

**Impacto energético, económico y ambiental de la instalación de paneles solares
en Cartones América, Mosquera-Colombia**

Elaborado por:

Cristian Stiven Abril Duarte

Diana Alejandra Berdún

Cristian Julián León Espitia

María Camila Vásquez Parra

Presentado a:

Yesid Fernando Patiño Naranjo

Universidad EAN

Especialización en Gerencia de Proyectos

Seminario de Investigación

Bogotá

17/11/2024

Tabla de contenido

Resumen.....	3
Problema de Investigación	4
Objetivos	7
Justificación.....	8
Marco Teórico	10
Marco institucional.....	23
Metodología	26
Definición de Variables.....	26
Población y Muestra.....	28
Selección de métodos o instrumentos para recolección de información	29
Técnicas de análisis de datos.....	30
Análisis y Discusión de los Resultados.....	34
Conclusiones.....	55
Lista de referencias	57

Resumen

La empresa Cartones América, ubicada en Mosquera, Colombia, enfrenta un problema a raíz de los altos costos que tiene que asumir por el uso de la energía eléctrica, lo cual afecta tanto su rentabilidad como su impacto ambiental. Este problema tiene origen en la actual infraestructura energética que es poco eficiente, la dependencia a fuentes de energía no renovables y la falta de inversión en nuevas tecnologías. Las consecuencias incluyen un aumento en los costos operativos, reducción en los márgenes de ganancia e incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero. Para abordar este problema, se propone adoptar fuentes de energía renovable, como son los paneles solares y así mismo, evaluar el impacto que tendría la implementación de estos en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos y mejoramiento de la huella de carbono.

De acuerdo con el propósito de esta investigación se llevarán a cabo una serie de métodos e instrumentos, que van orientados hacia el análisis de datos; estos datos en primera instancia estarán relacionados con la situación actual energética de la empresa y, por otra parte, con datos históricos que muestran casos de éxito referentes a la instalación de paneles solares. De esta manera, se podrán analizar diversos aspectos con el fin de inferir el impacto tendría la implementación de un sistema de paneles solares en las operaciones de Cartones América.

Palabras clave: energía eléctrica, impacto ambiental, medio ambiente, rentabilidad, sostenibilidad.

Problema de Investigación

Cartones América en los últimos años ha experimentado un aumento significativo en los costos derivados del uso de energía eléctrica. Este incremento ha tenido un impacto negativo, tanto en la organización como en el medio ambiente, teniendo en cuenta que se ve afectada la rentabilidad de la empresa al pagar altas tarifas por el uso de este servicio público y, por otra parte, se limita su capacidad de invertir en otras áreas críticas del negocio al tener que provisionar recursos para cubrir este gasto. En cuanto al impacto ambiental, al consumir energía proveniente de fuentes no renovables, se contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, generando un problema para el cambio climático y afectando considerablemente al medio ambiente (Ecozap, 2023).

Los costos de energía eléctrica de la empresa Cartones América representan un valor bastante alto, que supera la cifra de \$140.000.000 mensuales de acuerdo con los últimos recibos de energía emitidos por la empresa ISAGEN estos costos están relacionados de la siguiente manera: En primer lugar, debido al uso diario de la maquinaria de la empresa, la cual no está diseñada para ser energéticamente sostenible lo que repercute en un consumo excesivo de electricidad (Fernández Gómez, 2024). Por otra parte, la iluminación de la empresa para la cual existe la necesidad de usar un gran número de bombillas y de esta manera aumenta el consumo energético.

Los horarios de operación durante jornadas en las cuales se puede presentar un mayor consumo de energía traen consigo un aumento en los costos, las altas tarifas en las facturas mensuales incrementan los costos operativos. El incremento de la producción en la planta

durante los últimos años requiere de un mayor consumo de este servicio. Además, la empresa depende en gran medida de fuentes de energía no renovables, cuyos precios tienden a aumentar con el tiempo (Grant Thornton, 2024) y la falta de inversión en tecnologías de eficiencia energética contribuyen a este problema.

Las consecuencias de esta situación tienen repercusiones en la operación de la empresa, aumentando considerablemente los costos operativos, reduciendo los márgenes de ganancia y afectando la rentabilidad en general. Por otra parte, se fomenta un incremento en las emisiones de efecto invernadero, lo que afecta al medio ambiente y a su vez afecta la imagen de la empresa.

