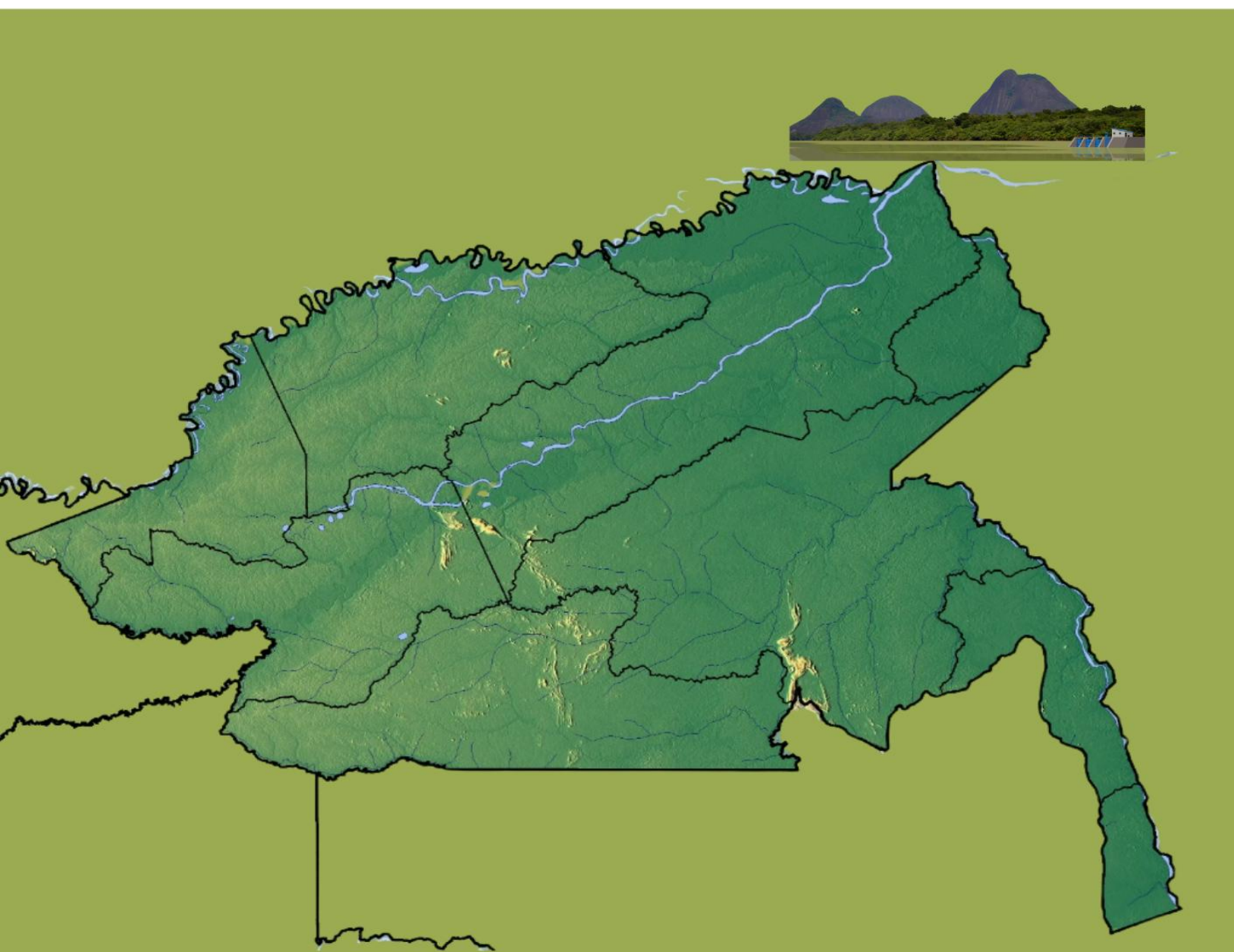
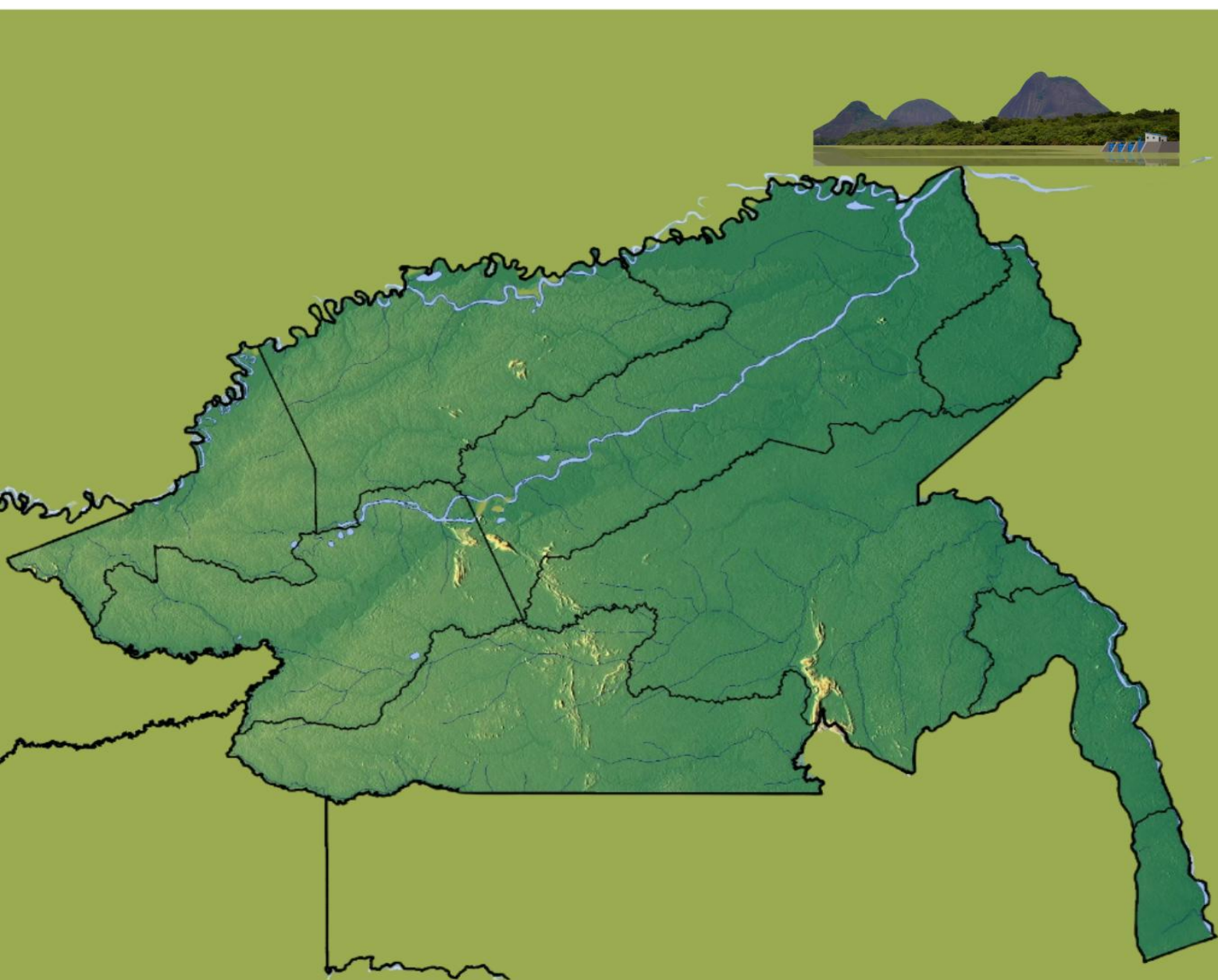


Análisis de un proyecto: Pequeña Central Hidroeléctrica para la comunidad de Puerto Inirida, Guainía



Project Review: Small Hydropower Facility for Puerto Inírida, Guainía



ANÁLISIS DE UN PROYECTO: PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PARA LA COMUNIDAD DE PUERTO INÍRIDA, GUAINÍA

Esta publicación fue realizada por la Corporación Cambio Sostenible, una entidad sin ánimo de lucro, constituida en el año 2020, cuya misión es promover el desarrollo sostenible para la equidad social.



Editado por Francisco J. Rigual
Trabajo de prácticas presentado por Juan Carlos Pulido
Máster Universitario en Energías Renovables - UNIR
Coordinado por Angie Paola E. Velásquez
Diciembre, 2025.



Esta obra esta disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 Internacional

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

Análisis de un proyecto: Pequeña Central Hidroeléctrica para la comunidad de Puerto Inirida, Guainía

Juan Carlos Pulido Fonseca¹, Angie Paola Espinoza²

¹ Ingeniero en Metalurgia, practicante del Máster Universitario en Energías Renovables

² Ingeniera ambiental, investigadora, Tutora de prácticas cambiosostenible@cambiosostenible.org

Resumen

Pese a que Colombia presenta un alto potencial hidroenergético y una gran oportunidad para el desarrollo de proyectos de generación mediante Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), especialmente en las Zonas No Interconectadas (ZNI), el desarrollo de este tipo de proyectos no se ha priorizado. Dado lo anterior, persisten brechas profundas en cobertura, calidad y costos del servicio de energía eléctrica, en las regiones y ZNI, que siguen dependiendo históricamente de la generación con diésel, un sistema costoso, ambientalmente crítico y vulnerable en términos logísticos. El presente documento tiene como objetivo realizar una identificación de potenciales en fuentes de energías no renovables en diferentes territorios del país y analizar puntualmente un escenario teórico para la implementación de una Pequeña Central Hidroeléctrica PCH a filo de agua para la comunidad de Inirida, evaluando las oportunidades, los obstáculos, la relevancia y la viabilidad de este proyecto, se verifican las normas aplicadas a este tipo sistemas de generación de energía en ZNI. La comunidad del Inirida se estima en 32 mil habitantes, la cual se compone especialmente de comunidad indígena, esta población se abastece de energía de una planta Diesel operada por GEMSA, con capacidad de 7 MW, la propuesta de este proyecto pretende un cambio radical para el abastecimiento de energía en esta comunidad. Se concluye proponer una mejora a la política en cuanto a discriminar y simplificar los trámites para este tipo de proyectos, ya sea en zonas rurales o ZNI, además de generar incentivos para el desarrollo de esta tecnología.

