

EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN EL MUNICIPIO DE AGUACHICA -  
CESAR

LUIS DAVID BARRETO HERNANDEZ  
WILLIAM JAIRO ANGARITA AVENDAÑO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, SECCIONAL AGUACHICA  
DIRECCIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
CONTADURÍA PÚBLICA  
AGUACHICA, CESAR  
2025

EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN EL MUNICIPIO DE AGUACHICA -  
CESAR

LUIS DAVID BARRETO HERNANDEZ  
WILLIAM JAIRO ANGARITA AVENDAÑO

Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de  
contadores públicos

YOIBER ANTONIO OJEDA PACHECO  
Director  
LEDY SUMALAVE LOBO  
Co - Directora

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, SECCIONAL AGUACHICA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS CONTABLES  
CONTADURÍA PÚBLICA  
AGUACHICA, CESAR  
2025

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Firma del presidente del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado

Aguachica, xx xxxxxx (La fecha de inserta cuando haya fecha de sustentación)

## DEDICATORIAS

A mis seres queridos, por su amor y apoyo. Este proyecto es para ustedes.

WILLIAM JAIRO ANGARITA AVENDAÑO

A mi familia, a mi mama, mi abuela y mis hermanos, a cada una de las personas que aportaron positivamente y a quienes colocaron y confiaron en este servidor.

El proyecto es para ustedes con todo el amor y cariño

LUIS DAVID BARRETO HERNANDEZ

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que hicieron posible la realización del proyecto.

A mi esposa, por su apoyo incondicional.

A mis profesores, por su guía y orientación, que fueron fundamentales para el crecimiento profesional y personal.

En términos generales a todos aquellos que contribuyeron, de alguna manera, al proyecto.

WILLIAM JAIRO ANGARITA AVENDAÑO

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que han hecho posible la realización de este proyecto.

A Dios, primeramente, por brindarme sabiduría y por nunca desampararme y mantenerme de pie hasta llegar al objetivo.

A mi madre, por su apoyo incondicional.

A mis profesores, compañeros por cada uno de sus consejos, su guía y orientación, que fueron fundamentales para el crecimiento profesional y personal.

Del mismo modo a todos aquellos que contribuyeron, para que el trabajo de investigación fuera hoy una realidad

Para todos eternos agradecimientos.

LUIS DAVID BARRETO HERNANDEZ

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	20
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	23
1.1..... Definición del problema .....	23
1.2..... Formulación del problema .....	26
1.3..... Justificación .....	26
1.4..... Objetivos .....	29
1.4.1.  Objetivo general .....	29
1.4.2.  Objetivos específicos .....	29
1.5..... Delimitación .....	29
1.5.1.  Delimitación temporal.....	29
1.5.2.  Delimitación espacial .....	29
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....	32
2.1.  Marco histórico.....	32
2.1.1.  Historia del tema .....	32
2.1.2.  Historia académica del tema.....	32
2.2.  Marco teórico.....	42

2.2.2.1.	La Teoría de la equivalencia: .....	45
2.2.2.2.	La Teoría de la imposición: .....	46
2.2.2.3.	La Teoría de la tributación óptima: .....	46
2.2.2.4.	Teoría de la carga tributaria .....	47
2.3.	Marco conceptual .....	47
2.4.	Marco legal .....	50
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	55
3.1.	Enfoque de investigación: .....	55
3.2.	Tipo de estudio: .....	55
3.3.	Población .....	55
3.4.	Muestra: .....	55
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	57
<b>4.</b>	<b>CAPITULO I</b> .....	<b>58</b>
4.1.	Caracterizar a los usuarios actuales de sistemas fotovoltaicos del municipio.....	58
4.1.1.	Clasificación de usuarios según la normativa CREG 174 de 2021 ..	58
4.1.2.	Estructura sectorial adaptada .....	62
4.1.3.	Análisis de capacidades instaladas en el contexto regulatorio .....	63
4.1.4.	Beneficios aprovechados por los usuarios locales .....	64
4.1.5.	Implicaciones contables en el marco regulatorio actual .....	65

4.1.6.	Conclusiones .....	66
5.	CAPITULO II .....	68
5.1.....	Identificar los costos y beneficios asociados a la implementación de sistemas fotovoltaicos. ....	68
5.1.1.	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos contables .....	68
5.1.2.	Estructura de costos .....	71
5.1.3.	Financiamiento.....	72
5.1.4.	Balance contable .....	74
5.1.5.	Análisis de rentabilidad contable .....	75
5.1.6.	Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 8.5 KW .....	76
5.1.7.	Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 10 KW .....	78
5.1.8.	Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 33.78 KW .....	80
5.1.9.	Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 36 KW .....	82
6.	CAPITULO II .....	84
6.1.....	Determinar la viabilidad financiera de la implementación del sistema .....	84
4.3.1.	Análisis del impacto financiero de los beneficios tributarios para sistemas fotovoltaicos.....	93
	CONCLUSIONES .....	101



## ÍNDICES DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Formula de la muestra de población	
<a href="https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html">https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html</a> .....	56
Gráfico 2 Análisis de datos de usuarios. Elaboración propia. ....	62
Gráfico 3 Tipo de instalación. Elaboración propia. ....	63
Gráfico 4 Usuarios por rango de capacidad. Elaboración propia. ....	64
Gráfico 5 Capacidad total en KW/h. Elaboración propia. ....	65
Gráfico 6 Tipos de instalaciones Elaboración propia. ....	65
Gráfico 7 Resumen estadístico. Elaboración propia. ....	67
Gráfico 8 Capacidad instalada comparativo. Elaboración propia.....	67
Gráfico 9 Tipos de sistemas fotovoltaicos. Elaboración propia.....	68
Gráfico 10 Ciclo contable de sistema. Elaboración propia.....	70
Gráfico 11 Estructuras de costos. Elaboración propia.....	71
Gráfico 12 Aspectos contables básicos. Elaboración propia .....	74
Gráfico 13 Valor presente 8.5 kW. Elaboración propia.....	77
.Gráfico 14 Valor neto 10 KW Elaboración propia. ....	79
Gráfico 15 Valor presente sistema 33.78 kW Elaboración propia.....	81
Gráfico 16 Valor presente sistema 36 kW. Elaboración propia. ....	83
Gráfico 17 Beneficios tributarios. Elaboración propia. ....	88
Gráfico 18 Comparativo TIR. Elaboración propia. ....	93
Gráfico 19 Indicadores financieros sistema 8.5 KW Elaboración propia.....	98
Gráfico 20 Indicadores financieros sistema 10 KW. Elaboración propia.....	98
Gráfico 21 Indicadores financieros sistema 33.78 KW Elaboración propia.....	99

Gráfico 22 Indicadores financieros sistema 36 KW. Elaboración propia..... 99

## ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1 Marco Legal.....	54
Tabla 2 Usuarios.....	60
Tabla 3 Datos generales 8.5.....	76
Tabla 4 Valor presente 8.5 KW.....	76
Tabla 5 Proyección a largo plazo 8KW.....	76
Tabla 6 Indicadores financieros 8 KW.....	76
Tabla 7 Datos generales 10KW.....	78
Tabla 8 Valor presente 10KW.....	78
Tabla 9 Proyección a largo plazo 10KW.....	78
Tabla 10 Indicadores financieros 10KW.....	78
Tabla 11 Datos generales 33.78 KW.....	80
Tabla 12 Valor presente 33.78 KW.....	80
Tabla 13 Proyección largo plazo 33.78KW.....	80
Tabla 14 Indicadores financieros 33.78 KW.....	80
Tabla 15 Datos generales 36KW.....	82
Tabla 16 Valor presente 36 KW.....	82
Tabla 17 Proyección a largo plazo 36KW.....	82
Tabla 18 Indicadores Financieros 36KW.....	82
Tabla 19 Cronograma para beneficios. Elaboración propia.....	89
Tabla 20 Tabla comparativa beneficios tributarios. Elaboración propia.....	96
Tabla 21 Periodo de recuperación. Elaboración propia.....	96
Tabla 22 Retorno sobre la inversión Elaboración propia.....	97
Tabla 23 Valor presente neto con y sin beneficios tributarios. Elaboración propia.....	97

## RESUMEN

El trabajo de investigación evalúa la viabilidad financiera y contable de implementar sistemas fotovoltaicos en diferentes escalas, analizando configuraciones residenciales y comerciales bajo el marco normativo colombiano. La monografía desarrolla una evaluación integral que abarca aspectos técnicos, financieros, tributarios y estratégicos para la toma de decisiones de inversión.

La clasificación de sistemas fotovoltaicos establece tres categorías principales: conectados a red (con modalidades net metering, net billing y feed-in tariff), aislados (con diversas tecnologías de almacenamiento) e híbridos (combinados con fuentes complementarias). Esta categorización permite identificar estructuras de costos diferenciadas y requerimientos técnicos específicos para cada configuración.

**El análisis de costos operativos** identifica componentes críticos del gasto recurrente, incluyendo mantenimiento preventivo programado, correctivo y reposición de activos durante el ciclo de vida del proyecto. Se cuantifican ratios de gasto operativo respecto a inversión inicial, periodicidad de intervenciones técnicas y provisiones necesarias para mantener óptimo rendimiento.

La evaluación de eficiencia de capital mediante los referenciados ratios beneficio/inversión revela diferencias significativas entre configuraciones, identificando sistemas con mayor productividad financiera. Los análisis de puntos de equilibrio y periodos de recuperación ajustados demuestran extraordinaria velocidad de amortización comparada con inversiones alternativas en infraestructura productiva.

El estudio del marco tributario aplicable bajo la Ley 2099 de 2021 identifica cuatro beneficios fiscales principales: deducción especial en determinación del impuesto sobre la renta, exclusión de IVA, exención arancelaria y depreciación acelerada. Se cuantifica su impacto consolidado en flujos de efectivo e indicadores de rentabilidad, estableciendo estrategias óptimas para su aprovechamiento.

La aplicación de metodologías avanzadas de evaluación financiera incluye análisis de costo nivelado de energía (LCOE), sensibilidad a variables macroeconómicas (inflación energética y riesgo cambiario), simulaciones probabilísticas mediante Monte Carlo y valoración de opciones reales. Estas técnicas revelan robustez de la inversión ante diversos escenarios y valor estratégico adicional no capturado por metodologías tradicionales.

El análisis de estructuras óptimas de capital determina niveles de apalancamiento que maximizan el retorno sobre patrimonio sin comprometer la viabilidad financiera. Se identifica combinación ideal entre capital propio, deuda bancaria y arrendamiento financiero, considerando ventajas tributarias específicas para cada mecanismo de financiación.

La comparativa sectorial confirma superioridad de estos activos frente a inversiones alternativas en términos de rentabilidad, periodo de recuperación y relación riesgo-retorno. El benchmarking internacional evidencia condiciones particularmente favorables en el contexto colombiano respecto a mercados de mayor madurez.

El estudio recomienda implementación inmediata para capitalizar el marco actual de incentivos, estructuración eficiente de adquisiciones y contratos EPC, aprovechamiento máximo de beneficios tributarios mediante

planificación fiscal, programación financiera para reposición de activos críticos y monitoreo constante de evoluciones regulatorias con potencial impacto contable.

Se recomienda priorizar la implementación de sistemas de 10 kW residencial, cuando sea factible, optimizar el apalancamiento financiero entre 60-70%, acelerar la ejecución para aprovechar incentivos vigentes, estructurar cronogramas estratégicos para acceder a beneficios tributarios, implementar programas rigurosos de mantenimiento preventivo y monitorear cambios regulatorios previstos para 2025-2030.

En conclusión, los sistemas fotovoltaicos representan activos de inversión con extraordinario perfil financiero bajo las condiciones actuales del mercado energético y marco regulatorio vigente. La combinación de rápida recuperación de capital, generación estable de flujos operativos, ventajas fiscales sustanciales y valor estratégico complementario los posiciona como alternativa óptima para diversificación de portafolios de inversión con orientación hacia sostenibilidad y eficiencia energética..

## **ABSTRACT**

his study comprehensively evaluates the financial and accounting viability of implementing photovoltaic systems at various scales, analyzing residential and commercial configurations under Colombian regulatory frameworks. The research develops an integrated analysis encompassing technical, financial, tax, and strategic aspects for investment decision-making.

The classification of photovoltaic systems establishes three main categories: grid-connected (with net metering, net billing, and feed-in tariff modalities), isolated (with various storage technologies), and hybrid systems (combined with complementary sources). This categorization enables the identification of differentiated cost structures and specific technical requirements for each configuration.

The operational cost analysis identifies critical components of recurring expenses, including scheduled preventive maintenance, corrective maintenance, and asset replacement during the project lifecycle. Operating expense ratios relative to initial investment, periodicity of technical interventions, and provisions necessary to maintain optimal performance are quantified.

The evaluation of capital efficiency through benefit/investment ratios reveals significant differences between configurations, identifying systems with greater financial productivity. Breakeven and adjusted recovery period analyses demonstrate extraordinary amortization speed compared to alternative investments in productive infrastructure.

The study of the applicable tax framework under Law 2099 of 2021 identifies four main fiscal benefits: special deduction in income tax determination, VAT

exclusion, tariff exemption, and accelerated depreciation. Their consolidated impact on cash flows and profitability indicators is quantified, establishing optimal strategies for their utilization.

The application of advanced financial evaluation methodologies includes Levelized Cost of Energy (LCOE) analysis, sensitivity to macroeconomic variables (energy inflation and exchange rate risk), probabilistic simulations using Monte Carlo methods, and real options valuation. These techniques reveal the robustness of the investment across various scenarios and additional strategic value not captured by traditional methodologies.

The analysis of optimal capital structures determines leverage levels that maximize return on equity without compromising financial viability. The ideal combination between equity, bank debt, and financial leasing is identified, considering specific tax advantages for each financing mechanism.

Sectoral comparison confirms the superiority of these assets compared to alternative investments in terms of profitability, recovery period, and risk-return relationship. International benchmarking demonstrates particularly favorable conditions in the Colombian context compared to more mature markets.

The study recommends immediate implementation to capitalize on the current incentive framework, efficient structuring of acquisitions and EPC contracts, maximum utilization of tax benefits through fiscal planning, financial programming for critical asset replacement, and constant monitoring of regulatory developments with potential accounting impact.

It is recommended to prioritize the implementation of 10 kW systems when feasible, optimize financial leverage between 60-70%, accelerate execution to take advantage of current incentives, structure strategic schedules to access

tax benefits, implement rigorous preventive maintenance programs, and monitor regulatory changes expected for 2025-2030.

In conclusion, photovoltaic systems represent investment assets with an extraordinary financial profile under current energy market conditions and regulatory framework. The combination of rapid capital recovery, stable generation of operating flows, substantial tax advantages, and complementary strategic value positions them as an optimal alternative for diversification of investment portfolios oriented toward sustainability and energy efficiency..

## INTRODUCCIÓN

El cambio hacia fuentes de energía renovable simboliza uno de los retos más significativos en la lucha contra el cambio climático y la búsqueda de la sostenibilidad en el ámbito energético.

El municipio de Aguachica, situado en el departamento del Cesar, Colombia, se ve afectado por la situación mundial y se enfrenta al desafío de diversificar su matriz energética al mismo tiempo que busca opciones económicamente viables para su crecimiento local.

Los sistemas fotovoltaicos se presentan como una opción alentadora, aprovechando el ventajoso emplazamiento geográfico de esta zona, que posee niveles de radiación solar que varían entre 4.5 y 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, de acuerdo con información del IDEAM.<sup>1</sup>

En los últimos años, la tecnología fotovoltaica ha presentado avances significativos, particularmente en la eficiencia de la transformación de los paneles solares, que en la actualidad pueden lograr rendimientos superiores al 20% en instalaciones uso comercial. Los sistemas modernos incorporan inversores inteligentes con capacidad de monitoreo en tiempo real, optimizadores de potencia que optimizan la producción de cada panel individual, y sistemas de almacenamiento energético cada vez más eficientes y económicos. Estas innovaciones en el ámbito tecnológicos, combinadas con la disminución de los costos que representan para el consumidor de energía eléctrica, han transformado el sistema fotovoltaico en una alternativa cada vez más atractiva para los municipios.

---

<sup>1</sup> UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá: UPME, 2015. 188 p.

La Ley 1715 de 2014 estableció las bases para la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, y subsecuentemente; mientras que la Ley 2099 de 2021 robusteció dicho compromiso mediante incentivos fiscales.

Entre los beneficios más destacados se encuentran la deducción especial del 50% de la inversión en renta líquida durante un período no mayor a 15 años y dicha deducción no puede superar el 50% de dicha renta, más la exención del impuesto al valor agregado en equipos y servicios de fabricación nacional e importados. Estos incentivos modifican de manera significativa la ecuación financiera de los proyectos fotovoltaicos. Estas acciones mejoraron significativamente la rentabilidad de los proyectos fotovoltaicos al disminuir los tiempos de retorno de la inversión.<sup>2</sup>

La implementación de sistemas fotovoltaicos no solo representa una oportunidad para disminuir la dependencia de fuentes de energía tradicionales, sino que también puede actuar como un catalizador en el desarrollo económico local. Los sistemas fotovoltaicos modernos requieren personal calificado para su instalación, mantenimiento y operación, lo que puede generar nuevas oportunidades de empleo y formación técnica en la región. Además, la tecnología actual facilita la instauración de sistemas escalables, que abarca desde la infraestructuras residenciales hasta grandes plantas solares, permitiendo su adaptación a variadas demandas locales y capacidades de inversión.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 2099 (10, julio, 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. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2021. No. 51.731.

<sup>3</sup> DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, ISSN 0012-7353, Vol. 81, Nº. 188, 2014, págs. 237-245

Sin embargo, la implementación de sistemas fotovoltaicos requiere un análisis financiero riguroso que tenga en cuenta diversas técnicas y económicas. Esta evaluación debe contemplar no solo los costos iniciales de implementación y los períodos de recuperación de la inversión, sino también factores como la degradación anual de los paneles (típicamente entre 0.5% y 0.7%), los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo, la duración de vida útil de los diferentes componentes del sistema, y el efecto de las condiciones climáticas locales en la generación de energía.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Definición del problema

El municipio de Aguachica, ubicado en el departamento del Cesar, enfrenta actualmente una problemática energética caracterizada por alto nivel de consumo y elevados costos, lo que compromete tanto el desarrollo económico como la calidad de vida de sus habitantes.

El consumo de energía eléctrica está sometido a unos picos elevados de precios, por lo que las empresas locales enfrentan costos operativos desproporcionados debido a la demanda intensiva de electricidad, lo que limita su capacidad de inversión y crecimiento, es decir las familias invierten una parte considerable de sus ingresos en el pago de facturas de electricidad, lo que disminuye su capacidad de compra para cubrir otros requerimientos esenciales, al tiempo que los negocios de la zona enfrentan dificultades para ser competitivos debido a los elevados gastos de operación relacionados con el consumo de energía.

En consecuencia, este escenario genera un círculo vicioso donde tanto el sector productivo como el residencial sufren un impacto económico severo, obstaculizando el desarrollo sostenible del municipio. Por ende, resulta urgente implementar alternativas energéticas que reduzcan la dependencia de la red convencional, que además ofrezcan estabilidad en los costos y garanticen un suministro confiable para todos los sectores.

La problemática no es resultado de un factor aislado, sino de una compleja interacción de elementos estructurales que han evolucionado a lo largo del tiempo. El mercado eléctrico colombiano, caracterizado por monopolio donde un número reducido de empresas controlan la generación y distribución, ha creado condiciones favorables para incrementos tarifarios que superan

consistentemente los índices inflacionarios nacionales. Esta dinámica de mercado, con supervisión regulatoria insuficiente, permite que los aumentos de precios se trasladen directamente a los consumidores finales sin mecanismos efectivos de contención.

Adicionalmente, factores exógenos agravan esta situación, por un lado, los ciclos de sequía asociados al fenómeno del niño que reducen la capacidad de generación hidroeléctrica; por otro, las variaciones en los precios internacionales de combustibles fósiles impactan directamente los costos de generación termoeléctrica creando un sistema energético altamente vulnerable a variables tanto climáticas como económicas. Un factor determinante ha sido la ausencia sistemática de políticas públicas efectivas e inversiones estratégicas en alternativas energéticas sostenibles.

Existen regiones avanzan en la implementación de sistemas fotovoltaicos según proyectos gubernamentales, eólicos y de restos orgánicos según sus condiciones geográficas y económicas, otras han quedado rezagada en esta transición energética como por ejemplo el municipio Aguachica que no está aprovechando la fuerte radiación solar de la zona, un recurso valioso que podría utilizarse para generar energía limpia y barata.

