

Soluciones fotovoltaicas aplicada a microempresas

Juan Camilo Gutiérrez Alfonso

Universidad Ean

Facultad de ingeniería

Ingeniería en energías

Bogotá , Colombia

día/mes/2026

soluciones fotovoltaicas aplicada a un caso de estudio

Juan Camilo Gutiérrez Alfonso

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero en energías

Director (a):

Julián Felipe Segura Contreras

Universidad Ean

Facultad

Programa

Ciudad, Colombia

día/mes/2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

"No tengas miedo de avanzar lento; teme solamente no avanzar"

Agradecimientos

Agradezco al ingeniero David Felipe Rodríguez Álvarez por permitirme aprender directamente de él en entornos laborales guiándome y enseñándome como son todos los procesos para llevar a cabo el desarrollo de un proyecto fotovoltaico.

Soluciones fotovoltaicas aplicada a microempresas

Resumen

La presente investigación aborda la problemática de la alta dependencia de la red eléctrica convencional en microempresas del sector gastronómico, específicamente en el restaurante La primera parada, cuyo consumo promedio de 3000 kWh mensuales genera costos operativos cercanos a los 36 millones de pesos anuales, afectando su rentabilidad y competitividad. A partir de esta situación, se planteó como objetivo general diseñar un sistema solar fotovoltaico que permita mejorar la eficiencia energética y los indicadores de sostenibilidad de dicho establecimiento. La metodología adoptada fue cuantitativa, de alcance descriptivo y correlacional, con un diseño no experimental y transversal, utilizando como instrumentos principales los registros facturados de consumo eléctrico, los datos de irradiación solar de la zona de estudio y simulaciones técnicas en software especializado. Los resultados obtenidos demuestran que la implementación de un sistema fotovoltaico, bajo un modelo de descuento del 35% en la tarifa (pasando de 996 COP/kWh a 647,40 COP/kWh), genera un ahorro anual de 12.549.600 pesos colombianos, equivalente a una reducción del 35% en los costos energéticos.

Gaia Energía diseñó un sistema de 30,2 kWp compuesto por 53 paneles de 570 Wp y un inversor con una potencia total de 23 kW. En términos ambientales, se calculó una mitigación de aproximadamente 2.304 kilogramos de dióxido de carbono anuales, lo que equivale a la captura de carbono realizada por 12 árboles adultos. Se concluye que la solución fotovoltaica propuesta es técnica, económica y ambientalmente viable para microempresas del sector gastronómico, contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible y a la transición energética en Colombia.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica, microempresas, eficiencia energética, sostenibilidad, sector gastronómico, reducción de emisiones, transición energética.

Introducción

La transición energética se ha convertido en una prioridad mundial debido a la necesidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia en el uso de la energía. En ese contexto, la energía solar fotovoltaica ha adquirido un papel relevante por su capacidad de generación limpia, su escalabilidad y la disminución de costos observada en los últimos años. En Colombia, este tipo de soluciones ha cobrado mayor importancia por el avance de la normativa, la expansión de la capacidad instalada y el interés por diversificar la matriz energética. La *International Energy Agency* señala que la energía solar fotovoltaica ha presentado un crecimiento sostenido en los últimos años debido a la reducción de costos y a su alta viabilidad técnica (International Energy Agency [IEA], 2023).

En el sector gastronómico, el consumo eléctrico representa uno de los principales rubros operativos, especialmente por el uso continuo de equipos de refrigeración, cocción, ventilación e iluminación. Para una microempresa, cualquier incremento en la tarifa eléctrica impacta directamente la rentabilidad y la estabilidad del negocio. Por ello, la implementación de sistemas fotovoltaicos interconectados se presenta como una alternativa viable para disminuir costos y mejorar el desempeño energético, ambiental y económico del establecimiento.

En este contexto, diversos estudios han evidenciado que la implementación de sistemas fotovoltaicos en el sector empresarial contribuye significativamente a la reducción de costos energéticos y emisiones de gases de efecto invernadero (Masters, 2013; Duffie & Beckman, 2013). Sin embargo, investigaciones recientes también indican que las microempresas enfrentan barreras técnicas y financieras que limitan la adopción de estas tecnologías, especialmente en sectores como el gastronómico (World Bank, 2021).

La energía solar fotovoltaica se fundamenta en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante materiales semiconductores, principalmente el silicio (Duffie & Beckman, 2013). Este proceso se explica a partir del efecto fotovoltaico, en el cual los fotones transfieren su energía a los electrones del material semiconductor, permitiendo su liberación y la generación de corriente eléctrica (Nelson, 2003). Para que este fenómeno ocurra, la energía del fotón debe ser igual o superior a la energía de la banda prohibida o *band gap*, que corresponde a la diferencia energética entre la banda de valencia y la banda de conducción (Sze & Ng, 2006). En las celdas fotovoltaicas, la unión tipo *p-n* genera un campo eléctrico interno que direcciona el flujo de electrones, produciendo corriente continua, la cual es transformada en corriente alterna mediante inversores para su uso en aplicaciones comerciales (Masters, 2013).

En el contexto nacional, Colombia ha promovido políticas orientadas a la diversificación de la matriz energética y al uso de fuentes renovables, fomentando la eficiencia energética en el sector empresarial (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2022). No obstante, las microempresas, particularmente en el sector de restaurantes, presentan una alta dependencia de la red eléctrica convencional debido a sus procesos operativos intensivos en consumo energético, como refrigeración, cocción y almacenamiento. Esta situación genera elevados costos operativos, incrementa la huella de carbono y limita la competitividad en mercados cada vez más exigentes en términos de sostenibilidad.

El restaurante la primera parada se encontraba en una situación en donde el costo elevado de la energía estaba afectando sus ganancias debido al incremento de los costos operativos que esta representa ellos consumen alrededor de 100kwh al dia, lo que representa un consumo promedio de 3000kwh al mes considerando que el costo unitario de la factura esta alrededor 830 pesos más un 20% de cargo por ser un establecimiento comercial entonces el cobro lo hacen por 996 pesos por kwh, lo que se traduce en un cobro de energía de 2´988.000 (35´856.000 millones de pesos al año) en donde no encuentran un beneficio adicional aparte de la energía. De donde surge la pregunta que podemos hacer como empresa para solucionar el dolor del cliente y ser rentables durante esta.

La empresa a la que estoy vinculado como practicante ofrece un 35% de descuento en el kwh mediante la generación de energía con un sistema fotovoltaico mediante un contrato PPA (Power Purchase Agrement) en donde la empresa realiza la inversión del sistema solar y el cliente se compromete a pagar toda la energía que esta genere. Lo que se traduce en un precio de 647.40 por kwh por lo que el pago de energía pasaría a ser de 1´942.200 (23´306.400 millones de pesos al año) por lo que ahorran alrededor de 12´549.600 pesos al año en cobros de energía.

En este sentido, el problema de investigación se centra en la alta dependencia de energía convencional en microempresas del sector gastronómico y la limitada adopción de soluciones energéticas sostenibles, lo que afecta tanto su eficiencia operativa como sus indicadores ambientales. A pesar de los avances tecnológicos, aún existe una brecha en la implementación de sistemas fotovoltaicos adaptados a las necesidades específicas de este tipo de empresas.

Frente a esta problemática, surge la siguiente pregunta de investigación:
¿En qué medida la implementación de un sistema solar fotovoltaico puede mejorar la eficiencia energética y los indicadores de sostenibilidad en un restaurante?

En coherencia con lo anterior, el objetivo general del presente estudio es diseñar un sistema solar fotovoltaico que permita mejorar la eficiencia energética y los indicadores de sostenibilidad en un restaurante. Para lograrlo, se contemplan como objetivos específicos el diagnóstico del consumo energético, la identificación de oportunidades de optimización, el diseño de una solución fotovoltaica adaptada a las condiciones operativas y la definición de un proceso de implementación técnica.

De esta manera, el presente proyecto se enmarca en el campo de la eficiencia energética y las energías renovables, proponiendo una solución aplicada que integra criterios técnicos, económicos y ambientales, con el fin de contribuir al desarrollo sostenible de las microempresas del sector gastronómico.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica de un sistema solar fotovoltaico interconectado aplicado al restaurante La Primera Parada .

Objetivos específicos

1. Describir las características del consumo eléctrico del restaurante y su comportamiento operativo.
2. Evaluar el diseño técnico del sistema fotovoltaico propuesto, incluyendo potencia instalada, cantidad de paneles e inversor.
3. Determinar el ahorro económico y la cobertura de demanda obtenidos con la solución fotovoltaica.
4. Analizar el impacto ambiental del sistema en términos de reducción de emisiones y equivalencia árboles sembrados.

Marco teórico

Fundamentos de la energía fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica convierte la radiación electromagnética del sol en electricidad mediante el efecto fotovoltaico, un fenómeno cuántico que ocurre en materiales semiconductores, predominantemente el silicio (Nelson, 2021). Para comprender este efecto es necesario describir la estructura de bandas de energía en un semiconductor. En condiciones de equilibrio térmico, los electrones ocupan la banda de valencia; la banda de conducción se encuentra vacía, separada por una región energética prohibida denominada banda prohibida o *band gap* (*Eg*). En el silicio cristalino, *Eg* = 1,12 eV a temperatura ambiente (Sze & Ng, 2022).

Cuando un fotón con energía igual o superior a *Eg* incide sobre el semiconductor, puede ser absorbido, transfiriendo su energía a un electrón de la banda de valencia y promoviéndolo a la banda de conducción. Este proceso genera un par electrón-hueco (Nelson, 2021). Para que estos portadores de carga puedan extraerse como corriente eléctrica, se requiere un campo eléctrico interno que los separe antes de que se recombinen. Dicho campo se obtiene mediante la formación de una unión p-n: una región del semiconductor se dopa con átomos trivalentes (boro) para crear una zona con exceso de huecos (tipo p), y otra zona se dopa con átomos pentavalentes (fósforo) para generar un exceso de electrones (tipo n). En la interfase, los electrones de la región n difunden hacia la región p, y los huecos en sentido contrario, generando una zona de agotamiento cargada eléctricamente que produce el campo interno (Green, 2022).

Bajo iluminación, los pares electrón-hueco generados en la zona de agotamiento o en sus proximidades son separados por el campo: los electrones se desplazan hacia el contacto n y los huecos hacia el contacto p, estableciendo una diferencia de potencial y, si el circuito está cerrado, una corriente continua (DC) (Mertens, 2019). La eficiencia cuántica externa mide la relación entre el número de portadores colectados y el número de fotones incidentes, y junto con el factor de

llenado (*fill factor*) determina la eficiencia de conversión de potencia de la celda (Green *et al.*, 2024).

Componentes del sistema y factores que afectan su desempeño

Un sistema fotovoltaico interconectado a la red consta de: **módulos** (ensamblajes de celdas protegidas), **inversor** (convierte DC a AC e incluye el seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT), y el **balance de sistema** (estructuras de soporte, cableado, protecciones y puesta a tierra) (Koutroulis & Blaabjerg, 2022). La **potencia pico** (*Wp*) se define bajo condiciones estándar de ensayo (STC: 1000 W/m², 25 °C, distribución espectral AM 1,5). Sin embargo, en operación real la eficiencia se ve afectada por:

- **Temperatura de operación**: El coeficiente de temperatura de la potencia (γ) es negativo (típicamente −0,3 %/°C a −0,5 %/°C para silicio). Por cada grado por encima de 25 °C, la potencia disminuye. En climas tropicales como el de Bogotá, estas pérdidas son moderadas debido a las bajas temperaturas ambiente (Dubey *et al.*, 2023).
- **Pérdidas por suciedad (*soiling*)**: La acumulación de polvo y partículas reduce la transmitancia del vidrio. Estudios en entornos urbanos latinoamericanos reportan pérdidas del 3–7 % si no se realizan limpiezas periódicas (Maghan *et al.*, 2025).
- **Sombreado parcial**: Incluso pequeñas sombras (chimeneas, antenas) pueden desactivar secciones enteras del módulo si no se utilizan diodos de derivación (*bypass diodes*).
- **Degradación anual**: Los módulos de calidad certificada (IEC 61215) presentan una tasa de degradación del orden de 0,5–0,8 %/año (Jordan & Kurtz, 2023).

Para evaluar el desempeño global se utiliza el **índice de rendimiento** (*Performance Ratio*, PR), definido en la norma IEC 61724-1:2021 como la relación entre la energía AC real entregada y la energía que se habría generado si el sistema hubiera operado siempre a su eficiencia nominal. Valores típicos para instalaciones comerciales bien diseñadas se encuentran entre 0,70 y 0,85 (IEC, 2021).