Si no se toman medidas al respecto, la organización continuará pagando una gran suma de dinero que disminuirá la rentabilidad, lo que puede generar algunos impactos operativos. Adicionalmente, la huella de carbono no disminuirá, contribuyendo así al impacto negativo en el cambio climático y probablemente trayendo afectaciones sobre el goodwill de la organización, lo que también puede representar un bajo índice de competitividad con respecto a otras empresas del sector que estén adoptando prácticas sostenibles y eficientes.

Teniendo en cuenta esto, es necesario que la empresa Cartones América tenga una solución sostenible que permita reducir los costos de energía y al mismo tiempo, contribuir al cuidado del medio ambiente; por lo que la implementación de un sistema de paneles solares puede llegar a ser una alternativa viable para la problemática, ofreciendo una fuente de energía renovable y más económica a largo plazo que también mejorará el goodwill de la empresa.

En este contexto, surge la pregunta central de este proyecto de investigación: ¿Qué impacto tendría la implementación de un sistema de paneles solares en las operaciones de Cartones América en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos y mejora de su huella de carbono?

Objetivos

General

Evaluar el impacto de la implementación de un sistema de paneles solares en las operaciones de Cartones América en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos y mejora de su huella de carbono.

Específicos

- Identificar el consumo energético actual de la empresa para determinar el porcentaje de energía que podría ser sustituido por el sistema de paneles solares.
- Determinar la reducción potencial de costos operativos mediante la implementación del sistema de paneles solares, evaluando el ahorro en consumo de energía no renovable y comparándolo con los costos de instalación y mantenimiento del sistema solar.
- Cuantificar la reducción de la huella de carbono como resultado de la transición parcial o total hacia energía solar.

Justificación

La evaluación del impacto de la instalación de un sistema de paneles solares en Cartones América es altamente relevante y oportuna, especialmente en el contexto del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7: "Energía asequible y no contaminante". Este objetivo global busca garantizar el acceso a una energía moderna, fiable y sostenible, alineando la infraestructura energética con las necesidades actuales de sostenibilidad ambiental y económica.

La realización de este estudio es conveniente para Cartones América debido a los múltiples beneficios potenciales de esta tecnología; la transición hacia energía solar promete una significativa reducción en los costos operativos y una mejora en la eficiencia energética, fortaleciendo la competitividad de la empresa en un mercado cada vez más enfocado en prácticas sostenibles. El estudio se presenta como una herramienta esencial para la alta dirección de Cartones América, proporcionando datos cruciales para evaluar la viabilidad de la inversión en energías renovables y tomar decisiones estratégicas informadas.

En términos de relevancia social, el proyecto aborda una problemática crítica: la necesidad global de reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables. Al explorar la adopción de paneles solares, el estudio no solo apoya la reducción de emisiones de carbono, sino que también contribuye a la lucha contra el cambio climático. La implementación de esta tecnología en Cartones América puede servir de modelo para otras industrias en la región, promoviendo una mayor adopción de prácticas sostenibles.

Las implicaciones prácticas de la investigación son significativas, ya que los resultados del estudio ofrecerán una evaluación detallada del impacto energético, económico y ambiental de la adopción de paneles solares. Estos hallazgos podrán ser utilizados directamente por la empresa para decidir si adoptar esta tecnología, alineándose con las tendencias globales y las expectativas del mercado sobre sostenibilidad.

Desde el valor teórico, la investigación enriquecerá el conocimiento sobre la integración de tecnologías de energía renovable en contextos industriales. Al analizar cómo un sistema de paneles solares podría ser implementado en la infraestructura existente de Cartones América, el estudio contribuirá a la literatura sobre sostenibilidad y energías limpias, ofreciendo un marco teórico aplicable a futuros estudios en este campo.

Metodológicamente, el proyecto es valioso porque emplea un enfoque cuantitativo que combina análisis económico y ambiental. Esta metodología no solo proporcionará un modelo útil para la empresa en cuestión, sino que también ofrecerá una herramienta analítica que puede ser replicada y adaptada en investigaciones similares, beneficiando tanto a la academia como a la industria en general.

En conjunto, la investigación no solo es pertinente para la toma de decisiones en Cartones América, sino que también representa un aporte significativo al avance académico y profesional en el campo de la sostenibilidad industrial, es por esto por lo que se soporta en el campo “Tecnología e innovación”, grupo “INDEVOS” y línea de investigación “EREE Energías Renovables y Eficiencia Energética”.

