives included in law 1715," *Renewable Energy*, vol. 130, pp. 1082-1091, 2019. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118307390>.
- [3] M. Espinosa. "Lo difícil de vivir en Cumaribo, el municipio más grande de Colombia," *El Tiempo*, 2018. [Online]. Available: https://www.eltiempo.com/colombia/otras_ciudades/cumaribo-el-municipio-mas-grande-de-colombia-96304.
- [4] "Dominguez, c. la gran cuenca del Orinoco [ebook]. Bogotá, Colombia.: Universidad nacional de Colombia."
- [5] Marc, Edmond; Picard, Dominique (1992) *La interacción social. Cultura, instituciones y comunicación*, Paidós, Barcelona.
- [6] Galindo, Jesús; Karam, Tanius y Rizo, Marta (2005) *Cien libros hacia una comunicología posible. Ensayos, reseñas y sistemas de información*, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, México.
- [8] H. B. Sosa. "Plan de desarrollo municipal 2016-2019: Mi compromiso es Cumaribo", Municipio De Cumaribo [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2TuRDNR>. [Accedido: Marzo 2019].
- [9] "Conozcamos todos los ríos de nuestro planeta. (2019), retrieved from <https://riosdelplaneta.com>."
- [10] "Earth view from google. (2019). retrieved."

- [11] "Enciso rojas, e., rojas hernández, c. (2015). cálculo del caudal del río cauca en la estación tres cruces y cálculo del caudal del río vichada en la estación de santa rita, por el método de la máxima entropía. Universidad distrital francisco jose de caldas."
- [12] R. Pravalie, C. Patriche, and G. Bando, "Spatial assessment of solar energy potential at global scale. A geographical approach," *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, pp. 692-721, 2019. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618332657>
- [13] W. B. Group, "Global solar atlas," 2019. [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/?e=3.645-68.554688,5&s=4.4455,-69.799&e=1>
- [14] J. D.C, "Atlas interactivo - vientos - ideam," 2019. [Online]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- [15] 2019. [Online]. Available: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61400-1%7Bed3.0V07Den.pdf
- [16] P. P. Vergara Barrios, J. M. Rey López, G. A. Osma Pinto, and G. Ordoñez Plata, "Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la universidad industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia," *Revista UIS/ingenierías*, vol. 13, no. 2, 2014.
- [17] M. Baeza, "Los combustibles más energéticos," 2012.
- [18] L. G. V, 2019. [Online]. Available: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/Giangrandi.pdf>
- [19] IPSE, 2019. [Online]. Available: <http://ipse.gov.co/component/download%2Fcategory%2F300-guias-e-instructivos%3Fdownload%3D1317%3Aguia5fXXYM78a7YOkIvwKpFfi>
- [20] A. nacional de hidrocarburos, 2019. [Online]. Available: <http://www.anh.gov.co/Asignaciondeareas/Paginas/Mapa-de-tierras.aspx>
- [21] G. A. ROJAS, 2019. [Online]. Available: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16654966>
- [22] S. User, "Mapas del sistema de transporte," 2019. [Online]. Available: <http://beo.tgi.com.co/index.php/manual-del-transportador/informacion-y-procedimientos-operacionales/mapas-del-sistema-de-transporte>
- [23] M. de agricultura y desarrollo rural, 2014. [Online]. Available: <https://www.agronet.gov.co/Documents/Vichada.pdf>
- [24] C.C.S.MONROY, 2016. [Online]. Available: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3687/Documento%20final%20Metodolog%C3%ADa%20Potencial%20Energ%C3%A9tico%20Biomasa.pdf>
- [25] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (Bogotá 2018). "Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales". Disponible en: http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/comunicaciones/permisos/metodologia_estudios_ambientales_2018.pdf
- [26] MINAMBIENTE. Parque Nacional Natural El Tuparro. Disponible en: <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/ecoturismo/region-amazonia-y-orinoquia/parquenacional-natural-el-tuparro/>
- [27] Empresa global de proyectos de ingeniería, Hidrogenarías S.A.S. (2015). "Metodología para la socialización". Esquema de intervención social, pág. 1, 2, 3. Disponible en: https://www.academia.edu/15003010/Metodologia_para_la_Socializacion_rd
- [28] HVM ingenieros, PCA (2011). Proceso de socialización veredal del EIA del proyecto vial Ruta del Sol – sector I a organizaciones sociales y comunidades del área de influencia, pág 4 metodología. Disponible en: <https://docplayer.es/13778000-Anexo-3-28-proceso-de-socializacion-del-eia-del-proyecto-vial-ruta-del-rol-sector-i-a-organizaciones-sociales-y-comunidades-del-area-de-influencia.html>

[29] Alcaldía y concejo municipal de Cumaribo. (2012). Acuerdo no. 006 Plan de Desarrollo del municipio de Cumaribo, para la vigencia 2012-2015. Disponible en: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Imagenes/cumaribo %20vichadapd%202012-%202015.pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Imagenes/cumaribo%20vichadapd%202012-%202015.pdf)