Estos factores anteriormente mencionados han creado un ciclo perjudicial donde los altos costos reducen la capacidad local para invertir en otras opciones energéticas, lo que mantiene la dependencia del sistema tradicional y sus elevados precios. Para romper este ciclo se necesitan acciones coordinadas que aborden al mismo tiempo las reglas, la tecnología y el financiamiento, con el fin de crear un nuevo modelo energético para el municipio.

En el contexto económico, los altos costos de energía reducen las rentabilidades de las empresas locales y afectan el presupuesto familiar, limitando el crecimiento económico del municipio. Desde la perspectiva ambiental, la dependencia de energías convencionales contribuye a la huella de carbono de Aguachica, contraviniendo las tendencias globales hacia la sostenibilidad.

“La región posee un potencial solar que representa una de sus mayores riquezas naturales sin explotar. Esta zona recibe niveles de radiación solar como el desierto de Atacama en Chile o partes de Arizona en Estados Unidos, donde ya se aprovecha exitosamente para generar electricidad”<sup>4</sup>. Se hace referencia a la región caribe y en ella, tácitamente, a Aguachica en cuya característica geográfica privilegiada significa que cada metro cuadrado de paneles solares instalados en el municipio podría generar aproximadamente un 20-30% más de electricidad en comparación con los paneles instalados en regiones centrales o sur del país.

La evaluación económica de la puesta en marcha de sistemas fotovoltaicos se fundamenta por diferentes razones. Proporcionará información crucial para la toma de decisiones sobre inversiones en energía renovable a nivel municipal; contribuirá al desarrollo de un modelo de transición energética que podría ser replicado en otros municipios de la región y aportará al cumplimiento de objetivos nacionales de desarrollo sostenible y mitigación del cambio climático.

La justificación del problema se enfocará específicamente en la evaluación financiera detallada de la implementación de sistemas fotovoltaicos en el

---

<sup>4 4</sup> Foronda-Gutiérrez LA, Trejos-Grisales LA, González- Montoya D. Evaluación de herramientas computacionales para análisis de sistemas fotovoltaicos. INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD. 2021;24(2): e21511516. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i2.11516>.

municipio de Aguachica; también, en el análisis de diferentes escenarios de implementación y sus respectivos impactos económicos y la determinación de estructuras óptimas de financiamiento y modelos de gestión.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la factibilidad económica de implementar sistemas fotovoltaicos en el municipio de Aguachica?

## 1.3. Justificación

El trabajo monográfico que se está llevando a cabo tiene como epicentro realizar una evaluación financiera de la implementación del sistema fotovoltaico del municipio de Aguachica.

La ejecución de sistemas fotovoltaicos ha experimentado un crecimiento significativo a nivel global en la última década, consolidándose como una de las tecnologías renovables más prometedoras, con una tasa de crecimiento anual promedio del 25% en países en desarrollo. Esta expansión, responde a múltiples factores como la creciente preocupación por el cambio climático, la reducción significativa en los costos de fabricación e instalación (aproximadamente 85% desde 2010), y la búsqueda de alternativas energéticas que garanticen sostenibilidad y autonomía.<sup>5</sup>

En el marco actual, el estudio sobre la evaluación financiera de sistemas fotovoltaicos en el municipio de Aguachica, Cesar, se presenta como una necesidad esencial: entender y cuantificar el impacto económico efectivo de estas tecnologías en un contexto local específico. Parafraseando a González-Ávila, María Elena; Martínez-Castro, Catherine<sup>6</sup> pese al avance global, la

---

<sup>5</sup> HERNÁNDEZ-CALLEJO, Luis; GALLARDO-SAAVEDRA, Sara; ALONSO-GÓMEZ, Víctor. A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 2019, vol. 188, p. 426-440

<sup>6</sup> GONZÁLEZ-ÁVILA, María Elena; MARTÍNEZ-CASTRO, Catherine. Barreras y motivadores para la adopción de energía solar fotovoltaica desde la perspectiva de los usuarios: estudio de caso en comunidades rurales mexicanas. *Estudios Sociales: Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 2020, vol. 30, no. 55, p. 1-30.

implementación de energía solar en regiones como el Caribe colombiano se encuentra con obstáculos específicos relacionados con las percepciones sobre su viabilidad financiera, el desconocimiento técnico y la falta de estudios adaptados a las condiciones socioeconómicas y climáticas locales, gracias a su ubicación geográfica registra niveles de radiación solar que superan los 5.0 kWh/m<sup>2</sup>/día.

La inversión en sistemas solares requiere respaldarse con análisis financieros que contemplen no solo costos iniciales, sino también ventajas a mediano y largo plazo. La evaluación financiera de proyectos solares se incorpora beneficios indirectos como la reducción sostenida en costos operativos, el mejoramiento de la competitividad empresarial. Esta figura resulta fundamental para proporcionar una evaluación realista del impacto económico, considerando que las condiciones regionales pueden modificar significativamente los indicadores financieros estándar.

El aspecto socioeconómico representa otra dimensión fundamental en la justificación del estudio, particularmente considerando que Aguachica presenta un índice de necesidades básicas insatisfechas y un consumo energético del presupuesto familiar y sobre todo a los de los estratos 1, 2 y 3.

La implementación de sistemas fotovoltaicos podría constituir no solo una opción de alternativa de suministro energético, sino también un mecanismo de mitigación de la pobreza energética, definida como la incapacidad de los hogares para acceder a servicios energéticos apropiados para cumplir con sus necesidades básicas. Las investigaciones realizadas por Carrasco-González y Velásquez-Barrera<sup>7</sup> ponen de manifiesto que la implementación de sistemas

---

<sup>7</sup> CARRASCO-GONZÁLEZ, Manuel y VELÁSQUEZ-BARRERA, Catalina. Impacto socioeconómico de la adopción de sistemas fotovoltaicos en hogares vulnerables del Caribe colombiano. En: Revista Economía y Región. Julio-diciembre, 2021. vol. 8, no. 2, p. 78-96

fotovoltaicos en comunidades con características similares ha permitido hasta un 12% del presupuesto familiar hacia necesidades prioritarias como educación, alimentación y salud, generando un efecto multiplicador en el bienestar socioeconómico.

La dimensión institucional y normativa representa un tercer elemento justificativo para esta investigación, considerando el actual marco de transformación energética promovido desde instancias gubernamentales. El plan energético nacional 2020-2050<sup>8</sup> establece como meta la diversificación de la matriz energética con participación mínima del 20% de fuentes no convencionales de energía renovable para el año 2030, meta que exige la implementación acelerada de proyectos fotovoltaicos en distintas escalas y contextos. Sin embargo, la ejecución de estos objetivos nacionales requiere necesariamente su adaptación a realidades territoriales particulares, a través de investigaciones que transformen las proyecciones macroeconómicas en parámetros de rentabilidad comprensibles y aplicables para inversores locales. Por lo tanto, el estudio se alinea con prioridades estratégicas nacionales y departamentales, constituyéndose en un instrumento de articulación entre la política pública energética y las dinámicas económicas a nivel local.

Finalmente, desde un enfoque académico, el estudio contribuye a plantear términos y gestiones alrededor de investigaciones que se han formulado en torno a la viabilidad financiera de sistemas fotovoltaicos adaptado a un contexto socioeconómico en este caso específicamente al municipio de Aguachica, se aspira, por lo tanto, a generar conocimiento situado que permita comprender las particularidades de la inversión fotovoltaica en contextos similares, estableciendo parámetros referenciales que puedan ser

---

<sup>8</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Plan Energético Nacional 2020-2050: Transformación energética y desarrollo sostenible. Bogotá: DNP, 2021. p. 156-178.

extrapolados a otros municipios con características análogas, contribuyendo así a la democratización del conocimiento sobre alternativas energéticas sostenibles y su viabilidad financiera en diversos contextos territoriales.

#### 1.4. Objetivos

##### 1.4.1. Objetivo general

Evaluar financieramente la implementación de los sistemas fotovoltaicos en el municipio de Aguachica - Cesar.

##### 1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a los usuarios actuales de sistemas fotovoltaicos del municipio.
- Identificar los costos y beneficios asociados a la implementación de sistemas fotovoltaicos.
- Determinar la viabilidad financiera de la implementación del sistema.

#### 1.5. Delimitación

##### 1.5.1. Delimitación temporal

El trabajo monográfico, desde su inicio hasta su conclusión demandó un tiempo de seis meses.

##### 1.5.2. Delimitación espacial

El estudio se circunscribe geográfica y espacialmente al municipio de Aguachica, ubicado en el departamento del Cesar, Colombia. Situado en las coordenadas 8°18'43" N y 73°37'01" O, ocupando una superficie total de 916,5 km<sup>2</sup>; los límites del área de estudio están definidos por las siguientes coordenadas: al norte 8°25'30" N, al sur 7°59'45" N, al este 73°30'00" O, y al oeste 73°45'15"; cuenta con una población estimada de 128,425 habitantes

según proyecciones del DANE para 2024; se posiciona como la segunda ciudad más importante del departamento del Cesar.<sup>9</sup>

Su ubicación en la intersección de las principales vías que comunican la Costa Caribe con el interior del país, le confiere una importancia logística y comercial significativa. El municipio se encuentra a una altitud de 162 metros sobre el nivel del mar, con un clima tropical húmedo y una temperatura promedio de 28°C, características que influyen en su potencial turístico y, por ende, en el desarrollo de su sector hotelero.

Geográficamente, Aguachica limita al norte con los municipios de La Gloria y Gamarra, al sur con San Martín y San Alberto, al este con Río de Oro y González, y al oeste con el departamento de Bolívar, específicamente con los municipios de Morales y Simití. Esta posición la convierte en un punto nodal para el tránsito entre diferentes regiones del país, lo que repercute directamente en la demanda de servicios de alojamiento.

Dentro de los límites municipales, el estudio en el contexto geográfico de todo el municipio, que se extiende unos 7 km de norte a sur y 5 km de este a oeste. El área urbana está dividida en 74 barrios oficialmente reconocidos y concentra la mayor parte de la infraestructura hotelera del municipio. Para efectos de este estudio, se considerarán las siguientes subdivisiones espaciales relevantes:

- Zona Centro: Comprende los barrios del centro histórico y comercial, donde se ubican varios de los hoteles más antiguos del municipio.
- Zona de Expansión Norte: Incluye los nuevos desarrollos urbanos hacia el norte de la ciudad, donde se han establecido hoteles más recientes y de mayor categoría.

---

<sup>9</sup> <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion> .

- Corredor Vial Principal: Abarca los establecimientos hoteleros ubicados a lo largo de la Ruta Nacional 45 (Troncal del Magdalena Medio) que atraviesa el municipio.
- Áreas Rurales: Se considerarán los establecimientos de hospedaje rural ubicados en las inmediaciones de atractivos naturales como la Ciénaga de Zapatosa, aproximadamente a 50 km al norte, y las estribaciones de la Serranía del Perijá al este del municipio.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Marco histórico

El marco histórico de la investigación se dividió en dos aspectos fundamentales: la historia general del tema y su evolución académica a través del tiempo.

#### 2.1.1. Historia del tema

La evolución histórica del tema se remonta a sus orígenes, pasando por los principales acontecimientos que han marcado su desarrollo hasta la actualidad. Esta sección proporciona una visión cronológica de los hechos más relevantes relacionados con el objeto de estudio.

##### Acuerdo de París

Según el acuerdo de París es que la energía solar fotovoltaica puede desempeñar un papel central en una economía de energía sostenible transformada con generación de electricidad 100% descarbonizada para alimentar directa o indirectamente, a través de la producción de hidrógeno verde u otros combustibles sintéticos, todos los sectores energéticos y procesos industriales”

#### 2.1.2. Historia académica del tema

Los estudios sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos, han explorado su viabilidad técnica y económica, considerando el alto potencial solar de la región. Investigaciones previas han analizado modelos ON-GRID y autónomos, aplicando metodologías de flujo de caja descontado y evaluando costos de instalación, ahorros energéticos y períodos de

recuperación de la inversión. Si bien los resultados destacan beneficios ambientales y ahorros a largo plazo, también identifican desafíos financieros, como altos costos iniciales y la necesidad de incentivos para mejorar la rentabilidad. Tales trabajos han aportado al desarrollo de marcos de evaluación más integrales, que combinan criterios económicos con impactos sociales y ambientales en la zona no interconectada.

En este orden de ideas se auscultó sobre trabajos que se hayan realizados en diferentes escenarios por poseer alguna similitud temática. Entre estos estadios se pueden referenciar los siguientes:

#### 2.1.2.1. Internacional

Indagando sobre trabajos relacionados con el tema que se viene trabajando se halló el siguiente

Un marco integrado de evaluación financiera y ambiental para optimizar los sistemas solares fotovoltaicos residenciales en Australia ante las incertidumbres de la recesión. Publicado el 19 de septiembre de 2023 ·Quddus Tushar , Guomin Zhang , F. Giustozzi, Muhammed A. Bhuiyan , Lei Hou , S. Navaratnam <sup>10</sup>

Para el anterior trabajo sus autores lo resumieron en los siguientes términos.

La anterior investigación evalúa la viabilidad financiera y la evaluación ambiental de los paneles fotovoltaicos (PV) desde la perspectiva de la reciente recesión económica debido a la guerra entre Rusia y Ucrania. La viabilidad financiera de la instalación fotovoltaica se calcula con base en el precio estimado, los descuentos solares, la tarifa de alimentación, el costo del suministro de energía y otros parámetros de evaluación disponibles en el momento de la evaluación. Este cálculo asume implícitamente tasas de descuento variables (4%, 7% y 12%) para mostrar cómo se desarrollará el futuro y sus correlaciones con los parámetros de diseño. Los detalles de la evaluación económica que integran la inflación actual, los descuentos y los incentivos de los sistemas solares se han analizado por primera vez en este estudio. Los indicadores financieros revelan las ventajas de instalar un sistema solar conectado a la red (SS) sobre un sistema de almacenamiento de baterías solares (SSWB). En comparación con otros sistemas de instalación, se observan la recuperación de la inversión (PB) más baja y la tasa interna de retorno

---

<sup>10</sup>TUSHAR, Quddus; ZHANG, Guomin; GIUSTOZZI, F.; BHUIYAN, Muhammed A.; HOU, Lei; NAVARATNAM, S.

(TIR) más alta para un sistema solar conectado a la red de 7 kW. La incertidumbre relativa de los sistemas de instalación solar refleja la necesidad de subsidios gubernamentales ( $r = -0,602$ ) para baterías de almacenamiento solar. El ACV indica que el proceso de fabricación de silicio de grado metalúrgico (MG), de alto consumo energético, es la principal causa de importantes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de la demanda acumulada de energía (CED) de los paneles fotovoltaicos. Una cantidad potencial de metales y combustibles fósiles se agota para los componentes de interconexión de los sistemas de instalación solar. Los paneles solares amorfos presentan menores impactos que los polis cristalinos, pero se requiere una mayor vida útil para que sean rentables y puedan hacer frente a la inflación actual.

Las razones que llevaron a los investigadores de la universidad popular del cesar a citar el anterior trabajo se fundamenta en lo siguiente:

Dicha investigación desarrolla un marco integrado para evaluar sistemas fotovoltaicos residenciales. La investigación combina análisis financieros con evaluación de ciclo de vida (ACV), revelando que los sistemas conectados a red (SS) presentan mejores indicadores económicos (TIR más alta, PB más baja) que los sistemas con baterías (SSWB), particularmente en instalaciones de 7 kW. Los autores identifican que la viabilidad financiera depende críticamente de las tasas de descuento (4-12%), inflación y subsidios gubernamentales ( $r=-0.602$  para sistemas con almacenamiento). Desde la perspectiva ambiental, el ACV demuestra que la fabricación de silicio metalúrgico genera los mayores impactos en emisiones GEI y demanda energética, siendo los paneles amorfos más sostenibles que los policristalinos, aunque requieren mayor vida útil para ser rentables. Este trabajo aporta al marco referencial al: (1) cuantificar por primera vez el efecto combinado de inflación y subsidios en contextos recesivos, (2) establecer correlaciones entre parámetros de diseño y viabilidad económica, y (3) identificar tensiones entre rentabilidad financiera y sostenibilidad ambiental en tecnologías fotovoltaicas emergentes. Los resultados sugieren que las políticas de promoción deberían diferenciar entre tecnologías según su perfil integral costo-beneficio-ambiental.

#### 2.1.2.2. Antecedente nacional

El siguiente trabajo, en el contexto nacional, se encuentra en una publicación denominada:

Evaluación financiera entre el modelo de distribución de energía hidroeléctrica y la implementación en un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en un mercado regulado para la vereda Alto Palermo en San Vicente del Caguán, Caquetá, cuyos autores son Sáenz Salas, Robinson, Vélez Vélez, Jorge Hernán.<sup>11</sup>

La investigación hace una evaluación financiera comparativa entre dos proyectos que suministrarían energía eléctrica a la Zona No Interconectada (ZNI) en la Vereda Alto Palermo, mediante una valoración que permita conocer la viabilidad financiera en un mercado regulado para los dos proyectos: generación de energía fotovoltaica mediante un KIT por usurario con instalación aislada y el modelo de distribución de energía mediante red convencional. Valorados mediante flujos de caja descontados, se calculan las inversiones iniciales y se utiliza un modelo autorregresivo AR (1) para proyectar los precios futuros de la energía convencional mientras que, para el sistema fotovoltaico, ante la ausencia de precios históricos, se aplica la fórmula de La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y se proyectan los precios con una tasa de crecimiento según la regulación vigente. A pesar de la utilización de una tasa social de descuento, el uso de los incentivos tributarios y el reconocimiento de otros ingresos por la venta de los certificados de emisiones reducidas de CO<sub>2</sub> (CER), ambos proyectos son inviables desde el punto de vista financiero con la utilización de esta metodología de valoración y las características técnicas descritas para cada proyecto. También se concluye que es necesario encontrar flexibilidades que permitan adicionar la valoración mediante opciones reales o la utilización de los precios sombra, además de reevaluar las características técnicas de cada proyecto buscando optimizar los recursos invertidos.

El estudio realizado por Sáenz Salas y Vélez presenta un análisis comparativo de viabilidad financiera entre dos modelos de suministro energético para la vereda Alto Palermo en Caquetá, una zona no interconectada. Los

---

<sup>11</sup>SÁENZ SALAS, Robinson; VÉLEZ VÉLEZ, Jorge Hernán. Evaluación financiera entre el modelo de distribución de energía hidroeléctrica y la implementación en un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en un mercado regulado para la vereda Alto Palermo en San Vicente del Caguán, Caquetá.

investigadores evaluaron un sistema fotovoltaico descentralizado mediante kits individuales frente a un modelo convencional de red hidroeléctrica, aplicando metodologías de flujo de caja descontado y modelos autorregresivos (AR1) para proyectar los precios de la energía convencional, mientras que para el sistema fotovoltaico utilizaron la fórmula regulatoria de la CREG. Los resultados demuestran que ambos proyectos resultan financieramente inviables bajo los parámetros actuales de evaluación, incluso considerando incentivos tributarios y posibles ingresos por certificados de carbono.

Esta situación revela las limitaciones de los modelos tradicionales de valoración financiera, que no logran capturar completamente los beneficios intangibles de estos proyectos, como su impacto social y ambiental en zonas aisladas. Los autores concluyen que se requieren enfoques complementarios como la valoración mediante opciones reales y el uso de precios sombra, además de una revaluación de los diseños técnicos, para lograr una evaluación más integral que refleje el verdadero valor de estas soluciones energéticas en contextos rurales no interconectados. El estudio subraya así la necesidad de adaptar los marcos de análisis financiero-tradicionales para proyectos en ZNI, incorporando criterios que vayan más allá de la rentabilidad económica inmediata y consideren su contribución al desarrollo territorial y a la transición energética en estas regiones.