Palabras clave: Energía renovable, hidroeléctrica pequeña, transición energética

Abstract:

Despite Colombia's high hydroenergy potential, Small Hydropower Plants (SHP) remain largely undeveloped in Non-Interconnected Zones (ZNI). This has kept coverage, service quality, and energy costs uneven, with many communities still relying on expensive and environmentally critical diesel generation. The report evaluates renewable-energy potential across multiple regions and develops a theoretical run-of-river SHP scenario for Inirida, home to roughly 32 thousand people and currently supplied by GEMSA's 7 MW diesel plant. The proposal aims to transform the community's energy supply through cleaner and more reliable generation. The assessment reviews opportunities, barriers, regulatory requirements, and project viability, concluding with recommendations to simplify procedures and create incentives for SHP development in rural and ZNI areas.

Keywords: renewable energy, small hydropower, energy transition

TABLA DE CONTENIDO

TABLAS DE SIGLAS	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
1. METODOLOGÍA	8
2. ÁRBOL DE PROBLEMAS	10
3. ÁRBOL DE OBJETIVOS	11
4. CARACTERIZACIÓN DE PROYECTOS FNECER DIFERENTES A FOTOVOLTAICOS EN ZNI	12
5. INDICADORES DE REPLICABILIDAD	15
6. CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDAD EN ZONAS NO INTERCONECTADAS - ZNI PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA - PCH	18
7. CALCÚLALOS DEL FACTOR DE CAPACIDAD EFICIENCIA ENERGÉTICA, CONFIABILIDAD, COMPLEJIDAD DE MANTENIMIENTO, PARA EL PROYECTO ENERGÉTICO PCH DE LA COMUNIDAD DE INÍRIDA	22
8. CALCULO DE HUELLA DE CARBONO PARA EL PROYECTO ENERGÉTICO PCH DE LA COMUNIDAD DE INÍRIDA.	25
8.1. Para la línea Base tenemos los siguientes cálculos	26
8.2. Construcción.	26
9. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LA BIODIVERSIDAD Y EL USO DEL SUELO QUE PUEDEN GENERAR LOS PROYECTOS EN LAS COMUNIDADES DE ZNI	29
9.1. Evaluación de efectos en el uso del suelo que puede tener Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas - PHC	31
9.2. Evaluación que efectos en la biodiversidad puede tener el proyecto	31
9.3. Efectos genera este proyecto en la comunidad.	32
10. DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO PARA UN DÍA ACORDE A LA PCH A FILO DE AGUA EN INÍRIDA (GUAINÍA) CON CAPACIDAD INSTALADA DE 2,5 MW	34
11. BARRERAS NORMATIVAS Y PRESUPUESTALES PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN COLOMBIA	37
11.1 Barreras Normativas	37
11.2 Barreras Presupuestales y Financieras.	38

TABLAS DE SIGLAS

FNCER	Fuentes No convencionales de Energías Renovables
PCH	Pequeña Central Hidroeléctrica
ZNI	Zona no Interconectada
GEMSA	Gestión Energética s.a. esp
MME	Ministerio de Minas y Energía
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética
IPSE	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Las Zonas No Interconectadas
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
ANLA	Agencia Nacional de Licencias Ambientales
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
SINCHI	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi

INTRODUCCIÓN

Colombia depende en un 68% de centrales hidroeléctricas y cerca de un 30% en termoeléctricas, por otra parte, para el 2025 las Fuentes no Convencionales de Energía y principalmente los sistemas fotovoltaicos alcanzaron una capacidad instalada de cerca de los 2030 MW equivalentes a un 59% de aumento frente al 2024.

Teniendo en cuenta que la Transición Energética en Colombia¹, busca remplazar o reducir la matriz energética dependiente de los combustibles fósiles, y que el gobierno ha emitido una serie de normativa sobre el tema, los proyectos de generación con tecnología diferentes a fotovoltaica no se han desarrollado. La puesta del estado se ha dirigido especialmente al apoyo de proyectos fotovoltaicos y en menor importancia a los demás sistemas energéticos no convencionales, lo que podría llevar a un retraso en el objetivo final de la política de transición energética para el país.

Pese a que Colombia presenta un alto potencial hidroenergético y una gran oportunidad para el desarrollo de proyectos de generación mediante Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), especialmente en las Zonas No Interconectadas (ZNI), el desarrollo de este tipo de proyectos no se ha priorizado.

Dado lo anterior, persisten brechas profundas en cobertura, calidad y costos del servicio de energía eléctrica, en las regiones y ZNI, que siguen dependiendo históricamente de la generación con diésel, un sistema costoso, ambientalmente crítico y vulnerable en términos logísticos.

El presente documento tiene como objetivo realizar una identificación de potenciales en fuentes de energías no renovables en diferentes territorios del país y analizar puntualmente un escenario teórico para la implementación de una Pequeña Central Hidroeléctrica PCH a filo de agua para la comunidad de Inírida, evaluando las oportunidades, los obstáculos, la relevancia y la viabilidad de este proyecto, se verifican las normas aplicadas a este tipo sistemas de generación de energía en ZNI. La comunidad del Inírida se estima en 32 mil

1

https://www.minenergia.gov.co/static/legado_transicion_energetica/src/document/TRANSICION%20ENERGETICA%20COLOMBIA%20BID-MINENERGIA-2403.pdf

habitantes, la cual se compone especialmente de comunidad indígena, esta población se abastece de energía de una planta Diesel operada por GEMSA, con capacidad de 7 MW, la propuesta de este proyecto pretende un cambio radical para el abastecimiento de energía en esta comunidad.

Dado que la normatividad es muy dispersa en ciertos aspectos, se propone una mejora a la política en cuanto a discriminar y simplificar los trámites para este tipo de proyectos, ya sea en zonas rurales o ZNI, además de generar incentivos para el desarrollo de esta tecnología.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad de la implementación de un proyecto de generación hidroeléctrica por medio de una PCH a filo de río en el municipio de Inírida, departamento de Guainía.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar proyectos FNCER diferentes a fotovoltaicos desarrollados en Colombia y evaluar su aplicabilidad en regiones ZNI.
- Analizar indicadores de replicabilidad técnica, ambiental, económica y social para distintas tecnologías renovables.
- Caracterizar a la comunidad de Inírida teniendo en cuenta el contexto de implementación de una PCH a filo de río.
- Hacer cálculos de diseño como factor de capacidad, eficiencia, confiabilidad y complejidad de mantenimiento de una PCH a filo de río para el municipio de Inírida Guainía.
- Calcular la huella de carbono generada por el sistema actual de diésel y la reducción asociada a la implementación de la PCH.
- Diseñar un sistema de almacenamiento energético para complementar la operación de la PCH.
- Evaluar los efectos de proyectos hidroeléctricos sobre la biodiversidad, uso del suelo y la comunidad.
- Identificar barreras normativas y presupuestales para proyectos hidroeléctricos menores a 10 MW y proponer soluciones de política pública

1. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este documento se empleó la siguiente metodología, la cual está basada en un enfoque técnico–analítico, que comprendió varias etapas como son una revisión documental, elaboración de una lluvia de ideas, que conllevó a un árbol de problemas y árbol de objetivos, posteriormente una identificación y caracterización de proyectos, un diagnóstico de una comunidad entre otras es así, que todas las etapas se desarrollan de siguiente manera:

1.1. Árbol de problemas y árbol de objetivos.

Se hace una recopilación de información, para generar una lluvia de ideas, con base en esta se elaboraron el árbol de problemas y posteriormente el árbol de objetivos

1.2. Revisión documental y Normativa

Se examinaron fuentes oficiales del sector energético colombiano (MME, UPME, IPSE, CREG, ANLA), así como diferentes estudios técnicos y científicos relacionados con la generación de energía a partir de hidroeléctricas, también revisaron las principales características de las PCH. Esto permitió establecer el panorama general, los antecedentes y la evidencia técnica necesaria para sustentar el análisis.

1.3. Caracterización de proyectos Fuentes No Convencionales de Energía Renovable FNCER, diferentes a fotovoltaicos

Se analizaron y caracterizaron tres proyectos de diferentes formas de generación de energía eólica, biomasa e hidroenergía, señalando:

- La ubicación, capacidad, estado del proyecto;
- Las complejidades técnicas, sociales y ambientales;
- Los impactos esperados;
- Los indicadores de replicabilidad aplicables a ZNI.

1.4. Diagnóstico de la comunidad objetivo (Inírida, Guainía)

escoger una comunidad por sus números de habitantes, las fuentes hídricas que están en su cercanía, fuente de energía usada actualmente por la comunidad y los beneficios que tendría

la comunidad, al implementar este proyecto, se elaboró la caracterización socioeconómica, cultural, ambiental y energética de la comunidad, empleando bases de datos del DANE, IDEAM, SINCHI, GENSA y ANLA.

1.5. Cálculos energéticos

Se efectuaron los cálculos para determinar la potencia hidráulica de la PCH, su eficiencia, su capacidad, la producción anual, la confiabilidad del sistema y finalmente la complejidad del mantenimiento del proyecto de la PCH, para lo cual se usó parámetros de referencia según guías UPME, IDEAM y manuales internacionales de PCH.

1.6. Estimación de huella de carbono

Se aplicó la metodología ISO 14064 (2018), para la evaluación de emisiones actuales del sistema diésel y las emisiones que podría generar la construcción y montaje de la PCH, finalmente se calculó la disminución de CO₂ al año.

1.7. Diseño y cálculo de un sistema de almacenamiento energético para el proyecto de la PCH

Con base en la operación esperada de la PCH se diseñó un sistema BESS, calculando la energía útil diaria, su capacidad nominal, el costo y vida útil del sistema y el número de baterías requeridas según la configuración.