Marco Teórico

1. Energía Eléctrica

De acuerdo con la ley de la conservación de la energía enunciada por el físico Joule, la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma (Munilla Gimenez, 2023). Esto significa que la cantidad total de energía en un sistema permanece constante; es decir, la energía que entra en un sistema debe ser igual a la energía que sale, salvo las pérdidas que puedan ocurrir por fricción o calor. En particular, la energía eléctrica tiene la capacidad de transformarse en otros tipos de energía, como la luminosa, mecánica o térmica, según la aplicación específica. Esta versatilidad convierte a la energía eléctrica en un recurso fundamental en una amplia gama de tecnologías y procesos industriales.

Según (Helmenstine, 2021) la energía eléctrica se genera a partir del movimiento de cargas eléctricas dentro de materiales conductores. Un ejemplo claro de este proceso se observa en las células solares, las cuales transforman la luz solar en energía eléctrica, demostrando así la aplicación práctica del principio de conservación de la energía en la generación de energía renovable.

2. Generación Eléctrica en Colombia

La generación eléctrica en Colombia ha estado marcada por múltiples desafíos, especialmente en el contexto del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) informó que la demanda promedio mensual de energía eléctrica durante el año 2024 creció un 7,8% en comparación con 2023 (UPME, 2024). Este aumento en la demanda, combinado con fenómenos climáticos adversos como El Niño, que ha

alcanzado su madurez con anomalías de temperatura en el océano Pacífico, ha puesto de relieve la urgencia de preparar el país para enfrentar estos retos (Minienergía, 2024).

Desde finales del siglo pasado, Colombia ha comenzado a alinearse con la tendencia global que exige la evolución de sus sistemas de generación, transmisión y gestión de la energía. El país es reconocido por su gran potencial en la producción de energías renovables, especialmente la energía solar, que ha cobrado una relevancia significativa debido a las condiciones naturales favorables de Colombia (Muñoz & Calvache, 2019). Según la UPME, la capacidad instalada de energía solar ha alcanzado los 1.193 MW, un aumento significativo que refleja la prioridad que Colombia le da al desarrollo de energías renovables para diversificar su matriz energética y enfrentar los desafíos climáticos actuales (Ini, 2024).

3. Energía Renovable y Sostenible

La energía renovable se refiere a aquella energía que se obtiene de fuentes naturales inagotables, como el sol, el viento, el agua y la biomasa. Estas energías juegan un papel importante en la disminución de las emisiones de carbono, lo cual tiene un impacto positivo en el medio ambiente (Jin & Kim, 2018). En particular, la energía renovable no solo es sostenible, sino que también está alineada con las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que buscan un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente (Dossou et al., 2023).

4. Energía Solar

La energía solar es una de las formas más prometedoras de energía renovable. Se refiere a la fracción de la energía emitida por el sol que llega a la superficie terrestre y que puede ser aprovechada para diversas aplicaciones útiles, como la excitación de electrones en células fotovoltaicas y el suministro de energía para procesos naturales como la fotosíntesis. Esta fuente de energía es gratuita, limpia y abundante en la mayoría de las regiones durante todo el año, lo que la hace especialmente relevante en tiempos de altos costos de combustibles fósiles y la degradación atmosférica provocada por su uso (Ang et al., 2022).

5. Sostenibilidad Ambiental

La sostenibilidad ambiental implica la capacidad de mantener la calidad del medio ambiente a través de la conservación de los recursos naturales y el mantenimiento del equilibrio ecológico. Esto implica asegurar que el consumo de recursos no llegue a su agotamiento, permitiendo así que estos recursos estén disponibles para las generaciones futuras (Dossou et al., 2023).

En este contexto, la transición hacia fuentes de energía renovable como la solar, es crucial para reducir la huella de carbono y promover un desarrollo económico sostenible. En Colombia, esta transición ha sido impulsada por políticas gubernamentales y compromisos internacionales como el Acuerdo de París (Ministerio de Ambiente, 2022).

6. Industria del cartón y su impacto ambiental

El cartón es reconocido como un material de embalaje sostenible debido a su notable capacidad de reciclaje, su biodegradabilidad y su origen en fuentes renovables. Sin embargo, la industria del cartón es un importante consumidor de energía, lo que impacta considerablemente en sus costos operativos y en su huella de carbono. Las fluctuaciones en los precios de la energía, junto con la dependencia de fuentes no renovables, han generado una necesidad urgente de explorar alternativas energéticas que puedan mejorar la competitividad de las empresas en este sector (ANDI, 2022).