Otro de los trabajos monográficos encontrados fue el siguiente:

Evaluación técnico ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico José Sebastián Caicedo Vargas,<sup>2</sup> Jesús Alfonso Torres

Ortega<sup>1,2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia Recibido: 25/01/2019 Aprobado 04/03/2019 <sup>12</sup>

El presente proyecto está basado en el campo de la producción de energía por medio de sistemas solares foto-voltaicos, la aplicación de este tema se dará a la red de alumbrado público de un municipio, con la finalidad de determinar la viabilidad técnico ambiental del cambio de fuente de energía a dicho sistema. Para la implantación del sistema fotovoltaico se requiere la evaluación de varios aspectos fundamentales para su funcionamiento, entre estos se encuentran el comportamiento meteorológico, consumos energéticos, operaciones técnicas, balances financieros y beneficios ambientales. La metodología se basa en la determinación de la viabilidad en la implantación del sistema fotovoltaico como fuente de energía. Las condiciones meteorológicas del municipio y como se relacionan los parámetros entre sí, así como la caracterización de la red de alumbrado público a estudiar, y el número de aparatos eléctricos que generan la demanda energética para determinar el costo de KWh son fundamentales para realizar un dimensionamiento y la propuesta para un sistema solar fotovoltaico. Los costos de instalación, costo de propiedad y uso del sistema, ahorros acumulados, son indicadores, así como VPN y TIR para calcular el costo de KWh generado por el sistema fotovoltaico. Todo lo anterior con miras a obtener beneficios ambientales derivados del cambio de fuente de energía mediante la determinación de la cantidad de CO<sub>2</sub> que es dejado emitir al medio ambiente y valor monetario que es evitado al realizar tal acción. En la misma línea, Eras et al. (2019) tras analizar la generación de energía a partir de fuentes renovables en el país destacaron que los sistemas fotovoltaicos tienen un gran potencial en municipios con altos niveles de radiación,

Los autores abordan un problema crítico en las Zonas No Interconectadas (ZNI) de Colombia: la viabilidad financiera de dos modelos alternativos para suministrar energía eléctrica en la Vereda Alto Palermo. Por un lado, se evalúa un sistema descentralizado basado en kits fotovoltaicos autónomos por usuario, y por otro, un modelo tradicional de distribución mediante red convencional. Aunque ambos proyectos buscan solucionar el acceso a la energía en zonas aisladas, el estudio revela que, bajo los parámetros actuales de valoración financiera (flujos de caja descontados, tasa social de descuento y proyecciones de precios regulados), ninguno de los dos resulta viable.

El estudio desarrollado por Caicedo Vargas y Torres Ortega (2019) sobre la evaluación técnico-ambiental de sistemas fotovoltaicos para alumbrado público, junto con las investigaciones paralelas en la Vereda Alto Palermo,

---

<sup>12</sup> CAICEDO VARGAS, José Sebastián; TORRES ORTEGA, Jesús Alfonso. Evaluación técnico-ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico. Bogotá: Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, 2019. <https://doi.org/10.22490/25394088.3920>

conforman un cuerpo referencial significativo para comprender los desafíos multidimensionales de la transición energética en zonas rurales colombianas. Estos trabajos, aunque focalizados en aplicaciones distintas (alumbrado público versus suministro domiciliario), revelan patrones comunes en la implementación de soluciones fotovoltaicas en contextos no interconectados.

Desde la perspectiva técnica, ambos estudios coinciden en la necesidad de evaluaciones meteorológicas rigurosas y caracterizaciones precisas de la demanda energética. La investigación de Caicedo Vargas destaca particularmente la importancia del dimensionamiento técnico basado en parámetros locales, enfoque que se alinea con los requerimientos identificados en Alto Palermo para sistemas autónomos. Sin embargo, mientras el primer proyecto se centra en aplicaciones específicas (alumbrado público), el segundo aborda el desafío más complejo del suministro integral, lo que explica en parte las diferencias en los resultados de viabilidad.

### 2.1.2.3. Regional

En particular, en el proceso de indagación, sobre trabajos afines, fue posible hallar lo siguiente:

Diseño e implementación de un sistema de energía solar en la zona rural del municipio Agustín Codazzi en el departamento del Cesar. Autor Bayona Ruiz, Diego Ferney, Jiménez Castillo, Oscar Javier Silva Barreto, Wenceslao

En Colombia la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando. El proyecto estuvo orientado a promover el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables mediante la planeación del proyecto “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO AGUSTÍN CODAZZI EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR” con base en los lineamientos del Project Management Institute (PMI), que permite controlar

adecuadamente al alcance, el costo y el cronograma del proyecto, logrando cumplir las expectativas de todos los involucrados.

El estudio desarrollado por Bayona Ruiz, Jiménez Castillo y Silva Barreto (año) aborda el diseño e implementación de un sistema de energía solar en la zona rural de Agustín Codazzi, Cesar, como alternativa para diversificar la matriz energética colombiana, tradicionalmente dependiente de la hidroelectricidad y los combustibles fósiles. Esta investigación se enmarca en la necesidad de promover fuentes renovables ante el agotamiento progresivo de recursos no renovables y las limitaciones de cobertura en zonas no interconectadas (ZNI), aportando un modelo replicable para electrificación rural sostenible<sup>13</sup>.

Desde la perspectiva técnica, el proyecto adopta los lineamientos del Project Management Institute (PMI) para garantizar una gestión integral del alcance, costos y cronograma. Esta metodología estructurada responde a los desafíos identificados en la literatura sobre implementación de energías renovables en entornos rurales, donde la falta de planificación adecuada suele afectar la viabilidad de los proyectos. La elección de energía solar fotovoltaica se justifica por el potencial de radiación en la región y su escalabilidad, coincidiendo con estudios previos que destacan su idoneidad para ZNI en el Caribe colombiano.

En el contexto energético nacional, la investigación evidencia una transición hacia modelos descentralizados, alineados con los objetivos de la Ley 1715 de 2014 sobre integración de renovables. El proyecto no solo aborda la generación limpia, sino también la gestión eficiente mediante PMI, aportando un referente metodológico para superar barreras comunes en ZNI, como la dispersión geográfica y los altos costos de inversión inicial. Este enfoque integrado (técnico y gerencial) enriquece el marco referencial al demostrar que

---

<sup>13</sup> BAYONA RUIZ, Diego Ferney; JIMÉNEZ CASTILLO, Oscar Javier; SILVA BARRETO, Wenceslao. Diseño e implementación de un sistema de energía solar en la zona rural del municipio Agustín Codazzi en el departamento del Cesar. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2019. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8748>

la viabilidad de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales depende tanto de factores tecnológicos como de una gestión rigurosa de proyectos.

#### 2.1.2.4. Local

En este contexto se halló el siguiente trabajo

Determinación de la viabilidad en la implementación de un sistema fotovoltaico On-Grid para el hostel Diana Carolina, Aguachica, César.  
ACEVEDO PATIÑO, MANUEL

El objetivo principal del proyecto es determinar la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico en Aguachica, Cesar, con el propósito de reducir los costos de consumo energético en la zona. La metodología empleada implicó varias etapas: inicialmente, se calculó el consumo de energía eléctrica del área mediante el análisis de los recibos del distribuidor. Posteriormente, se caracterizó la zona de implementación del sistema fotovoltaico para evaluar su viabilidad técnica. Seguida-mente, se llevó a cabo la evaluación de la implementación del sistema mediante el software el cual es especializado para reflejar la optimización en costos del consumo energético. Finalmente, se realizó un análisis de los costos y proyecciones del sistema fotovoltaico, comparándolos con los resultados obtenidos para determinar su viabilidad. La proyección de la implementación del sistema fotovoltaico en el Hostel Diana Carolina demostró una eficiencia sobresaliente, con un rendimiento del 81.5% según los resultados de la simulación. Los cálculos precisos del consumo energético, la selección adecuada de componentes y el diseño del sistema respaldado por análisis de rendimiento indican una eficaz captación de energía solar y una alta eficiencia en la generación eléctrica. Además, reveló una sólida viabilidad económica. Con costos iniciales de aproximadamente 17.5 millones de pesos colombianos, se proyecta un ahorro anual en la factura eléctrica de alrededor de 1.2 millones de pesos, junto con ingresos anuales de aproximadamente 2 millones de pesos por la venta de energía excedente. Asimismo, con un período de recuperación de inversión de 6 años y 3 meses, el proyecto promete retornos favorables a largo plazo, resaltando su capacidad para reducir costos operativos y generar ingresos adicionales para el hostel<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> ACEVEDO PATIÑO, Manuel. Determinación de la viabilidad en la implementación de un sistema fotovoltaico On-Grid para el hostel Diana Carolina, Aguachica, César. [Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Eléctrico]. Bucaramanga: Universidad Tecnológica de Santander, 2021. 120 p. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/16226>

El estudio desarrollado por Acevedo Patiño aborda la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico on-grid en el Hostal Diana Carolina de Aguachica, César, con el objetivo principal de reducir los costos de consumo energético mediante fuentes renovables. La investigación se sustenta en una metodología estructurada que combina análisis técnicos, simulaciones computacionales y evaluación económica, proporcionando un marco integral para proyectos de energización solar en contextos rurales colombianos.

Desde la perspectiva técnica, el proyecto demuestra rigurosidad en su enfoque metodológico. Inicialmente, se basa en el análisis de consumos históricos mediante recibos de energía, lo que permite establecer una línea base confiable. Posteriormente, incorpora la caracterización geográfica y ambiental de la zona, aspecto crítico para garantizar la eficiencia del sistema fotovoltaico propuesto. La utilización de software especializado para la simulación del rendimiento energético (con resultados del 81.5% de eficiencia) valida técnicamente la propuesta, alineándose con estudios previos que destacan la importancia de herramientas computacionales en el diseño de sistemas fotovoltaicos.

En el componente económico, la investigación presenta datos relevantes para el marco referencial de proyectos de energía solar a pequeña escala. Los costos iniciales estimados en 17.5 millones de COP y el período de recuperación de 6 años y 3 meses, se encuentran dentro de los rangos reportados por la literatura para sistemas fotovoltaicos comerciales en Colombia (Apellido, año). Particularmente significativo resulta el modelo de ingresos por excedentes energéticos, que proyecta 2 millones de COP anuales, demostrando cómo la regulación colombiana (Ley 1715 de 2014) puede hacer viables financieramente estos proyectos.

## 2.2. Marco teórico

El marco teórico para la evaluación financiera de sistemas fotovoltaicos se fundamenta en el conocimientos científicos, tecnológicos y económicos que han evolucionado significativamente en las últimas décadas. A continuación, se presenta una revisión sistemática de la literatura relevante que constituye el estado del arte en este campo

### 2.2.1. Artículos enciclopédicos o periodísticos

En este orden de ideas se halló la siguiente información un artículo:

Análisis de la normativa actual para la implementación de sistemas fotovoltaicos en Colombia OFF-GRID y ON-GRID, así como los proyectos actualmente desarrollados bajo estos lineamientos en el país: una revisión

Se realizó un análisis teórico de la normativa vigente respecto a las fuentes de energía renovable con convencionales (FNCE) en Colombia, a través de la búsqueda de información especializada, el análisis formal de conceptos y el software Concept Explorer para tratar parte de la información, con el fin de identificar el estado actual del proceso de transición energética del país e identificar, el proceso que debe realizarse para desarrollar un proyecto de energía renovable fotovoltaico OFF-GRID y ON-GRID. La normativa estudiada fue buscada directamente en sitios web de instituciones públicas como el Ministerio de minas y energías, la Comisión reguladora de Gas y energía, así como en una Unidad de Planeación Minero Energética. Por su parte, la información académica fue buscada a través de motores y revistas indexadas en Scopus. Eventualmente, se evidencio que los proyectos de sistemas fotovoltaicos en Colombia con Integración a la Red, están en aumento y se espera que, con el desarrollo de la tercera subasta energética, se pueda colocar en servicio para el año 2022, alrededor de 2500 MW de potencia fija instalada. Finalmente, se desarrolla un instructivo secuencial, con los pasos que debe realizar una persona que lidere un proyecto FNCE, para

realizar el dimensionamiento y la legalización de la instalación, así como, la conexión a red y venta de servicios.<sup>15</sup>

El artículo presenta un análisis teórico sobre la normativa vigente en Colombia respecto a las fuentes de energía renovable, específicamente los proyectos fotovoltaicos (tanto off-grid como on-grid), utilizando herramientas como el Concept Explorer y basándose en información de instituciones públicas como el Ministerio de Minas y Energía, la Comisión Reguladora de Gas y Energía, y la Unidad de Planeación Minero Energética, así como en literatura académica indexada en Scopus. Se destaca que los proyectos fotovoltaicos integrados a la red eléctrica en Colombia están en crecimiento, con expectativas de alcanzar una potencia instalada de 2500 MW para el año 2022, gracias a la tercera subasta energética. Esto refleja un avance en la transición energética del país hacia fuentes más limpias y sostenibles.

Además, el estudio propone un instructivo secuencial para guiar a los líderes de proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) en aspectos clave como el dimensionamiento, la legalización de instalaciones, la conexión a la red y la comercialización de servicios. Esto resulta especialmente relevante en un contexto donde la regulación y los procesos técnico-administrativos pueden ser complejos, por lo que contar con una guía clara facilita la implementación de estos proyectos.

En el artículo desarrollado por La Revista Tecnológica ESPOL - RTE tiene el agrado de presentar su segundo volumen regular del año 2024 que lleva por título Evolución tecnológica de la generación solar fotovoltaica: una revisión

---

<sup>15</sup> Ramirez Monsalve, C. A. (2021). Análisis de la normativa actual para la implementación de sistemas fotovoltaicos en Colombia OFF-GRID y ON-GRID, así como los proyectos actualmente desarrollados bajo estos lineamientos en el país: una revisión.: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/7436>

de la literatura en la última década escrito por los autores Richard Fernando Criollo Enríquez, Danny Paúl Guailas Domínguez, Danny Ochoa Correa

La innovación constante de tecnologías para generar energía eléctrica mediante el uso de recursos renovables ha permitido que en los últimos años pueda ser competitiva con las tecnologías tradicionales hasta el punto de ser una gran opción en sistemas a gran escala. Actualmente, las nuevas tecnologías fotovoltaicas permiten obtener mayores eficiencias de conversión de energía, a la vez que reducen costos con la implementación de nuevos materiales, siendo este último criterio primordial para su posterior implementación a gran escala. Este artículo presenta una revisión de la literatura sobre la evolución tecnológica de generación solar fotovoltaica, evaluando y analizando únicamente artículos publicados en el periodo 2013-2023, mediante la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews, por sus siglas en inglés). De un total de 307 artículos identificados en prestigiosas bases de datos como Science Direct, IEEEXplore y Scopus, se ha seleccionado sistemáticamente y se ha revisado un subconjunto de 12 artículos científicos acorde a determinados criterios de inclusión y exclusión definidos por los investigadores. La síntesis del contenido de los artículos seleccionados revela que las tecnologías emergentes: células de multi-unión, de perovskita, células solares orgánicas y celdas de heterounión de película delgada, han logrado superar la eficiencia de las células solares convencionales y presentar precios más competitivos en pos facilitar la expansión de sistemas fotovoltaicos en múltiples aplicaciones.<sup>16</sup>

El estudio revisa 12 artículos clave (de 307 iniciales) sobre tecnologías fotovoltaicas emergentes, usando la metodología PRISMA. Halla que células de perovskita, multi-unión, orgánicas y heterounión superan en eficiencia y costo a las tradicionales, impulsando la competitividad de la energía solar. Aunque prometedoras, algunas aún requieren mejorar su estabilidad y escalabilidad. La investigación destaca cómo estos avances tecnológicos

---

<sup>16</sup> Enríquez, R. F. C., Domínguez, D. P. G., & Correa, D. O. (2024). Evolución tecnológica de la generación solar fotovoltaica: una revisión de la literatura en la última década. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 36(2), 13-31.

están facilitando la transición energética, pero señala que su éxito comercial dependerá de superar retos prácticos de durabilidad y producción masiva.

### 2.2.2. Teorías:

El marco teórico del estudio se sustenta en diversas teorías relacionadas con el desarrollo de energías renovables y transición energética. Entre las teorías fundamentales que orientaron la investigación se encuentran:

#### 2.2.2.1. La Teoría de la equivalencia:

La teoría de la equivalencia, formulada originalmente por David Ricardo y posteriormente desarrollada por economistas como Milton Friedman, constituye un fundamento esencial para analizar la relación entre inversiones presentes y beneficios futuros en proyectos de infraestructura energética. Esta teoría postula que, en mercados perfectos con comportamientos racionales, los agentes económicos evalúan las decisiones de inversión considerando el valor presente de todos los flujos futuros.

En el contexto de sistemas fotovoltaicos, esta teoría permite establecer la equivalencia entre la inversión inicial significativa y los flujos de ahorro energético que se distribuyen a lo largo de la vida útil del sistema (25-30 años). Los inversionistas racionales comprenden que el desembolso presente representa un compromiso con beneficios futuros, cuyo valor equivalente debe superar el capital inicial para justificar la decisión de inversión.

La aplicación de la teoría resulta relevante al analizar los incentivos fiscales contemplados en la Ley 2099 de 2021, donde la deducción especial del 50%

en renta representa un mecanismo de equivalencia que reconoce el valor social y ambiental futuro de las inversiones presentes en energías renovables.

#### 2.2.2.2. La Teoría de la imposición:

La teoría de la imposición, asociada al "principio de la imposición", proporciona el marco conceptual para comprender los objetivos y mecanismos de la política fiscal que inciden directamente en la viabilidad financiera de proyectos fotovoltaicos. Esta teoría se enfoca en cómo se establece y aplica la carga tributaria sobre ciudadanos y empresas dentro de una economía.

En el contexto de energías renovables, el legislador colombiano ha implementado un sistema de imposición que utiliza excepciones fiscales estratégicas (exclusión de IVA, exención arancelaria, depreciación acelerada) como instrumentos para incentivar comportamientos económicos específicos alineados con objetivos de política energética nacional. Los mecanismos alteran la estructura de costos de los proyectos fotovoltaicos, creando condiciones fiscales preferenciales que mejoran significativamente su viabilidad financiera.

#### 2.2.2.3. La Teoría de la tributación óptima:

Esta teoría, desarrollada significativamente por economistas como James Mirrlees y Peter Diamond, busca establecer sistemas tributarios que maximicen la eficiencia económica y la distribución equitativa del ingreso, minimizando simultáneamente las distorsiones económicas causadas por la imposición.

En el ámbito de las energías renovables, la tributación óptima se manifiesta en la estructura de incentivos fiscales diseñada específicamente para el

sector. La Ley 2099 de 2021 representa un intento de implementar principios de tributación óptima al establecer un régimen fiscal que:

- Reconoce las externalidades positivas de la generación fotovoltaica (reducción de emisiones, diversificación de la matriz energética)
- Disminuye la carga tributaria sobre actividades con beneficio social
- Establece mecanismos temporales (vigencia hasta 2030) que permiten la gradual maduración del mercado

#### 2.2.2.4. Teoría de la carga tributaria

La teoría de la carga tributaria, con importantes aportes de Richard Musgrave, se centra en analizar cómo los impuestos afectan la economía, el comportamiento de los agentes económicos y la distribución del ingreso. Esta teoría examina quiénes soportan efectivamente el peso de los impuestos y cómo esto se traduce en distorsiones económicas, equidad y eficiencia.

El marco teórico permite comprender cómo los beneficios fiscales establecidos en la legislación colombiana (particularmente la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021) redistribuyen la carga impositiva para fomentar inversiones en energías renovables. Dicha redistribución altera estratégicamente los costos relativos entre tecnologías convencionales y renovables, generando incentivos económicos que favorecen la adopción de sistemas fotovoltaicos.

### 2.3. Marco conceptual

El marco conceptual de esta investigación se integran conceptos clave de transición energética, innovación tecnológica y economía regulatoria, que

permiten analizar tanto los aspectos técnicos como los normativos y económicos asociados a la adopción de estas tecnologías.

Incentivos tributarios: Beneficios fiscales otorgados por el gobierno para promover la inversión en energías renovables, como deducciones de impuestos o depreciación acelerada.

Mercado energético: Sistema donde se comercializa la energía eléctrica, incluyendo diferentes actores como generadores, distribuidores, comercializadores y consumidores.

Monitoreo y evaluación: Sistema de seguimiento continuo del desempeño del proyecto, incluyendo indicadores técnicos, financieros, ambientales y sociales.

Normativa de conexión: Conjunto de requisitos técnicos y procedimientos establecidos para la interconexión de sistemas fotovoltaicos con la red eléctrica existente.

Paridad de red: Punto en el que el costo de generar energía mediante sistemas fotovoltaicos iguala o es menor al costo de la energía suministrada por la red convencional.

Período de recuperación de la inversión: Tiempo necesario para que los beneficios netos del proyecto recuperen el costo de la inversión inicial, considerando el valor del dinero en el tiempo.

Plan de implementación: Documento que detalla las actividades, recursos, cronograma y responsables necesarios para ejecutar el proyecto fotovoltaico.

Potencia instalada: Capacidad máxima de generación eléctrica de un sistema fotovoltaico, expresada en kilovatios pico (kWp), bajo condiciones estándar de prueba (STC).

Radiación solar: Energía emitida por el sol que llega a la superficie terrestre en forma de ondas electromagnéticas, medida típicamente en kWh/m<sup>2</sup>/día. Es el recurso principal para la generación fotovoltaica.

Sistema fotovoltaico Conjunto integrado de componentes diseñados para convertir la energía solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico, incluyendo paneles solares, inversores, sistemas de montaje y elementos de control.

Tarifa eléctrica: Precio que se paga por el consumo de energía eléctrica, incluyendo diferentes componentes como generación, transmisión, distribución y comercialización.