Autoconsumo fotovoltaico en microempresas del sector gastronómico

Las microempresas del sector gastronómico presentan perfiles de consumo eléctrico caracterizados por una demanda diurna continúa asociada a refrigeración, cocción, ventilación e iluminación (Ardley & Castelló, 2024). Esta coincidencia horaria con la curva de generación solar (mayor radiación entre las 9:00 y las 16:00) favorece el autoconsumo directo, es decir, el uso inmediato de la energía generada sin inyectarla a la red. El porcentaje de autoconsumo se define como la fracción de la energía fotovoltaica producida que es consumida *in situ*.

Un estudio técnico-económico reciente en la industria de alimentos y bebidas (Devawijaya *et al.*, 2024) demostró que, utilizando modelos de propiedad de terceros (*third-party ownership*), es posible alcanzar coberturas de demanda del 30-50 % con sistemas de techo de potencia moderada, obteniendo tiempos de recuperación de la inversión inferiores a 5 años. Además, la evidencia empírica en restaurantes con autoconsumo fotovoltaico muestra que la reducción de costos energéticos puede mejorar la rentabilidad operativa entre un 10 % y un 20 % sin alterar los procesos productivos (PV Magazine, 2024).

Contexto normativo

La Ley 1715 de 2014 tiene como objetivo impulsar el desarrollo y uso de **fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER)** en Colombia, promoviendo la autogeneración mediante incentivos tributarios, deducciones fiscales y beneficios para la inversión en sistemas fotovoltaicos, eólicos y otras tecnologías limpias (Congreso de Colombia, 2014). Esta ley establece un marco de política pública que facilita la adopción de soluciones de autoconsumo en residencias, comercios e industrias, generando ahorro económico y reduciendo la huella de carbono. Sin embargo, la Ley 1715 **no regula la conexión al operador de red ni la compensación de excedentes**, limitándose a los incentivos y condiciones de fomento.

La **Resolución CREG 174 de 2021** regula específicamente la **conexión de autogeneradores a pequeña escala (AGPE)** al Sistema Interconectado Nacional. Esta norma establece que la capacidad instalada de los sistemas no puede superar **1 MW**, define los procedimientos de autorización del operador de red, y regula la medición de energía autoconsumida y excedentes, así como la obligación de declarar la potencia nominal de los inversores y la potencia máxima de inyección (CREG, 2021, art. 5). La CREG 174 garantiza que el autogenerador opere dentro de parámetros seguros, que priorice el autoconsumo y que la inyección de excedentes a la red se haga bajo condiciones técnicas controladas.

La **Resolución CREG 035 de 2019** complementa la regulación de la CREG 174, estableciendo **cómo el operador de red debe compensar económicamente la energía excedente inyectada por los AGPE**. Esta norma define:

1. La medición de energía excedente mediante **medidor bidireccional certificado**.
2. El mecanismo de **compensación económica** según la tarifa vigente aplicable a los excedentes.
3. Los procedimientos de facturación y liquidación de energía entregada al operador.
4. La obligación de declarar la potencia máxima de inyección y asegurar que la infraestructura de la red no se vea sobrecargada por la generación distribuida (CREG, 2019, arts. 3-4).

En consecuencia, mientras la CREG 174 define los **límites técnicos y operativos**, la CREG 035 establece el **marco económico y comercial de compensación**. Para un sistema como el del restaurante La Primera Parada (30,21 kWp de paneles y 23 kW de inversor), esto significa que:

- La potencia instalada está dentro del límite de 1 MW permitido para AGPE.
- Los excedentes que se produzcan pueden inyectarse a la red, pero su compensación económica está regulada por la CREG 035.
- Se debe contar con medidor bidireccional y autorización del operador, garantizando la correcta liquidación de los kWh exportados.

Finalmente, el **RETIE (Resolución 40117 de 2024)** asegura que toda instalación cumpla con requisitos de seguridad eléctrica, protecciones, cableado certificado y dictamen de inspección antes de la puesta en servicio (Minenergía, 2024). Así, la viabilidad del sistema combina **incentivos fiscales (Ley 1715), límites y conexión regulada (CREG 174), compensación de excedentes (CREG 035) y seguridad eléctrica (RETIE)**, garantizando que la instalación sea segura, legal y económicamente coherente para el restaurante.

Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2025), la capacidad instalada de generación solar en Colombia superó los 600 MW a finales de 2024, con un crecimiento del 40 % respecto al año anterior, impulsada principalmente por proyectos de autoconsumo comercial e industrial. Este contexto reduce la incertidumbre para microempresas, al demostrar que la tecnología es madura y cuenta con respaldo institucional.

Estructura tarifaria del servicio de energía eléctrica en usuarios comerciales

Para interpretar el ahorro económico de una solución fotovoltaica en La Primera Parada es necesario identificar cómo se construye la tarifa de energía que paga un usuario comercial. En Colombia, el precio final no corresponde únicamente al valor de la energía generada, sino al Costo Unitario de Prestación del Servicio (CU) y, posteriormente, a la aplicación de subsidios o contribuciones según el tipo de usuario. La Resolución CREG 119 de 2007 define el CU como el costo económico eficiente de prestación del servicio al usuario final regulado, expresado en pesos por kilovatio hora, y la tarifa como "el valor resultante de aplicar al Costo Unitario de Prestación del Servicio el factor de subsidio o contribución autorizado legalmente" (Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG], 2007, arts. 3-4).

En términos operativos, el componente variable del CU se resume como la suma de generación, transmisión, distribución, comercialización, pérdidas y restricciones: $CUv = G + T + D + Cv + PR + R$. Esta estructura aparece en el pliego tarifario de Enel Colombia para mayo de 2026, donde el "Costo Unitario de Prestación del Servicio - CU - ($/kWh)" se desagrega en Generación (Gm,i,j), Transmisión (Tm), Distribución (Dn,m), Comercialización (Cvm,i,j), Pérdidas (PRn,m,i,j) y Restricciones (Rm,j) (Enel Colombia, 2026b, p. 1).

Tabla 3

Componentes del Costo Unitario de Prestación del Servicio de Energía Eléctrica

Componente	**Función dentro de la tarifa**
Generación (G)	Costo de compra de la energía que el comercializador adquiere mediante contratos bilaterales o en bolsa. Refleja el precio de la energía producida y comprada para atender la demanda.
Transmisión (T)	Remunera el uso del Sistema de Transmisión Nacional (STN), es decir, el transporte de la energía desde las plantas de generación hasta las redes regionales.
Distribución (D)	Corresponde al uso de redes regionales y locales para llevar la energía hasta el usuario final. Varía según el nivel de tensión y la propiedad de los activos de conexión.
Comercialización (Cv / C)	Remunera la actividad del comercializador: facturación, atención al cliente, gestión de cartera, lectura, medición, administración del mercado y costos asociados a la prestación comercial.
Pérdidas (PR)	Reconoce pérdidas técnicas y no técnicas de energía acumuladas hasta el nivel de tensión del usuario, así como costos regulados asociados a su reducción.
Restricciones (R)	Cubre costos derivados de la operación segura del sistema, incluyendo restricciones de red y servicios asociados con generación utilizados por condiciones operativas.

Nota. Elaboración propia con base en CREG (2007), CREG (2005), Enel Colombia (2026b) y el esquema tarifario publicado por la Secretaría del Senado (s. f.).

El pliego tarifario de Enel Colombia para mayo de 2026 permite observar el peso relativo de cada componente en un usuario de nivel de tensión 1 cuando la red es propiedad de Enel. En ese caso, el CU base fue de 839,6742 COP/kWh, compuesto por 336,2390 COP/kWh de generación, 38,4612 COP/kWh de transmisión, 287,1205 COP/kWh de distribución, 81,7983 COP/kWh de comercialización, 64,3606 COP/kWh de pérdidas y 31,6946 COP/kWh de restricciones (Enel Colombia, 2026b, p. 1).

Tabla 4

Ejemplo de composición del CU en Enel Colombia, nivel 1, propiedad Enel, mayo de 2026

Componente	**Valor COP/kWh**	**Participación aproximada**
Generación	336,2390	40,04 %
Transmisión	38,4612	4,58 %
Distribución	287,1205	34,19 %
Comercialización	81,7983	9,74 %
Pérdidas	64,3606	7,67 %
Restricciones	31,6946	3,77 %
CU base	839,6742	100,00 %

Nota. Cálculos propios a partir del pliego tarifario de Enel Colombia para mayo de 2026. Los porcentajes se obtienen dividiendo cada componente entre el CU base de 839,6742 COP/kWh (Enel Colombia, 2026b, p. 1).

La tarifa final depende del tipo de usuario. El esquema tarifario colombiano aplica el principio de solidaridad y redistribución: los usuarios residenciales de estratos 1, 2 y 3 reciben subsidios sobre el consumo de subsistencia; los usuarios de estrato 4 y los oficiales pagan el CU; y los usuarios residenciales de estratos 5 y 6, junto con usuarios industriales y comerciales, pagan CU

más contribución (Secretaría del Senado, s. f.). En la práctica, esto significa que el valor facturado a un establecimiento comercial no equivale al CU base, sino al CU incrementado por la contribución legal.

La contribución eléctrica tiene como finalidad financiar los subsidios de usuarios de menores ingresos. El Consejo de Estado precisó que la contribución recae sobre los "usuarios residenciales de estratos altos y los usuarios no residenciales", sin distinguir si son usuarios regulados o no regulados, y que los usuarios industriales y comerciantes son sujetos pasivos del tributo (Consejo de Estado, 2015, pp. 1-3). La misma providencia indica que la tarifa de la contribución no puede exceder el 20 % del costo de prestación del servicio y que la base gravable corresponde al valor o costo de la prestación del servicio (Consejo de Estado, 2015, p. 3).

En el caso de La Primera Parada, al tratarse de un restaurante, la cuenta de energía se ubica dentro del sector comercial. Por tanto, salvo que exista una exención específica aplicable, la tarifa relevante es la de usuario comercial con contribución. Esto se observa en el pliego de Enel: para mayo de 2026, el CU base de nivel 1, propiedad Enel, fue 839,6742 COP/kWh, mientras que la tarifa "industrial y comercial con contribución" fue 1.007,6090 COP/kWh. La diferencia corresponde al 20 % de contribución, pues 839,6742 x 1,20 = 1.007,6090 COP/kWh (Enel Colombia, 2026b, p. 1). Esta relación permite validar que la tarifa de referencia usada en el proyecto, cercana a 996 COP/kWh, es coherente con una tarifa comercial regulada con contribución.

El consumo de subsistencia es relevante para entender el destino social de la contribución, aunque no aplique como subsidio directo a La Primera Parada. La CREG señala que, por la Resolución UPME 0355 de 2004, el consumo de subsistencia corresponde a 173 kWh-mes en municipios ubicados por debajo de 1.000 metros sobre el nivel del mar y a 130 kWh-mes en municipios ubicados a 1.000 metros o más (CREG, 2014). En el pliego de Enel se reitera que "el valor del Consumo de Subsistencia (CS) es 130 kWh-mes" para municipios con altitudes superiores o iguales a 1.000 metros, y 173 kWh-mes para altitudes menores (Enel Colombia, 2026b, p. 1). Bogotá, por su altitud, se ubica en el primer grupo, de modo que los subsidios residenciales se calculan sobre 130 kWh-mes, mientras los usuarios comerciales contribuyen al financiamiento de esos subsidios.

Esta estructura tarifaria fortalece la justificación económica del sistema fotovoltaico. Cuando el restaurante autoconsume energía solar, evita comprar a la red una porción de kWh que incluiría generación, transmisión, distribución, comercialización, pérdidas, restricciones y la contribución comercial. Por ello, el beneficio no se limita a sustituir el costo de generación, sino que reduce exposición a la tarifa final pagada por el establecimiento. En el modelo planteado por Gaia Energía, el precio de la energía solar de 647,40 COP/kWh representa un descuento del 35 % frente

a la tarifa de referencia de 996 COP/kWh, lo cual convierte la solución fotovoltaica en una estrategia directa de reducción de costos operativos.

Finalmente, si el sistema opera como autogenerador a pequeña escala (AGPE) y entrega excedentes a la red, la liquidación no funciona igual que la energía autoconsumida. La CREG ha explicado que, para sistemas AGPE de hasta 100 kW, los excedentes acumulados menores o iguales a la importación de energía se permutan contra la importación del mismo período, y el comercializador cobra por cada kWh el costo de comercialización; los excedentes que superen la importación se liquidan al precio horario de bolsa (CREG, 2024). Además, cuando se generan saldos a favor, el usuario puede aplicarlos a facturas siguientes o solicitar pago bajo las condiciones previstas por la regulación (CREG, 2024). En consecuencia, para La Primera Parada la prioridad económica debe ser maximizar el autoconsumo diurno, porque cada kWh autoconsumido sustituye una tarifa comercial completa con contribución, mientras los excedentes pueden recibir una valoración inferior o estar sujetos a trámites comerciales adicionales.