7. Consumo Energético en la Industria del cartón

El consumo energético en la industria del cartón no solo afecta los costos operativos, sino que también tiene un impacto considerable en el medio ambiente. De acuerdo con (Victoria et al., 2021) la implementación de fuentes de energía renovable, como los sistemas de paneles solares, presentan una oportunidad para reducir tanto los costos como las emisiones de CO₂, alineando así las operaciones industriales con las exigencias de sostenibilidad global.

8. Implementación de Sistemas de Energía Solar

8.1 Sistema solar

Un panel solar puede generar electricidad incluso en ausencia de luz solar directa (Pérez, 2024), sin embargo, las condiciones óptimas de operación implican la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el sol con el fin de aprovechar al máximo la luz solar directa todo el año, en el hemisferio norte, el panel deberá orientarse hacia el sur y en el hemisferio sur, hacia el norte. En nuestra posición, sobre la línea del Ecuador, los paneles

deberán ser colocados en ángulo con el plano horizontal (Autosolar, 2024) y ligeramente inclinado para permitir que la lluvia limpie el polvo.

Los paneles solares están compuestos por múltiples celdas solares. Es importante distinguir entre una celda y un panel solar, ya que a menudo se usan de manera intercambiable, pero no son lo mismo. Una celda solar es el componente básico encargado de convertir la radiación solar en energía eléctrica. Sin embargo, una sola celda tiene una capacidad limitada para generar energía, por lo que se agrupan en arreglos, formando lo que conocemos como un panel solar. La capacidad y potencia de un panel dependen directamente del número de celdas solares que contenga (Allouhi et al., 2022).

8.2 Tecnología de Paneles Solares

La evolución tecnológica en el ámbito de los paneles solares ha llevado al desarrollo de tres generaciones distintas de tecnologías fotovoltaicas, cada una con sus características particulares:

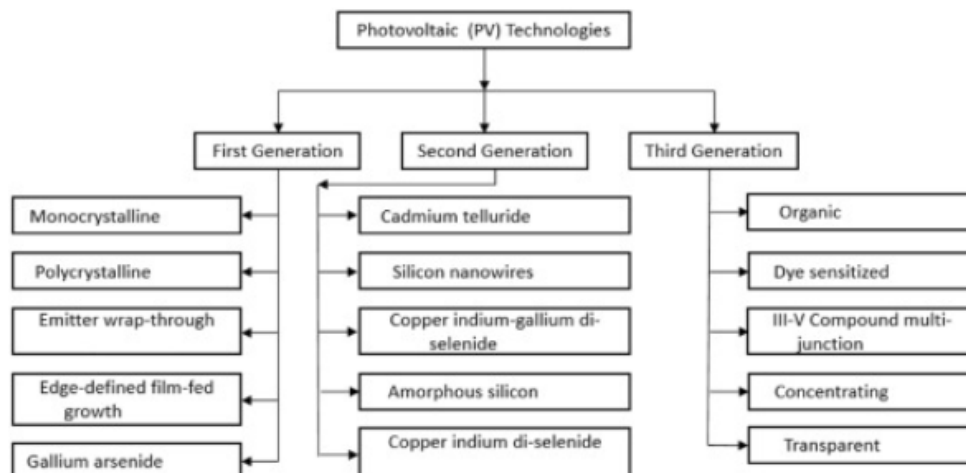
Primera Generación: Basada en células solares de silicio cristalino, que son las más comunes y ampliamente utilizadas en la actualidad. Estas células tienen una eficiencia promedio en torno al 15-20%, aunque algunos diseños avanzados pueden superar el 22%.

Segunda Generación: Incluye las células solares de película delgada, como las de telururo de cadmio (CdTe) y seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS). Estas tecnologías suelen tener eficiencias más bajas que las de la primera generación, pero son más baratas de producir y pueden ser aplicadas en superficies flexibles.

Tercera Generación: Abarca tecnologías emergentes como las células solares de silicio amorfo, polímeros orgánicos, cristales de perovskita. Estas tecnologías buscan superar las limitaciones de eficiencia de las generaciones anteriores, aunque muchas están aún en fase de investigación y desarrollo.