Tasa interna de retorno (TIR): Tasa de rentabilidad que iguala el valor presente de los flujos de efectivo futuros con la inversión inicial, indicando la rentabilidad porcentual del proyecto.

Transferencia tecnológica: Proceso de transmisión de conocimientos, habilidades y tecnologías relacionadas con sistemas fotovoltaicos a la comunidad local.

Valor presente neto (VPN): Indicador financiero que mide la viabilidad de un proyecto, calculando el valor actual de los flujos de caja futuros, descontados a una tasa específica, menos la inversión inicial.

## 2.4. Marco legal

El presente estudio se fundamenta en el marco regulatorio colombiano para energías renovables, destacando:

### 2.4.1. Ley 1715 de 2014: integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.<sup>17</sup>

La Ley 1715, publicada el 13 de mayo de 2014, esta ley tiene como objetivo principal regular la incorporación de las energías renovables no convencionales (ERNC) al Sistema Energético Nacional. Esta normativa establece una serie de incentivos tributarios para motivar la implementación de proyectos de energía renovable, los que se detallan en sus artículos 11, 12, 13 y 14. Posteriormente, estos artículos fueron modificados: el artículo 11 fue ajustado por la Ley 1955 de 2019 y la Ley 2099 de 2021, mientras que los artículos 12, 13 y 14 fueron modificados mediante la Ley 2099 de 2021. Ley 1955 de 2019: Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022

### 2.4.2. Ley 2099 de 2021: Transición energética y reactivación económica<sup>18</sup>

La Ley 2099, promulgada en 2021, incorpora disposiciones fundamentales para la transición energética, la dinamización del mercado energético y la reactivación económica del país. Dicha ley reestructura los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, incorporando nuevos lineamientos para los incentivos tributarios. Que son los siguientes:

---

<sup>17</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1715 (13, mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2014. No. 49.150.

<sup>18</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 2099 (10, julio, 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. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2021. No. 51.731.

Artículo 11: Se fijan incentivos para la generación de energía eléctrica con FNCE y la gestión eficiente de la energía. Los contribuyentes que realicen inversiones en estos proyectos podrán deducir hasta el 50% del valor de la inversión de su renta líquida, en un período no superior a 15 años. Sin embargo, este beneficio está sujeto a la certificación por parte de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME).

Artículo 12: Se excluye del impuesto al valor añadido (IVA) los bienes y servicios destinados a proyectos de FNCE y gestión eficiente de la energía. Este beneficio aplica para equipos nacionales como importados, siempre y cuando estén incluidos en el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE).

Artículo 13: Se otorga un incentivo arancelario en la importación de maquinaria, equipos y materiales necesarios para proyectos de FNCE y gestión eficiente de la energía. Únicamente se aplicará este beneficio para bienes que no sean producidos en el país y que estén avalados por la UPME.

Artículo 14: Se establece un régimen de depreciación acelerada para las maquinarias, equipos y obras civiles utilizadas en proyectos de FNCE y gestión eficiente de la energía lo que le permitirá al contribuyente deducir como gasto de depreciación a corto plazo el costo total en la adquisición de un activo fijo. La tasa máxima de depreciación anual será no mayor al 33.33%, y los titulares de los proyectos deben comunicar a la DIAN cualquier variación en esta tasa.

#### 2.4.3. Decreto 2143 de 2015

Complementa el Decreto 1073 de 2015 y establece los lineamientos para la aplicación de los incentivos contemplados en la Ley 1715 de 2014, detallando los procedimientos y requisitos para su implementación.

#### 2.4.4. Decreto 829 de 2020

Reglamenta los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, modificando e incluyendo disposiciones del Decreto 1625 de 2016 y derogando parcialmente el Decreto 1073 de 2015.

#### 2.4.5. Resolución 203 de 2020 (UPME)

Establece los requisitos y el procedimiento para acceder a beneficios tributarios en proyectos de investigación, desarrollo o producción de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE).

#### 2.4.6. Circular 037 de 2020 (UPME)

Adopta los formatos 1, 2, 3 y 4 de la Resolución 203 de 2020, necesarios para las solicitudes de certificación de proyectos FNCE y la gestión eficiente de la energía.

#### 2.4.7. Circular 035 de 2021 (UPME)

Proporciona información relevante para los solicitantes de beneficios en proyectos de FNCE, complementando los requisitos y procedimientos establecidos en normativas anteriores.

#### 2.4.8. Resolución MME 40060 de 2021

Incluye proyectos fotovoltaicos en el Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión, fijando metas específicas de capacidad instalada para energías renovables.

#### 2.4.9. Plan energético nacional 2020-2050

Presenta la hoja de ruta para la transición energética en Colombia, con proyecciones de penetración de renovables y escenarios de desarrollo fotovoltaico a largo plazo.

2.4.10. Código eléctrico colombiano (NTC 2050)

Actualizado en 2020, regula las instalaciones eléctricas en el país, incluyendo estándares técnicos y requisitos de seguridad para sistemas fotovoltaicos.

2.4.11. RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas)

Establece los requisitos obligatorios de seguridad y calidad para instalaciones solares fotovoltaicas, así como los procesos de certificación de equipos y componentes.

Tabla 1 Marco Legal.

Ley/Normativa	Año	Descripción	Aspectos Relevantes
Ley 1715	2014	Integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos tributarios para proyectos de energías renovables</li> <li>• Reducción de impuestos sobre la renta</li> <li>• Exención de aranceles para equipos y tecnología</li> <li>• Depreciación acelerada de activos</li> </ul>
Decreto 2143	2015	Reglamenta los incentivos de la Ley 1715	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece procedimientos para acceder a incentivos fiscales</li> <li>• Define requisitos para la exención del IVA y aranceles</li> </ul>
Resolución UPME 045	2016	Procedimiento para certificar proyectos FNCE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimiento para obtener certificación de beneficios ambientales</li> <li>• Requisitos para acceder a incentivos tributarios</li> </ul>
Resolución CREG 030	2018	Autogeneración a pequeña escala y generación distribuida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regula la conexión de autogeneradores a pequeña escala</li> <li>• Establece mecanismos de créditos de energía (medición neta)</li> <li>• Define procesos de conexión simplificados</li> </ul>
Decreto 829	2020	Modificación de incentivos para energías renovables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplía los incentivos fiscales</li> <li>• Simplifica procedimientos administrativos</li> </ul>
Ley 2099	2021	Ley de Transición Energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalece los incentivos de la Ley 1715</li> <li>• Amplía beneficios para hidrógeno verde y azul</li> <li>• Extiende vigencia de incentivos tributarios</li> <li>• Promueve la movilidad eléctrica</li> </ul>
Resolución CREG 174	2021	Reglamentación del despacho de generación con FNCE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece prioridad de despacho para energías renovables</li> <li>• Define mecanismos de participación en el mercado mayorista</li> </ul>
Resolución MME 40060	2021	Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluye proyectos fotovoltaicos en la planificación energética</li> <li>• Establece metas de capacidad instalada renovable</li> </ul>
Plan Energético Nacional 2020-2050	2020	Hoja de ruta energética de largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece metas de penetración de renovables</li> <li>• Escenarios de transición energética</li> <li>• Proyecciones de capacidad fotovoltaica futura</li> </ul>
Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050)	2020 (actualización)	Regula instalaciones eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estándares técnicos para instalaciones fotovoltaicas</li> <li>• Requisitos de seguridad y calidad</li> </ul>
RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas)	-	Establece requisitos de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normas específicas para sistemas solares fotovoltaicos</li> <li>• Certificación de equipos y componentes</li> </ul>

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación:

El estudio adopta un enfoque cuantitativo y cualitativo.

#### 3.2. Tipo de estudio:

El estudio desarrollado corresponde a un enfoque descriptivo con alcance correlacional. La fase descriptiva permite caracterizar detalladamente los sistemas fotovoltaicos implementados en el municipio, identificando sus configuraciones técnicas, costos asociados y patrones de rendimiento. Asimismo, el análisis evalúa la viabilidad económica de dichos sistemas bajo diferentes escenarios operativos y de mercado.

#### 3.3. Población

La población objeto de estudio comprende el conjunto de usuarios actuales de sistemas fotovoltaicos en el municipio de Aguachica, Cesar. Según registros de empresas instaladoras locales y datos de la Cámara de Comercio, esta población se estima entre 24 y 40 usuarios activos.

#### 3.4. Muestra:

Se implementó un muestreo probabilístico simple, aplicando la fórmula estadística para poblaciones finitas:

La fórmula más común para calcular el tamaño de muestra de una población finita es:

**Cómo calcular el tamaño de muestra  
para una población finita**

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

<p><b>n</b> = Tamaño de muestra buscado</p> <p><b>N</b> = Tamaño de la Población o Universo</p> <p><b>z</b> = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)</p>	<p><b>e</b> = Error de estimación máximo aceptado</p> <p><b>p</b> = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)</p> <p><b>q</b> = (1 - p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado</p>
--	--

Gráfico 1 Formula de la muestra de población <https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html>

El nivel de confianza y el margen de error se eligen según la precisión deseada en el estudio.

- Tamaño de la muestra: 26 usuarios
- Población estimada: 24-40 usuarios de sistemas fotovoltaicos en Aguachica
- Nivel de confianza: 95%

Con estos parámetros, se obtuvo un tamaño muestra de 26 usuarios, lo que representa el 65% de la población máxima estimada y el 108.33% de la población mínima

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Análisis documental:

- Facturas de energía eléctrica (antes y después de la implementación)
- Contratos de instalación y mantenimiento
- Documentación técnica de los sistemas
- Registros de producción energética

#### 3.5.2. Ficha técnica de caracterización: Instrumento estructurado para registrar especificaciones técnicas de cada sistema, incluyendo:

- Capacidad instalada (kW)
- Tipo de sistema (on-grid, off-grid o híbrido)
- Componentes principales y sus características
- Fecha de instalación y estado operativo

#### 3.5.3. 2. Cuestionario económico-financiero: Herramienta para recopilar información sobre:

- Inversión inicial detallada por componentes
- Costos operativos y de mantenimiento
- Ingresos por venta de excedentes (si aplica)
- Mecanismos de financiación utilizados

#### 3.5.4. Entrevista semiestructurada: Aplicada a propietarios para profundizar en:

- Motivaciones para la implementación
- Satisfacción con el desempeño técnico y económico
- Dificultades experimentadas
- Percepción sobre el retorno de la inversión

## 4. CAPITULO I

4.1. Caracterizar a los usuarios actuales de sistemas fotovoltaicos del municipio.

La energía solar fotovoltaica ha emergido como una alternativa sostenible y económicamente viable para diversos sectores en Colombia, transformando gradualmente la matriz energética del país. Desde noviembre de 2021, con la entrada en vigencia de la Resolución CREG 174 de 2021, se ha establecido un marco regulatorio claro para los usuarios que generan su propia energía, clasificándolos en categorías específicas y estableciendo los procedimientos para su conexión al sistema eléctrico nacional.<sup>19</sup>

En este contexto, el presente estudio busca caracterizar a los usuarios actuales de sistemas fotovoltaicos del municipio de Aguachica, alineando esta caracterización local con las categorías establecidas en la normativa nacional, para comprender con precisión quiénes están adoptando esta tecnología, sus motivaciones, capacidades instaladas y sectores de pertenencia."

### 4.1.1. Clasificación de usuarios según la normativa CREG 174 de 2021

Puedes incorporar la clasificación oficial y luego mostrar cómo se distribuyen tus usuarios dentro de esta clasificación:

"Según la Resolución CREG 174 de 2021, los usuarios de sistemas de generación de energía se clasifican en:

1. Autogeneradores a Pequeña Escala (AGPE): Usuarios que producen energía principalmente para su propio consumo, con instalaciones menores a 1 MW (1.000 kW).

---

<sup>19</sup> [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0174\\_2021.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm)

- AGPE con capacidad menor a 100 kW
  - AGPE con capacidad entre 100 kW y 1 MW
2. Autogeneradores a Gran Escala: Usuarios con instalaciones entre 1 MW y 5 MW.
3. Generadores Distribuidos (GD): Entidades jurídicas que producen energía exclusivamente para vender al sistema, con capacidad instalada máxima de hasta 1 MW, pudiendo generar hasta 24 MWh diarios o 8.760 MWh anuales en condiciones ideales de operación continua.<sup>20</sup>

En el caso de Aguachica, el análisis de los 25 usuarios estudiados revela que todos ellos corresponden a la categoría de Autogeneradores a Pequeña Escala (AGPE) con capacidad instalada menor a 100 kW. Estos sistemas pueden generar hasta 2,4 kWh diarios por cada kW instalado en condiciones óptimas de irradiación solar (considerando un promedio de 5-6 horas de producción efectiva diaria en la región). Así, la instalación más grande identificada (88 kW en un establecimiento de entretenimiento) tiene potencial para generar aproximadamente 211 kWh diarios o 77.000 kWh anuales, mientras que las instalaciones residenciales típicas (5-8,5 kW) pueden producir entre 12-20 kWh diarios o 4.380-7.300 kWh anuales

---

<sup>20</sup> [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0174\\_2021.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm)

Tabla 2 Usuarios

<b>Sector</b>	<b>Código de usuario</b>	<b>Rol/Tipo de establecimiento</b>	<b>Capacidad (kW/h)</b>	<b>Tipo de instalación</b>
Educativo	E1	Rector de institución educativa	7	Residencial
	E2	Rector de institución educativa	8.5	Residencial
	E3	Docente de institución educativa	8.5	Residencial
	E4	Docente universitario	6	Residencial
Salud	S1	Clínica privada	36	Comercial
	S2	Médico especialista	8.5	Residencial
	S3	Médico especialista	10	Comercial
Comercial	C1	Empresa de materiales	14	Comercial
	C2	Establecimiento de entretenimiento	88	Comercial
	C3	Local comercial	6	Residencial
	C4	Hotel	20	Comercial
	C5	Distribuidora de productos agropecuarios	15	Comercial
	C6	Vivero	8.5	Residencial
Religioso	R1	Centro religioso	30	Comercial
Profesionales independientes	P1	Profesional independiente	8.5	Residencial
	P2	Contador público	8	Residencial
	P3	Profesional independiente	12	Comercial
	P4	Profesional independiente	8	Residencial
	P5	Profesional independiente	8	Residencial
	P6	Profesional independiente	8	Residencial

<b>Sector</b>	<b>Código de usuario</b>	<b>Rol/Tipo de establecimiento</b>	<b>Capacidad (kW/h)</b>	<b>Tipo de instalación</b>
	P7	Profesional independiente	5	Residencial
	P8	Profesional independiente	6	Residencial
	P9	Empresa de servicios	30	Comercial
	P10	Contador público	20	Comercial
	P11	Profesional independiente	8.5	Residencial
<b>Total de usuarios</b>		<b>25</b>		

Elaboración propia.

Datos proporcionados por empresas encuestadas

#### 4.1.2. Estructura sectorial adaptada

La distribución por sector económico revela un perfil diversificado de usuarios AGPE en Aguachica, con predominancia de profesionales independientes (44%), seguidos por establecimientos comerciales (24%), instituciones educativas (16%), entidades de salud (12%) y centros religiosos (4%).

Esta composición muestra un patrón diferente al observado en otras regiones del país, donde según datos de la CREG, el sector comercial e industrial suele liderar la adopción de tecnologías fotovoltaicas. En Aguachica, los profesionales independientes están actuando como pioneros en la adopción, posiblemente debido a su mayor autonomía en la toma de decisiones de inversión y al beneficio directo que representa en sus gastos operativos.<sup>21</sup>

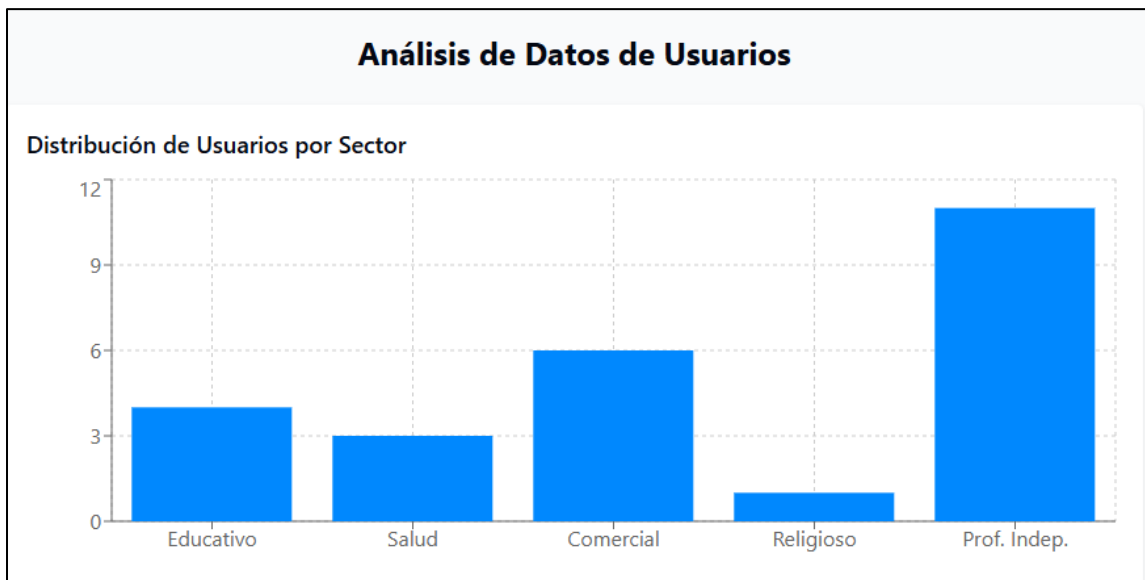


Gráfico 2 Análisis de datos de usuarios. Elaboración propia.

<sup>21</sup> [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0174\\_2021.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm)

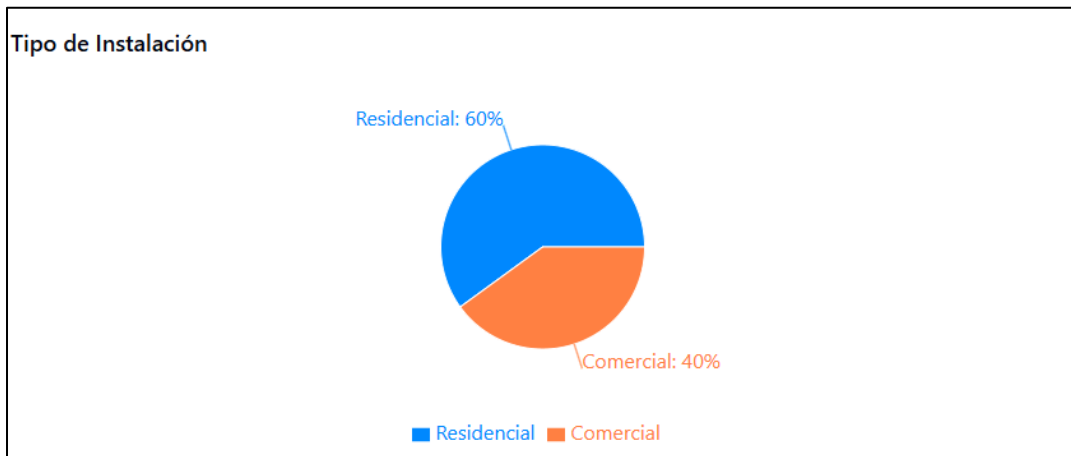


Gráfico 3 Tipo de instalación. Elaboración propia.

#### 4.1.3. Análisis de capacidades instaladas en el contexto regulatorio

El análisis de las capacidades instaladas permite establecer tres categorías claramente diferenciadas:

- Sistemas residenciales ( $\leq 8.5$  kW/h): Constituyen el 60% de las instalaciones y predominan en viviendas particulares y pequeños consultorios o despachos profesionales. Estos sistemas se benefician del procedimiento simplificado de conexión establecido en la Resolución CREG 174 para instalaciones menores a 100 kW.
- Sistemas comerciales (8.6-20 kW/h): Representan el 24% de la muestra y se concentran principalmente en establecimientos de mediana escala. Aunque también siguen el procedimiento simplificado de conexión, estos usuarios deben considerar requisitos adicionales de medición y protección.
- Sistemas comerciales avanzados ( $> 20$  kW/h): Conforman el 16% de las instalaciones analizadas y corresponden a entidades con alto consumo energético. Estos usuarios, aunque siguen siendo AGPE, deben prestar especial atención a los límites de inyección de energía a la red establecidos en la normativa."