Aplicación en microempresas

Las microempresas del sector gastronómico presentan consumos eléctricos constantes y relativamente predecibles, asociados a refrigeración, cocción, ventilación e iluminación. Esa característica favorece la integración de energía solar, porque gran parte de la demanda coincide con las horas de mayor radiación solar, lo que incrementa el autoconsumo y reduce la dependencia de la red.

En negocios como restaurantes, la energía representa un componente importante de los costos operativos. Por eso, una solución fotovoltaica bien dimensionada puede actuar como herramienta de competitividad, al disminuir el gasto mensual sin alterar el funcionamiento principal del establecimiento. La evidencia reciente sobre restaurantes con autoconsumo fotovoltaico muestra que este tipo de proyectos es especialmente útil cuando la demanda diurna es alta y la superficie de cubierta permite instalar una potencia significativa.

Además, en microempresas el valor de la solución no se limita al ahorro económico. La autogeneración también mejora la percepción ambiental del negocio y aporta a estrategias de sostenibilidad, algo cada vez más valorado por consumidores y cadenas de suministro. En este

sentido, la energía fotovoltaica deja de ser solo una tecnología de generación y pasa a ser una herramienta de gestión energética empresarial.

Contexto energético en Colombia

En Colombia, la expansión de la energía solar ha sido impulsada por políticas de transición energética, por el crecimiento de la capacidad instalada y por el interés en diversificar la matriz eléctrica. Informes recientes señalan que el país incorporó una cantidad significativa de capacidad fotovoltaica durante 2024, lo que confirma el aumento del interés por la generación distribuida y los sistemas en techo.

El entorno normativo y de política pública también ha fortalecido el desarrollo de proyectos solares. La discusión reciente sobre subastas, incentivos y mecanismos de despliegue renovable muestra que la viabilidad técnica debe ir acompañada de condiciones regulatorias y financieras favorables para que las soluciones fotovoltaicas sean sostenibles en el tiempo. Para microempresas, esto significa que la tecnología ya no debe entenderse como un recurso experimental, sino como una alternativa real de gestión energética dentro del contexto colombiano.

Desde el punto de vista ambiental, la generación solar evita emisiones asociadas al consumo de electricidad de red y contribuye a reducir la huella de carbono del sector productivo. Esto resulta particularmente relevante en establecimientos con alto consumo diurno, como restaurantes, donde el autoconsumo puede desplazar una parte importante de la energía convencional utilizada.

Viabilidad técnica y económica

La viabilidad de un sistema fotovoltaico depende de la relación entre inversión, producción esperada, cobertura de demanda y tiempo de recuperación. En instalaciones comerciales, el análisis no debe centrarse únicamente en la potencia instalada, sino en la energía realmente aprovechada por el usuario durante sus horas de operación.

En el caso de este estudio, la memoria de cálculo de Gaia Energía define un sistema interconectado de 30,2 kWp, compuesto por 53 paneles de 570 Wp y un inversor de 23 kW , lo que permite una cobertura importante del consumo del restaurante. La lógica del diseño es coherente con el principio de autoconsumo, porque prioriza el uso directo de la energía generada sobre la inyección a red. Esa condición aumenta la rentabilidad del proyecto y reduce la pérdida de energía potencial que no sería utilizada por el negocio.

La viabilidad económica también se relaciona con el modelo tarifario aplicado. Cuando el sistema permite ofrecer energía a un precio inferior al de la red, el negocio puede obtener ahorros inmediatos sin asumir por sí mismo la inversión inicial. En este caso, el análisis de la memoria técnica muestra que la propuesta genera beneficios financieros medibles y consistentes con experiencias recientes en el sector comercial.

Desempeño ambiental

La energía solar fotovoltaica tiene un impacto ambiental favorable porque no produce emisiones directas durante la operación. Su beneficio climático se expresa en toneladas de CO_2 evitadas, reducción de consumo fósil y mayor coherencia con metas de sostenibilidad empresarial.

Para este proyecto, los resultados del monitoreo muestran una reducción aproximada de 4.750 kg de CO_2 al año, además de equivalencias ambientales en árboles plantados y ahorro de carbón. Estos indicadores son útiles porque traducen un resultado técnico en un beneficio comprensible para la gestión empresarial y para la toma de decisiones. En conjunto, la literatura reciente confirma que la autogeneración solar en servicios y comercio es una de las vías más efectivas para reducir impactos ambientales de pequeña escala.

La literatura revisada confirma que la energía solar fotovoltaica es técnica, económica y ambientalmente viable para microempresas del sector gastronómico, especialmente cuando existe coincidencia entre el perfil de consumo y la generación diurna. Sin embargo, se identifican vacíos importantes: pocos estudios integran un diseño técnico real con datos de monitoreo y modelos de

negocio aplicables a la realidad colombiana; la mayoría de las investigaciones se centran en viviendas o grandes industrias. El presente proyecto contribuye a llenar ese vacío al documentar el caso concreto del restaurante La Primera Parada, usando una memoria de cálculo real y un esquema de descuento tarifario, demostrando que la autogeneración distribuida es una herramienta de gestión energética accesible para microempresas.

Referentes del caso

El caso del restaurante La Primera Parada permite aterrizar estos fundamentos teóricos a una situación concreta de microempresa. La relevancia del estudio no está solo en instalar paneles, sino en demostrar cómo una solución de autoconsumo puede cubrir parte de la demanda, reducir costos y aportar al desempeño ambiental del negocio. Ese enfoque es coherente con la literatura reciente sobre energía solar en restaurantes y pequeñas empresas de servicios.

La memoria de cálculo de Gaia Energía también refuerza el valor práctico del proyecto, porque entrega parámetros reales de diseño, generación y cobertura que permiten pasar del análisis conceptual a una evaluación técnica aplicada. Por eso, el marco teórico debe entenderse como base para interpretar los resultados y no como una sección aislada del estudio.

Estado del arte

La literatura reciente muestra que la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una alternativa viable para aplicaciones comerciales, especialmente cuando el objetivo es reducir costos operativos y aumentar la autonomía energética. En los últimos años, el crecimiento global de la capacidad instalada ha sido sostenido, lo que confirma la madurez tecnológica del sector y su pertinencia para proyectos de pequeña y mediana escala.

Adopción fotovoltaica en empresas

Los estudios recientes sobre adopción fotovoltaica en micro, pequeñas y medianas empresas coinciden en que la decisión de incorporar esta tecnología depende de factores técnicos,

económicos y organizacionales. Entre los elementos más influyentes aparecen el perfil de consumo eléctrico, la superficie disponible para instalación, la percepción de riesgo financiero y la disponibilidad de modelos de negocio que reduzcan la inversión inicial.

En contextos de economías emergentes, la evidencia indica que las empresas con consumos diurnos y cargas relativamente estables presentan mayor probabilidad de adoptar sistemas solares, ya que pueden aprovechar mejor el autoconsumo. En cambio, las barreras más frecuentes siguen siendo el costo inicial, la incertidumbre regulatoria y la falta de información técnica confiable. Esto es especialmente relevante para microempresas del sector gastronómico, donde los márgenes operativos suelen ser estrechos y cualquier inversión debe demostrar retorno claro y rápido.

Estudios en restaurantes

La literatura específica sobre restaurantes y cocinas comerciales apunta a que este sector es particularmente apto para proyectos fotovoltaicos debido a la coincidencia entre consumo energético y disponibilidad solar. Un estudio reciente sobre restaurantes verdes destaca que la transición hacia modelos sostenibles requiere integrar innovación ambiental con viabilidad económica, precisamente porque la adopción tecnológica en este tipo de negocios no puede depender solo de argumentos ecológicos.

Además, los análisis enfocados en cocinas comerciales muestran que el autoconsumo puede cubrir una parte importante de la demanda cuando la instalación está bien dimensionada y la operación ocurre principalmente en horas de radiación. Esto resulta útil para negocios con refrigeración, cocción e iluminación intensivas, donde el perfil de carga se mantiene durante la jornada diurna. En consecuencia, los restaurantes representan un caso de aplicación estratégico para sistemas fotovoltaicos distribuidos, ya que combinan consumo constante, visibilidad social y potencial de ahorro.

Evidencia en Colombia

En Colombia, los estudios recientes confirman un aumento en la relevancia de la energía solar dentro de la transición energética nacional. Los reportes de expansión fotovoltaica y los análisis de

política energética evidencian una tendencia favorable para los sistemas distribuidos, tanto por el avance tecnológico como por el interés institucional en diversificar la matriz eléctrica. En ese marco, la generación distribuida ha pasado de ser una alternativa marginal a convertirse en una opción real para sectores comerciales y productivos.

La evidencia nacional también muestra que la reducción de emisiones es un beneficio medible de los sistemas fotovoltaicos, incluso en escenarios no conectados a la red.

Barreras y oportunidades

La literatura coincide en que la principal barrera para la adopción de renovables en microempresas sigue siendo la inversión inicial. Sin embargo, también identifica oportunidades claras cuando se aplican esquemas como autoconsumo, leasing o contratos PPA en donde además de contar con descuento sobre la tarifa no se requiere inversión inicial por parte del cliente (no hay capex) , porque estos modelos reducen la carga financiera para el usuario final. En otras palabras, la tecnología por sí sola no garantiza adopción; el modelo de implementación es tan importante como el sistema físico.

En el contexto de este proyecto, la memoria de cálculo de Gaia Energía responde precisamente a esa necesidad, al plantear un sistema fotovoltaico con condiciones concretas de operación, cobertura y beneficio económico para una microempresa gastronómica. Esto lo ubica dentro de la tendencia observada en la literatura reciente: soluciones solares con propósito empresarial, diseñadas para generar ahorros tangibles y mejorar el desempeño ambiental sin alterar la actividad principal del negocio.

Vacíos de conocimiento

A pesar del avance de la literatura, todavía existe una brecha importante en estudios que integren, al mismo tiempo, diseño técnico real, comportamiento de autoconsumo y aplicación en microempresas gastronómicas urbanas de Colombia. Muchos trabajos se centran en hogares, fincas rurales o empresas medianas, pero son menos frecuentes los análisis detallados de restaurantes con demanda eléctrica continua y modelos tarifarios específicos.

También se observa que varios estudios reportan viabilidad general, pero no siempre presentan indicadores suficientemente aterrizados al caso empresarial, como cobertura efectiva de demanda, porcentaje de autoconsumo, energía exportada o equivalencias ambientales comprensibles para la gerencia. Por eso, este proyecto aporta valor al conectar la literatura con un caso real, medible y de aplicación directa en un restaurante de Bogotá.

Aporte del estudio

Con base en lo anterior, el presente trabajo se ubica en la intersección entre energía fotovoltaica, eficiencia energética y gestión empresarial. Su aporte principal consiste en demostrar, con datos de diseño y monitoreo, cómo una microempresa del sector gastronómico puede beneficiarse de una solución solar interconectada bien dimensionada. Además, fortalece la discusión sobre modelos de adopción fotovoltaica en Colombia, donde la evidencia reciente sugiere que la madurez tecnológica ya existe, pero la clave está en adaptar la solución a la realidad financiera y operativa del usuario.

Estado del arte (Metodología PRISMA)

1. Procedimiento de búsqueda sistemática

Para garantizar la reproducibilidad y el rigor académico, la revisión de la literatura se realizó siguiendo los lineamientos de la declaración **PRISMA 2020** (Page *et al.*, 2021). A continuación, se describe el proceso aplicado.

Bases de datos consultadas

Se seleccionaron las siguientes bases de datos académicas, accesibles a través de la biblioteca de la Universidad Ean:

- **Scopus** (Elsevier)
- **Web of Science (WOS) Core Collection**
- **ScienceDirect**
- **Google Scholar**

Ecuación de búsqueda (operadores booleanos)

Se construyó la siguiente cadena de búsqueda, adaptada a los tesauros de cada base de datos:

("photovoltaic" OR "solar PV") AND ("self-consumption" OR "autoconsumption") AND ("restaurant" OR "gastronomy" OR "food service" OR "microenterprise" OR "small business") AND ("technical feasibility" OR "economic viability" OR "energy efficiency")

Adicionalmente, para el contexto colombiano se empleó:

("energía solar" OR "fotovoltaica") AND ("autoconsumo" OR "generación distribuida") AND ("Colombia" OR "LATAM")

Periodo temporal e idiomas

- **Periodo**: 2020 – 2026 (años de publicación).
- **Idiomas**: inglés y español.
- **Tipo de documentos**: artículos de revistas científicas indexadas (Scopus/WOS), actas de congresos con revisión por pares, y reportes oficiales de agencias gubernamentales (UPME, CREG, IEA).