De acuerdo con (Allouhi et al., 2022) las tecnologías fotovoltaicas actuales, pertenecientes a la tercera generación, tienen una eficiencia de conversión por debajo del 23% (ver Figura 2), lo que resalta la importancia de implementar mejoras adicionales para asegurar una mayor competitividad en el sector. Las tres generaciones de tecnologías fotovoltaicas incluyen (ver Figura 1):

Figura 1. Tecnologías Fotovoltaicas. Tomada de (Allouhi et al., 2022)



La eficiencia de los paneles solares está influenciada por diversos factores, especialmente los meteorológicos como la radiación solar, la temperatura ambiente, las tormentas de polvo y la velocidad del viento, son cruciales para el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. En regiones desérticas, donde el clima soleado favorece una alta producción de energía solar, la acumulación de polvo puede afectar negativamente el rendimiento.

Además de los factores meteorológicos, otro parámetro crucial que influye en el rendimiento de los sistemas solares fotovoltaicos es la temperatura de las células (Allouhi et al., 2022 y (Fernández Gómez, 2024)). Un aumento en la temperatura de las células tiende a disminuir la potencia de salida de los paneles, afectando negativamente el voltaje de circuito abierto y, en consecuencia, reduciendo la eficiencia en condiciones de altas temperaturas.

En la Figura 2 se observa los tipos de paneles solares con su respectiva eficiencia (Module Efficiency %).

Figura 2. Tomado de (JA SOLAR, s. f.)

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72D40 -575/LB	JAM72D40 -580/LB	JAM72D40 -585/LB	JAM72D40 -590/LB	JAM72D40 -595/LB	JAM72D40 -600/LB
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	575	580	585	590	595	600
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	51.40	51.60	51.80	52.00	52.20	52.40
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	42.88	43.06	43.24	43.41	43.59	43.76
Short Circuit Current(Isc) [A]	14.16	14.23	14.29	14.35	14.42	14.48
Maximum Power Current(Imp) [A]	13.41	13.47	13.53	13.59	13.65	13.71
Module Efficiency [%]	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7
Power Tolerance				0~+5W		
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})				+0.046%/°C		
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})				-0.260%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})				-0.300%/°C		
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

9. Impacto Energético de los Sistemas Solares

La implementación de sistemas solares en industrias como la de cartón puede llevar a una reducción significativa en el consumo de energía no renovable. Se han realizado importantes esfuerzos para mejorar la eficiencia de los sistemas actuales de conversión de energía, lo que ha resultado en tecnologías más eficientes y en una mayor confianza en fuentes de energía renovables como la solar fotovoltaica (Rabaia et al., 2021). Los avances

tecnológicos han permitido que los sistemas solares fotovoltaicos desempeñen un papel clave en la reducción de emisiones de carbono. No obstante, el IDEAM informa que Colombia genera 237 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) anualmente, lo que representa el 0,47 % de las emisiones mundiales. En respuesta, el gobierno se enfoca en fortalecer la integración entre las actividades productivas, la sostenibilidad, la conservación y la mitigación del cambio climático. (Molano Rodríguez, 2022).

10. Incentivos Gubernamentales y Beneficios Fiscales

Ley 1715 del 13 de mayo de 2014

Que impulsa el avance de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable. “mediante la cual se establece la regulación para la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional” (El congreso de Colombia, Mayo 13), cuyo objetivo principal es fomentar el desarrollo y el uso de las FNCE, especialmente aquellas que emplean fuentes renovables como medio de generación dentro del sistema energético nacional.

En la Figura 3 se observan los cuatro (4) incentivos o beneficios para los interesados en realizar inversiones en proyectos con fuentes no convencionales de energía y gestión eficiente de la energía.

Figura 3. Beneficios tributarios Ley 1715. Fuente Elaboración propia



CREG 174 DE 2021

La resolución, que regula las actividades de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), tiene como propósito establecer las normas operativas y comerciales necesarias para facilitar la integración de estos tipos de generación al SIN. Esta normativa introduce nuevas reglas que simplifican la producción y venta de energía por parte de los usuarios, abarcando tanto a los autogeneradores a pequeña escala (AGPE) y generadores distribuidos (GD), como a los generadores a gran escala (AGGE) con capacidades inferiores a 5 MW (Ministerio de minas y energía, 2021).