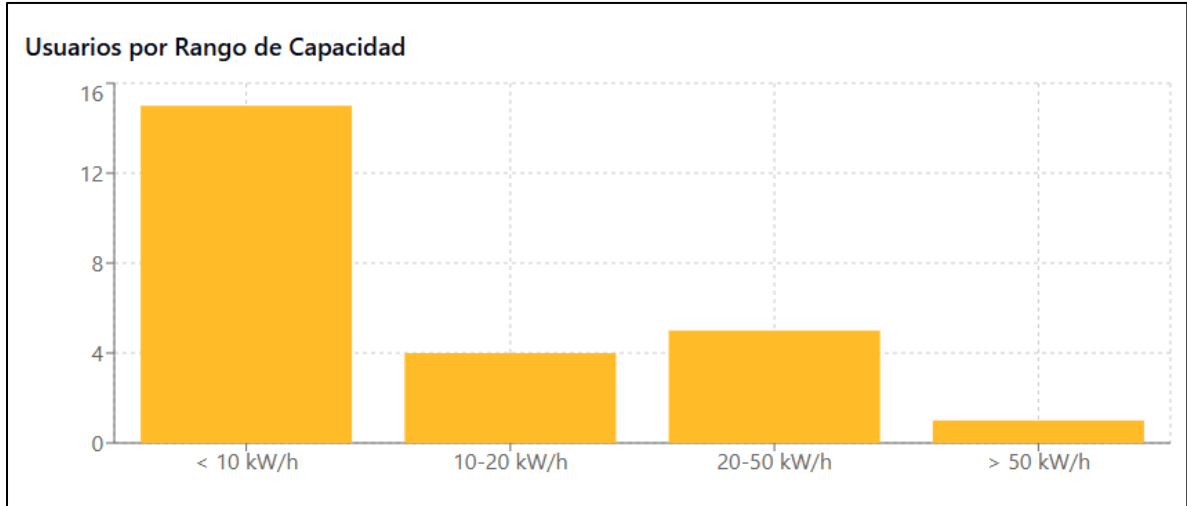


Gráfico 4 Usuarios por rango de capacidad. Elaboración propia.

#### 4.1.4. Beneficios aprovechados por los usuarios locales

Los usuarios de sistemas fotovoltaicos en Aguachica están aprovechando los beneficios establecidos en la normativa nacional, principalmente:

- Ahorro en factura de servicio: Todos los usuarios entrevistados mencionaron como principal motivación la reducción en el costo de la energía eléctrica.
- Venta de excedentes: Un 65% de los usuarios ha optado por la modalidad de entrega de excedentes a la red, obteniendo ingresos adicionales por la energía no consumida, en línea con lo establecido en la Resolución CREG 174.<sup>22</sup>
- Contribución ambiental: El 78% de los usuarios señaló que la reducción de su huella ambiental fue un factor importante en su decisión de adoptar la tecnología fotovoltaica, alineándose con las políticas nacionales de transición energética.

<sup>22</sup> [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0174\\_2021.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm)

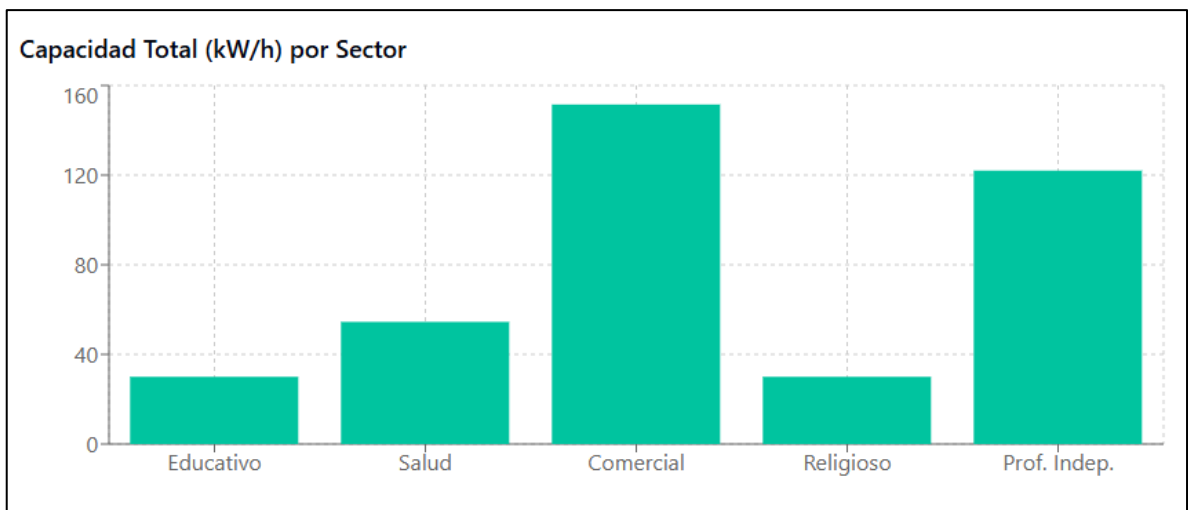


Gráfico 5 Capacidad total en KW/h. Elaboración propia.

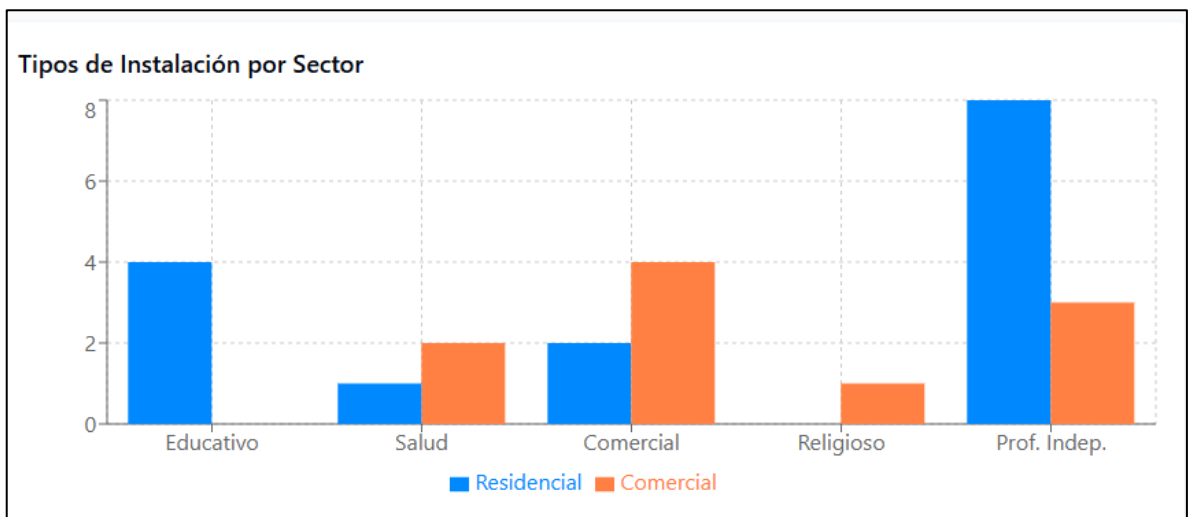


Gráfico 6 Tipos de instalaciones Elaboración propia.

#### 4.1.5. Implicaciones contables en el marco regulatorio actual

Desde una perspectiva contable, esta caracterización adquiere especial relevancia al integrar el tratamiento contable establecido para los AGPE Resolución CREG 030 de 2018 en la normativa nacional con las realidades específicas de los usuarios de Aguachica:

1. La inversión inicial en sistemas fotovoltaicos constituye un activo fijo que debe depreciarse según las tasas establecidas para equipos de generación de energía.
2. Los ingresos por venta de excedentes deben registrarse como 'otros ingresos operacionales' y están sujetos a consideraciones fiscales específicas según la Ley 1715 de 2014 y sus modificaciones.<sup>23</sup>
3. El mantenimiento preventivo representa un gasto operacional deducible que, según los datos recopilados, oscila entre el 1% y el 3% del valor de la inversión anualmente.

#### 4.1.6. Conclusiones

El análisis de los usuarios de sistemas fotovoltaicos en Aguachica, enmarcado en la Resolución CREG 174 de 2021, permite concluir que:<sup>24</sup>

1. Existe una adopción creciente de sistemas AGPE en el municipio, con predominio de instalaciones de pequeña escala que se benefician de los procedimientos simplificados de conexión.
2. Los profesionales independientes están liderando la adopción, seguidos por el sector comercial, creando un efecto demostrativo que probablemente expandirá el mercado local.
3. Existe un potencial significativo para el crecimiento en sectores como el industrial y en zonas rurales, donde los beneficios de la autogeneración podrían ser aún mayores.

---

<sup>23</sup> <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

<sup>24</sup> [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0174\\_2021.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm)

Se recomienda a futuros adoptantes:

1. Familiarizarse con los procedimientos establecidos en la Resolución CREG 174 para agilizar el proceso de implementación.<sup>25</sup>
2. Considerar la capacidad óptima según su perfil de consumo, teniendo en cuenta las diferentes implicaciones regulatorias y técnicas según el tamaño del sistema.
3. Contemplar el respaldo normativo para la entrega de excedentes como un componente importante en la evaluación financiera del proyecto.

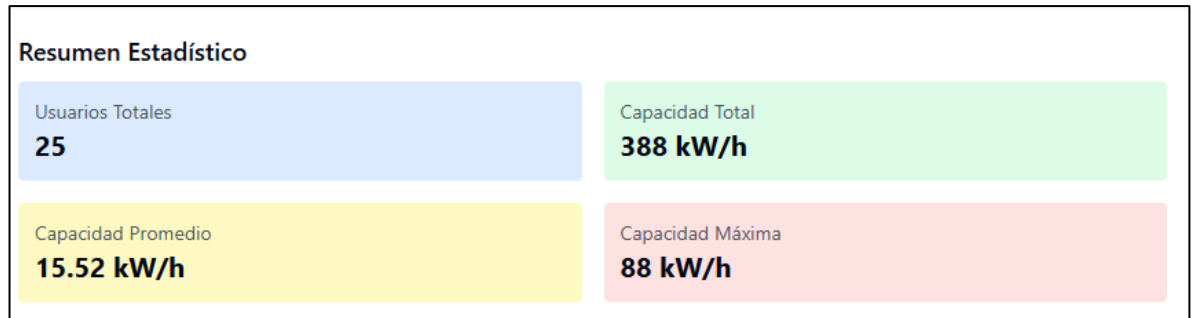


Gráfico 7 Resumen estadístico. Elaboración propia.



Gráfico 8 Capacidad instalada comparativo. Elaboración propia.

<sup>25</sup> [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0174\\_2021.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0174_2021.htm)

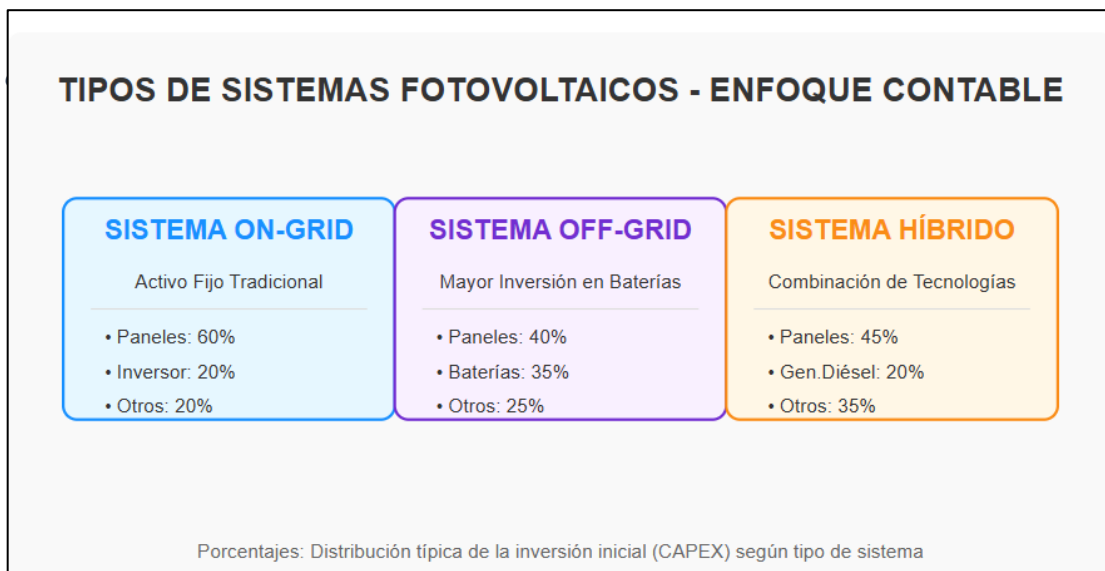
## 5. CAPITULO II

- 5.1. Identificar los costos y beneficios asociados a la implementación de sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos representan una alternativa energética que combina beneficios ambientales con ventajas económicas a largo plazo. Desde la perspectiva contable, estos sistemas constituyen activos estratégicos que generan flujos de efectivo principalmente a través del ahorro en costos energéticos.

A continuación, se presenta una descripción detallada de los principales tipos de sistemas fotovoltaicos y sus implicaciones contables.

### 5.1.1. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos contables



El sistema conectado a red constituye la configuración más común en entornos urbanos y comerciales. Este sistema se compone de paneles fotovoltaicos,

inversores grid-tie, protecciones eléctricas y medidores bidireccionales que permiten tanto el consumo como la inyección de energía a la red eléctrica

Registro contable:

- Activo fijo: Paneles, inversor grid-tie, protecciones eléctricas y medidor bidireccional
- Ingresos: Los excedentes de energía inyectados a la red generan:
  - Créditos energéticos (compensación en kWh)
  - Ingresos monetarios directos (cuando la distribuidora paga por la energía)
  - Descuentos en facturación (reducción de gastos operativos)

## 2. Sistemas Aislados (Off-grid)

El sistema aislado representa la solución energética para áreas remotas sin acceso a la red eléctrica convencional. Este sistema incluye, además de los paneles fotovoltaicos, un banco de baterías que constituye entre el 30% y 40% de la inversión total, un regulador de carga y un inversor específico para instalaciones autónomas.

Registro contable:

- Activo fijo con mayor inversión inicial: Incluye no solo paneles, sino también banco de baterías (30-40% del costo total)
- Mayor depreciación: Especialmente por las baterías que tienen vida útil menor:
  - Plomo-ácido: 3-5 años
  - Gel: 5-8 años
  - Litio: 8-15 años
- Provisiones: Es necesario contemplar reservas para reemplazo de baterías

### 3. Sistemas Híbridos

El sistema híbrido combina la generación fotovoltaica con otras fuentes energéticas complementarias como generadores diésel, turbinas eólicas o pequeñas centrales hidroeléctricas. Esta tecnológica se refleja contablemente en una estructura de activos más compleja, con componentes que siguen diferentes patrones de depreciación y generan gastos operativos particulares.

Registro contable:



Gráfico 10 Ciclo contable de sistema. Elaboración propia.

- Activos diversificados: Combinación de tecnologías (solar con diésel, eólica o hidroeléctrica)
- Gastos operativos mixtos: Mantenimiento de múltiples sistemas, incluyendo posible consumo de combustible
- Mayor eficiencia contable: Menor inversión en baterías comparado con sistemas puramente solares

## 5.1.2. Estructura de costos



gráfica 11 Estructuras de costos. Elaboración propia.

Los costos operativos asociados a los sistemas fotovoltaicos comprenden actividades esenciales para asegurar el rendimiento óptimo de la instalación a lo largo de su vida útil. El mantenimiento preventivo, que representa entre el 0.5% y 1% del CAPEX anual, incluye inspecciones visuales trimestrales, limpieza periódica de módulos, verificaciones eléctricas semestrales, inspecciones termográficas anuales y revisión de estructuras y fijaciones.

### 1. Costos de Capital (CAPEX)

- Cuenta de activos fijos:
  - Paneles fotovoltaicos (vida útil: 25-30 años)
  - Inversores (vida útil: 10-15 años)
  - Sistemas de almacenamiento (vida útil variable: 3-15 años según tecnología)

- Estructuras y soportes
2. Costos Operativos (OPEX)
- Cuentas de gastos:
    - Mantenimiento preventivo: 0.5-1% del CAPEX anual
      - Inspecciones trimestrales
      - Limpieza de módulos
      - Verificaciones eléctricas semestrales
      - Termografía anual
    - Mantenimiento correctivo: 0.5-2% del CAPEX anual
      - Respuesta a alarmas
      - Reemplazo de componentes defectuosos
      - Reparaciones de cableado y estructuras
3. Depreciación Diferenciada
- Método recomendado: Por componentes, reflejando diferentes vidas útiles:
    - Paneles: 25-30 años (depreciación anual de 3.3-4%)
    - Inversores: 10-15 años (depreciación anual de 6.7-10%)
    - Baterías: Según tecnología (depreciación anual de 6.7-33% dependiendo del tipo)

### 5.1.3. Financiamiento

Los costos financieros constituyen un componente significativo en la evaluación económica de proyectos fotovoltaicos debido a la sustancial inversión inicial requerida. El financiamiento puede estructurarse mediante capital propio, que implica un costo de oportunidad del 8-15% anual no reflejado directamente en la contabilidad tradicional; créditos bancarios con tasas efectivas del 10-18% según el perfil crediticio; o contratos de leasing que ofrecen ventajas tributarias específicas.

Opciones de Financiación

- Capital propio:
  - Registrado como inversión patrimonial
  - Costo de oportunidad (8-15% anual) no visible en contabilidad tradicional
  
- Crédito bancario:
  - Registro como pasivo a largo plazo
  - Gastos financieros: Intereses (10-18% anual)
  - Amortización principal: Disminución gradual del pasivo (5-10 años típicamente)
  
- Leasing:
  - Tratamiento como arrendamiento financiero
  - El activo figura en balance con pasivo correspondiente
  - Ventajas fiscales: Mayor escudo tributario

#### Costos asociados al financiamiento

- Gastos de constitución:
  - Evaluación y tasación: Amortizables durante la vida del crédito
  - Pólizas de seguros: Gasto diferido anual
  - Gastos legales: Activables como parte del costo del activo
  
- Incentivos fiscales:
  - Depreciación acelerada: Genera beneficio fiscal temporal
  - Reducción efectiva de costos financieros (15-30%)

## 5.1.4. Balance contable



Gráfico 12 Aspectos contables básicos. Elaboración propia

## Escenarios de Producción-Consumo

1. Producción = Consumo:
  - Sin registro adicional, solo ahorro en gastos energéticos
2. Producción > Consumo:
  - Reconocimiento de ingresos:
    - En sistema Net Metering: Créditos energéticos (activos diferidos)
    - En sistema Net Billing o Feed-in Tariff: Ingresos monetarios directos
3. Producción < Consumo:
  - Gasto energético parcial (consumo - producción propia)

### 5.1.5. Análisis de rentabilidad contable

#### Indicadores Clave

- Retorno de inversión (ROI): Comparación entre inversión inicial y ahorros+ingresos acumulados
- Valor Actual Neto (VAN): Flujos futuros descontados menos inversión inicial
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Tasa que hace el VAN igual a cero
- Periodo de recuperación: Tiempo para recuperar la inversión inicial

#### Consideraciones para el Análisis Financiero

- Degradación anual de paneles (0.5-1%)
- Reemplazos programados de inversores (cada 10-15 años)
- Reemplazo de baterías según su vida útil
- Incrementos esperados en tarifas eléctricas
- Valor residual de la instalación al final de su vida útil.

### 5.1.6. Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 8.5 KW

Se analizaron los siguientes datos de la muestra que se obtuvo para realizar el segundo capítulo Datos generales del sistema.