1.8. Evaluación socioambiental

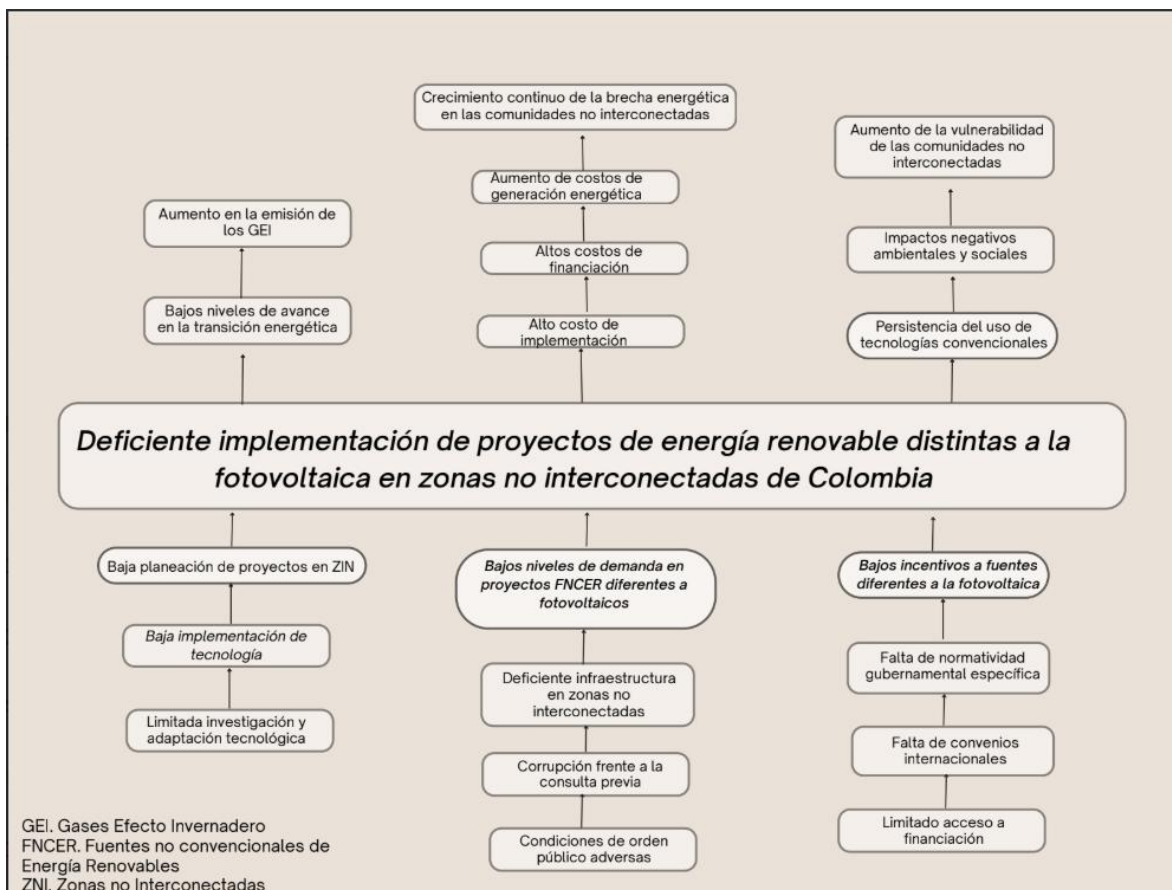
se revisaron y analizaron los conflictos de uso del suelo, impactos sobre biodiversidad acuática y terrestre, efectos sociales directos e indirectos, y los riesgos y oportunidades para comunidades que viven en el municipio y en espacial a las comunidades indígenas habitantes en la región.

1.9. Identificación de barreras y propuesta de política pública

Se estudiaron las barreras normativas, técnicas y presupuestales que afectan los proyectos hidroeléctricos menores de 10 MW en ZNI, formulando una política de ajuste regulatorio y de incentivos.

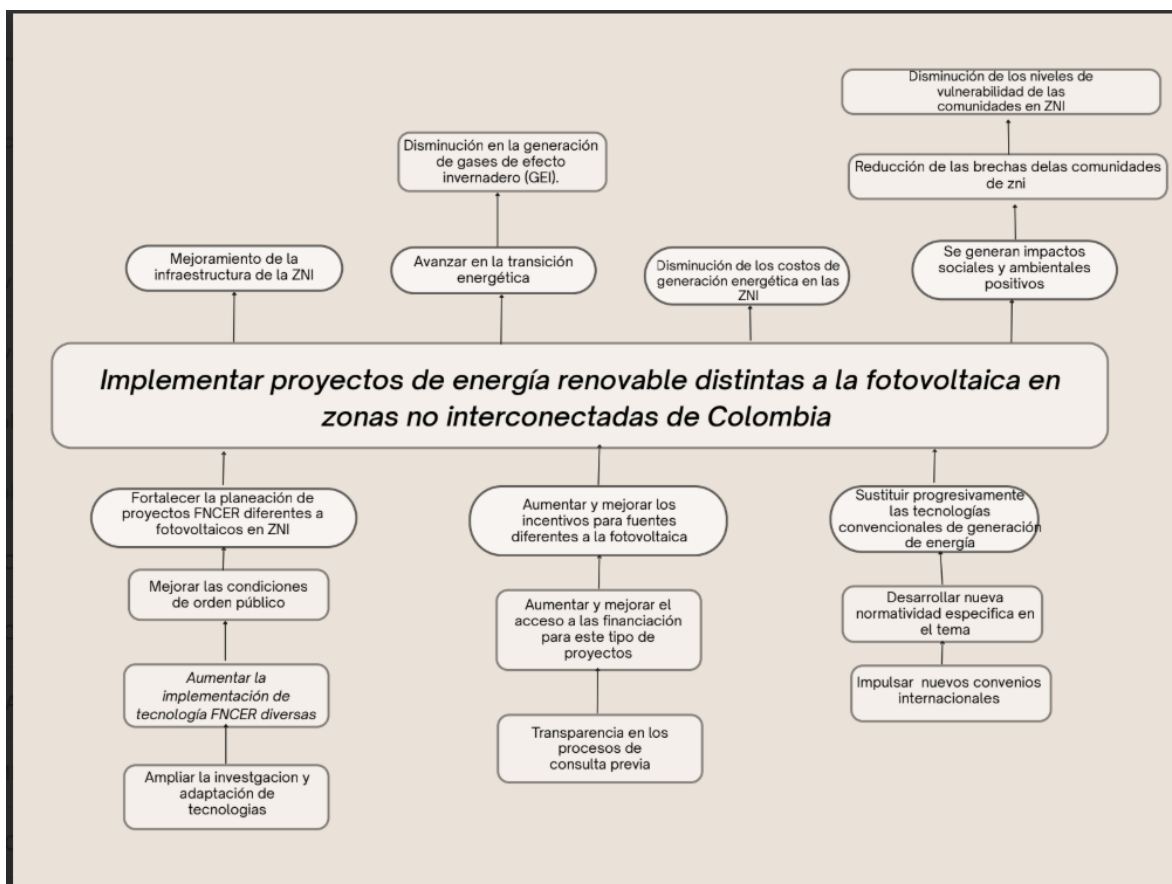
2. ÁRBOL DE PROBLEMAS

Este árbol de problemas fue producto de la revisión documental sobre la implementación de proyectos energía renovable diferentes a la fotovoltaica en zonas no interconectadas de Colombia. Aquí se muestran las principales causas y efectos del problema planteado.



3. ÁRBOL DE OBJETIVOS

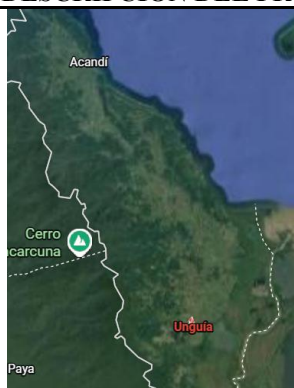
Este árbol de objetivos se plantea una serie de objetivos y actividades que permitirían la solución al problema planteado en el árbol de problemas, con sus actividades y resultados esperados.



4. CARACTERIZACIÓN DE PROYECTOS FNCER DIFERENTES A FOTOVOLTAICOS EN ZNI

Nombre del proyecto	Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) del río Tolo, entre los municipios de Acandí y Unguía (Chocó).		
Dueño del Proyecto	Ministerio de Minas y Energía	Escala	Gubernamental
Objeto del Proyecto	Llevar energía eléctrica al Norte del Choco		
Ubic del proyecto	Acandí y Unguía (Chocó).	ZNI (SI/NO)	SI
FNCER Aplicada	Hidroeléctrica	Estado del proyecto	Factibilidad
Costo	140.000 millones de pesos	Capacidad	5 mw

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO



El proyecto de la PCH para el río Tolo es un proyecto que fue anunciado por el Ministerio de Minas y Energía para llevar energía eléctrica permanente al norte del Chocó. Tendrá una capacidad instalada aproximada de 5 MW, se ejecuta con recursos del Gobierno (en el marco de la Estrategia Nacional de Comunidades Energéticas), y se estima una inversión cercana a \$140.000 millones COP. El proyecto pretende beneficiar directamente alrededor de 27.500 habitantes de Acandí y Unguía.

En cuanto a la parte Social y ambiental, donde estaría ubicado el proyecto, es una qué zona tiene comunidades afro e indígena, ambientalmente tiene playas donde anidan las tortugas, un bosque costero y corredores biológicos de varias especies de fauna y flora. Por lo anterior, este tipo de intervenciones necesita que se considere derechos territoriales y de biodiversidad.

IMPACTOS POSITIVOS ESPERADOS

Como impactos positivos se espera que 27,000 familias se vean beneficiadas por la interconexión eléctrica.

La implementación, construcción y puesta en marcha generara empleo y desarrollo productivo y ecoturístico, además del mejoramiento de servicios públicos.

Por tratarse de una fuente de energía hidráulica la generación de CO2, es baja comparada con la generación fosil (generadores diesel)

COMPLEJIDAD TÉCNICA, SOCIO AMBIENTAL Y ENERGÉTICA

En cuanto a la complejidad del proyecto se puede advertir que aunque es un proyecto FNCER, por estar ubicado en zona con características selváticas tiene ciertas particularidades y complejidades que hay que tener en cuenta como:

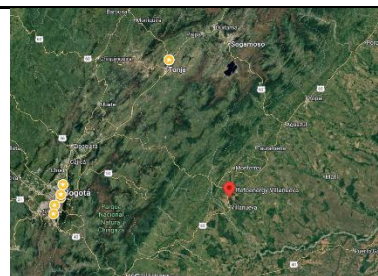
- Riesgos sobre el caudal ecológico, migración de peces, afectación de microhábitats
- Por la presencia de comunidades afro e indígena se requiere consulta previa, acuerdos sobre medidas compensatorias y participación, que pueden generar retrasos en la construcción y montaje de la central.
- Por la alta pluviosidad de la zona y mecánica de la sedimentación que puede afectar las tuberías y turbinas, se requiere que estos equipos estén diseñados y sobredimensionados para condiciones extremas.
- Infraestructura. Debido a que la planta está ubicada en zona selvática, el tema de vías y en general infraestructura es escasa, lo que implica un desafío aún mayor y eleva los costos.