Figura 4. Resumen del proceso que define la resolución CREG 174 para un AGPE o GD que quiera conectarse a la red eléctrica del operador de red local. Fuente Elaboración propia



En el marco regulatorio para la interconexión de generadores distribuidos (GD) y autogeneradores a pequeña escala (AGPE) en Colombia, se establecen límites específicos que deben ser respetados por aquellos interesados en conectarse a la red en el nivel de tensión 1, conforme a la Resolución CREG 174 de 2021 y la Resolución del Ministerio de Minas y Energía emitida en el mismo año. Estos límites, descritos en el artículo 5 de la resolución, tienen como objetivo garantizar la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico.

En primer lugar, se determina que la potencia total instalada de los GD o AGPE que inyectan energía a la red no debe exceder el 50% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación correspondiente al punto de conexión solicitado. Esta capacidad nominal se define en función de la capacidad del transformador que sostiene dicha conexión.

En segundo lugar, para los sistemas de generación de energía que no sean fotovoltaicos y que carezcan de almacenamiento, se establece que la energía entregada a la red en una hora no debe superar el 50% del promedio anual de las horas de menor demanda diaria de energía, registrado durante el año anterior a la solicitud de conexión. Este límite se aplica a los sistemas conectados al mismo circuito o transformador en el nivel de tensión 1.

Por otro lado, en el caso de los sistemas fotovoltaicos sin capacidad de almacenamiento conectados al mismo circuito o transformador en el nivel de tensión 1, la energía entregada no debe exceder el 50% del promedio anual de las horas de menor demanda diaria durante el intervalo de 6 a.m. a 6 p.m.

Finalmente, es relevante mencionar que, cuando el transformador es un activo de conexión de un usuario y está conectado al nivel de tensión 2, los requisitos especificados en el artículo 5 de la Resolución CREG 030 de 2021 no son aplicables.

11. Casos de estudio en Colombia

En Colombia se han desarrollado gran cantidad de proyectos de energía solar. A continuación, se nombran algunos de los proyectos instalados en el país.

La granja solar realizada por la empresa colombiana **CELSIA**, ubicada en Yumbo, tiene una capacidad instalada de 9,8 MW y generará cerca de 16,5 GWh año de energía que equivale al consumo de 8 mil hogares y evitará la emisión 160 mil toneladas de CO₂ durante 25 años. Para su construcción fueron instalados 35.000 módulos fotovoltaicos y 9 inversores que transforman la energía continua en energía (Celsia, s. f.).

Figura 5. Granja Solar Celsia. Fuente Página web Celsia



Otro proyecto importante de mencionar es el desarrollado en la ciudad de Neiva, Huila, en la empresa colombiana **Electrificadora del Huila** (Electro Huila S. A E.S.P), en el cual se instalaron dos sistemas solares uno de 23,76kWp sobre la cubierta del edificio centro de control y el otro de capacidad de 67,32kWp sobre la cubierta del edificio promisión, para un total de 91,08kWp de potencia instalada en su sede administrativa (Molina Sánchez, 2017).

Figura 6. Instalación Solar Electrohuila S. A E.S.P. Fuente PV magazine



La instalación de 1.546 módulos solares en **La Universidad Autónoma de Occidente de Cali**, que tienen una capacidad de generación de 402 kWp (kilovatio hora pico) de energía verde para atender el 14,8% de su demanda energética, con lo que se evitará la emisión de 221,8 toneladas de dióxido de carbono al año (CELSIA, s. f.-b).

Figura 7. Instalación solar Universidad Autónoma de Occidente de Cali. Fuente Página web Celsia



El piso solar para autogeneración en el **Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT**, es el primero instalado en Colombia. Comprende 2.820 módulos solares que equivalen a una capacidad instalada de 902,4 kWp, en una superficie de 14.400 m^2 , aportándole una reducción del 12% a la tarifa de energía convencional (\$50 millones al año) y la posibilidad de no emitir 501 toneladas anuales de CO_2 (CELSIA, s. f.-a).

Figura 8. El piso solar para autogeneración en el Centro Internacional de Agricultura Tropical. Fuente
Página web Celsia



Marco institucional

La compañía Cartones América está especializada en la fabricación de productos como papel, empaque, cartón corrugado y cartulinas, ofreciendo soluciones integrales e innovadoras. Con más de 70 años de experiencia, la empresa opera 10 plantas en seis países de América Latina: Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. A lo largo de su historia, Cartones América ha demostrado su capacidad para adaptarse al mercado de cada país e implementando tecnologías avanzadas para mantenerse a la vanguardia en la industria del empaque.