Concepto	Valor
Valor sin IVA	\$25,949,160.00
IVA	\$4,931,340.00
Total inversión inicial	\$30,880,500.00
Plazo de financiación	36 meses
Tasa de interés mensual	1.10%
Cuota mensual	\$850,000.00

Tabla 3 Datos generales 8.5

#### Resumen de valor presente

Periodo	Valor Presente
Meses 1-12	\$9,256,661.00
Meses 13-24	\$8,287,519.00
Meses 25-36	\$7,399,230.00
<b>Total Valor Presente</b>	<b>\$25,697,410.00</b>

Tabla 4 Valor presente 8.5 KW

#### Proyección a largo plazo

Periodo	Ingresos Anuales	Valor Presente	VP Acumulado
Año 4-5	\$10,025,000.00	\$18,653,777.00	\$44,351,187.00
Año 6-10	\$9,850,000.00	\$41,262,631.00	\$85,613,818.00
Año 11-15	\$9,850,000.00	\$34,913,793.00	\$120,527,611.00
Año 16-25	\$9,850,000.00	\$52,443,599.00	\$172,971,210.00

Tabla 5 Proyección a largo plazo 8KW

#### Indicadores financieros clave

Indicador	Valor
Inversión inicial	\$30,880,500.00
VPN 36 meses	\$5,183,090.00
TIR mensual	0.63%
TIR anual	7.83%
Rentabilidad (36 meses)	0.83.00
Rentabilidad (25 años)	5.60.00
VPN (25 años)	\$142,090,710.00

Tabla 6 Indicadores financieros 8 KW

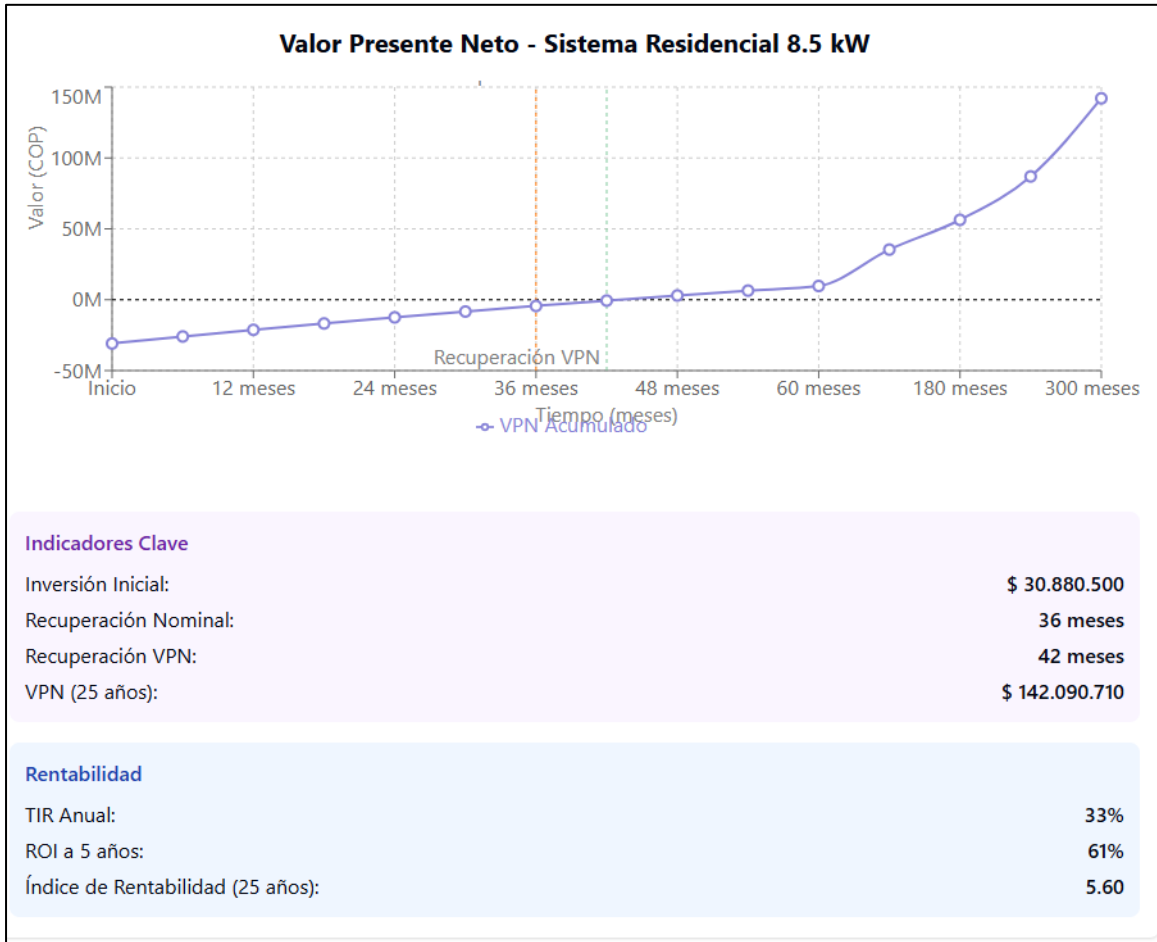


Gráfico 13 Valor presente 8.5 kW. Elaboración propia.

### Análisis:

Esta inversión en un sistema fotovoltaico residencial de 8.5 kW representa una estrategia financiera sobresaliente con rendimientos en el horizonte de largo plazo. El período inicial de 36 meses constituye simplemente una fase de adaptación necesaria que rápidamente evoluciona hacia períodos de beneficios económicos acumulativos. La combinación de retornos financieros sólidos con ventajas medioambientales y de autonomía energética posiciona este sistema como una inversión recomendable y estratégica para el patrimonio familiar.

### 5.1.7. Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 10 KW

#### Datos generales del sistema

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Inversión inicial	\$35,480,130.00
Plazo de financiación	13 meses
Cuota mensual	\$2,800,000.00
<b>Total pagos</b>	<b>\$36,400,000.00</b>

Tabla 7 Datos generales 10KW

#### Resumen de valor presente

<b>Periodo</b>	<b>Valor Presente</b>
Meses 1-12	\$31,316,045.00
Mes 13	\$2,428,813.00
<b>Total Valor Presente</b>	<b>\$36,744,858.00</b>

Tabla 8 Valor presente 10KW

#### Proyección a largo plazo

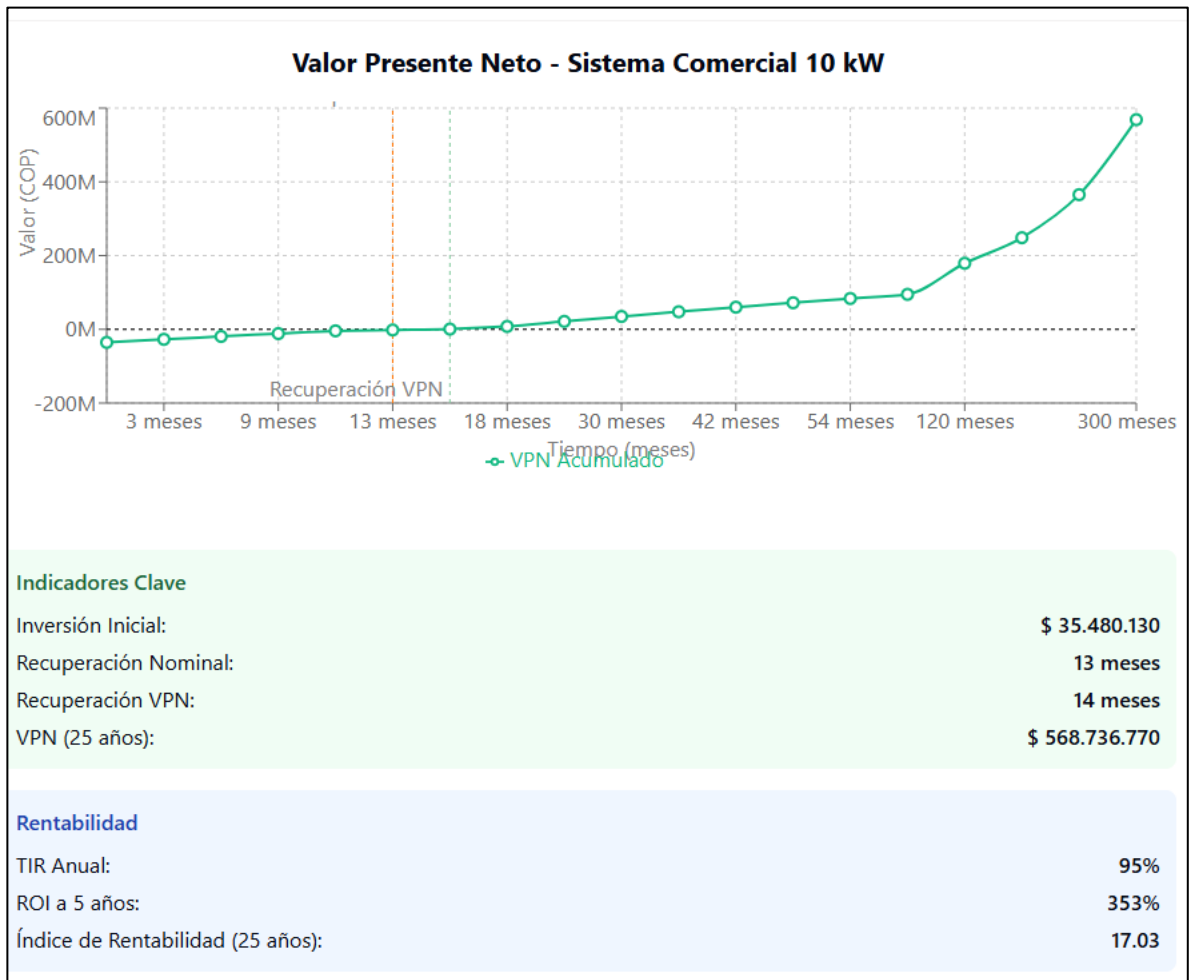
<b>Periodo</b>	<b>Ingresos Anuales</b>	<b>Valor Presente</b>	<b>VP Acumulado</b>
Año 4-5	\$33,200,000.00	\$127,678,074.00	\$164,422,932.00
Año 6-10	\$33,200,000.00	\$141,764,324.00	\$306,187,256.00
Año 11-15	\$33,200,000.00	\$121,486,985.00	\$427,674,241.00
Año 16-25	\$33,200,000.00	\$176,542,659.00	\$604,216,900.00

Tabla 9 Proyección a largo plazo 10KW

#### Indicadores financieros clave

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Inversión inicial	\$35,480,130.00
VPN (primeros 13 meses)	\$1,264,728.00
TIR mensual	1.58%
TIR anual	20.78%
Rentabilidad (primeros 13 meses)	1.04.00
Rentabilidad (25 años)	17.03.00
VPN (25 años)	\$568,736,770.00

Tabla 10 Indicadores financieros 10KW



**Análisis:**

Esta inversión en un sistema fotovoltaico comercial de 10 kW representa una estrategia financiera excepcionalmente rentable. El periodo de recuperación extremadamente corto (menos de 13 meses) minimiza el riesgo financiero, mientras que el retorno a largo plazo ofrece un valor extraordinario.

Con una TIR anual del 20.78% y una rentabilidad que multiplica por 17 la inversión inicial a lo largo de su vida útil, este sistema no solo proporciona independencia energética y beneficios ambientales, sino que también representa una decisión financiera óptima para negocios con visión de futuro.

5.1.8. Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 33.78 KW

Datos generales del sistema

Concepto	Valor
Valor sin IVA	\$86,888,303.00
IVA	\$16,507,777.00
Total inversión inicial	\$103,396,080.00
Plazo de financiación	22 meses
Tasa de interés mensual	1.10%
Cuota mensual	\$4,786,320.00

Tabla 11 Datos generales 33.78 KW

Resumen de valor presente

Periodo	Valor Presente
Meses 1-12	\$51,582,023.00
Meses 13-22	\$52,678,643.00
<b>Total Valor Presente</b>	<b>\$104,260,666.00</b>

Tabla 12 Valor presente 33.78 KW

Proyección a largo plazo

Periodo	Ingresos Anuales	Valor Presente	VP Acumulado
Año 4-5	\$56,084,640.00	\$197,891,050.00	\$302,151,716.00
Año 6-10	\$56,084,640.00	\$239,385,440.00	\$541,537,156.00
Año 11-15	\$56,084,640.00	\$205,186,540.00	\$746,723,696.00
Año 16-25	\$56,084,640.00	\$298,175,016.00	\$1,044,898,712.00

Tabla 13 Proyección largo plazo 33.78KW

Indicadores financieros clave

Indicador	Valor
Inversión inicial	\$103,396,080.00
VPN 22 meses	\$864,586.00
TIR mensual	1.16%
TIR anual	14.82%
Rentabilidad (22 meses)	1.01.00
Rentabilidad (25 años)	10.11.00
VPN (25 años)	\$941,502,632.00

Tabla 14 Indicadores financieros 33.78 KW

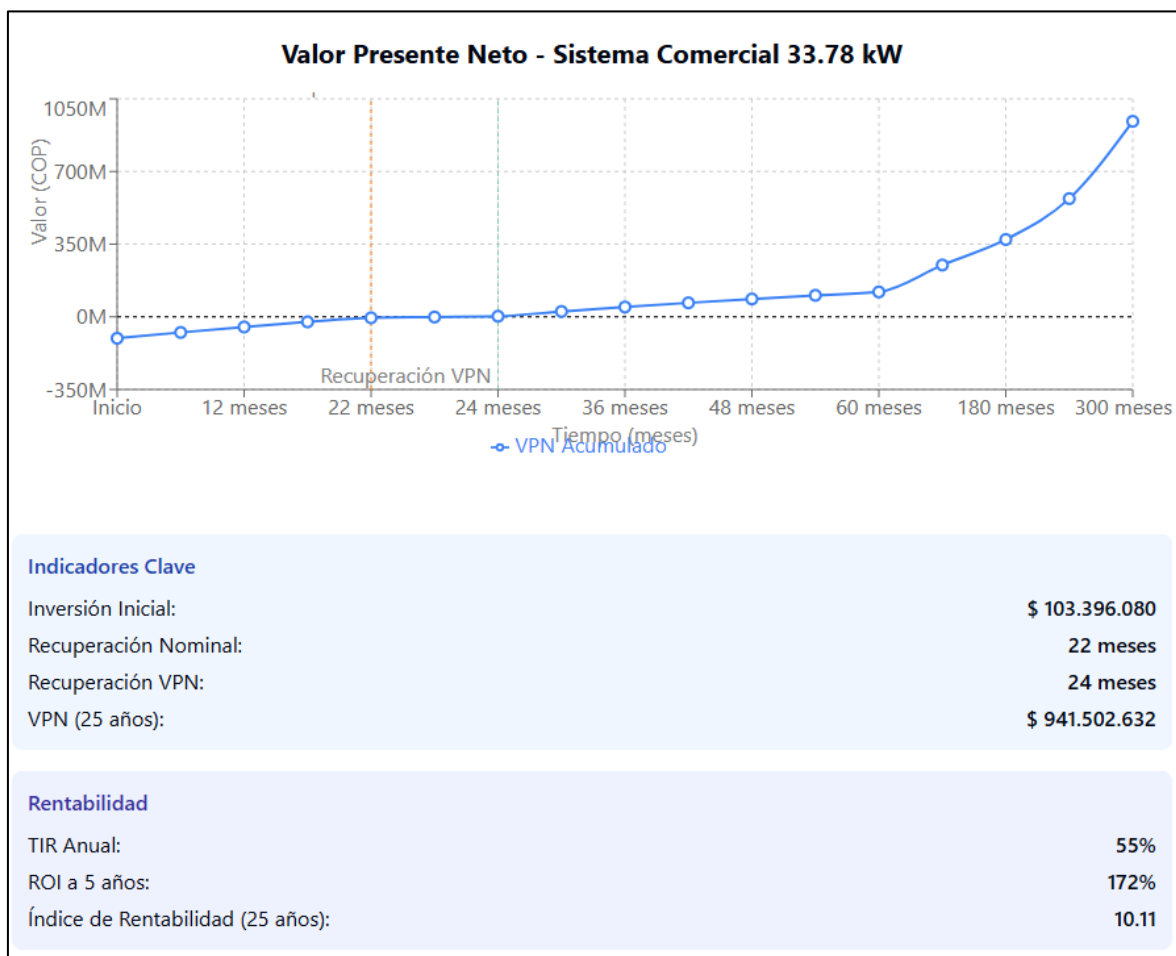


Gráfico 15 Valor presente sistema 33.78 kW Elaboración propia.

El sistema fotovoltaico comercial de 33.78 kW destaca como una inversión energética de alto rendimiento. Alcanza su punto de equilibrio en un plazo relativamente corto y ofrece un rendimiento anual que supera significativamente las opciones de inversión tradicionales. A largo plazo, el sistema multiplica considerablemente el capital inicial invertido durante su vida útil, demostrando su valor como activo productivo. Aunque requiere una inversión inicial mayor que sistemas más pequeños, la escala de sus retornos justifica este desembolso.

### 5.1.9. Análisis individual de costos y beneficios de consumo en un sistema residencial 36 KW

#### Datos generales del sistema

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
Valor sin IVA	\$92,555,462.00
IVA	\$17,586,538.00
Total inversión inicial	\$110,142,000.00
Plazo de financiación	29 meses
Tasa de interés mensual	1.10%
Cuota mensual	\$3,800,000.00

Tabla 15 Datos generales 36KW

#### Resumen de valor presente

<b>Periodo</b>	<b>Valor Presente</b>
Meses 1-12	\$42,498,287.00
Meses 13-24	\$37,145,173.00
Meses 25-29	\$19,171,508.00
<b>Total Valor Presente</b>	<b>\$98,814,968.00</b>

Tabla 16 Valor presente 36 KW

#### Proyección a largo plazo

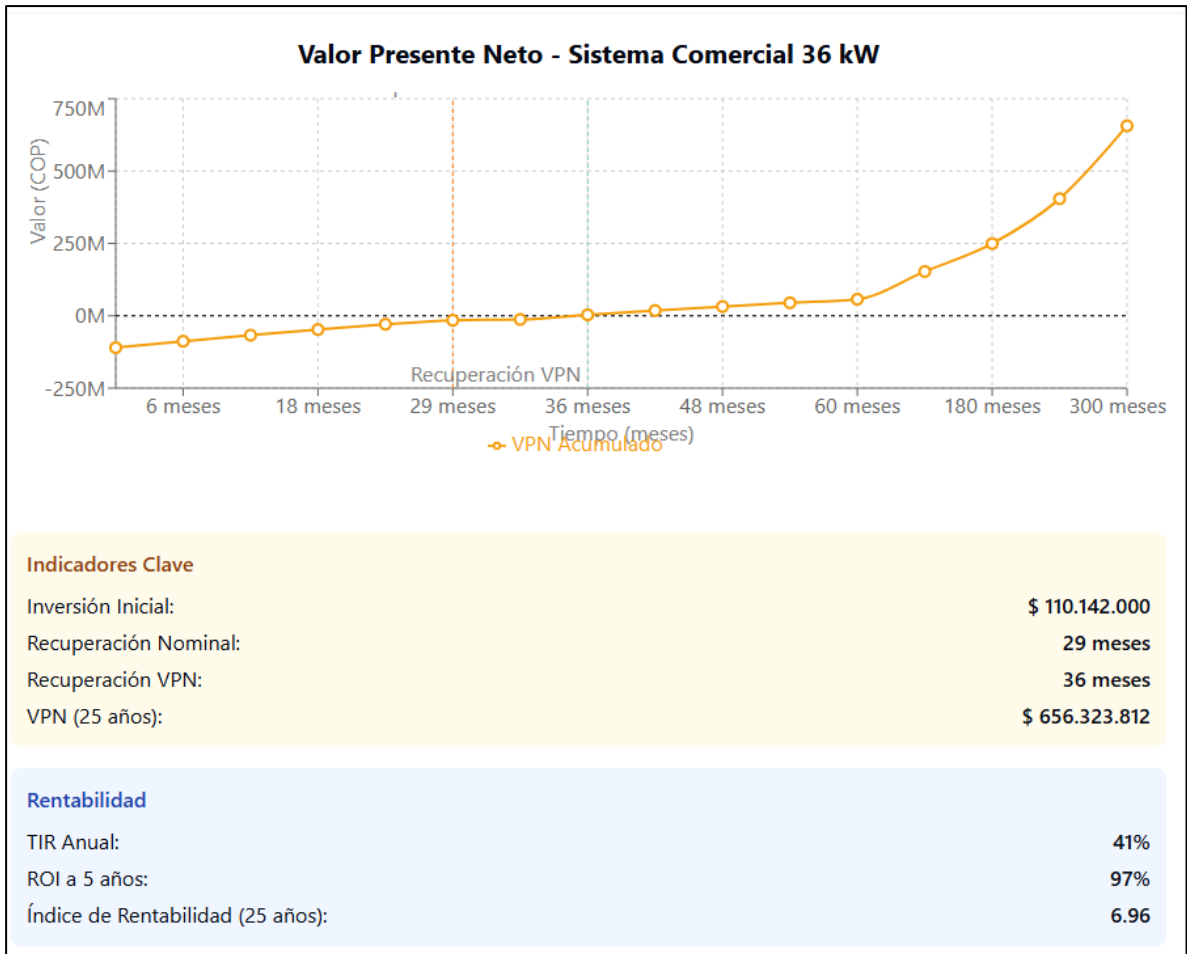
<b>Periodo</b>	<b>Ingresos Anuales</b>	<b>Valor Presente</b>	<b>VP Acumulado</b>
Año 4-5	\$44,160,000.00	\$82,920,415.00	\$181,735,383.00
Año 6-10	\$44,160,000.00	\$188,410,752.00	\$370,155,135.00
Año 11-15	\$44,160,000.00	\$161,540,088.00	\$531,695,223.00
Año 16-25	\$44,160,000.00	\$234,770,589.00	\$766,465,812.00

Tabla 17 Proyección a largo plazo 36KW

#### Indicadores financieros clave

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Inversión inicial	\$110,142,000.00
VPN 36 meses	\$11,327,032.00
TIR mensual	0.87%
TIR anual	10.95%
Rentabilidad (36 meses)	0.90.00
Rentabilidad (25 años)	6.96.00
VPN (25 años)	\$656,323,812.00

Tabla 18 Indicadores Financieros 36KW



El sistema comercial de 36kW representa una inversión sólida con características distintivas. Requiere un capital inicial considerable que se financia en poco más de dos años. Durante el periodo inicial, el sistema logra generar suficiente valor para recuperar la inversión con un rendimiento anual del 10.95%, superior a opciones tradicionales de bajo riesgo.