Nombre del proyecto	Refoenergy Villanueva		
Dueño del Proyecto	EDF Colombia, y Refocosta	Escala	Particular
Objeto del Proyecto	Generar energía limpia, reducir emisiones de CO ₂ , mejorar el desarrollo de la región,		
Ubic del proyecto	Municipio de Villanueva, departamento de Casanare, Colombia.	ZNI (SI/NO)	Si
FNCER Aplicada	Biomasa forestal	Estado del proyecto	Construcción y montaje
Costo		Capacidad	28 MW

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto de generación de energía a partir de biomasa forestal proveniente de la madera de eucalipto está ubicado en el Municipio de Villa Nueva departamento del Casanare, tiene una capacidad instalada de generación de 28 MW, con una producción de energía anual estimada en 200 GWh/año, y una reducción de CO₂ tasada en una 70.000 ton año.

Su estabilidad financiera está dada en la venta de la energía producida, por bonos de reducción de CO₂, el respaldo en la financiación por los socios internacionales.



Como impactos positivos Diversificación de la matriz energética con nuevas fuentes de generación, reducción de CO₂ en unas 70.000 ton año, generación y desarrollo de la región y del Departamento del Casanare, también al 2025 se han vinculado **229** laboralmente en su gran mayoría de Villanueva, de otra parte, con este proyecto el país se posiciona como pionera en biomasa.

COMPLEJIDAD TÉCNICA, SOCIO AMBIENTAL Y ENERGÉTICA

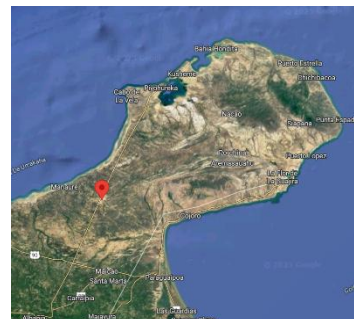
En cuanto a la complejidad del proyecto se puede advertir que, aunque es un proyecto FNCER tiene riesgos como la baja disponibilidad de biomasa, altos costos del proyecto, su viabilidad depende de los incentivos que el estado pueda brindar, puede generar conflictos por del suelo, en cuanto a la parte técnica requiere mantenimiento muy especializado. De otra parte, en lo ambiental la generación de impactos ambientales en la biodiversidad por una mala planeación, generación de emisiones por combustión de la biomasa, los ciclos climáticos que podría provocar sequías.

Nombre del proyecto	Las Camelias		
Dueño del Proyecto	Celcia grupo argos	Escala	Particular
Objeto del Proyecto	Generar energía eléctrica a partir de uno de los parques eólicos más grandes del país, con una capacidad instalada en torno a 436,6 MW y 72 aerogeneradores,		
Ubic del proyecto	Al sur del municipio de Uribia, departamento de Guajira, Colombia.	ZNI (SI/NO)	Si
FNCER Aplicada	Eólica	Estado del proyecto	Factibilidad
Costo		Capacidad	436,6 MW

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El parque eólico las Camelias es un proyecto on shore que estará ubicado al sur del municipio de Uribia, departamento de Guajira, Colombia, cuyo promotor es Celcia grupo argos, se espera que el proyecto tenga una

capacidad instalada de 436.6 MW, con 72 aerogeneradores, en un área de 320 hectáreas, con plazo de construcción de 2 años y una operación de cerca de 30 años.



IMPACTOS POSITIVOS ESPERADOS

Como impactos positivos se generaría gran cantidad de energía renovable para una reducción significativa de emisiones, gran contribución a la matriz energética del país y por ende un avance grande hacia la transición energética, generación de empleo a la región durante la construcción y operación y beneficios comunitarios por acuerdos y compensaciones ambientales y sociales, mejoramiento de la infraestructura de la región.

COMPLEJIDAD TÉCNICA, SOCIO AMBIENTAL Y ENERGÉTICA

En cuanto a la complejidad del proyecto, se puede advertir que, aunque es un proyecto FNCER tiene riesgos tales como conflictos sociales y oposición de indígenas, este es uno de los más preocupantes para el proyecto, inseguridad en cambios administrativos y de permisos y licencias, generación de impactos ambientales en fauna (aves y murciélagos), en la parte técnica hay complejidad logística en el transporte de los equipos por terreno árido y la capacidad de la transmisión de la energía.

5. INDICADORES DE REPLICABILIDAD

INDICADORES DE REPLICABILIDAD DE PROYECTOS FNCER DIFERENTES A FOTOVOLTAICOS				
PROYECTO	INDICADOR SOCIAL	INDICADOR AMBIENTAL	INDICADOR ECONÓMICO	INDICADOR TÉCNICO
Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) del río Tolo	• Aceptación de la comunidad. Nivel de aceptación de este tipo de proyecto por parte comunidad. • Calidad de vida. Evaluar el porcentaje de aplicación del plan social y la percepción de la comunidad sobre los beneficios del proyecto • Generación de empleo. Empleos generados en el proyecto	• Grado de afectación sobre hábitats sensibles. Cantidades de área con presencia de especies en peligro o hábitats impactados. • Medidas Compensatorias. Número medidas y/o estrategias de mitigación y compensación ambiental replicables.	• Validar la financiación pública y privada. Validar el porcentaje de la participación estatal y privada en el proyecto. • Rentabilidad del proyecto. Evaluar la relación costo benefició en relación de beneficios económicos y sociales generados vs el total del costo del proyecto	• Evaluar la disponibilidad de la fuente hídrica. Caudal medio anual y caída o pendiente de la fuente hídrica. • Infraestructura. Grado de infraestructura en la zona
Las Camelias	• Aceptación de la comunidad. Nivel de aceptación de este tipo de proyecto por parte comunidad. Norma de consulta previa Ley 1437 de 2011 y Decreto 2353 de 2019. • Generación de empleo. Empleos generados en el proyecto • Calidad de vida. Porcentaje de	• Cantidad de medidas de mitigación ambiental. Nivel de estrategias y prácticas para el manejo de la fauna, reforestación y control de erosión que pueden ser aplicado. • Grado de afectación sobre hábitats sensibles. Cantidades de área con presencia de especies en peligro o hábitats impactados.	• Validar la financiación pública y privada. Porcentaje de la participación estatal y privada en el proyecto. • Rentabilidad del proyecto. Relación costo benefició en relación de beneficios económicos y sociales generados vs el total del costo del proyecto	• Porcentaje de aplicación del modelo técnico a otras ZNI con potencial eólicas. Cuál es la efectividad en que el diseño y tecnología de aerogeneradores se adapte ajuste a otras ZNI con potencial eólicas. • Estabilidad de la red de transmisión. Capacidad de la red y modelo de conexión.

	aplicación del plan social y la percepción de la comunidad sobre los beneficios del proyecto			
Proyecto Refoenergy	• Aceptación de la comunidad. Nivel de aceptación de este tipo de proyecto por parte comunidad. Norma de consulta previa Ley 1437 de 2011 y Decreto 2353 de 2019. • Generación de empleo. Empleos generados en el proyecto • Calidad de vida. Porcentaje de aplicación del plan social y la percepción de la comunidad sobre los beneficios del proyecto	• Reducción de toneladas de CO₂, Toneladas de CO₂ que se dejaría de emitirse al aplicar el proyecto en otro territorio. • Cantidad de área reforestada o con manejo sostenible. Numero de m² reforestados y certificados y/o con manejo sostenible que este asociado el proyecto	• Rentabilidad del proyecto. Costo benefició en relación de beneficios económicos y sociales generados vs el total del costo del proyecto • Validar la financiación pública y privada. Porcentaje de la participación estatal y privada en el proyecto.	• Evaluar el recurso Biomasa. generación de energía vs la cantidad de biomasa requerida. • Estabilidad de la red de transmisión. La capacidad de la red y modelo de conexión.

6. CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDAD EN ZONAS NO INTERCONECTADAS - ZNI PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA - PCH

Lo primero que debemos conocer es la situación actual de Colombia en temas energéticos, con porcentaje de 68% la matriz energética del país la soporta las centrales hidroeléctricas, por otro lado, en temas de Fuentes no Convencionales de Energía los sistemas fotovoltaicos alcanzaron una capacidad instalada en el 2025 de cerca de los 2030 MW equivalentes a un 59% de aumento frente al 2024. Finalmente, la demanda de energía para el año 2024 creció en un 2.3% con unos 82085 GW de energía requerida. Es de anotar que no está incluida esta información la capacidad instalada y generada por las termoeléctricas.

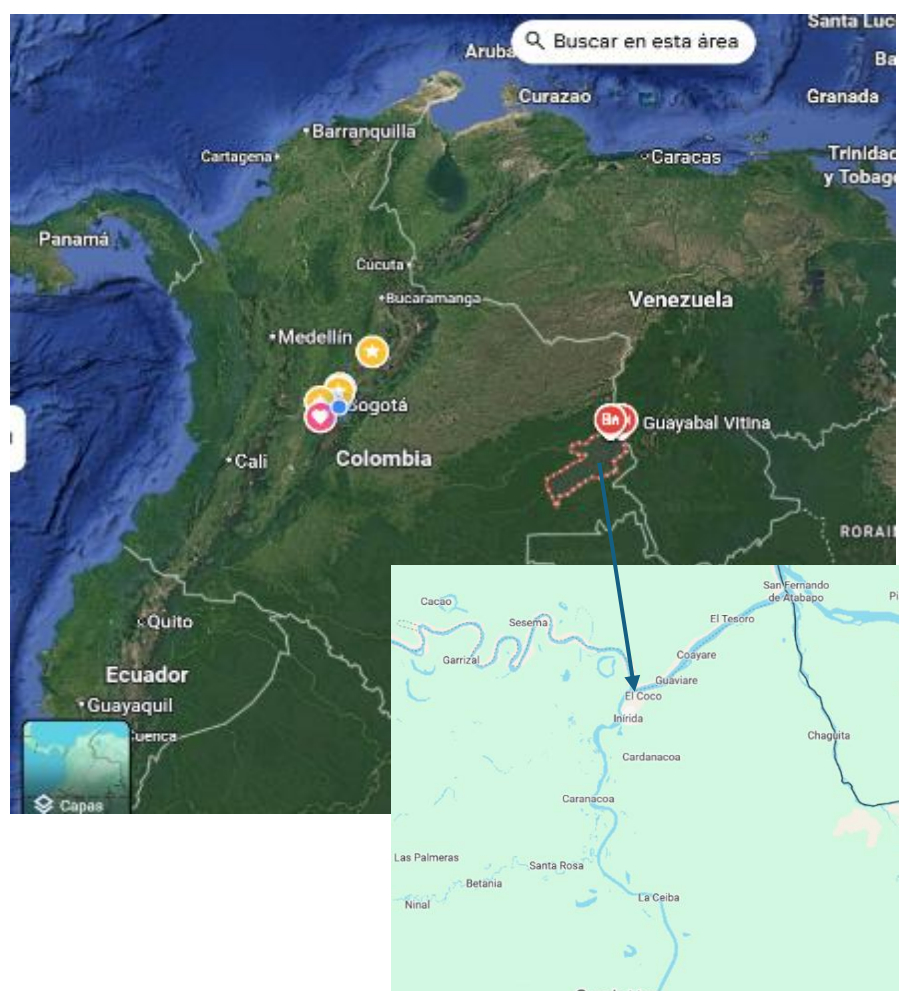
Con el contexto anterior y sabiendo que hay ZNI en el país que dependen principalmente de combustibles fósiles para generar energía se hace la cartelización de la comunidad de Inírida departamento de Guainía, la cual es una comunidad con una población estimada de cerca de 32 mil habitantes según el censo de 2025 y una extensión de unos 16.769 Km², esta comunidad se compone principalmente de población indígena, su economía se basa principalmente en la agricultura, pesca, artesanía y comercio de pequeña escala. Debido a que es una ZNI en una región selvática de difícil acceso la energía se genera por medio de plantas Diesel operada por GEMSA S.A, con capacidad instalada de 6 a 7 MW según reporte IPSE 2023, el combustible para esta planta se transporta vía fluvial y/o aérea, aumentando el costo del combustible entre 2 y 3 veces al costo normal, además la generación con este sistema no es constante y depende del clima en la región.