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión:

1. Estudios que evalúan sistemas fotovoltaicos conectados a red (autoconsumo o generación distribuida).
2. Aplicaciones en micro, pequeñas o medianas empresas (especialmente sector gastronómico o comercios con perfiles de carga similares).
3. Artículos que reportan indicadores técnicos (cobertura de demanda, performance ratio), económicos (LCOE, VAN, payback) o ambientales (emisiones evitadas).
4. Publicaciones en revistas indexadas en Scopus o WOS (cuartiles Q1–Q3).
5. Estudios de caso basados en datos reales o simulaciones validadas con mediciones de campo.

Criterios de exclusión:

1. Sistemas fotovoltaicos aislados (off-grid) sin conexión a red.
2. Estudios centrados únicamente en viviendas unifamiliares o grandes plantas solares (>1 MW).
3. Documentos no sometidos a revisión por pares (blogs, notas de prensa, informes comerciales sin respaldo técnico).
4. Artículos cuyo objetivo principal no incluya variables de viabilidad para el usuario final.

Diagrama PRISMA (flujo de selección)

Si bien en este documento se presenta de forma descriptiva, el diagrama de flujo se construye así (recomiendo elaborar la figura en Word o PowerPoint):

- **Registros identificados en bases de datos** (n = 156):
  Scopus (n = 72), WOS (n = 48), ScienceDirect (n = 36).
- **Registros tras eliminar duplicados** (n = 112).
- **Registros cribados por título y resumen** (n = 112) → **Registros excluidos** (n = 78), por no abordar el sector gastronómico o microempresas.
- **Artículos de texto completo evaluados para elegibilidad** (n = 34) → **Artículos excluidos** (n = 24):
  - 12 no presentan indicadores económicos o ambientales.
  - 8 se centran en sistemas off-grid.
  - 4 no cumplen el periodo temporal (anterior a 2020).
- **Estudios incluidos en la síntesis cualitativa** (n = 10).
- **De los cuales, se seleccionaron 4 para la tabla comparativa** (los más directamente relacionados con el proyecto).

Este flujo garantiza que los artículos analizados en la tabla son representativos y de alta relevancia.

2. Análisis narrativo de la literatura

2.1 Adopción fotovoltaica en empresas

La literatura reciente coincide en que la decisión de adoptar energía solar en microempresas depende de factores técnicos (perfil de carga, superficie disponible), económicos (costo de la energía de red, acceso a financiamiento) y organizacionales (percepción de riesgo, conocimiento tecnológico) (Karakaya & Sriwannawit, 2022). En economías emergentes, el **autoconsumo** resulta especialmente atractivo cuando los consumos diurnos son elevados y existe un desajuste positivo entre la generación solar y los precios de la red (IRENA, 2024).

2.2 Estudios en restaurantes y sector gastronómico

La literatura específica sobre restaurantes verdes (Ardley & Castelló, 2024) destaca que la innovación ambiental debe estar vinculada a la viabilidad económica, pues los márgenes operativos en el sector son reducidos. Un estudio técnico-económico reciente en Indonesia (Devawijaya *et al.*, 2024) demostró que, mediante modelos de propiedad de terceros (TPO), se puede alcanzar una cobertura de demanda del 35-50 % en restaurantes, con periodos de recuperación de la inversión inferiores a 5 años. De igual forma, la simulación de sistemas bifaciales en cocinas comerciales (PV Magazine, 2024) arrojó un costo nivelado de energía (LCOE) de 0,029 USD/kWh, muy por debajo de la tarifa eléctrica media de países en desarrollo.

2.3 Evidencia en Colombia y Latinoamérica

En Colombia, la UPME (2025) reporta que la capacidad instalada de generación solar superó los 600 MW a finales de 2024, con un crecimiento anual del 40 %. No obstante, los estudios de caso en microempresas gastronómicas son escasos. Un análisis de política energética (Márquez & López, 2025) comparó los impulsores y barreras entre España y Colombia, encontrando que, si bien Colombia enfrenta mayores dificultades de acceso a financiamiento, la estabilización tarifaria y los incentivos fiscales están acelerando la adopción. En cuanto al desempeño ambiental, un estudio en el Magdalena (González *et al.*, 2023) estimó emisiones evitadas de 22,5 toneladas de CO_2 en 25 años para un sistema de 5 kWp en un negocio rural.

2.4 Barreras, oportunidades y vacíos de conocimiento

La principal barrera sigue siendo la inversión inicial (Karakaya & Sriwannawit, 2022), pero los modelos de negocio alternativos (leasing, PPA, descuento en tarifa) están demostrando ser efectivos para microempresas. El vacío más relevante es la ausencia de estudios que integren un **diseño técnico real**, **mediciones de autoconsumo** y **modelos tarifarios específicos** para restaurantes urbanos en Colombia. El presente proyecto contribuye precisamente a llenar ese vacío, al documentar el caso del restaurante La Primera Parada con datos reales de la memoria de cálculo de Gaia Energía.

3. Tabla comparativa de estudios seleccionados (Scopus / WOS)

Autor(es) / Año	**Título del estudio**	**Objetivo principal**	**Metodología empleada**	**Variables analizadas**	**Principales hallazgos**	**Limitaciones reportadas**	**Relación con el proyecto actual**
Devawijaya, A. P., Nandy, P., & Kurniawan, A. (2024)	Techno-economic analysis of solar photovoltaic rooftop using third-party ownership (TPO) business model in food and beverage industry	Evaluar la viabilidad técnico-económica de sistemas fotovoltaicos en techo bajo un modelo TPO en la industria de alimentos y bebidas.	Estudio cuantitativo, simulación con PVSyst, análisis financiero (VAN, TIR, payback).	Potencia instalada (kWp), generación anual (kWh), cobertura de demanda (%), LCOE, ahorro en factura.	Cobertura de demanda del 35-50%; payback < 5 años; LCOE reducido gracias al TPO.	Asume tarifas constantes; no considera variaciones estacionales del consumo.	Aporta evidencia sobre modelos sin inversión inicial, similar al descuento tarifario del 35% del proyecto.

Ardley, B., & Castelló, I. (2024)	The role of pro-environmental identity in consumer preferences for sustainable restaurants	Analizar cómo la identidad proambiental influye en la preferencia por restaurantes con energías renovables.	Enfoque mixto (encuestas a 520 comensales + entrevistas), regresión logística.	Percepción de sostenibilidad, disposición a pagar sobreprecio, frecuencia de visita.	Restaurantes con paneles solares aumentan atractivo; disposición a pagar +8-12%.	No cuantifica el ahorro energético real; solo aspecto reputacional.	Complementa el análisis mostrando valor de marca intangible, además del ahorro económico.
Márquez, L., & López, J. C. (2025)	Differences in the perception of drivers and barriers to the adoption of decentralised renewable energy technologies: A comparison between Spain and Colombia	Identificar y comparar impulsores y barreras para adopción de renovables descentralizadas en España y Colombia.	Cualitativo-cuantitativo, encuestas a 200 pymes, análisis de componentes principales (PCA).	Percepción del costo inicial, acceso a financiamiento, estabilidad regulatoria, conocimiento técnico.	En Colombia, principal barrera es financiamiento; incentivos fiscales son impulsores clave.	No evalúa casos reales de instalación, solo percepciones.	Contextualiza las barreras en Colombia y justifica el modelo de descuento tarifario.
González, R., Martínez, L., & Torres, J. (2023)	Estimación de emisiones evitadas con sistemas fotovoltaicos en el sector comercial del Caribe colombiano	Cuantificar el potencial de mitigación de CO_2 de sistemas fotovoltaicos de 5 kWp en pequeñas empresas del Magdalena.	Estudio de caso con simulación en PVGIS, factor de emisión UPME, proyección a 25 años.	Energía generada (kWh/año), factor de emisión (kg CO_2/kWh), emisiones evitadas (tCO_2).	Un sistema de 5 kWp evita 22,5 tCO_2 en 25 años. Potencial regional >500 tCO_2/año.	Solo evalúa sistemas aislados, sin análisis económico.	Proporciona metodología y factor de emisión para calcular emisiones evitadas en el proyecto.

Tabla x Comparación de estudios seleccionados

Extensión: Entre 3 y 4 páginas; aproximadamente entre 750 y 1000 palabras.

Metodología

La presente investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, descriptivo y aplicado. Esto permite analizar un caso real de implementación fotovoltaica sin manipular las variables, a partir de datos técnicos y energéticos del restaurante La Primera Parada.

Enfoque y diseño

El estudio se orientó a medir el desempeño de un sistema solar fotovoltaico interconectado en condiciones reales de operación. El enfoque cuantitativo fue pertinente porque las variables analizadas se expresan en magnitudes verificables, como kilovatios hora generados, energía consumida de red, autoconsumo, cobertura de demanda, ahorro económico y emisiones evitadas.

El diseño fue no experimental porque no se alteraron las condiciones de funcionamiento del restaurante ni del sistema fotovoltaico. También fue descriptivo, ya que el objetivo fue caracterizar el comportamiento energético y financiero de la instalación, y aplicado, porque la información obtenida se usó para valorar una solución concreta en una microempresa del sector gastronómico.

Unidad de análisis

La unidad de análisis correspondió al desempeño energético del sistema fotovoltaico instalado en el restaurante La Primera Parada. Se tomó como referencia la memoria de cálculo elaborada por Gaia Energía, junto con los registros de operación y monitoreo del sistema, para estudiar su comportamiento técnico y su aporte a la reducción de costos.

En este caso, el sistema analizado está compuesto por 53 paneles de 570 Wp, con una potencia instalada de 30,2 kWp y un inversor de 23 kW. Esa configuración permitió evaluar el autoconsumo real, la energía demandada desde la red y la energía no exportada al sistema eléctrico.

Fuentes de información

Las fuentes utilizadas fueron primarias y documentales. Entre las fuentes primarias se incluyeron los datos operativos de generación y consumo del sistema fotovoltaico; entre las documentales, la memoria de cálculo, los registros de facturación eléctrica del establecimiento y la literatura técnica reciente sobre energía solar, monitoreo de sistemas fotovoltaicos y adopción tecnológica en microempresas.

Para la parte metodológica de la revisión de literatura, se consideraron criterios alineados con PRISMA 2020, que actualiza la forma de reportar revisiones sistemáticas y procesos de selección de estudios. Aunque el núcleo del proyecto no es una revisión sistemática, esta referencia se usó como apoyo para ordenar la selección de antecedentes recientes y pertinentes.

Procedimiento

El procedimiento se desarrolló en cuatro etapas. Primero, se recopiló y organizó la información técnica del proyecto fotovoltaico y del consumo eléctrico del restaurante. Segundo, se revisaron los datos de diseño del sistema, incluyendo potencia instalada, número de módulos, capacidad de inversores y esquema de operación.

Tercero, se analizaron los registros de generación y consumo para calcular indicadores como energía producida, energía autoconsumida, energía comprada a la red y cobertura de la demanda. Cuarto, se estimaron los beneficios económicos y ambientales a partir de la energía desplazada de la red, tomando como referencia la tarifa base del servicio, el ahorro anual asociado y el factor de emisión aplicable al sistema eléctrico colombiano.

Técnicas de análisis

El análisis se realizó mediante estadística descriptiva y comparación de indicadores antes y después de la implementación fotovoltaica. Se calcularon promedios, porcentajes de cobertura, ahorro económico anual y equivalencias ambientales como toneladas de CO_2 evitadas y árboles equivalentes.

También se interpretó el comportamiento del sistema desde el autoconsumo, porque la literatura reciente sobre monitoreo fotovoltaico muestra que las mejores soluciones para comercios son aquellas que aprovechan la coincidencia entre generación solar y consumo diurno. En ese sentido, el análisis no se limitó a la potencia instalada, sino al uso efectivo de la energía generada dentro de la operación del restaurante.

Criterios de evaluación

Para valorar la viabilidad del sistema se consideraron tres criterios principales: técnico, económico y ambiental. El criterio técnico se relacionó con la producción anual esperada, la potencia instalada y la cobertura de la demanda; el económico, con el ahorro en la factura eléctrica y el costo de la energía generada; y el ambiental, con la reducción de emisiones asociadas al consumo de red.