La misión de la compañía es satisfacer las necesidades de sus clientes de manera eficiente, suministrando soluciones de empaque de cartón corrugado y cartulinas. La empresa se enfoca en la sostenibilidad y en promover el bienestar de sus colaboradores, siempre esmerándose por la innovación y la mejora continua de todos sus procesos (Cartones America, 2024).

De acuerdo con (Cartones America, 2024) la visión de la empresa, para el año 2027, se propone consolidar sus operaciones en los países donde tiene presencia, destacándose por su confiabilidad en el suministro de soluciones de empaque. La empresa busca fortalecer las relaciones con sus colaboradores, clientes y accionistas, manteniendo un compromiso continuo con la calidad y la satisfacción del cliente.

Dentro de la política de calidad se resalta su excelencia operativa y la búsqueda decidida de satisfacer los clientes. La empresa se compromete a gestionar de manera positiva las acciones correctivas y de mejora, reducir los productos no conformes y las quejas, mantener buenas relaciones con los proveedores, garantizar la seguridad de sus trabajadores, optimizar recursos, cumplir con la normatividad y avanzar firmemente hacia la sostenibilidad.

Desde su fundación, Cartones América ha crecido y evolucionado significativamente:

- En 1950, se fundó Litofán como una empresa de empaques de celofán.
- Durante la década de 1960, la empresa comenzó a fabricar empaques de cartón corrugado en Cali.
- En 1970, inició operaciones con su primer molino de papel.
- En 1977, se estableció una planta en Mosquera para fabricar cajas corrugadas.
- A lo largo de los años, Cartones América continuó expandiéndose, adquiriendo plantas en Venezuela, Ecuador, Perú, Chile y Argentina, consolidando así su presencia en la región.

Enfoque Estratégico y Tecnológico

El enfoque estratégico se basa en la modernización continua y la consolidación. Las plantas están equipadas con la última tecnología para asegurar que los procesos de fabricación cumplan con los estándares más altos de calidad. Además, utiliza sistemas avanzados de control para garantizar que todas las etapas del proceso de producción sean supervisadas de cerca, desde el control de humedad hasta el peso base y el calibre del papel.

La compañía combina la producción de soluciones de empaque con un firme compromiso del cuidado del medio ambiente. Se busca minimizar su impacto ambiental mediante la autosuficiencia en el procesamiento de materias primas y el uso de tecnologías avanzadas que promuevan la sostenibilidad.

La empresa está comprometida con la sostenibilidad y la responsabilidad corporativa. Todas sus plantas han sido certificadas bajo la norma ISO 9001 versión 2015, lo que garantiza la calidad de sus procesos y productos. Además, la empresa gestiona de manera eficiente sus recursos y busca constantemente reducir su impacto ambiental.

Como valor agregado esta su cultura corporativa ya que está orientada a satisfacer las necesidades de sus clientes en la región, fomentando un entorno de trabajo seguro y saludable. La empresa valora la innovación, la sostenibilidad y la mejora continua, pilares fundamentales para mantener su competitividad en el mercado.

Metodología

Primer nivel

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad y los beneficios de la implementación de un sistema solar fotovoltaico de 200 kWp en una Cartonera Nacional ubicada en Mosquera - Colombia. El enfoque de la investigación es **cuantitativo**, ya que se basa en la recolección y análisis de datos relacionados con el consumo energético actual, proyecciones de ahorro, costos de instalación y retorno de inversión.

El diseño de la investigación es de tipo **no experimental**, dado que no se intervendrá en las variables del entorno. En este sentido, se realizará un **estudio exploratorio - descriptivo**, recolectando datos en un solo momento específico para analizar el consumo energético y los costos operativos actuales.

Asimismo, se llevará a cabo una investigación, con el fin de ofrecer recomendaciones concretas para la optimización del uso de energía solar dentro de la organización, con un modelo de aplicación que garantice la sostenibilidad y eficiencia del sistema implementado.

Definición de Variables

Para evaluar de manera adecuada la viabilidad de implementar paneles solares en Cartones América, Mosquera, Cundinamarca, es necesario establecer un marco analítico riguroso. Esto define y operacionaliza las variables clave que permitirán cuantificar los

beneficios y costos asociados al proyecto, considerando las características específicas de la empresa y las condiciones locales. La información obtenida a través de este análisis será fundamental para tomar decisiones estratégicas y evaluar la rentabilidad de la inversión.