Por lo anterior para efectos de solución a largo plazo se propone el diseño y construcción de una PCH a filo de agua esta tendría una capacidad instalada de entre 1.5 a 3 MW, para generar entre 8 a 12 GW al año que suministraría en su totalidad al sector urbano y parte al rural. Para esta propuesta se tiene fuentes hídricas como el río Inírida y Guaviare, Caños como Bocón, Caimán y Vitina con caudal permanente y pendientes moderadas, el diseño de PCH a filo de agua se toma para minimizar impactos ambientales que pudiera ocasionar el proyecto como tal ya que esta es una zona protegida.

En el mapa de abajo se puede apreciar la zona de la influencia de la PCH, de otra parte, acorde al decreto 1076 de 2015 en su artículo 2.2.2.3.2.3, la generadora por estar en una ZNI no requiere licencia ambiental para su desarrollo.

Finalmente, es de resaltar que con este proyecto se generan grandes beneficios sociales y ambientales para esta comunidad, como reducción significativa de CO₂, generación de empleo, reducción del costo de la energía, disminución del consumo del DIESEL, mayor estabilidad de la energía, entre otros.

Figura 1. Mapa de Influencia de la PCH



Fuente Google Maps

El proyecto de PHC para el municipio de Inírida en el departamento de Guainía, debido a su potencial hidroenergético de pequeña escala, en especial los ríos Caño Bocón y Caño Caimán que son afluentes del río Inírida y que este a su vez pertenece a la cuenca de Río Orinoco y teniendo en cuenta la cantidad de precipitaciones al año que están entre los 3200 a 3800 mm, que proporciona unos niveles de caudal mínimos sin el riesgo de afectar biodiversidad en esta región, por otra parte si bien es cierto que no hay comunicación por vía terrestre si se puede hacer vía fluvial y aérea lo que puede incrementar los costos del proyecto, al comparar la capacidad instalada requerida para el número de habitantes, las condiciones climáticas y de infraestructura, el mantenimiento de la generadora, con otros proyectos similares como el de la PCH del río Tolo en Choco, se puede inferir que el proyecto es viable tanto técnica como económicamente.

Para lo anterior, es indispensable que superen algunos requisitos como la consulta previa a las comunidades, la concesión del uso del agua, viabilizar el proyecto con el IPSE, presentar toda la documentación técnica y normativa requerida y es indispensable la participación del estado en la financiación del proyecto.

Finalmente, como conclusión y acorde a lo anterior la materialización y éxito del proyecto para una PCH a filo de agua que genere entre 1 a 3 mw depende de una buena evaluación de caudales en campo, concertación con comunidades y del esquema de financiación mixto (IPSE + sector privado).

Normativa Requerida de carácter técnico.

- Ley 1715 de 2014 *“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.”*
- Ley 2099 de 2021 *“Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.”*
- Ley 2294 de 2023. “por el cual se expide el plan nacional de desarrollo 2022- 2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”.
- Resolución 096 de 2019 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG):

- Decreto 1076 de 2015: “Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”, regula procedimientos para licencias ambientales.
- Resolución 1519 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: “Términos de referencia para estudios de impacto ambiental en centrales hidroeléctricas”.

7. CALCÚLALOS DEL FACTOR DE CAPACIDAD EFICIENCIA ENERGÉTICA, CONFIABILIDAD, COMPLEJIDAD DE MANTENIMIENTO, PARA EL PROYECTO ENERGÉTICO PCH DE LA COMUNIDAD DE INÍRIDA

Para iniciar con los cálculos requeridos vamos a tener que definir ciertos parámetros como son potencia para instalar, caudal aprovechable, caída neta, producción a generar al año y el tiempo de trabajo de la generadora que para el caso va a hacer de un año.

Para lo anterior, los datos son basados en proyectos similares desarrollados por la UPME, IPSE Y FENOGE y para una PCH a filo de agua se van a tomar los siguientes datos.

Ítem	Unidad	Valor
Potencia para instalar - P_{ins}	Mw	2.5
Turbina	Francis o Kaplan	
Caudal Q	m^3/s	10
Caída H	m	30
Tiempo de trabajo t	h/año	8760
Eficiencia Turbina η_{Tub}	%	88
Eficiencia Generador η_{gen}	%	96
Eficiencia Transformador η_{Trans}	%	98
Densidad ρ	Kg/m^3	1000
Gravedad g	m/s^2	9.8

Lo primero a desarrollar son los cálculos de potencia hidráulica, eficiencia total y potencia eléctrica neta del sistema, con los datos anteriores hallamos la producción anual estimada, el

factor de capacidad y finalmente la confiabilidad del sistema, de otra parte, estimamos la complejidad del mantenimiento

- **Potencia Hidráulica P_{hd}**

$$P_{hd} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$P_{hd} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 10 \cdot 30 = 2.940.000 \text{ W} = 2.940 \text{ MW}$$

- **Eficiencia total y potencia eléctrica neta del sistema**

$$\eta_{total} = \eta_{Tub} \cdot \eta_{gen} \cdot \eta_{Trans}$$

$$\eta_{total} = 0.88 \cdot 0.96 \cdot 0.98 = 0.83$$

$$\eta_{total} = 83 \%$$

Potencia Eléctrica Disponible

$$P_{elecdisp} = P_{hd} \cdot \eta_{total}$$

$$P_{elecdisp} = 2940 \cdot 0.83 = 2.940 \cdot .83 = 2.440 \text{ MWh}$$

Este resultado es congruente con lo planteado de la potencia a instalar de 2.5 MW

- **Producción Anual**

$$E_{anual} = P_{ins} \cdot t \cdot CF$$

$$E_{anual} = 2.5 \cdot 8760 \cdot 0.53 = 11607 \text{ MWh/año}$$

Para este punto se consultó en la página del IDEAM datos sobre el caudal medio diario del río caño bocón por un año, no encontrando datos sobre la consulta acorde se toma asume como referencia rangos entre 0,4 a 0,6 dado que en ríos con un sistema pluvial tropical húmedo y caudales generalmente constantes suelen presentar CFs en rango 0,4–0,6

Por lo anterior, asumimos los siguientes CFs

$$FC = 0.46 = E = P_{ins} \cdot t \cdot CF = 2.5 \cdot 8760 \cdot 0.46 = 10.074 \text{ MWha}$$

$$FC = 0.60 = E = P_{ins} \cdot t \cdot CF = 2.5 \cdot 8760 \cdot 0.46 = 13.140 \text{ MWha}$$

Por lo anterior usamos un valor promedio de 0.53

- **Factor de confiabilidad.**

$$d = \frac{T_{\text{operación}}}{T_{\text{total}}} = 1 - \frac{T_{\text{paradas}}}{T_{\text{total}}}$$

Se asume paradas
mantenimientos programados de 70 horas
Paradas por imprevistos de 250 horas

$$d = 1 - ((70 + 250) / 8760)$$
$$d = 0,96 = 96\%$$

- **Complejidad y mantenimiento.**

Para este punto debemos tener en cuenta la ubicación del proyecto, otro el tipo de turbina a utilizar, personal técnico, insumos y repuestos.

Para cada factor se tomará una calificación de 1, a 5 siendo 1 = complejidad baja, 2 = media baja, 3 = media, 4 = media alta y 5 = alta.

Ítem	Calificación
Ubicación del proyecto	5
tipo de turbina a utilizar	3
personal técnico	4
insumos y repuestos	3
Calificación	3.7

Los resultados en este punto muestran que media tendiente a media alta, lo que significa que si bien el proyecto es completamente viable si presenta retos importantes para ser solucionados en cuanto factores como el personal técnico requerido, en la construcción y montaje de la PCH por la ubicación del proyecto que son factores a tener en cuenta al momento planificar el desarrollo del proyecto.

8. CALCULO DE HUELLA DE CARBONO PARA EL PROYECTO ENERGÉTICO PCH DE LA COMUNIDAD DE INÍRIDA.

Para este cálculo tomamos los siguientes factores, 1) de las emisiones de CO₂ en la etapa de construcción y montaje de la central 2) de las demisiones que se están generando actualmente por la producción de energía por medio de DIESEL.

Acorde a lo anterior se tienen las siguientes emisiones.

Emisiones directas, Hornos Calderas y Vehículos.

Otras Emisiones. Transporte y Distribución.

En consideración con lo anteriormente descrito se tiene que el potencial de calentamiento global para el gas CO₂ es 1.