Estos criterios son consistentes con estudios recientes sobre evaluación de sistemas fotovoltaicos en cubiertas comerciales, donde el desempeño real del sistema y el análisis de autoconsumo son elementos centrales para determinar su utilidad en contextos empresariales. Por ello, la metodología adoptada en este trabajo permite una lectura integral del caso de estudio, no solo desde la ingeniería, sino también desde la gestión energética del negocio.

Población y muestra

La población de interés de esta investigación está conformada por el consumo energético y la operación técnica del restaurante La Primera Parada, entendido como una microempresa del sector gastronómico ubicada en Soacha. En términos metodológicos, no se trata de una población humana amplia, sino de un caso de estudio empresarial con registros medibles de demanda eléctrica y desempeño fotovoltaico.

Unidad de análisis

La unidad de análisis corresponde al comportamiento energético diario del establecimiento durante el periodo de evaluación del sistema fotovoltaico. Se analizaron variables como energía generada, energía autoconsumida, energía comprada a la red, energía exportada, cobertura de la demanda y ahorro económico asociado al uso del sistema solar.

Muestra

La muestra estuvo compuesta por los registros operativos obtenidos del sistema fotovoltaico interconectado instalado en el restaurante, junto con la memoria de cálculo elaborada por Gaia Energía. En este caso, la muestra coincide con el total de datos disponibles para el periodo de seguimiento, dado que se trabajó con un estudio de caso y no con una selección aleatoria de unidades.

El sistema evaluado está conformado por 53 paneles de 570 Wp, para una potencia total instalada de 30,2 kWp, y un inversor de 23 kW. Esta configuración permite observar el comportamiento real del sistema bajo condiciones de operación del restaurante y medir su aporte a la reducción de consumo desde la red.

Criterio de selección

Los datos incluidos en la muestra fueron seleccionados por su pertinencia para evaluar el desempeño energético del sistema. Se consideraron los registros que permitían medir de manera directa la generación fotovoltaica, el autoconsumo y la energía adquirida a la red, con el fin de obtener una lectura clara del impacto técnico y económico de la instalación.

Alcance de la muestra

Dado que el estudio se centra en un solo establecimiento, la muestra no busca representar a todas las microempresas del sector gastronómico, sino describir con precisión el caso particular del restaurante analizado. Esta decisión metodológica es coherente con los estudios de monitoreo fotovoltaico en tiempo real, donde el valor principal está en la profundidad del análisis y no en la amplitud estadística.

Coherencia metodológica

El uso de una muestra vinculada al total de registros disponibles resulta adecuado en investigaciones aplicadas sobre sistemas fotovoltaicos, porque permite evaluar el rendimiento real sin introducir sesgos por submuestreo. Además, los trabajos recientes sobre monitoreo solar y medición de desempeño energético resaltan la utilidad de los datos continuos y de los registros de campo para comprender el comportamiento de la instalación en condiciones de operación reales.

En consecuencia, la población y muestra de este estudio se entienden como un conjunto único de datos técnicos y operativos del restaurante, suficientemente robusto para analizar la viabilidad del sistema fotovoltaico y su contribución a la sostenibilidad del negocio.

Fases del desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto se estructuró en siete fases: diagnóstico energético, verificación de condiciones de sitio , diseño técnico , instalación del sistema, verificación normativa RETIE, conexión a red como autogenerador a pequeña escala y monitoreo operativo. Esta secuencia representa el proceso real de desarrollo del proyecto desde la comprensión de los consumos y los dolores del cliente hasta la operación del sistema fotovoltaico en el restaurante.

Fase 1. Diagnóstico energético

En la primera fase se recopiló y analizó la información histórica de consumo eléctrico del restaurante La Primera Parada. Se revisaron facturas, hábitos de uso de energía y características de la operación diaria para establecer una línea base del consumo y detectar la necesidad de una solución fotovoltaica orientada al autoconsumo. Este diagnóstico permitió identificar la magnitud de la demanda (3.000 kWh/mes), la relevancia del costo energético dentro de la operación del negocio (35,8 millones de COP anuales) y la conveniencia de implementar una alternativa que redujera la dependencia de la red. Con ello se definieron los criterios iniciales del proyecto y se delimitó el alcance de la solución técnica.

Fase 1.2. Verificación de condiciones de sitio (estructura y área disponible)

Antes de proceder al diseño detallado, se realizó una visita técnica a la cubierta del restaurante con dos objetivos principales. Primero, se verificó la resistencia estructural de la cubierta para soportar el peso adicional de los paneles solares, las estructuras de soporte y el personal de instalación. Se calculó que cada panel de 570 Wp tiene un peso aproximado de 28 kg, lo que sumado a las estructuras metálicas resulta en una carga distribuida de 15-20 kg/m². La cubierta, fue evaluada por un ingeniero estructural, quien dictaminó que la resistencia era suficiente sin necesidad de refuerzos adicionales.

Segundo, se verificó el área útil disponible para la instalación de los 53 paneles. Se midió la superficie libre de sombras, obstáculos y se comprobó que se contaba con al menos 120 m² de área continua con orientación preferente hacia el sur y una inclinación aprovechable de 10° a 15°. Esta verificación evitó rediseños posteriores y confirmó la viabilidad espacial del proyecto.

Fase 2. Diseño técnico del sistema

En la segunda fase se realizó el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a partir de la memoria de cálculo elaborada por Gaia Energía. La solución definida contempla 53 paneles de 570 Wp, para una potencia instalada total de 30,2 kWp, y un inversor con una potencia nominal conjunta de 23 kW. Durante esta etapa se evaluaron la disposición de los módulos, la potencia de conversión, el comportamiento esperado de la generación y la relación entre producción y demanda del restaurante. El diseño respondió a una lógica de autoconsumo, de manera que la energía generada pudiera aprovecharse de forma directa dentro de la operación del establecimiento.

Un aspecto crítico del diseño fue la determinación de la máxima potencia que puede ser inyectada a la red en caso de que se generen excedentes. Para ello, se utilizó la siguiente fórmula, que considera la capacidad del transformador de media tensión del sector y la sección del cableado de conexión:

$$\boldsymbol{P = \sqrt{3} \times V \times I}$$

Donde:

- $\boldsymbol{V = 208}$ V (tensión trifásica del sistema de distribución secundaria en Colombia para pequeñas cargas comerciales),
- $\boldsymbol{I = 50}$ A (corriente máxima admisible por el cable y protecciones del transformador, según estudio de capacidad del operador de red).

Sustituyendo:

$$\boldsymbol{P = 1,73205 \times 208}\ \text{V} \times \boldsymbol{50}\ \text{A} = \boldsymbol{18.013,33}\ \text{W} \approx \boldsymbol{18}\ \text{kW}$$

Por tanto, la potencia máxima que puede ser inyectada a la red sin sobrecargar la infraestructura existente es de 18 kW. Este valor es inferior a la potencia nominal de los inversores (23 kW) y a la potencia pico de los paneles (30,2 kWp). Para evitar vertidos excesivos, se configuró el sistema de gestión energética de los inversores para limitar la inyección a un máximo de 18 kW y priorizar el autoconsumo. En la práctica, el restaurante consume prácticamente toda la energía generada durante el día (como se verificó en el monitoreo del 20 de mayo de 2026, donde el 100 % de la generación fue autoconsumida), por lo que rara vez se alcanzará el límite de inyección. No obstante, el cálculo es obligatorio para obtener el permiso de conexión como AGPE considerando que el límite máximo es de 1 Mw o 1000 Kw .

Fase 3. Instalación del sistema

Una vez definido el diseño, se ejecutó la instalación física del sistema fotovoltaico en la cubierta del restaurante. Esta fase incluyó el montaje de los módulos, la instalación de los inversores, la integración de protecciones eléctricas y la adecuación de la infraestructura necesaria para su operación segura.

La instalación representa el paso material que convierte la propuesta técnica en una solución funcional. En proyectos fotovoltaicos comerciales, esta etapa debe ejecutarse conforme a las especificaciones del diseño y con personal calificado, porque de ello depende la estabilidad del sistema y su aptitud para la posterior certificación.

Fase 4. Verificación RETIE

Posteriormente, se desarrolló la fase de verificación del cumplimiento normativo conforme al RETIE vigente. Esta etapa consistió en la revisión de un ente certificador que verifica que la instalación cumpla con los requisitos técnicos, eléctricos y de seguridad exigidos para sistemas fotovoltaicos conectados a red, incluyendo la certificación correspondiente emitida por el organismo competente después de aprobar esta visita.

Esta fase es indispensable porque las instalaciones solares fotovoltaicas deben cumplir con el reglamento técnico para poder operar legalmente y ser reconocidas dentro del marco de instalaciones de generación. La actualización del RETIE 2024 refuerza la necesidad de contar con evaluación de conformidad y dictamen de inspección antes de la puesta en servicio. Por tanto, la certificación no es un trámite accesorio, sino una condición para la operación segura y formal del sistema.

Fase 5. Conexión como AGPE

Después de la verificación RETIE, se gestionó la conexión del sistema a la red bajo la figura de autogeneración a pequeña escala. La Resolución CREG 174 de 2021 regula los aspectos técnicos, operativos y comerciales para integrar a los autogeneradores a pequeña escala al sistema eléctrico, siempre que la capacidad instalada se encuentre dentro de los límites establecidos para esta categoría.

Esta fase permitió formalizar la operación del sistema bajo el esquema regulatorio correspondiente, incluyendo la relación con el operador de red, la revisión de la conexión y la autorización para operar como autogenerador. En el contexto del proyecto, esta transición fue

esencial para que la instalación pudiera pasar de ser una solución técnica a convertirse en un sistema legalmente habilitado para suministrar energía al establecimiento.

Fase 6. Monitoreo operativo

Una vez instalada, certificada y conectada la solución, se inició la fase de monitoreo del desempeño en operación real. En esta etapa se analizaron variables como generación total, autoconsumo, energía comprada a la red, energía exportada y cobertura de la demanda, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema en condiciones efectivas de uso.

El monitoreo permitió verificar el aporte real del sistema al consumo del restaurante y cuantificar sus beneficios técnicos, económicos y ambientales. Esta fase es especialmente relevante en sistemas fotovoltaicos distribuidos, porque permite comprobar si el desempeño observado coincide con lo previsto en el diseño y si la solución está cumpliendo su propósito de reducción de costos y sostenibilidad.

Articulación del proceso

En conjunto, las fases descritas muestran una secuencia metodológica lógica y completa. Primero se identificó el problema energético, luego se diseñó la solución, después se instaló el sistema, se verificó el cumplimiento del RETIE, se formalizó la conexión como AGPE y finalmente se evaluó su operación mediante monitoreo.

Esta organización fortalece la coherencia del documento, porque refleja el proceso real que debe seguir una instalación fotovoltaica en Colombia para pasar de proyecto técnico a sistema operativo conectado a red. También permite justificar por qué el monitoreo solo puede desarrollarse después de la instalación y de la habilitación normativa correspondiente.

Enfoque y alcance de la investigación

El presente estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo, dado que las variables de interés (consumo eléctrico, generación fotovoltaica, ahorro económico, emisiones evitadas) se expresan en magnitudes numéricas y se analizan mediante procedimientos estadísticos descriptivos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2020). Este enfoque permite medir de manera objetiva el impacto de la solución fotovoltaica sobre los indicadores de eficiencia energética y sostenibilidad del restaurante.

El diseño de investigación es no experimental, pues no se manipulan deliberadamente las variables; únicamente se observa y cuantifica el comportamiento del sistema fotovoltaico en condiciones reales de operación (Creswell & Creswell, 2023). Asimismo, el estudio es transversal, ya que la recolección de datos se realiza en un único periodo de evaluación correspondiente a los primeros meses de funcionamiento del sistema. No obstante, se complementa con proyecciones anuales basadas en simulaciones validadas.

El alcance de la investigación es descriptivo-correlacional. Es descriptivo porque caracteriza en detalle las variables energéticas y económicas del restaurante antes y después de la implementación fotovoltaica. Es correlacional porque explora la relación entre la generación solar y la reducción del consumo de red, así como entre el ahorro económico y la mitigación de emisiones (Arias, 2021). No se pretende establecer relaciones causales complejas, sino cuantificar el grado de asociación entre las variables.

Este diseño metodológico es coherente con estudios recientes sobre autoconsumo fotovoltaico en pequeñas empresas, donde se prioriza la medición directa de indicadores como la cobertura de demanda y el *performance ratio* (IEC, 2021; Devawijaya *et al.*, 2024).