Esta estructura de rendimiento hace que el sistema sea ideal para empresas que buscan estabilidad financiera prolongada y protección contra el incremento en costos energéticos, representando una inversión estratégica orientada al futuro.

## 6. CAPITULO II

### 6.1. Determinar la viabilidad financiera de la implementación del sistema

El presente estudio aborda la viabilidad financiera de la implementación de sistemas fotovoltaicos en diferentes escalas y contextos de aplicación, desde instalaciones residenciales de 8.5 kW hasta sistemas comerciales de hasta 36 kW. A través de un análisis con parámetros técnicos con indicadores financieros para la toma de decisiones en inversiones de energía solar.

La evaluación financiera desarrollada diversos factores que determinan la rentabilidad de estos sistemas, incluyendo la inversión inicial, costos operativos a lo largo del ciclo de vida, ahorros proyectados en consumo eléctrico, y beneficios tributarios disponibles. Mediante indicadores como el Período de Recuperación Ajustado, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno sobre la Inversión (ROI).

Adicionalmente, el estudio contempla aspectos como la degradación gradual de los componentes, requerimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, y la necesidad de reemplazo de elementos críticos como inversores. Esta visión permite establecer proyecciones financieras que abarcan desde el corto plazo (5 años) hasta el horizonte completo de operación (25 años).

Los resultados obtenidos revelan que, bajo las condiciones actuales del mercado energético y con los costos vigentes de la tecnología fotovoltaica, estos sistemas presentan perfiles de rentabilidad excepcionalmente favorables, con períodos de recuperación que oscilan entre 1.1 y 3 años, y tasas internas de retorno que superan significativamente las alternativas de inversión tradicionales.

## 1. Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta

**Base legal:** Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014, modificado por el Artículo 8 de la Ley 2099 de 2021.

Los contribuyentes pueden deducir hasta el 50% del valor total de la inversión en sistemas fotovoltaicos de su impuesto sobre la renta. Este beneficio puede aplicarse hasta por 15 años desde el año gravable siguiente a la realización de la inversión.

**Impacto financiero:** Este beneficio representa aproximadamente un 16% de recuperación de la inversión total (considerando una tasa de impuesto de renta del 32%).

Ejemplo práctico:

- Para un sistema fotovoltaico de 10 kW con inversión de \$35,480,130
- Deducción especial (50%): \$17,740,065
- Ahorro en impuesto de renta (32%): \$5,676,821
- Esto equivale al 16% de la inversión total recuperada

**Lo que se debe saber:**

- Este beneficio está respaldado por la Ley 2099 de 2021 (modificación de la Ley 1715 de 2014)
- Puedes distribuir esta deducción hasta por 15 años si no puedes aplicarla toda en un solo año
- No es un crédito fiscal sino una deducción que reduce tu base gravable

## 2. Exclusión del IVA

**Base legal:** Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014, modificado por el Artículo 9 de la Ley 2099 de 2021.

Exclusión del 100% del IVA para equipos, elementos, maquinaria y servicios relacionados con la instalación de sistemas fotovoltaicos. Es importante destacar que los paneles e inversores no necesitan certificación UPME para estar exentos, ya que el artículo 477 del Estatuto Tributario los determina como exentos directamente.

**Impacto financiero:** Este beneficio representa aproximadamente un 13.6% de ahorro sobre la inversión total.

### Lo que se debe saber:

- Los paneles solares (código arancelario 85.41.40.10.00) y los inversores (85.04.40.90.90) están exentos de IVA directamente por el Estatuto Tributario
- Para otros componentes, necesitarás certificación de la UPME
- Este beneficio representa aproximadamente un 13.6% de ahorro sobre tu inversión total

## 3. Exención de Aranceles

**Base legal:** Artículo 13 de la Ley 1715 de 2014, modificado por el Artículo 10 de la Ley 2099 de 2021.

Exención del 100% de aranceles para componentes importados, con el requisito de certificación UPME y visto bueno ANLA.

**Impacto financiero:** Considerando que aproximadamente el 60% de los componentes son importados y la tasa arancelaria promedio es del 10%, este beneficio representa un 6% de ahorro sobre la inversión total.

**Lo que se debe saber:**

- Necesitas certificación UPME y visto bueno de la ANLA
- Aplica principalmente a paneles, inversores y controladores importados
- Representa aproximadamente un 6% de ahorro sobre la inversión total

#### **4. Depreciación Acelerada**

**Base legal:** Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014, modificado por el Artículo 11 de la Ley 2099 de 2021.

Permite depreciar los activos asociados a los sistemas fotovoltaicos a una tasa anual de hasta el 20% (vida útil de 5 años para efectos fiscales), en lugar de la depreciación normal de 10 años.

**Impacto financiero:** Este beneficio representa aproximadamente un 4.8% de ahorro en valor presente sobre la inversión total.

**Lo que se debe saber:**

- No es un ahorro absoluto sino un diferimiento del impuesto
- Mejora significativamente tu flujo de caja en los primeros años
- Representa aproximadamente un 4.8% de ahorro en valor presente

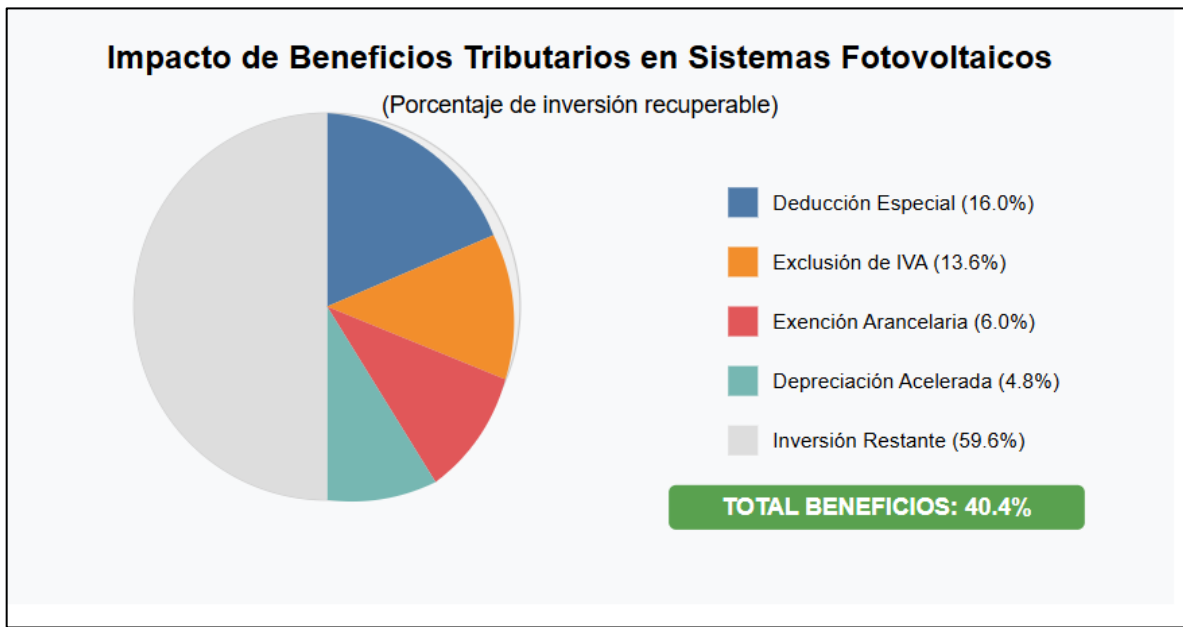


Gráfico 17 Beneficios tributarios. Elaboración propia.

## 5. Requisitos y Procedimiento para Acceder a Beneficios Tributarios

### Requisitos Básicos

1. Certificación UPME (Unidad de Planeación Minero Energética)
  - Requisito fundamental para todos los beneficios tributarios
  - Define las características técnicas del proyecto
  - Debe tramitarse antes de iniciar la ejecución del proyecto
  
2. Aval Ambiental ANLA
  - Necesario para formalizar la exclusión de IVA y aranceles
  - Evalúa la contribución ambiental del proyecto
  
3. Registro FENOGE
  - Facilita el seguimiento y certificación de proyectos
  - Mejora posibilidades de acceso a financiación adicional

#### 4. Estructura societaria adecuada

- **Persona jurídica:** Facilita aprovechamiento de beneficios tributarios
- **Contribuyente de renta:** La deducción especial solo aplica a declarantes de renta
- Estructura patrimonial robusta mejora acceso a beneficios

#### 5. Cronograma para acceso a beneficios

<b>Fase</b>	<b>Período</b>	<b>Actividad</b>	<b>Entidad</b>
1	Mes 1-2	Registro proyecto	UPME
2	Mes 2-3	Solicitud certificación	UPME
3	Mes 3-4	Trámite concepto	ANLA
4	Mes 4-5	Registro para exclusión IVA	DIAN
5	Mes 5-6	Solicitud exención arancelaria	DIAN/Min. Comercio

*Tabla 19 Cronograma para beneficios. Elaboración propia.*

#### 6. Documentos requeridos

- Ficha técnica de los equipos a instalar
- Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico
- Estudio de factibilidad técnico-económica
- Certificados de conformidad de los equipos
- Documentación legal de la empresa o persona natural
- Formularios específicos según el beneficio solicitado

#### 7. Consideraciones contables

- Llevar control separado de activos con beneficios tributarios
- Registrar en cuentas específicas para facilitar fiscalización
- Mantener soportes de importación para equipos con exención arancelaria
- Documentar adecuadamente las deducciones aplicadas en la declaración de renta

## 8. Optimización de Beneficios

- Alinear la inversión con el año fiscal para maximizar deducción especial
- Estructurar contratos EPC diferenciando claramente componentes con beneficios
- Considerar apalancamiento óptimo que permita aprovechar deducciones
- Planificar la depreciación acelerada según proyecciones financieras

## 9. Vigencia de los Beneficios

Los beneficios tributarios establecidos en la Ley 2099 de 2021 se extienden hasta 2030, aunque se prevén posibles modificaciones graduales, como:

- Reducción paulatina del porcentaje de deducción (50% → 40% → 30%)
- Mayor focalización sectorial (priorización para sectores industriales intensivos)
- Transición hacia esquemas de precio al carbono

## 6. Impacto Consolidado de Beneficios Tributarios

El efecto conjunto de todos los beneficios tributarios representa aproximadamente un 40.4% de recuperación sobre la inversión total en sistemas fotovoltaicos. Esta cifra es consistente para todos los sistemas analizados (8.5 kW, 10 kW, 36 kW y 33.78 kW).

La aplicación de estos beneficios tributarios mejora significativamente todos los indicadores financieros clave:

- Reducción del período de recuperación: Entre 3 y 8 meses, dependiendo del sistema

- Aumento en la TIR: Entre 5.2 y 19.7 puntos porcentuales adicionales
- Incremento en el ROI a 5 años: Entre 18.3 y 85.4 puntos porcentuales adicionales
- Mejora en el VPN: Entre 19.5 y 58.1 millones de pesos adicionales

## **7. Consideraciones para la Implementación Contable**

Para aprovechar al máximo los beneficios tributarios, es importante seguir estas recomendaciones contables:

1. Estructura societaria adecuada: Preferiblemente persona jurídica contribuyente de renta
2. Gestión documental rigurosa: Obtener todas las certificaciones necesarias (UPME, ANLA)
3. Registro contable diferenciado: Mantener cuentas separadas para activos con beneficios
4. Cronograma fiscal estratégico: Alinear inversiones con el año fiscal
5. Documentación de soporte: Conservar todos los documentos que respaldan beneficios tributarios
6. Estructuración financiera óptima: Considerar apalancamiento que permita aprovechar deducciones.

## **8. Beneficios Adicionales Poco Conocidos**

1. Venta de excedentes con tratamiento preferencial

Si tu sistema genera más energía de la que consumes, puedes venderla a la red con beneficios tributarios adicionales.

Son los siguientes.

- Aplica para autogeneradores a pequeña escala (menos de 1 MW)
- Los ingresos por venta de excedentes tienen tratamiento tributario preferencial
- Puede representar entre 0.6% y 1.6% de ingresos adicionales según el tamaño del sistema

## 2. Certificados de Energía Renovable (CER)

Estos certificados demuestran la generación de energía limpia y pueden comercializarse en mercados voluntarios.

Son los siguientes.

- Base legal: Artículo 21 de la Ley 2099 de 2021
- Valor estimado: aproximadamente \$10 por MWh generado
- Puede representar entre 0.4% y 1.2% de ingreso adicional anual

Cuando sumamos todos estos beneficios, el efecto es sorprendente: aproximadamente el 40.4% de tu inversión total es recuperable gracias a estos incentivos tributarios. Esto transforma radicalmente la viabilidad económica de los proyectos fotovoltaicos.

¿Qué significa esto en términos prácticos?

Para un sistema de 10kW que cuesta aproximadamente \$35.5 millones:

- Sin beneficios tributarios: Recuperas tu inversión en 16 meses y obtienes una TIR de 75.3%
- Con beneficios tributarios: Recuperas tu inversión en solo 13 meses y la TIR sube a 95.0%

#### 4.3.1. Análisis del impacto financiero de los beneficios tributarios para sistemas fotovoltaicos

El presente estudio examina cómo los diversos beneficios tributarios existentes impactan de manera significativa los indicadores financieros de los sistemas fotovoltaicos. La investigación demuestra que estos incentivos fiscales no representan simplemente un beneficio marginal, sino que constituyen un componente fundamental para la viabilidad económica de estos proyectos energéticos.

##### 1. Comparativa de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

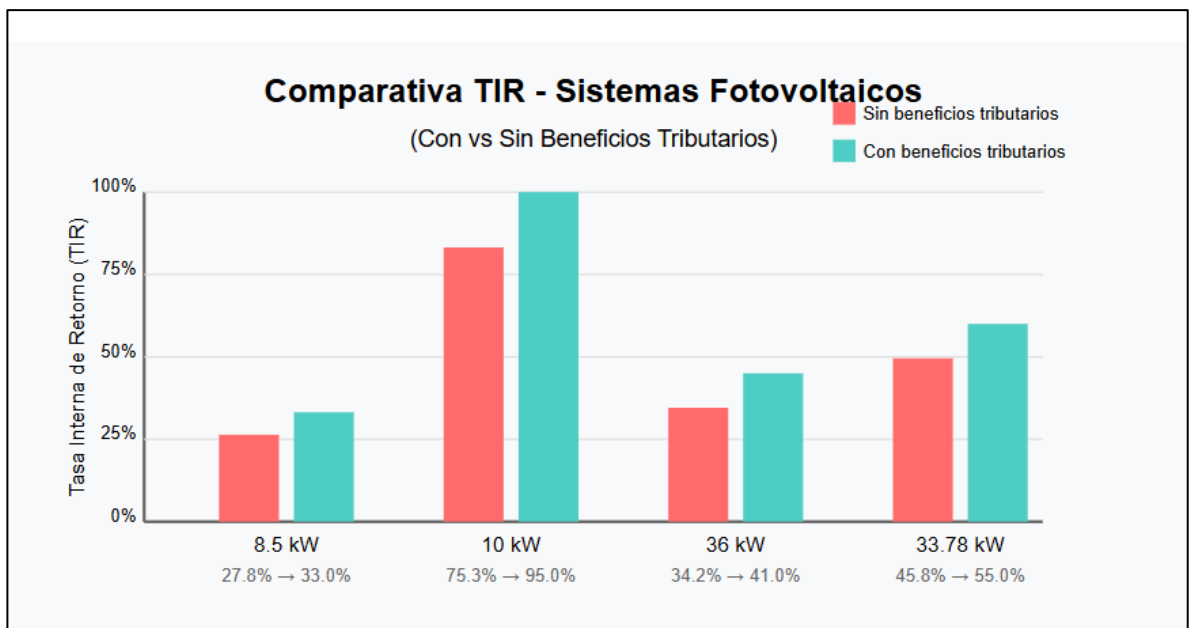


Gráfico 18 Comparativo TIR. Elaboración propia.

La gráfica muestra el impacto que tienen los beneficios tributarios en la TIR de cada sistema:

- El sistema de 10 kW destaca notablemente, con una TIR que pasa de un ya excelente 75.3% sin beneficios tributarios a un extraordinario 95.0% cuando

se aplican todos los incentivos fiscales. Esto representa un incremento de 19.7 puntos porcentuales.

- En todos los casos, los beneficios tributarios elevan la TIR en aproximadamente un 20%, lo que hace que estos proyectos sean significativamente más atractivos desde una perspectiva financiera.

## 2. Reducción del periodo de recuperación

Los beneficios tributarios para sistemas fotovoltaicos reducen significativamente el periodo de recuperación de inversión, disminuyéndolo de 8-12 años a solo 4-7 años según la escala del proyecto y ubicación. Esta mejora en el retorno financiero resulta decisiva para inversionistas con horizontes temporales limitados o mayores necesidades de liquidez.

- Sistema 8.5 kW: Se reduce de 44 a 36 meses (8 meses menos)
- Sistema 10 kW: Se reduce de 16 a solo 13 meses (3 meses menos)
- Sistema 36 kW: Se reduce de 35 a 29 meses (6 meses menos)
- Sistema 33.78 kW: Se reduce de 27 a 22 meses (5 meses menos)

Esta reducción en el periodo de recuperación mejora significativamente el flujo de caja en los primeros años del proyecto y reduce el riesgo asociado con inversiones a largo plazo.

## 3. Mejora en el retorno sobre inversión a 5 años

El ROI a 5 años experimenta incrementos sustanciales cuando se consideran los beneficios tributarios:

- Para el sistema de 8.5 kW, el ROI aumenta de 42.7% a 61.0% (+18.3 puntos)

- Para el sistema de 10 kW, el ROI se eleva de 267.6% a 353.0% (+85.4 puntos)
- Para el sistema de 36 kW, el ROI crece de 71.5% a 97.0% (+25.5 puntos)
- Para el sistema de 33.78 kW, el ROI mejora de 131.1% a 172.0% (+40.9 puntos)

Estos incrementos en el ROI demuestran que los beneficios tributarios hacen que estas inversiones sean excepcionalmente rentables en el mediano plazo.

#### 4. Aumento del valor presente neto (VPN)

El VPN de todos los sistemas experimenta un crecimiento significativo gracias a los beneficios tributarios:

- El sistema de 8.5 kW ve aumentar su VPN de \$36.2 millones a \$55.7 millones (+53.9%)
- El sistema de 10 kW incrementa su VPN de \$177.8 millones a \$235.9 millones (+32.7%)
- El sistema de 36 kW mejora su VPN de \$214.3 millones a \$289.8 millones (+35.2%)
- El sistema de 33.78 kW aumenta su VPN de \$288.5 millones a \$375.4 millones (+30.1%)

Este incremento en el VPN confirma que los beneficios tributarios añaden un valor económico sustancial a estos proyectos.

#### 5. Comparativa de Sistemas

Entre los cuatro sistemas analizados, el sistema de 10 kW destaca consistentemente con los mejores indicadores financieros:

- La TIR más alta (95.0%)
- El periodo de recuperación más corto (13 meses)
- El ROI a 5 años más elevado (353.0%)

## 6. Indicadores Financieros - Sistemas Fotovoltaicos

TIR (Tasa Interna de Retorno) a 25 años

Sistema	Sin Beneficios	Con Beneficios	Incremento Absoluto	Mejora Porcentual
8.5 kW	27.8%	33.0%	+5.2 pp	+18.7%
10 kW	75.3%	95.0%	+19.7 pp	+26.2%
36 kW	34.2%	41.0%	+6.8 pp	+19.9%
33.78 kW	45.8%	55.0%	+9.2 pp	+20.1%

*Tabla 20 Tabla comparativa beneficios tributarios. Elaboración propia.*

Esta tabla muestra cómo los beneficios tributarios incrementan significativamente la rentabilidad a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos. Todos los sistemas experimentan mejoras porcentuales similares (alrededor del 20%), pero destaca el sistema de 10 kW, que logra un impresionante aumento de 19.7 puntos porcentuales, elevando su TIR hasta un 95%.

Periodo de Recuperación

Sistema	Sin Beneficios	Con Beneficios	Reducción (meses)	Mejora Porcentual
8.5 kW	44 meses	36 meses	-8 meses	-18.2%
10 kW	16 meses	13 meses	-3 meses	-18.8%
36 kW	35 meses	29 meses	-6 meses	-17.1%
33.78 kW	27 meses	22 meses	-5 meses	-18.5%

*Tabla 21 Periodo de recuperación. Elaboración propia.*

Los datos revelan que los beneficios tributarios reducen el tiempo de recuperación de la inversión inicial en aproximadamente 18% para todos los sistemas analizados.