Se asume que la central genera 6 MWh como genera 24 horas es igual a 144.000 Kwh

$$6\text{Mw} * 1000 \text{ Kw/Mw} * 24\text{h} = 144.000 \text{ Kwh}$$

Acorde al brocharé de WALT se estima que se consumen 0.25 L/Kwh

$$\text{Por lo tanto } 6000 \text{ Kw} * 0.25 \text{ L/KWh} = 1500 \text{ L/h} = 1500 \text{ L/h} * 0.2641 \text{ L/g} = 396.25 \text{ gl/h}$$

ETAPA	TIPO DE EMISIÓN	ITEM	CAT	CONSUMO DE DIESEL O GASOLINA	TIEMPO DE USO Horas/día	No. DÍAS TRABAJADOS MES
Línea Base	Directa	Planta de Generación DIESEL de 5 plantas	1	396.25 gl/h	24	24
Construcción	Otras Emisiones	Lanchas	4	80 gl/h	8	20
Montaje		Avión	1	475g/v	2 viajes	4
		Planchón	1	250 gl/h	5	12
		Barcos	1	250 gl/h	5	16
		Camiones de 10 Ton	6	5.7 gl/km	8	12
		Grúas 25 ton	2	47.5 gl	4	8
		Mezcladoras	2	0.8 gl/h	5	12
		Camionetas	3	99 gl/km	8	30
		Grúas 25 ton	1	23.7 gl	4	12
		Camiones	2	1.9 gl/km	4	10
		Camionetas	3	99gl/km	8	30
		Lanchas	2	40 gl/h	8	20
		Barcos	1	250 gl/h	4	12
		Avión	1	475g/v	9. viajes	4

8.1. Para la línea Base tenemos los siguientes cálculos

Para la central tenemos que en Colombia la regulación exige que se mezcle el Diesel a un 10% de biodiesel.

Entonces

$$\text{Diesel} = 396,25 \text{ gl/h} * 90\% = 356,625 \text{ gl/h} * 24 \text{ h/d} = 8.559 \text{ g/d}$$

$$= 8.559 \text{ gl/d} * 10,149 \text{ KgCO}_2/\text{g} = 86.865,291 \text{ KgCO}_2/\text{d} * 365\text{d/año} = 31.705.831,215 \text{ KgCO}_2/\text{año} = \mathbf{31.705,83 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\text{Biodiesel} = 396,25 \text{ gl/h} - 356,625 \text{ gl/h} = 39.625 \text{ gl/h} * 24 \text{ h/d} = 951 \text{ g/d}$$

$$= 951 \text{ gl/d} * 6.882 \text{ KgCO}_2/\text{g} = 6.544,782 \text{ KgCO}_2/\text{d} * 365\text{d/año} = 2.388.845,43 \text{ KgCO}_2/\text{año} = \mathbf{2.388,845 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Total, Diesel} = 31.705,83 \text{ Ton/año} + 2.388,845 \text{ Ton CO}_2/\text{año} = \mathbf{34.094,67 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

8.2. Construcción.

Esta etapa tendrá una duración de 4 meses

Se van a utilizarán 4 lanchas con motor de 115 hp que consumen en promedio 20 gl/h.

Un motor para planchones y barcos con motores de 250 hp con consumo de 250 gl/h de DIESEL

Camiones capacidad de 10 Ton consumen en promedio 3.6 L/km = 0.95 g/km

Camionetas con un consumo de camionetas doble cabina de 33 g/km

Las grúas con una capacidad de 25 ton en promedio consumen 23.7 g

La mezcladora tipo trompo gasta 0.4gl/h

Un avión consume en promedio en la ruta Bogotá Inírida 1800 kg de gasolina para avion.

Entonces

Lanchas

$$\text{Gasolina} = 80 \text{ gl/h} * 90\% = 72 \text{ gl/h} * 8 \text{ h/d} = 576 \text{ gl/d}$$

$$= 576 \text{ gl/d} * 8.808 \text{ KgCO}_2/\text{gl} = 5.073,408 \text{ KgCO}_2/\text{d} * 80\text{d/año} = 405.872,64 \text{ KgCO}_2/\text{año} \mathbf{405,87264 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\text{Bioetanol} = 80 \text{ gl/h} - 72 \text{ gl/h} = 8 \text{ gl/h} * 8 \text{ h/d} = 64 \text{ gl/d}$$

$$= 64 \text{ gl/d} * 5.92 \text{ KgCO}_2/\text{gl} = 378 \text{ KgCO}_2/\text{d} * 80 \text{ d/año} = 414.873,6 = 30.310,4$$

$$\text{KgCO}_2/\text{año} = \mathbf{30,3104 \text{ TonCO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Total, gasolina} = 405,87264 \text{ Ton/año} + 30,3104 \text{ Ton CO}_2/\text{año} = \mathbf{436,18304 \text{ Ton CO}_2/\text{año de CO}_2}}$$

Planchón

$$\text{Diesel} = 250 \text{ gl/h} * 90\% = 225 \text{ gl/h} * 5 \text{ h/d} = 1125 \text{ g/d}$$

$$= 1125 \text{ gl/d} * 10,149 \text{ KgCO}_2/\text{g} = 11.417,625 \text{ KgCO}_2/\text{d} * 48 \text{ d/año} = 548.046$$

$$\text{KgCO}_2/\text{año} = \mathbf{548,046 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\text{Biodiesel} = 250 \text{ gl/h} - 225 \text{ gl/h} = 25 \text{ gl/h} * 5 \text{ h/d} = 125 \text{ g/d}$$

$$= 125 \text{ gl/d} * 6.882 \text{ KgCO}_2/\text{g} = 860.250 \text{ KgCO}_2/\text{d} * 48 \text{ d/año} = 40.092 \text{ KgCO}_2/\text{año}$$
$$= \mathbf{40,092 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Total, Diesel} = 548,046 \text{ Ton CO}_2/\text{año} + 40,092 \text{ Ton CO}_2/\text{año} = 588,14 \text{ Ton CO}_2/\text{año de CO}_2}$$

Se hace el mismo calculo para los demás medios de transporte

$$\mathbf{\text{Barco} = 784,18 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Camiones} = 13,41 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Grúas} = 74,50 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Mezcladoras} = 1,6356864 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Camionetas} = 809,664768 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Avión} = 129,49184 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

Montaje. Esta etapa tendrá una duración de 3 meses

$$\mathbf{\text{Grúas} = 33,45 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Camiones} = 2,23 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Camionetas} = 607,248576 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Barcos} = 352,88 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Lanchas} = 163,56864 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

$$\mathbf{\text{Avión} = 8,178432 \text{ Ton CO}_2/\text{año}}$$

El cálculo de huella de carbono en construcción y montaje es de **4.004,72 Ton CO₂/año**

La disminución de CO₂ al año es de = **34.094,67 Ton CO₂/año - 4.004,72 Ton CO₂/año**
30.089,95 Ton CO₂/año.

Para los siguientes cálculos se tuvo en cuenta la norma **ISO 14064 2018 “Gases de efecto invernadero — Parte 1 - Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero”**, dicha norma explica el procedimiento y formulación para hacer los cálculos mencionados.

Indicadores:

Energía útil generada. Cantidad de energía generada en un año. $2.5\text{Mw/h} * 8760 \text{ h/año} = 21900 \text{ Mw/año}$

Disminución de compra DIESEL año Generación de PCH MWh – Generación Diesel MWh

Reducción de toneladas de CO₂ año. Toneladas de CO₂ Generación Diesel - Toneladas de CO₂ generación PCH

9. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LA BIODIVERSIDAD Y EL USO DEL SUELO QUE PUEDEN GENERAR LOS PROYECTOS EN LAS COMUNIDADES DE ZNI

Mapa de uso del suelo. Acorde al geo portal del DANE Guainía tiene los siguientes usos suelos por hectáreas.

- 5.897 h en uso agrícola
- 16.522h uso pecuario
- 10.422 h bosques
- 1028 h en otros usos, es de destacar que para otros usos se destacan los cuerpos de agua que son 770 hectáreas

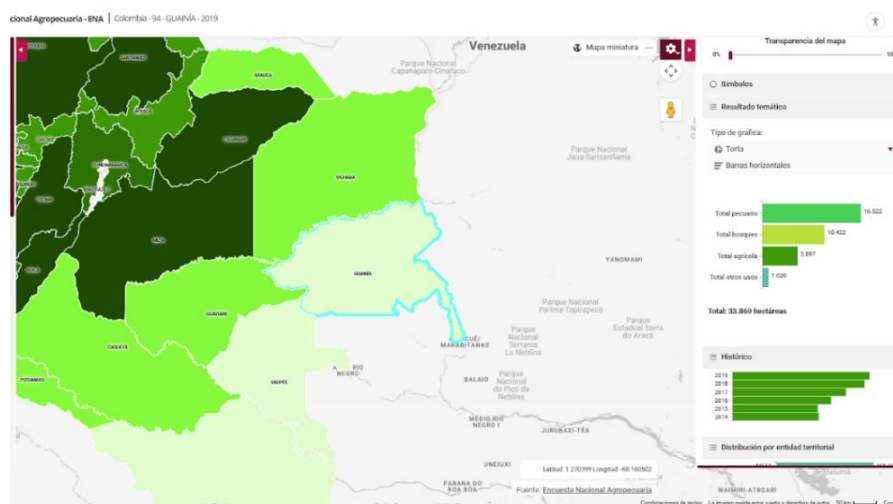


Figura 2. Mapa de conflicto de uso del suelo.

Fuente DANE

El municipio de Puerto Inírida en Guainía presenta conflictos de uso del suelo debido a diferentes factores como a la actividad minera informal e ilegal, esto genera deforestación y

un cambio de la capa vegetal, de otro lado está la expansión urbana y la conservación ambiental, conflictos entre los pueblos indígenas y proyectos de infraestructura, pérdida de territorio por expansión de actividades agrícolas y ganaderas, el creciente aumento de turismo ecológico y la protección de la cultura y las zonas protegidas, han desatado conflictos por el territorio, pero que la información en mapas oficiales no está muy desarrollada o si están no se encuentran en código para el acceso al público en general.

Figura 3. Mapa Conflictos uso del Suelo



9.1. Evaluación de efectos en el uso del suelo que puede tener Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas - PHC

Las PCH y en especial las que se diseñan a filo de agua, en su gran mayoría producen unos efectos pequeños en el uso del suelo esto al ser comparada con grandes embalses, estos impactos, pueden provocar algunas modificaciones locales en el uso del suelo debido a las obras civiles que es necesario realizar en el proceso de construcción y montaje de la planta como ejemplo están (canales, casa de máquinas, accesos, líneas de transmisión), estos cambios pueden afectar las actividades agrícolas, pesca y asentamientos, donde se podría hacer esos cambios de uso de suelo locales, entre los principales efectos esta:

- Ocupación permanente del suelo. Esto se da por las construcciones que es necesario realizar acorde al diseño de la central como: casa de máquinas, canales/presas menores y subestación, además de la construcción de caminos de acceso, se puede

presentar una ocupación temporal mientras se construye la PCH con obras como campamentos, almacenes.