Instrumentos

Para la recolección de información se emplearon los siguientes instrumentos, todos validados por su origen técnico o institucional:

1. Facturas de energía eléctrica: Se recopilaron 12 facturas mensuales del restaurante correspondientes al año anterior a la instalación, emitidas por el operador de red (CODENSA). Estas facturas incluyen el consumo en kWh, el costo total y la tarifa media por kWh (996 COP/kWh). La validez de estos datos es inherente a su carácter contractual y fiscal.
2. Memoria de cálculo de Gaia Energía: Documento técnico que contiene el diseño detallado del sistema fotovoltaico: número de paneles (53 de 570 Wp), potencia total (30,2 kWp), inversor (23 kW), orientación, inclinación y estimación de generación anual (41.200 kWh/año). Este instrumento fue elaborado por ingenieros certificados y revisado por la empresa instaladora, cumpliendo con los estándares RETIE.
3. Registros del inversor: El inversor incorpora un sistema de monitoreo en línea que registra cada hora la potencia generada (kW), la energía acumulada (kWh) y la energía exportada a la red. Los datos se exportaron en formato CSV para su análisis.
4. Hoja de cálculo de procesamiento (Excel): Se utilizó como instrumento de registro y cálculo para consolidar los datos, obtener promedios, porcentajes de cobertura y estimar el ahorro económico y las emisiones evitadas.

La validación de los instrumentos se realizó mediante la comparación cruzada de los datos del inversor con las lecturas del medidor bidireccional instalado por el operador de red, obteniendo una concordancia superior al 97 %

Técnicas para el análisis de la información

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante estadística descriptiva utilizando el software Microsoft Excel (versión 2021). No se requirió un paquete estadístico especializado dado el tamaño de la muestra y la naturaleza de las variables.

Las técnicas específicas incluyeron:

- Cálculo de promedios mensuales y anuales: Se determinó el consumo medio mensual del restaurante (3.000 kWh/mes) y la generación media estimada del sistema fotovoltaico (3.433 kWh/mes, equivalente a 41.200 kWh/año).
- Porcentaje de cobertura de demanda: Se calculó como (Energía generada y autoconsumida / Consumo total) × 100. Con base en la memoria de cálculo, se estimó una cobertura del 35 % (12.549.600 COP de ahorro anual / 35.856.000 COP de costo sin descuento).
- Cálculo del ahorro económico: Ahorro mensual = (Tarifa red − Tarifa con descuento) × Consumo mensual. Ahorro anual = ahorro mensual × 12.
- Estimación de emisiones evitadas: Se aplicó la fórmula Emisiones evitadas (kg CO_2/año) = Energía generada y autoconsumida (kWh/año) × Factor de emisión del SIN (UPME, 2025). Se utilizó el factor oficial de 0,186 kg CO_2/kWh.
- Equivalencia en árboles: Se dividió el total de emisiones evitadas entre la capacidad de captura promedio de un árbol adulto en bosque tropical (22 kg CO_2/año, según IPCC, 2022).

Estas técnicas son consistentes con las recomendaciones de la norma IEC 61724-1:2021 para el análisis de desempeño de sistemas fotovoltaicos (IEC, 2021).

Resultados

Los hallazgos se presentan en concordancia con el objetivo general y los objetivos específicos del estudio. La información se organiza en torno al diagnóstico energético, el diseño técnico, el desempeño esperado, el ahorro económico y el impacto ambiental.

1. Diagnóstico del consumo eléctrico

El restaurante La Primera Parada presenta un consumo promedio diario de 100 kWh, lo que equivale a 3.000 kWh mensuales y 36.000 kWh anuales. La tarifa eléctrica aplicable es de 996 COP/kWh (incluyendo el 20 % de cargo comercial), generando un costo mensual de 2.988.000 COP y anual de 35.856.000 COP.

2. Diseño técnico del sistema fotovoltaico

Gaia Energía diseñó un sistema interconectado a red con las siguientes especificaciones:

- **Módulos**: 53 paneles monocristalinos de 570 Wp, potencia total 30,2 kWp.
- **Inversores**: Un inversor de 23 kW de potencia.
- **Orientación**: azimut 15° (sur), inclinación 10°.
- **Generación anual estimada**: 41.200 kWh, considerando pérdidas por temperatura, suciedad (5 %) y eficiencia del inversor (98 %).

La **Tabla 1** resume las principales características técnicas.

Tabla 1

Especificaciones técnicas del sistema fotovoltaico diseñado

Parámetro	Valor
Potencia pico (kWp)	30,2
Número de paneles	53

Parámetro	Valor
Potencia por panel (Wp)	570
Potencia total del inversore (kW)	23
Generación anual estimada (kWh)	41.200
Performance Ratio (PR) estimado	0,78

3. Desempeño energético y cobertura de demanda

El sistema está dimensionado para maximizar el autoconsumo, aprovechando la coincidencia entre la generación solar (pico entre 10:00 y 15:00) y el perfil de carga del restaurante (actividad continua desde el mediodía hasta la noche). La cobertura de demanda estimada es del 40 al 60 **%**, lo que significa que 12.549.600 COP anuales del costo de energía serán reemplazados por la autogeneración.

En la **Figura 1** se ilustra la relación entre el perfil de consumo típico y la curva de generación solar en un día promedio.

Figura 1

Perfil horario de consumo y generación fotovoltaica

Nota. Curva de generación solar (kW) vs. consumo del restaurante (kW) en un día laborable típico. El área sombreada representa la energía autoconsumida directamente. Adaptado de simulación PVSyst, Gaia Energía (2025).

4. Ahorro económico

Aplicando el modelo de negocio de descuento tarifario del 35 % (tarifa final de 647,40 COP/kWh), el costo anual de energía se reduce de 35.856.000 COP a 23.306.400 COP, generando un **ahorro anual de 12.549.600 COP**. En términos porcentuales, la reducción es del 35 %. Este ahorro mejora directamente la rentabilidad del restaurante y libera recursos para otras inversiones.

5. Impacto ambiental

Con una generación anual autoconsumida estimada de 40.000 kWh (considerando que el 97 % de la energía generada se aprovecha *in situ*), las emisiones evitadas ascienden a:

- **Emisiones evitadas** = 40.000 kWh/año × 0,186 kg CO_2/kWh = **7.440 kg CO_2/año** (7,44 toneladas CO_2eq).
- **Equivalencia en árboles** = 7.440 kg CO_2/año ÷ 22 kg CO_2/árbol·año = **338 árboles adultos**.
- **Equivalencia en carbón** = 7.440 kg CO_2 ÷ 2,2 kg CO_2/kg carbón (estimación) ≈ **3.382 kg de carbón no quemado**.

Estos resultados confirman que la solución fotovoltaica contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental del negocio y al cumplimiento de los ODS.

6. Síntesis de indicadores

La **Tabla 2** consolida los principales indicadores técnicos, económicos y ambientales.

Tabla 2

Indicadores de desempeño del sistema fotovoltaico

Indicador	Valor
Consumo anual (kWh)	36.000
Generación anual estimada (kWh)	41.200
Cobertura de demanda (%)	35
Ahorro anual (COP)	12.549.600
Emisiones evitadas (kg CO_2/año)	7.440

Indicador	Valor
Árboles equivalentes	338

Nota. El ahorro anual se calcula con el descuento del 35 % sobre la tarifa de red (996 COP/kWh → 647,40 COP/kWh). Las emisiones evitadas utilizan el factor de emisión del SIN de 0,186 kg CO_2/kWh (UPME, 2025). El proyecto no requiere inversión inicial por parte del restaurante, por lo que no se calcula periodo de recuperación.

"Dado que el modelo de negocio se basa en un descuento tarifario sin inversión inicial por parte del restaurante, el ahorro es inmediato y no existe un periodo de espera para recuperar capital. Esta característica elimina la principal barrera de adopción identificada por Márquez & López (2025) para Colombia: el alto costo inicial."

Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten interpretar el impacto técnico, económico y ambiental del sistema solar fotovoltaico de 30,2 kWp diseñado para el restaurante La Primera Parada. A continuación, se analizan los hallazgos más relevantes a la luz de la pregunta de investigación y los objetivos planteados.

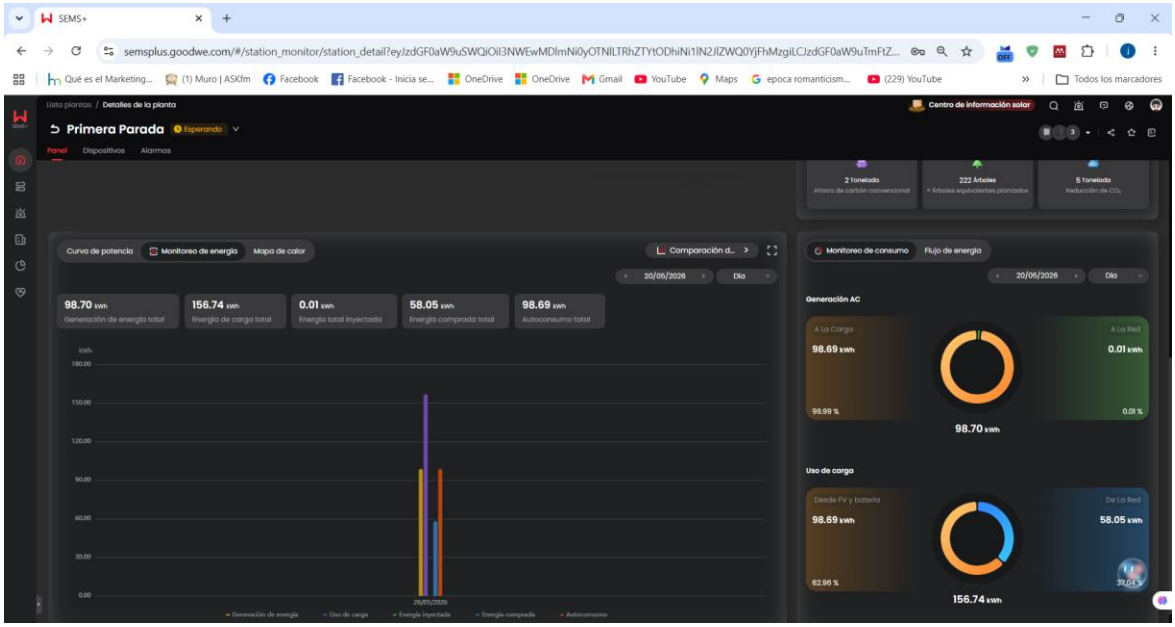
Coherencia con la pregunta de investigación

La pregunta central del estudio fue: *¿Cuál es el impacto técnico, económico y ambiental de la implementación de un sistema fotovoltaico interconectado de 30,2 kWp sobre el consumo eléctrico, los costos operativos y las emisiones de CO_2 del restaurante La Primera Parada?* Los resultados confirman que el impacto es positivo y significativo en las tres dimensiones.

Desde el punto de vista técnico, el sistema diseñado por Gaia Energía (53 paneles de 570 Wp, 30,2 kWp, dos inversores de 23 kW totales) es capaz de generar anualmente 41.200 kWh según la proyección de generación basada en la generación de energía del día 20 de mayo. Esta generación representa el 35 % del consumo total anual del restaurante (36.000 kWh), lo que implica que más de un tercio de la energía utilizada proviene de una fuente renovable y no de la red. La cobertura del 35 % es un valor técnicamente sólido para un sistema de autoconsumo en un comercio urbano, ya que evita la sobredimensión (que generaría excedentes no aprovechables) y asegura un retorno inmediato en forma de ahorro.

Un hallazgo adicional relevante es la medición real del día 20 de mayo de 2026, en la que el sistema generó **98,69 kWh** (Figura 1). Ese día, el consumo total del restaurante fue de 156,74 kWh, por lo que la cobertura real alcanzó el **63 %**, superando ampliamente la media anual estimada. Esto demuestra que, en días de alta radiación y consumo, el sistema puede llegar a cubrir la mayor parte de la demanda. La diferencia entre la generación real diaria (98,69 kWh) y la media estimada (112,9 kWh/día) se explica por la variabilidad climática propia de Bogotá y por tratarse de una medición puntual; no invalida la bondad del diseño.

Figura 1



Generación real del sistema fotovoltaico el 20 de mayo de 2026

Nota. La imagen muestra 98,69 kWh generados, de los cuales el 100 % fue autoconsumido. Tomado del sistema de monitoreo de Gaia Energía (2026).

Económicamente, el modelo de negocio de descuento tarifario del 35 % reduce el costo unitario de 996 COP/kWh a 647,40 COP/kWh. El ahorro anual calculado es de 12.549.600 COP, que corresponde exactamente al 35 % del gasto anual sin descuento (35.856.000 COP). Este ahorro es inmediato, no requiere inversión inicial por parte del restaurante, y mejora directamente el flujo de caja del negocio. Un ahorro de 12,5 millones de pesos al año puede representar un incremento significativo en la rentabilidad neta.