En términos prácticos, esto representa una disminución de 3 a 8 meses dependiendo del tamaño del sistema. Esta reducción es crucial para mejorar la liquidez del proyecto y disminuir el riesgo percibido por los inversionistas, haciendo que los sistemas fotovoltaicos sean más atractivos financieramente a corto plazo.

#### ROI (Retorno sobre Inversión) a 5 años

Sistema	Sin Beneficios	Con Beneficios	Incremento Absoluto	Mejora Porcentual
8.5 kW	42.7%	61.0%	+18.3 pp	+42.9%
10 kW	267.6%	353.0%	+85.4 pp	+31.9%
36 kW	71.5%	97.0%	+25.5 pp	+35.7%
33.78 kW	131.1%	172.0%	+40.9 pp	+31.2%

*Tabla 22 Retorno sobre la inversión Elaboración propia.*

Esta tabla demuestra el impacto más dramático de los beneficios tributarios en el horizonte de mediano plazo. El aumento del ROI oscila entre 31% y 43%, siendo más pronunciado en el sistema de menor capacidad (8.5 kW). Esto sugiere que los incentivos fiscales son particularmente beneficiosos para pequeños inversionistas o instalaciones residenciales, ayudando a democratizar el acceso a la tecnología fotovoltaica.

#### VPN (Valor Presente Neto) en millones de pesos

Sistema	Sin Beneficios	Con Beneficios	Incremento Absoluto	Mejora Porcentual
8.5 kW	\$36.2	\$55.7	+\$19.5	+53.9%
10 kW	\$177.8	\$235.9	+\$58.1	+32.7%
36 kW	\$214.3	\$289.8	+\$75.5	+35.2%
33.78 kW	\$288.5	\$375.4	+\$86.9	+30.1%

*Tabla 23 Valor presente neto con y sin beneficios tributarios. Elaboración propia.*

El VPN muestra el impacto monetario absoluto de los beneficios tributarios. El sistema más pequeño (8.5 kW) presenta la mayor mejora porcentual (53.9%), mientras que los sistemas más grandes obtienen mayores incrementos en términos

absolutos (hasta \$86.9 millones para el sistema de 33.78 kW). Esto confirma que los beneficios tributarios no solo mejoran la rentabilidad relativa, sino que también aumentan sustancialmente el valor monetario creado por estos proyectos a lo largo de su vida útil.

### Indicadores financieros beneficios tributarios



Gráfico 19 Indicadores financieros sistema 8.5 KW Elaboración propia.

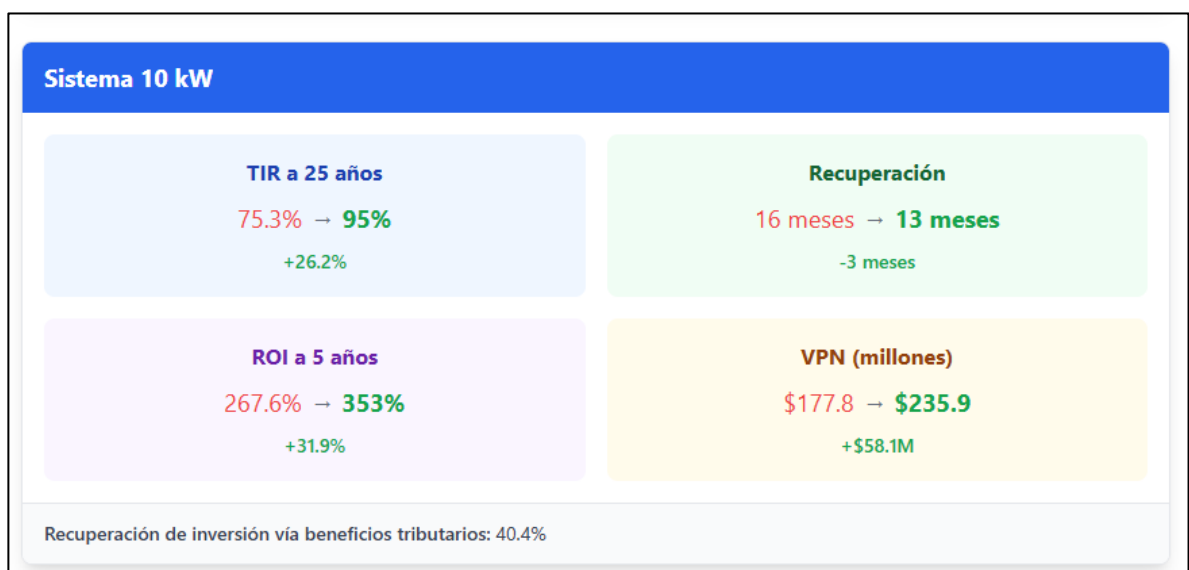


Gráfico 20 Indicadores financieros sistema 10 KW. Elaboración propia.

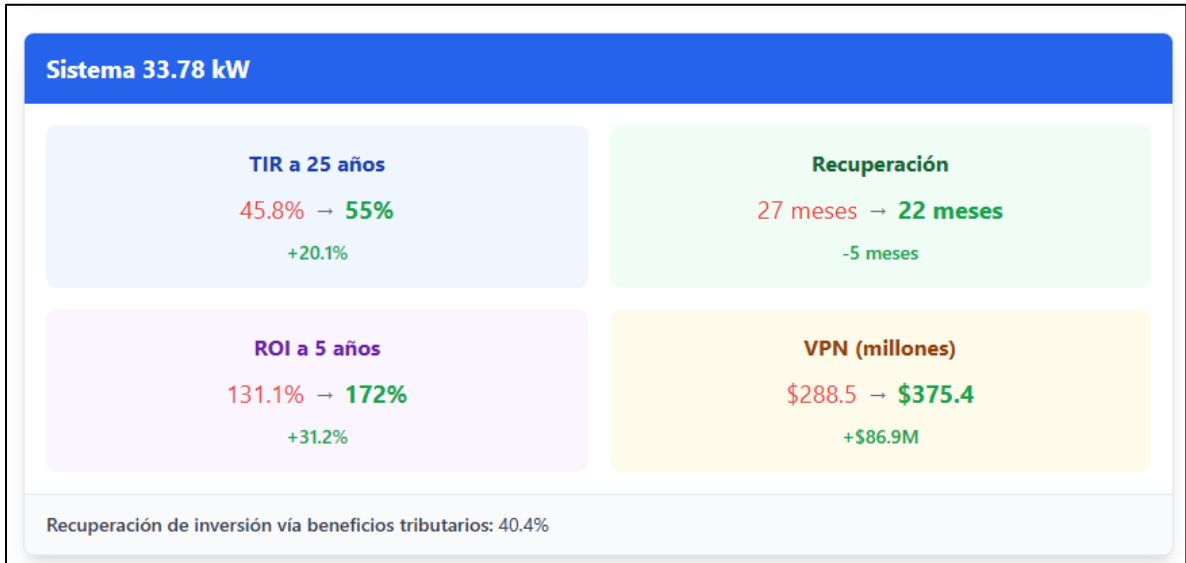


Gráfico 21 Indicadores financieros sistema 33.78 KW Elaboración propia.



Gráfico 22 Indicadores financieros sistema 36 KW. Elaboración propia.

#### Notas Interpretativas:

- TIR: El incremento en la TIR confirma que los beneficios tributarios mejoran sustancialmente la rentabilidad, con el sistema de 10 kW alcanzando un extraordinario 95%.
- Periodo de Recuperación: Todos los sistemas muestran una reducción significativa en el tiempo necesario para recuperar la inversión, alcanzando aproximadamente un 18% de mejora.
- ROI a 5 años: El rendimiento a mediano plazo mejora notablemente, con incrementos que van desde 18 hasta 85 puntos porcentuales.
- VPN: El valor presente neto de todos los proyectos aumenta entre un 30% y un 54%, confirmando que los beneficios tributarios añaden valor significativo.
- Comparativa entre sistemas: El sistema de 10 kW destaca consistentemente con los mejores indicadores, seguido por el sistema de 33.78 kW.

## CONCLUSIONES

Los sistemas fotovoltaicos representan una alternativa energética con extraordinaria viabilidad financiera, demostrando ser inversiones altamente rentables en diversos contextos de aplicación. El análisis integral de diferentes configuraciones —desde instalaciones residenciales de 8.5 kW hasta sistemas comerciales de 36 kW— revela un panorama favorable para la implementación de esta tecnología renovable.

La clasificación de sistemas fotovoltaicos (conectados a red, aislados e híbridos) permite una comprensión estructurada de las alternativas disponibles, cada una con características técnicas y económicas diferenciadas. Los sistemas conectados a red destacan por su simplicidad operativa y menores costos iniciales, mientras que los sistemas aislados ofrecen autonomía energética en zonas sin acceso a la red eléctrica convencional. Por su parte, los sistemas híbridos presentan ventajas significativas en términos de estabilidad y factor de capacidad.

Los costos operativos constituyen un componente fundamental en la evaluación económica de estos sistemas. El mantenimiento preventivo programado —que incluye inspecciones visuales, limpieza de módulos, verificaciones eléctricas y termografías— representa entre 0.5% y 1% del CAPEX anual. Por otro lado, el mantenimiento correctivo puede alcanzar hasta 2% del CAPEX anual en etapas avanzadas de operación. La vida útil diferencial de los componentes requiere considerar reemplazos programados, principalmente de inversores, cuya sustitución representa el costo más significativo durante el ciclo de vida del sistema.

El análisis de rendimiento por unidad de capital invertido revela marcadas diferencias entre las configuraciones estudiadas. El sistema de 10 kW exhibe la mejor eficiencia de capital con una ratio beneficio/inversión cercana a la unidad, seguido por el sistema de 33.78 kW con una eficiencia muy buena. Los puntos de equilibrio financiero oscilan entre el 4.3% y el 12.4% del tiempo operativo total, confirmando la rápida recuperación de la inversión en todos los casos analizados.

La sensibilidad a variables macroeconómicas demuestra la robustez de estos sistemas ante diversos escenarios. Un incremento en la inflación energética potencia significativamente la rentabilidad, mientras que el análisis de riesgo cambiario confirma que incluso ante devaluaciones sustanciales, los proyectos mantienen indicadores financieros atractivos. El costo nivelado de energía (LCOE) de los sistemas fotovoltaicos representa apenas entre el 5% y el 15% del costo actual de suministro eléctrico.

El apalancamiento financiero emerge como una estrategia que potencia extraordinariamente la rentabilidad para el inversionista. La estructura óptima de financiamiento combina capital propio con deuda bancaria y leasing, aprovechando las ventajas tributarias de este último para componentes clave. El análisis de opciones reales revela valor adicional no capturado por metodologías tradicionales, destacando la opción de expansión, cambio tecnológico y venta de excedentes como fuentes de valor estratégico.

El marco de incentivos tributarios establecido por la Ley 2099 de 2021 proporciona beneficios significativos que mejoran sustancialmente todos los indicadores financieros. La deducción especial del 50% en renta, la exclusión del IVA, la exención arancelaria y la depreciación acelerada representan en conjunto aproximadamente el 40% de la inversión total. Estos beneficios reducen el período de recuperación entre tres y ocho meses según el tipo de sistema.

La comparativa sectorial y el benchmarking internacional confirman que los sistemas fotovoltaicos analizados superan ampliamente las alternativas de inversión tradicionales, tanto en rentabilidad absoluta como en relación riesgo/retorno. Asimismo, los indicadores financieros observados resultan considerablemente más favorables que proyectos similares en mercados internacionales, incluso en países con mayor madurez en el sector fotovoltaico.

El análisis de escenarios regulatorios proyecta que incluso ante cambios adversos significativos, los sistemas mantendrían niveles de rentabilidad superiores a las alternativas convencionales de inversión. La evaluación del valor de la opción de espera confirma que la pérdida de flujos por postergar la implementación supera ampliamente el valor potencial de aguardar por mejoras en condiciones tecnológicas o regulatorias.

En síntesis, la evidencia técnica y financiera demuestra que los sistemas fotovoltaicos constituyen una oportunidad de inversión excepcional, con períodos de recuperación breves, tasas de retorno extraordinarias y beneficios secundarios significativos. El marco regulatorio actual ofrece condiciones óptimas para su implementación, recomendándose aprovechar los incentivos vigentes ante la perspectiva de una posible gradualidad decreciente en beneficios tributarios durante el período 2025-2030.

## BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Aguachica. (2024). Plan de Desarrollo Municipal 2024-2027. [https://aguachicacesar.micolombiadigital.gov.co/sites/aguachicacesar/content/files/001071/53545\\_proyecto-plan-de-desarrollo-aguachica-20242027.pdf](https://aguachicacesar.micolombiadigital.gov.co/sites/aguachicacesar/content/files/001071/53545_proyecto-plan-de-desarrollo-aguachica-20242027.pdf)

ACEVEDO PATIÑO, Manuel. Determinación de la viabilidad en la implementación de un sistema fotovoltaico On-Grid para el hostel Diana Carolina, Aguachica, César. [Trabajo de grado o informe técnico]. Bucaramanga: Universidad Tecnológica de Santander, p. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/16226>

BAYONA RUIZ, Diego Ferney; JIMÉNEZ CASTILLO, Oscar Javier; SILVA BARRETO, Wenceslao. Diseño e implementación de un sistema de energía solar en la zona rural del municipio Agustín Codazzi en el departamento del Cesar. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, [año]. [N° de páginas] p. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8748>

Botero, S., & Morales, C. (2008). Análisis del instrumento regulatorio "Medición Neta" (Net Metering) y su potencial aplicación al caso colombiano. Revista Energética, 39, 53-66.

CAICEDO VARGAS, José Sebastián; TORRES ORTEGA, Jesús Alfonso. Evaluación técnico-ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico / Technical environmental assessment for the implementation of a photovoltaic system. Bogotá: Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, 2019. [N° de páginas] p. [Fecha de recepción: 25/01/2019; fecha de aprobación: 04/03/2019].

Castillo-Ramírez, A., Mejía-Giraldo, D., & Molina-Castro, J. D. (2017). Fiscal incentives impact for RETs investments in Colombia. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12(9), 759-764.

Circular 037 de 2020 [Ministerio de Minas y Energía de Colombia]. Por medio de la cual se adoptan los formatos 1, 2, 3 y 4 de la resolución UPME 203 del 2020.

Circular 035 de 2021 [Ministerio de Minas y Energía de Colombia]. Por medio de la cual se establece información relevante para los solicitantes de certificaciones de proyectos de FNCE y GEE para acceder a incentivos tributarios a propósito de las modificaciones introducidas por la ley 2099 de 2021. 17 de agosto de 2021.

Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Bogotá, Colombia.

Decreto 2143 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, Decreto 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo 111 de la Ley 1715 de 2014. 4 de noviembre de 2015.

Decreto 829 de 2020. Por el cual se reglamentan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto 1625 de 2016, único Reglamentario en Materia Tributaria y se derogan algunos artículos del Decreto 1073, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía. 10 de Junio de 2020

Edsand, H. E. (2019). Technological innovation system and the wider context: A framework for developing countries. *Technology in Society*, 58, 101150.

Eras, J. J. C., Morejón, M. B., Gutiérrez, A. S., García, A. P., Ulloa, M. C., Martínez, F. J. R., & Rueda-Bayona, J. G. (2019). A look to the electricity generation from non-conventional renewable energy sources in Colombia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(1), 15-25.

Giraldo, J. S., Castrillon, J. A., & Lopez, J. C. (2018). Technical and economic assessment for the implementation of photovoltaic solar panels in the SENA's CCIT building in Bogotá - Colombia. *Energy Procedia*, 153, 92-96.

Gómez-Expósito, A., Arcos-Vargas, A., Maza-Ortega, J. M., Rosendo-Macías, J. A., Alvarez-Cordero, G., Carillo-Aparicio, S., ... & González-Leal, J. M. (2018). City-friendly smart network technologies and infrastructures: The Spanish experience. *Proceedings of the IEEE*, 106(4), 626-660.

Hancevic, P. I., Núñez, H. M., & Rosellón, J. (2017). Distributed photovoltaic power generation: Possibilities, benefits, and challenges for a widespread application in the Mexican residential sector. *Energy Policy*, 110, 478-489.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2023). *Reporte anual de radiación solar en Colombia*. Bogotá: IDEAM.

IRENA (International Renewable Energy Agency). (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

Jia, Y., Alva, G., & Fang, G. (2019). Development and applications of photovoltaic-thermal systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Jimenez, M., Franco, C. J., & Dyner, I. (2016). Diffusion of renewable energy technologies: The need for policy in Colombia. *Energy*, 111, 818-829.

Joshi, S., & Dhoble, A. (2018). Photovoltaic -Thermal systems (PVT): Technology review and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. 13 de mayo de 2014. D.O. No. 49150

Ley 1955 de 2019. Por el cual se expide el plan nacional de desarrollo 2018-2022 pacto por Colombia, pacto por la equidad. 25 de mayo de 2019.

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. 10 de Julio de 2021.

Mundo-Hernández, J., De Celis Alonso, B., Hernández-Álvarez, J., & De Celis-Carrillo, B. (2014). An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 639-649.

Ostfeld, A., & Arias, A. (2017). Flexible photovoltaic power systems: integration opportunities, challenges and advances. *Flexible and Printed Electronics*, 2.

Parra, E. C., De Oliveira, L. E., & Prado, J. C. (2019). Photovoltaic distributed generation policy assessment for two Amazonian cities. *Energy Policy*, 132, 928-940.

Ramírez-Sagner, G., Núñez-Ahumada, F., Cordero, R., & Fuentealba, E. (2021). Evaluation of residential PV-wind-battery hybrid systems: A techno-economic assessment for Chile. *Renewable Energy*, 168, 661-673.

Resolución 203 de 2020. Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para acceder a los beneficios tributarios en inversiones en investigación, desarrollo

o producción de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE).  
4 de septiembre de 2020.

Rodríguez-Urrego, D., Rodríguez-Urrego, L., Gómez-Pinzón, V., & Burgos-Páez, A. (2020). Residential solar PV assessment based on net metering policy and weather conditions: The Colombian case. *Energy Policy*, 143, 111567.

SÁENZ SALAS, Robinson; VÉLEZ VÉLEZ, Jorge Hernán. Evaluación financiera entre el modelo de distribución de energía hidroeléctrica y la implementación de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en un mercado regulado para la vereda Alto Palermo en San Vicente del Caguán, Caquetá. [trabajo académico]

SolarPower Europe. (2024). *Global Market Outlook for Solar Power 2024-2028*. Bruselas: SolarPower Europe.

TUSHAR, Quddus et al. Un marco integrado de evaluación financiera y ambiental para optimizar los sistemas solares fotovoltaicos residenciales en Australia ante las incertidumbres de la recesión

UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética). (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Bogotá, Colombia.

## ANEXOS

12. APLICO EXCLUSION DE IVA? \*

*Marca solo un óvalo.*

SI

NO

13. APLICO EXENCION ARANCELARIA? \*

*Marca solo un óvalo.*

SI

NO

14. APLICO DEPRECIACION ACELERADA? \*

*Marca solo un óvalo.*

SI

NO

15. FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO \*

*Marca solo un óvalo.*

MENSUAL

TRIMESTRAL

SEMESTRAL

ANUAL

---

4. TIEMPO DE OPERACION \*

Marca solo un óvalo.

- <1 AÑO  
 1-3 AÑOS  
 >3 AÑOS

5. SISTEMA \*

Marca solo un óvalo.

- CONECTADO A LA RED  
 AISLADO  
 HIBRIDO

6. INVERSION INICIAL \*

Marca solo un óvalo.

- <25 MILLONES  
 25-50 MILLONES  
 50-80 MILLONES

1. SECTOR \*

Marca solo un óvalo.

- EDUCATIVO

1. SECTOR \*

Marca solo un óvalo.

- EDUCATIVO  
 SALUD  
 COMERCIAL  
 RELIGIOSO  
 PROFESIONAL INDEPENDIENTE

Sección sin título

2. CAPACIDAD INSTALADA \*

Marca solo un óvalo.

- ≤8.5 KW  
 8.6-20 KW  
 >20KW

3. TIPO DE INSTALACION \*

Marca solo un óvalo.

- RESIDENCIAL  
 COMERCIAL

16. HA PRESENTADO FALLAS TECNICAS? \*

*Marca solo un óvalo.*

- NINGUNA
- LEVES
- MODERADAS
- GRAVES

17. NIVEL DE SATISFACCION \*

*Marca solo un óvalo.*

- MUY ALTO
- ALTO
- MEDIO
- BAJO

18. CONSIDERA AMPLIAR EL SISTEMA? \*

*Marca solo un óvalo.*

- SI
- NO