- También se genera servidumbres en con líneas de transmisión existentes que repercuten en trazados con delimitación de uso no forestal que puede afectar las actividades guaneras y agrícolas,
- Con la generación de empleo por la realización de las obras se puede incentivar los cultivos, también se podría aumentar actividades comerciales, expansión urbana o nuevas veredas/parcelas. Se podría reducir las zonas destinadas a pesca, la vegetación riverena que implica disminución de sitios de anidamiento, caza o pastoreo.

9.2. Evaluación que efectos en la biodiversidad puede tener el proyecto

Los efectos de una PCH a filo de río sobre la biodiversidad de pueden catalogar como riesgo bajo-moderado de forma directa, pero se pueden aumentar los impactos puntuales a la fauna y hábitats acuáticos y ribereños si no tuvo la planeación adecuada y si no se tomaron las medidas de diseño, operación y monitoreo correspondientes.

- Disminución y rotura de hábitats terrestres, este impacto se produce especialmente por las obras civiles que es necesario hacer para la construcción de la PCH, entre las obras son la casa de máquinas, accesos, canales, etc, estos impactos se pueden dar por la afectación a especies forestales, plantas nativas y corredores de migración de especies.
- Uno de los impactos más importantes es sobre la ictiofauna, ya que afecta el tránsito de los peces, su reproducción y migración de estos, estos impactos se dan por las barreras físicas que se construyen, estos dos puntos van de la mano también con el cambio de caudal de la fuente hídrica.
- Otro impacto importante es la generación de sedimentación y turbidez de la fuente hídrica, debido a esto puede causar mortalidad muerte directa de organismos y pérdida de hábitats bentónicos

9.3. Efectos genera este proyecto en la comunidad.

El proyecto de una PCH puede traer beneficios como acceso a energía, empleo temporal, y al mismo tiempo impactos sociales importantes como afectación actividades de subsistencia como la pesca, agricultura etc, de otra parte, se pueden estar vulnerando derechos de población indígena, por esto es obligatorio hacer la consulta previa para la viabilidad del proyecto.

Dentro de los principales impactos están

- Afectación a las actividades de subsistencia, la alteración profunda del cauce de la fuente hídrica puede llevar a una reducción de las labores de pesca locales por el cambio de épocas de captura, la apertura de caminos y obras civiles pueden afectar pequeñas parcelas y recolección de frutos.
- Los derechos territoriales de los pueblos pueden ser vulnerados debido a una indebida planeación del proyecto y la no realización de la consulta previa.
- En la parte social y especialmente en la relación entre posibles trabajadores externos, empleos temporales, la aparición de nuevo comercio, podría generar unos impactos como aumento de precios, tierras, bienes y servicios que podrían causar conflicto entre la comunidad.
- De otra parte, se puede ver afectados la salud y servicios públicos dado el aumento de población.
- Finalmente, también es bueno resaltar los impactos positivos que traería un proyecto de esta naturaleza como son, energía permanente, reducción en el costo de los recibos, empleo, mejoramiento de la infraestructura entre otros beneficios.
- Una PCH run-of-river de 2,5 MW tiene riesgo bajo-moderado en huella espacial directa, pero puede causar impactos locales significativos sobre fauna y hábitats acuáticos y ribereños si no se aplican medidas de diseño, operación y monitoreo rigurosos.

10. DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO PARA UN DÍA ACORDE A LA PCH A FILO DE AGUA EN INÍRIDA (GUAINÍA) CON CAPACIDAD INSTALADA DE 2,5 MW

En esta actividad, se muestran los cálculos requeridos para conocer la potencia de almacenamiento necesaria para un día de almacenamiento para la PCH de 2.5 MWh, también se estima el costo de implementación del sistema y la vida útil del mismo.

- La potencia instalada para la PCH es de 2.5 MW, lo que quiere decir que en un día se requieren 60 MV día o 60.000 kWh día. El siguiente esquema se hace cálculo para un día de almacenamiento

El cálculo

Energía de Carga

$$E_{\text{Carga}} = E_{\text{útil diaria}} / \text{RTE}$$

$$E_{\text{Carga}} = 60.000 / 0.85 = 70.588 \text{ kWh}$$

Capacidad Nominal de la batería

$$C_{\text{nominal}} = E_{\text{Carga}} / \text{DoD}$$

$$C_{\text{nominal}} = 70.588 / 0.9 = 78.431 \text{ kWh}$$

Factor RTE = 0.85

Factor DoD = 0.9

Al ser un respaldo total del sistema de PCH por un día la capacidad de los inversores debe ser la capacidad instalada es decir 2.5 MW, para esta potencia lo recomendado un sistema de almacenamiento de energía por baterías de ion litio por su costo, confiabilidad y duración.

El costo estimado por megavatio de un Sistema de almacenamiento por baterías – BESS, para el año 2025 está entre \$ 180 a \$ 200 dólares por kW dependiendo del mercado, lo que significa que el costo final de este proyecto es de \$ 14.117.580 de dólares

Los componentes principales de este sistema son:

- Batería (Modulos) con capacidad nominal de 78.4 MW
- Inversor con capacidad de 2.5 MW
- Sistema de Gestión de Baterías
- Sistema de control y monitoreo SCADA
- Sistema contra incendios
- Sistema de refrigeración
- Transformadores y protección eléctricas
- Sistema de redundancia y diseño modular.

Finalmente, la cantidad de baterías depende del diseño que se requiera y del espacio donde se establezca el sistema, por ser una instalación industrial se utilizan baterías tipo contenedor que en el mercado son de 1MWh hasta 5 MWh, como ejemplo si se decide por módulos de 2 MWh se requerirían 40 módulos y a si se decide por las de 5 MWh se necesitan 16 contenedores, el precio va de la mano con la capacidad de almacenamiento del módulo como ejemplo un contenedor de 2 MWh tiene un costo de 457 millones de pesos y uno de 5 MWh oscila en 1500 millones de pesos.

- Vida útil de los sistemas BESS.

La vida útil de este tipo de sistemas se establece por medio de los ciclos de carga y descarga de la batería o sea se carga al 100% y se descarga al 0%, los ciclos de duración en las baterías modernas es de 4000 a 6000 ciclos, dependiendo de factores como la temperatura y profundidad de la descarga, En consecuencia, la profundidad de la descarga en baterías ion litio la recomendación es mantener un rango DOD de entre 20% y 80%, esto quiere decir que dejar descargar la batería por debajo de un 20% y ponerla a cargar por encima de 80% acorta en gran medida la vida útil de la batería. Finalmente, la vida útil de estos sistemas está entre 10 y 20 años, esto dependiendo de los mantenimientos y las actualizaciones a que haya lugar.

11. BARRERAS NORMATIVAS Y PRESUPUESTALES PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN COLOMBIA

La generación hidroeléctrica es el eje fundamental de la generación eléctrica del País debido a su riqueza hídrica, No obstante, durante la última década han surgido retos significativos en materia regulatoria, social y financiera que dificultan el desarrollo de nuevos proyectos, especialmente aquellos de pequeña y mediana escala.

11.1 Barreras Normativas

- No hay unificación del marco regulatorio

El sector hidroeléctrico está regido por múltiples normativas dispersas entre las que se tiene (Ley 143 de 1994, Ley 697 de 2001, Ley 1715 de 2014, Ley 2099 de 2021, resoluciones de CREG, ANLA, Mi.n Ambiente y UPME), estas normas, están diseñadas principalmente para el sistema interconectado SIN, las diferencias entre PCH en SIN y en ZNI se centran en regular la generación/distribución/servicio, y no en los aspectos técnicos o diferencias por la ubicación del proyecto, esto tiene como consecuencia el retraso de los procesos de aprobación, burocracia, genera duplicidad información, no hay mecanismos diferenciales para escalas de menos 10MW. Además de lo anterior el enfoque normativo principalmente para ZNI, se centra en proyectos diésel o sistemas híbridos no en la generación hidroeléctrica de pequeña escala.

- Las exigencias ambientales son complejas y prolongadas

Aunque los proyectos hidroeléctricos en las ZNI de pequeña escala no requieren licencia ambiental, si se requiere los permisos de aprovechamiento y concesión de agua que son difíciles y complejos de conseguir. No hay compatibilidad entre las normas relacionadas con el uso del cauce y las regulaciones en materia energética en ZNI, También se destaca como obstáculo las restricciones de propiedad y uso del suelo, procesos de titulación, propiedad colectiva, los mecanismos de participación comunicaría no contemplan la copropiedad o gobernanza sobre proyectos de PCH.

La mayoría de los municipios no incluyen la hidroenergía en sus Planes de Ordenamiento Territorial (POT), debido entre otros factores a los mencionados anteriormente, sumado a los conflictos particulares de cada territorio como son la incompatibilidad del uso del suelo conflicto con comunidades, escasa articulación entre Planeación Territorial y La Nación

Además de los escasos o nulos incentivos tributarios que da la legislación ya mencionada, frente a las normas como la Ley 1715 y Ley 2099 que favorecen fuentes no convencionales

como solar y eólica, otorgando a este tipo de proyectos beneficios tributarios desproporcionados. Esto reduce la competitividad de nuevos proyectos hidráulicos tanto a gran escala como a pequeña escala y más en ZNI donde el costo se eleva por el acceso a estas zonas.

11.2 Barreras Presupuestales y Financieras.

Esta barrera presupuestal está atada a la barrera normativa, ya que, debido a lo anterior, no se presupuestan a nivel local este tipo de inversiones, y se espera la inversión privada o de la nación, de otra parte, el desarrollo hidroeléctrico del país se ha concentrado en pocas empresas (EPM, ISAGEN, Enel), aunado a lo anterior no hay una política de crédito público, esto limita la diversificación de actores y de propuestas locales en especial en la ZNI. Finalmente, los elevados costos de preinversión como estudios técnicos que representan de un 10 a un 20 % del total del proyecto y con la incertidumbre de la aprobación o no por parte de las autoridades ambientales y técnicas, limita en gran medida la inversión tanto pública como privada y afecta proyectos comunitarios a pequeña escala, esto se ve reflejado en el atraso de generación eléctrica en las ZNI del país.