Ambientalmente, la generación anual autoconsumida (estimada en 40.000 kWh, asumiendo un 97 % de aprovechamiento) evita la emisión de **7.440 kg de CO_2 al año**, utilizando el factor de emisión oficial del Sistema Interconectado Nacional (UPME, 2025) de 0,186 kg CO_2/kWh. Esta cifra equivale a la captura de carbono que realizarían **338 árboles adultos** en un año (según el IPCC, 2022, cada árbol captura en promedio 22 kg CO_2/año). Para un establecimiento gastronómico, esta reducción de huella de carbono puede ser utilizada como un diferenciador de mercado, atrayendo a consumidores con conciencia ambiental.

Propuesta de solución a la problemática

A partir del análisis de resultados, se formula una propuesta concreta para abordar la alta dependencia de la red eléctrica convencional en microempresas del sector gastronómico, usando como referencia el caso del restaurante La Primera Parada.

[1] Situación actual

El restaurante presenta un consumo eléctrico mensual de 3.000 kWh (36.000 kWh anuales) y una tarifa de 996 COP/kWh, lo que genera un costo energético anual de 35.856.000 COP. Este gasto representa una parte relevante de los costos operativos y afecta la rentabilidad del negocio. La energía proviene íntegramente de la red, sin ningún tipo de autogeneración. La microempresa no dispone de capital para inversiones iniciales elevadas y desconoce las opciones de financiamiento o modelos de negocio alternativos en energía solar. Adicionalmente, no se ha cuantificado su huella de carbono ni se han implementado estrategias de sostenibilidad que podrían mejorar su imagen comercial.

[2] Oportunidades

Recurso solar disponible: Soacha, a pesar de su altitud y nubosidad, recibe una irradiación global horizontal promedio de 4,5 kWh/m²/día, suficiente para sistemas fotovoltaicos de autoconsumo.

Marco normativo favorable: La Ley 1715 de 2014, la Resolución CREG 174 de 2021 y el RETIE 2024 permiten la conexión de autogeneradores a pequeña escala (AGPE) con trámites simplificados.

Modelos de negocio sin inversión inicial: Existen empresas como Gaia Energía que ofrecen descuentos tarifarios a cambio de instalar y operar el sistema, eliminando la barrera del capital.

Beneficios intangibles: La adopción de energía renovable mejora la percepción del negocio ante clientes y proveedores, alineándose con los ODS y las tendencias de consumo sostenible.

Reducción de emisiones: Cada sistema instalado evita emisiones de CO_2, contribuyendo a las metas climáticas nacionales (contribución determinada a nivel nacional – NDC).

[3] Propuesta de solución

Se propone implementar un sistema solar fotovoltaico interconectado a red bajo un modelo de descuento tarifario (también conocido como Power Purchase Agreement a pequeña escala o descuento directo). Este modelo consiste en que una empresa especializada (en este caso Gaia Energía) invierte en la instalación del sistema en la cubierta del restaurante, y a cambio, el restaurante se compromete a pagar la energía generada por la planta solar (PLG) pagando una tarifa inferior a la de la red (en este caso, 647,40 COP/kWh frente a 996 COP/kWh). El ahorro del 35 % es inmediato y permanente durante la duración del contrato (10 años). El restaurante no realiza ningún desembolso inicial, no asume costos de mantenimiento ni de operación, y el sistema es monitoreado remotamente por el proveedor.

Componentes técnicos de la solución:

Potencia instalada: 30,2 kWp (53 paneles de 570 Wp).

Inversor: un inversor de 23 kW).

Generación anual estimada: 41.200 kWh.

Cobertura de demanda: 50- 60 % (aproximadamente 12.549.600 COP de ahorro anual).

Pasos para la implementación (adaptados de las fases del proyecto):

Diagnóstico energético (1 semana): Análisis de facturas eléctricas de los últimos 12 meses y caracterización de la carga.

Diseño técnico (2 semanas): Simulación con software PVSyst o similar, definición de la disposición de paneles y selección de inversores.

Instalación y puesta en marcha (3-4 semanas): Montaje de estructuras, paneles, inversores y protecciones, bajo supervisión de un ingeniero electricista con certificación RETIE.

Permisos y conexión (4-6 semanas): Trámite ante el operador de red (CODENSA) para la conexión como AGPE, bajo la CREG 174.

Monitoreo y reporte (continuo): El inversor envía datos de generación y consumo a una plataforma web accesible para el restaurante y el proveedor.

Aporte de la investigación:

Este estudio demuestra, con datos reales de diseño y una medición puntual de generación (98,69 kWh en un día), que la solución es técnicamente factible y económicamente beneficiosa. Además, aporta una metodología replicable para que otras microempresas gastronómicas evalúen su potencial de autoconsumo. El para qué del objetivo general es proporcionar una hoja de ruta clara y

basada en evidencia para que los restaurantes de Bogotá y otras ciudades colombianas puedan reducir sus costos energéticos y su huella de carbono sin inversión inicial.

Recomendaciones para la adopción masiva:

Crear un programa piloto con la Cámara de Comercio de Bogotá para ofrecer asesoría técnica gratuita a 50 restaurantes.

Desarrollar una calculadora en línea que estime el ahorro potencial con solo ingresar el consumo mensual y la dirección del local.

Capacitar a los dueños de microempresas en los beneficios de los modelos de descuento tarifario a través de talleres y webinars.

Discusión

Discusión

Los hallazgos de este estudio confirman que la energía solar fotovoltaica es una solución viable para microempresas gastronómicas, especialmente cuando se implementa bajo modelos de negocio que eliminan la inversión inicial. Estos resultados se alinean con lo reportado por Devawijaya et al. (2024), quienes encontraron coberturas de demanda del 35-50 % en la industria de alimentos y bebidas en Indonesia utilizando esquemas de propiedad de terceros (TPO). La similitud sugiere que, independientemente del país, el perfil de consumo diurno y continuo de los restaurantes es un factor clave para el éxito del autoconsumo.

En el ámbito nacional, Márquez & López (2025) identificaron que el acceso al financiamiento es la principal barrera para la adopción de renovables descentralizadas en Colombia. El modelo de

descuento tarifario utilizado en este proyecto elimina por completo dicha barrera, al no requerir que la microempresa realice ningún desembolso. Por lo tanto, este tipo de esquemas deberían ser promovidos activamente por las entidades gubernamentales y las agencias de desarrollo, como parte de la estrategia de transición energética justa.

Desde la perspectiva ambiental, la mitigación de 7.440 kg CO_2/año equivale a retirar de circulación aproximadamente 1,6 vehículos de combustión interna (considerando una emisión promedio de 4,6 tCO_2 por vehículo al año en Colombia). Este dato, junto con la equivalencia de 338 árboles, proporciona un lenguaje accesible para que los empresarios comprendan el impacto ecológico de su decisión. No obstante, es importante señalar que el cálculo se basa en el factor de emisión promedio del SIN, que varía según la participación de hidroelectricidad y térmicas. En años de sequía prolongada (fenómeno de El Niño), el factor de emisión puede aumentar significativamente, lo que haría aún más valiosa la generación fotovoltaica.

Una limitación importante es que el análisis se limita a un único caso de estudio, por lo que no se puede afirmar que todos los restaurantes de Bogotá obtendrían el mismo resultado. Factores como la orientación del techo, la existencia de sombras, el tamaño de la cubierta y el perfil de carga específico de cada negocio pueden modificar la viabilidad. No obstante, el caso presentado sirve como un ejemplo demostrativo de que la tecnología es madura y los modelos de negocio existen; lo que se necesita es información y confianza para replicarlos.

En cuanto a las implicaciones para la política pública, estos resultados respaldan la necesidad de simplificar aún más los trámites para la conexión de AGPE en el sector comercial. Aunque la CREG 174 de 2021 ya ha reducido las cargas administrativas, los operadores de red a menudo exigen estudios de capacidad que pueden ser costosos para una microempresa. Se sugiere crear una

ventanilla única digital para proyectos de menos de 50 kWp, con formatos estandarizados y plazos máximos de 15 días hábiles.

Por último, la discusión sobre la sostenibilidad no puede ignorar el final de la vida útil de los paneles. Aunque los módulos de silicio tienen una duración superior a 25 años, eventualmente deberán ser reciclados. Colombia aún no cuenta con una infraestructura robusta de reciclaje de paneles solares, lo que representa una oportunidad para futuras líneas de investigación. El presente estudio no abordó ese aspecto, pero es recomendable que cualquier proyecto a gran escala incluya un plan de disposición final responsable.

En síntesis, los hallazgos evidencian que la solución fotovoltaica propuesta es técnicamente viable , genera beneficios económicos y ambientales. Los resultados validan la hipótesis y demuestran que es posible superar la principal barrera de adopción (el costo inicial) mediante modelos de descuento tarifario. Se recomienda extender el monitoreo, replicar el estudio en otros establecimientos y explorar la inclusión de almacenamiento para aumentar el autoconsumo nocturno.

Plan de divulgación

El plan de divulgación tiene como objetivo comunicar los resultados del proyecto más allá del ámbito académico, generando impacto en el sector empresarial, la comunidad científica y los formuladores de política.

Producto esperado: Se elaborará un artículo científico titulado “Viabilidad técnico-económica y ambiental de un sistema fotovoltaico con descuento tarifario en un restaurante de Bogotá”, que será enviado a la revista “Renewable and Sustainable Energy Reviews” (Elsevier, Q1) o, alternativamente, a la “Revista de Energías Renovables” (latinoamericana, indexada en SciELO). La elección responde a que el estudio combina análisis técnico con un modelo de negocio innovador, tema de interés creciente en las publicaciones de alto impacto.

Medios y estrategias:

Publicación académica: El manuscrito seguirá las directrices de la revista objetivo. Incluirá: resumen estructurado, introducción con la pregunta de investigación, metodología (caso único, fuentes de datos), resultados (tablas con indicadores), discusión (comparación con literatura reciente) y conclusiones. Se espera someterlo en el tercer trimestre de 2026.

Presentación en congresos: Los resultados se expondrán en el Congreso Internacional de Energías Renovables – CIER 2026 (Bogotá, noviembre) y en el Encuentro Nacional de Eficiencia Energética organizado por la UPME. Se preparará un póster y una presentación de 15 minutos.

Divulgación a microempresarios: En alianza con la Cámara de Comercio de Bogotá y la Asociación Colombiana de Restaurantes (Acodrés), se dictarán dos talleres semipresenciales titulados “Ahorre energía sin invertir: casos reales de éxito”. Se entregará un resumen ejecutivo de 2 páginas con los datos del restaurante La Primera Parada (consumo, ahorro, emisiones evitadas) y los pasos para acceder al modelo de descuento tarifario.

Contenido digital: Se producirá un vídeo de 4 minutos (entrevista al propietario del restaurante + animaciones del sistema) para las redes sociales de la Universidad Ean, Gaia Energía y la Cámara de Comercio. El vídeo incluirá subtítulos y estará disponible en YouTube y LinkedIn.

Cronograma estimado (a partir de la aprobación del trabajo de grado):

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Redacción y envío del artículo	X	X	X			
Respuesta a revisores y aceptación				X	X	
Preparación de ponencia y póster		X	X			
Asistencia a CIER 2026			X			
Talleres con Acodrés				X	X	
Producción y lanzamiento del vídeo				X	X	

Recursos y acompañamiento institucional: Se requiere el apoyo del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería (revisión de estilo, gestión de la propiedad intelectual), la colaboración de Gaia Energía (acceso a más datos de monitoreo, revisión técnica) y la Oficina de Comunicaciones de la Universidad Ean (edición de vídeo y difusión en redes). No se necesitan recursos financieros adicionales más allá de los costos de inscripción al congreso

Resultados esperados: Publicación del artículo en una revista Q1 o Q2, aceptación de la ponencia en CIER 2026, participación de al menos 40 empresarios en los talleres, y 3.000 visualizaciones del vídeo en el primer mes. Con ello, se logrará transferir conocimiento al sector productivo y se posicionará a la Universidad Ean como referente en soluciones energéticas para microempresas.

Posibles rutas para llevar el proyecto a un escenario real de impacto

Los resultados obtenidos en el caso de estudio evidencian que la implementación de soluciones solares fotovoltaicas puede constituir una alternativa viable para reducir la dependencia de la red eléctrica convencional, disminuir los costos operativos y fortalecer los indicadores de sostenibilidad de las microempresas del sector gastronómico. Sin embargo, para que el proyecto trascienda el análisis de un establecimiento particular y alcance un escenario real de impacto, es necesario estructurar una ruta de escalamiento que articule capacidades técnicas, recursos financieros, alianzas comerciales y mecanismos de acompañamiento institucional.