12. PROPUESTA DE POLÍTICA

POLÍTICA DE CREACIÓN DE LA NORMATIVA REGULATORIA PARA PROMOVER LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS CON UNA CAPACIDAD MENOR A 10mw EN LAS ZNI DE COLOMBIA.

Con esta política se pretende la creación de un marco normativo especial en los requisitos técnicos para proyectos hidroeléctricos de pequeña escala menores a 10 MW en ZIN o rurales del país, además de crear mecanismo de incentivos tributarios, herramientas de apoyo financiero público-privado y una coordinación territorial.

Par lo anterior se propone la creación de estándares técnicos ajustados para proyectos ubicados en ZNI o rurales, mejorar el régimen tarifario en especial para las ZNI del país, que permita la recuperación de la inversión, crear incentivos tributarios para el desarrollo de proyecto hidroeléctricos de peque escala, así mismo elaborar herramientas para crear líneas de crédito blandas, establecer acuerdos de cofinanciación nacional territorial y comunitaria, incentivar las creación de convenios con universidades para elaboración de diseños acorde a las necesidades de la población.

13. CONCLUSIONES

- El gobierno se está enfocando en proyectos de generación por medio de energía Fotovoltaica.
- El estado debe disminuir la brecha que tiene la generación de energía con otras fuentes FNCER, con respecto a la fuente de energía Fotovoltaica.
- La generación de energía hidroeléctrica en ZNI es técnica, ambientalmente viable y sostenible, siempre que se elaboren estudios rigurosos de caudal, análisis de impactos ambientales y sociales. Para el caso de Inírida, la disponibilidad hídrica y el perfil de consumo hacen factible una PCH entre 1,5 y 3 MW.
- Las PCH presentan un impacto ambiental relativamente bajo frente a grandes hidroeléctricas y otras FNCER, pero presenta algunos riesgos que se pueden minimizar sobre biodiversidad acuática (migración de peces, cambios de caudal, turbidez), estos riesgos se deben asumir mediante diseños adecuados, monitoreo permanente y medidas de compensación.
- Las barreras normativas y presupuestales son una de las mayores dificultades, debido a la diversidad regulatoria, la falta de incentivos específicos para PCH < 10 MW, la complejidad de permisos (concesión de aguas, consulta previa) y los altos costos de preinversión, lo que puede explicar el poco desarrollo de este tipo de proyectos en las ZNI.
- Los impactos sociales pueden ser significativos, tanto buenos como malos dependiendo de la rigurosidad de los estudios de diseño del proyecto, especialmente en comunidades indígenas o rurales donde las actividades de subsistencia se relacionan directamente con los ríos (pesca, agricultura, tránsito fluvial). La consulta previa y la gobernanza comunitaria son condiciones fundamentales para la aprobación social y sostenibilidad del proyecto.

- El reemplazo de generación diésel por PCH reduce de forma significativa las emisiones, de CO₂ emitidas a la atmosfera, se estima una disminución de más de 30.000 toneladas de CO₂ al año para el caso de Inírida, contribuyendo al cumplimiento de metas climáticas nacionales.
- los sistemas de almacenamiento son muy costosos ya que incluso pueden llegar a superar el costo del proyecto principal en este caso la PCH, ya que este proyecto estaría por el orden de unos 800.000 dólares y la planta de almacenamiento costaría casi 14 veces más.

BIBLIOGRAFÍA

- **Normatividad.**

ANLA. (2015). *Decreto 1076 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Autor.

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (2019). *Resolución 096 de 2019*. Autor.

Congreso de la República de Colombia. (2001). *Ley 697 de 2001: Uso racional y eficiente de la energía y fomento de energías alternativas*.

Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014: Integración de energías renovables no convencionales al sistema energético*.

Congreso de la República de Colombia. (2021). *Ley 2099 de 2021: Transición energética y dinamización del sector energético*.

Congreso de la República de Colombia. (2023). *Ley 2294 de 2023: Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026*.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Decreto 1623 de 2015*. Autor.

Ministerio de Minas y Energía. (2016). *Decreto 1513 de 2016*. Autor.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 1519 de 2017 – Términos de referencia para estudios de impacto ambiental*. Autor.

- **Fuentes técnicas, ambientales y de entidades del sector**

Gensa. (2024). *Boletín de prensa 47*. <https://gensa.com.co>

IDEAM. (s.f.). *Monitoreo de caudales – DHIME*. <http://dhime.ideam.gov.co>

IPSE. (2023). *Mapa de proyectos y generación en ZNI*. <https://ipse.gov.co>

UPME. (s.f.). *Fondos de apoyo financiero y perfiles de PCH*. <https://www.upme.gov.co>

SINCHI. (2024). *Informes sobre minería en la región de Inírida y afectaciones ambientales*.

WWF Colombia, IGAC & IDEAM. (s.f.). *Biodiversidad y cultura en Guainía*.

- **Estudios, artículos y guías técnicas**

Fearnside, P. M., & Demarty, M. (Año). Estudios sobre emisiones y efectos ambientales de presas en regiones tropicales.

Olaya-Marín, E. J., et al. (2024). *Impactos sociales y ambientales de PCH en Colombia*. Diversas revistas académicas.

UNIDO. (s.f.). *Hydraulic Machinery and Turbine Generator – Technical Guidelines*.

UNFCCC. (s.f.). *RETScreen Small Hydro Project Analysis Manual*.

World Bank. (s.f.). *Hydroelectric Power: A Guide for Developers and Investors*.

- **Páginas web sobre consultadas**

Enel Colombia. (2022). *Almacenamiento de energía en BESS*. <https://www.enel.com.co>

Iberdrola. (s.f.). *Sistemas de almacenamiento de energía BESS*. <https://www.iberdrola.com>

Sunpal Power. (s.f.). *Catálogo de baterías industriales BESS*.

Pebblex. (s.f.). *Ciclos de carga y vida útil de sistemas BESS*. <https://bepebblex.com>

WALT Power. (s.f.). *Diesel Generator Fuel Consumption Calculator*. <https://waltpower.com>

Zephyr Boats. (s.f.). *Consumo de combustible en embarcaciones*. <https://zephyr-boats.com>

- **Información sobre territorio, población y uso del suelo**

DANE. (2025). *Perfil sociodemográfico del municipio de Inírida*.

Fundación Etnollano. (2023). Información ecológica y cultural del Caño Bocón.

Wikipedia. (s.f.). *Río Inírida*. https://es.wikipedia.org/wiki/Río_Inírida

ANEXO 1.

POLÍTICAS PÚBLICAS Y PRESUPUESTOS NACIONALES Y LOCALES EN INVERSIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA.

Dentro de las políticas está el Plan Nacional de Desarrollo Vigente, que, en su particular, en el artículo 235 se define las comunidades energéticas, con el propósito de que las propias comunidades participen en la prestación del servicio de energía en diferentes regiones del país, a través de la autogeneración, los recursos energéticos distribuidos y la participación de la demanda. Para lograrlo, se habilitó la financiación a través de los fondos con los que cuenta actualmente el sector (programa de normalización de redes y fondo de energía social), para el desarrollo de soluciones energéticas que usen fuentes no convencionales de energía renovable.

El ministerio de Minas y Energía ha sacado una serie de Políticas y Directrices Relacionadas con el Aseguramiento de la Cobertura del Servicio de Electricidad, como el *Decreto 1623 del 2015 en su artículo 8 “Políticas para la Expansión de los Sistemas de Transmisión Regional (STR) y los Sistemas de Distribución Local (SDL).”*

Decreto 1513 de 2016, art. 8° ARTÍCULO 2.2.3.2.2.8. Esquemas diferenciales de Prestación del Servicio. “El MME podrá promover, establecer o acordar, de manera directa o a través de sus entidades adscritas delegadas para ello, esquemas diferenciales de prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica, para las zonas en las que se pretenda expandir la cobertura del servicio tanto en el SIN como en las ZNI, con el fin de reducir los costos en dicha prestación, los cuales podrán cobijar adicionalmente a los planes, programas y proyectos actualmente en operación”

La ley 1715 de 2014. Regula la incorporación de energías renovables no convencionales al sistema energético. Aunque su énfasis suele ser en fuentes como solar, eólica, biomasa, también define esquemas para pequeñas hidroeléctricas (pequeños aprovechamientos hidráulicos). En su artículo 8 Promoción de la autogeneración a pequeña y gran escala y la generación distribuida.

*En su artículo 22 **Desarrollo de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.***

- 1. La energía de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos será considerada como FNCER.*
- 2. El Ministerio de Minas y Energía, a través de las entidades adscritas competentes continuará promocionando su desarrollo como solución energética.*
- 3. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible promoverá la gestión y el manejo integral y sostenible del recurso hídrico de las cuencas hidrográficas del país.*

LEY 697 DE 2001 Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Regula los “pequeños aprovechamientos hidroeléctricos” (usos hidráulicos de hasta 10 MW). Establece un programa (PROURE) para promover energías no convencionales y eficiencia energética.

Ley 2099 de 2021

Política de “Transición Energética”. Aunque se enfoca en energías no convencionales, hidrógeno, eficiencia energética, contribuye al marco general de diversificación del sistema eléctrico —lo que puede incidir en la planificación de hidroeléctricas o en su complementariedad con otras fuentes.

Los presupuestos destinados para el año 2024 por el Ministerio de Minas y Energía como cabeza del sector tenía para su cartera 382.524.997.557 de COP, de ese presupuesto COP 129.899.832.004 fue destinado para valuación del potencial de fuentes no convencionales de energía para la transición energética que pudo incluir fuentes de energía hidráulica

Para el 2025 un ejemplo fue la inversión de 140 mil millones de COP, que realizó el Ministerio de Minas y Energía en la PHC del río Tolo en el Departamento del Chocó que tendrá una capacidad de 5 MW.

Según el DNP en su portal de mapa de inversiones para el año 2024 hay un proyecto formulado de la Asociación de comunidades Embera en Chocó y es la “Construcción de un sistema de generación de energía eléctrica mediante microcentrales hidroeléctricas para las comunidades indígenas de Divisa, La Loma, Puerto Alegre, Playa Bonita y El Morro, en el río Nauca, Alto Baudó, departamento del Chocó.” Por un valor de \$5,036,669,258 cop que beneficiaría a 1275 familias,

Otro presupuesto asignado es Diseño y Estructuración de Soluciones Tecnológicas Apropriadas de Generación de Energía Eléctrica en las Zonas no Interconectadas del País Nacional en el departamento del Chocó por un valor de 54 mil millones de pesos