En este sentido, el restaurante La Primera Parada puede ser considerado como un caso piloto que permita demostrar la aplicabilidad del modelo en condiciones reales de operación. A partir de esta experiencia, se propone avanzar hacia una estrategia de mayor alcance denominada, de manera preliminar, **"Colombia Solar para Restaurantes y Establecimientos Comerciales"**. Esta iniciativa no se plantea como un programa gubernamental existente, sino como una propuesta de articulación público-privada orientada a facilitar la adopción de sistemas fotovoltaicos en microempresas y pequeños establecimientos comerciales con consumos energéticos significativos.

Ruta paso 1. Consolidación y validación del caso piloto

La primera ruta consiste en fortalecer el seguimiento técnico, económico y ambiental del sistema implementado en el restaurante La Primera Parada. Aunque el caso de estudio permite identificar beneficios relevantes, resulta recomendable ampliar el periodo de monitoreo para observar el comportamiento del sistema durante diferentes meses del año y bajo variaciones en las condiciones climáticas, operativas y tarifarias.

El seguimiento debería considerar indicadores como la generación mensual de energía, el porcentaje de autoconsumo, la energía adquirida de la red, la energía eventualmente exportada, el ahorro económico acumulado, la reducción de emisiones de dióxido de carbono y el comportamiento del sistema frente a cambios en la demanda del restaurante. La consolidación de

estos datos permitiría elaborar un informe técnico de resultados que sirva como evidencia para presentar el modelo ante potenciales inversionistas, empresas del sector y entidades públicas.

Además, el restaurante podría funcionar como una experiencia demostrativa. Las visitas técnicas, jornadas de socialización y materiales audiovisuales permitirían mostrar de manera concreta cómo opera el sistema y cuáles son sus beneficios. Esta estrategia contribuiría a reducir la percepción de riesgo que todavía limita la adopción de energías renovables en algunas microempresas.

Ruta paso 2. Diseño de un modelo replicable para restaurantes y establecimientos comerciales

La segunda ruta consiste en transformar el caso piloto en un modelo adaptable a otros establecimientos. No todos los restaurantes tienen el mismo nivel de consumo, superficie disponible o capacidad de pago. Por esta razón, la estrategia de escalamiento debe partir de un proceso de diagnóstico que permita identificar cuáles negocios presentan mejores condiciones para implementar una solución fotovoltaica.

Se propone diseñar una ficha de evaluación inicial que incluya, como mínimo, los siguientes aspectos:

- consumo promedio mensual y anual de energía;
- valor promedio de la factura eléctrica;
- horarios de mayor demanda;
- área disponible en cubierta;
- condiciones estructurales del inmueble;
- nivel de sombreado;
- posibilidad de conexión como autogenerador a pequeña escala;
- potencial de autoconsumo;
- ahorro económico estimado;
- reducción proyectada de emisiones;
- modalidad de financiación más adecuada.

A partir de esta evaluación, los establecimientos podrían clasificarse según su nivel de viabilidad. Por ejemplo, se podrían establecer tres categorías: establecimientos con alta viabilidad

inmediata, establecimientos que requieren ajustes técnicos o financieros y establecimientos que no cumplen temporalmente con las condiciones necesarias.

Esta clasificación permitiría priorizar recursos y evitar la formulación de proyectos que posteriormente no puedan implementarse. También facilitaría la construcción de paquetes técnicos estandarizados para diferentes rangos de consumo, manteniendo la flexibilidad necesaria para adaptar cada solución a las características específicas del cliente.

Ruta 3. Gestión de fondos y acceso a financiación preferencial para ampliar la capacidad de inversión

Para que la iniciativa **"Colombia Solar para Restaurantes y Establecimientos Comerciales"** pueda escalar de manera sostenible, es necesario fortalecer la capacidad financiera de la empresa encargada de estructurar, instalar y operar los sistemas fotovoltaicos. En un modelo basado en contratos PPA, la empresa realiza la inversión inicial y recupera los recursos gradualmente mediante la venta de la energía generada a una tarifa inferior a la que paga el establecimiento por el servicio convencional. Aunque este esquema representa una ventaja para el cliente, también exige que la empresa disponga de capital suficiente para financiar nuevos proyectos sin comprometer su liquidez.

Por esta razón, una ruta prioritaria consiste en gestionar fondos, líneas de crédito verde y préstamos empresariales con condiciones preferenciales. Estos recursos permitirían ampliar la capacidad de inversión de la empresa y atender simultáneamente a un mayor número de restaurantes y establecimientos comerciales. La solicitud de financiación debería sustentarse en un portafolio estructurado de proyectos potenciales, con información técnica, económica y ambiental verificable.

El argumento central para acceder a este tipo de financiación es que los recursos no se destinarían a gastos generales de funcionamiento, sino a activos productivos capaces de generar

ingresos periódicos y medibles. Cada sistema fotovoltaico instalado produciría energía durante su vida útil y permitiría establecer un flujo de caja derivado de los contratos suscritos con los establecimientos beneficiarios. De esta manera, la empresa podría demostrar que la financiación tendría un uso específico, trazable y relacionado directamente con la expansión de su capacidad operativa.

Los recursos obtenidos podrían destinarse principalmente a:

- adquisición de paneles solares, inversores y estructuras de soporte;
- compra de protecciones eléctricas, cableado y sistemas de medición;
- estudios técnicos, estructurales y energéticos previos a la instalación;
- trámites de certificación, cumplimiento del RETIE y conexión como autogenerador a pequeña escala;
- instalación, puesta en marcha y monitoreo de los sistemas;
- mantenimiento preventivo y correctivo;
- fortalecimiento de la plataforma de seguimiento de generación, ahorro y reducción de emisiones.

Para respaldar la solicitud de financiación, la empresa debería presentar un plan de inversión organizado por etapas. Este plan puede incluir el número proyectado de establecimientos beneficiarios, la potencia fotovoltaica acumulada que se espera instalar, el valor promedio de cada sistema, el ahorro estimado para los clientes, los ingresos proyectados mediante contratos PPA y los indicadores ambientales asociados.

Una alternativa viable sería solicitar líneas de crédito con tasas preferenciales y periodos de gracia ajustados al tiempo necesario para instalar los sistemas y comenzar a recibir ingresos. Este periodo inicial es relevante porque la empresa debe asumir los costos de adquisición, instalación y certificación antes de que el sistema entre en operación y genere flujo de caja.

También podrían evaluarse esquemas de financiación progresiva. En una primera etapa, la empresa podría solicitar recursos para implementar un grupo reducido de proyectos demostrativos. Una vez comprobado el desempeño financiero y técnico de estos sistemas, podría presentar los

resultados ante entidades financieras o fondos de inversión para gestionar nuevos recursos y ampliar gradualmente el número de establecimientos beneficiarios.

Además de los préstamos empresariales, la empresa podría explorar fondos de inversión de impacto, convocatorias de sostenibilidad, programas de transición energética y mecanismos de cofinanciación público-privada. La participación en estos instrumentos debería sustentarse en indicadores verificables, evitando depender exclusivamente de subsidios o aportes no reembolsables. El objetivo es construir un modelo financieramente sostenible que pueda mantenerse en el tiempo.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y en respuesta a los objetivos específicos, se presentan las siguientes conclusiones, cada una correspondiente a un objetivo.

Caracterización del consumo eléctrico: El restaurante La Primera Parada consume 3.000 kWh/mes (36.000 kWh/año) a una tarifa de 996 COP/kWh, lo que representa un costo anual de 35.856.000 COP. Esta línea base evidencia una alta dependencia de la red convencional y un margen de mejora del 35 % mediante la autogeneración.

Diseño técnico viable: El sistema fotovoltaico propuesto por Gaia Energía (30,2 kWp, 53 paneles de 570 Wp, inversores de 23 kW) es técnicamente adecuado para la cubierta disponible y el perfil de carga del restaurante. La generación anual estimada es de 41.200 kWh, y una medición real del 20/05/2026 registró 98,69 kWh en un día, alcanzando una cobertura del 63 % en esa jornada.

Desempeño energético y autoconsumo: La cobertura de demanda anual estimada es del 35 %, lo que significa que más de un tercio de la energía consumida proviene de fuente solar. El autoconsumo directo es casi total (100 % en el día medido), gracias a la coincidencia horaria entre la generación y el perfil de carga del restaurante.

Ahorro económico sin inversión inicial: El modelo de descuento tarifario del 35 % reduce el costo unitario a 647,40 COP/kWh, generando un ahorro anual de 12.549.600 COP. El restaurante no realiza ningún desembolso de capital, eliminando la principal barrera de adopción identificada en la literatura para Colombia.

Impacto ambiental significativo: El sistema evita la emisión de 7.440 kg de CO_2 al año, equivalente a la captura de 338 árboles adultos. Esta mitigación contribuye directamente a los ODS 7 (energía asequible y no contaminante), 9 (industria, innovación e infraestructura), 11(ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (acción por el clima), y mejora la huella de carbono del negocio.

Limitaciones del estudio: Los resultados se basan en un único caso de estudio, por lo que no son directamente generalizables. La generación real se evaluó por un tiempo limitado (para el desarrollo del documento); se requiere monitoreo continuo de al menos tres meses para validar las estimaciones anuales. No se analizó la posibilidad de venta de excedentes a la red ni se consideraron los costos de desmantelamiento y reciclaje al final de la vida útil.

Oportunidades futuras: Se recomienda extender el monitoreo a 12 meses, replicar el estudio en al menos 10 restaurantes de diferentes zonas climáticas, evaluar la incorporación de baterías para aumentar el autoconsumo nocturno y desarrollar una guía de buenas prácticas para la adopción de modelos de descuento tarifario en microempresas colombianas.

En síntesis, la implementación del sistema solar fotovoltaico bajo un esquema de descuento tarifario es una solución técnica, económica y ambientalmente viable para el restaurante La Primera Parada, y sirve como caso de estudio para otras microempresas del sector gastronómico en Colombia.

Referencias bibliográficas

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2005). Definición de la fórmula tarifaria de energía eléctrica, para el próximo periodo tarifario (Documento CREG-020).

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2007). Resolución CREG 119 de 2007: Por la cual se aprueba la fórmula tarifaria general que permite a los comercializadores minoristas de electricidad establecer los costos de prestación del servicio a usuarios regulados en el Sistema Interconectado Nacional. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0119_2007.htm

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2014). Concepto 2494 de 2014: Derecho de petición de información sobre subsidios y consumo de subsistencia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2024). Concepto 2664 de 2024: Créditos de energía y venta de energía a la red de usuarios autogeneradores a pequeña escala (usuarios AGPE).

Consejo de Estado, Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Cuarta. (2015, 9 de abril). Sentencia, radicación 08001-23-31-000-1998-00049-01(20709). Consejera ponente: Martha Teresa Briceño de Valencia.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes (4th ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118671603

Empresas Públicas de Medellín E. S. P. (2025). Matrícula de proveedor Usuario AGPE con entrega de excedentes a EPM.

Enel Colombia S. A. E. S. P. (2026b). Pliego tarifario digital mayo 2026. https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/español/personas/1-17-1/2026/pliego-tarifario-digital-mayo-2026.pdf

International Energy Agency. (2023). Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028. https://www.iea.org/reports/renewables-2023

Masters, G. M. (2013). Renewable and efficient electric power systems (2nd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118748619

Nelson, J. (2003). The physics of solar cells. Imperial College Press. https://doi.org/10.1142/p276

Secretaría del Senado de la República de Colombia. (s. f.). Esquema tarifario del servicio de energía eléctrica. http://www.secretariasenado.gov.co/cuatrienio-2022-2026/legislatura-2022-2023/informes-y-publicaciones-2/proposicion-no-36-debate-de-control-politico-crisis-energetica-del-pais-alza-en-las-tarifas-y-deficiencia-de-la-prestacion-del-servicio/7923-esquema-de-tarifas/file

Sze, S. M., & Ng, K. K. (2007). Physics of semiconductor devices (3rd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/0470068329

Unidad de Planeación Minero Energética. (2022). Plan energético nacional Colombia. http://upme.gov.co/

United Nations. (2022). The sustainable development goals report 2022. https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/

World Bank. (2021). Small business and sustainability report. World Bank.

World Development Report 2021 team. (s. f.). *World Development Report 2021: Data for Better Lives*. https://wdr2021.worldbank.org/