Figura 9. Definición de variables. Fuente Elaboración propia

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES
Consumo Energético	Cantidad total de energía eléctrica utilizada por la empresa en un período determinado.	Medición en kWh del consumo mensual de energía eléctrica registrado en las facturas de la empresa.	Técnica
Generación de Energía Propia	Cantidad de energía eléctrica producida por los paneles solares a instalar.	Medición en kWp de la energía que se generaría por los paneles solares, registrada por un inversor solar.	Técnica
Costo de Inversión	Gastos totales asociados a la adquisición e instalación de los paneles solares, incluyendo equipos, mano de obra y permisos.	Valor total en pesos colombianos de todos los costos incurridos en el proyecto, documentado en presupuestos y facturas.	Financiera
Ahorro Económico	Reducción en los costos de energía eléctrica gracias a la generación propia de energía fotovoltaica.	Diferencia entre el costo de la energía eléctrica antes y después de la instalación de los paneles solares.	Financiera
Impacto Ambiental	Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y disminución de la huella de carbono de la empresa.	Cálculo de la reducción de emisiones de CO2 en toneladas métricas por año, comparado con el escenario sin paneles solares.	Ambiental

Población y Muestra

El estudio se centra en Cartones América, con el objetivo de evaluar el impacto de la implementación de un sistema de paneles solares en sus operaciones, particularmente en la reducción de costos operativos, la eficiencia energética y la mejora de su huella de carbono.

La población objeto de análisis está compuesta, por un lado, por los **consumos energéticos mensuales** registrados por la empresa durante los dos últimos años, lo que permitirá identificar patrones de consumo y determinar el potencial de ahorro energético con la instalación del sistema solar fotovoltaico.

Adicionalmente, se analizarán 100 proyectos previamente implementados por **SM INGENIERÍA Y CONSULTORÍA** en empresas del sector industrial y hogares, con el fin de comparar y contrastar resultados. La **muestra** de estos proyectos estará compuesta por aquellos con sistemas solares menores a 1 MW, también implementados por SM INGENIERÍA Y CONSULTORÍA. Esto permitirá establecer un marco de referencia respecto a las características, desempeño y resultados de la implementación de energía solar en situaciones similares.

Este enfoque combinado proporcionará un análisis robusto, que abarca tanto la situación energética específica de Cartonera Nacional como los resultados de proyectos comparables, permitiendo evaluar la viabilidad y el impacto potencial de la solución propuesta.

Segundo nivel

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Con el fin de evaluar el impacto de la implementación de un sistema de paneles solares en las operaciones de Cartones América, es necesario utilizar métodos e instrumentos que permitan recolectar la información precisa y relevante para cumplir con los objetivos específicos planteados al inicio de esta investigación.

De esta manera se podrán analizar aspectos relacionados con la eficiencia energética, la reducción de costos y mejora de la huella de carbono de la empresa. Entre los métodos escogidos se encuentran los siguientes:

Figura 10. Métodos e instrumentos de la investigación. Fuente Elaboración propia

Objetivos específicos	Método o instrumento	Aplicación
Identificar el consumo energético actual de la empresa para determinar el porcentaje de energía que podría ser sustituido por el sistema de paneles solares.	Análisis de facturas de electricidad de la empresa Cartones América	Revisar y analizar las facturas de electricidad permitirá comprender los patrones de consumo energético y los costos asociados. Este análisis es importante para establecer una línea base y medir los posibles ahorros que se puedan obtener con la instalación de paneles solares.
Determinar la reducción potencial de costos operativos mediante la implementación del sistema de paneles solares, evaluando el ahorro en consumo de energía no renovable y comparándolo con los costos de instalación y mantenimiento del sistema solar.	Análisis histórico de costos de instalación de la población seleccionada - 100 proyectos de energía solar implementados por SM INGENIERÍA Y CONSULTORÍA	Permitir el análisis de los costos de instalación de la población seleccionada, incluyendo el costo de paneles solares y aspectos técnicos.

Objetivos específicos	Método o instrumento	Aplicación
Cuantificar la reducción de la huella de carbono como resultado de la transición parcial o total hacia energía solar.	Análisis histórico de reducción de huella de carbono de la población seleccionada - 100 proyectos de energía solar implementados por SM INGENIERÍA Y CONSULTORÍA	Analizar y cuantificar la reducción de emisiones de CO2 con base en datos históricos de la muestra seleccionada. al sustituir la energía no renovable por energía solar.

Con estos instrumentos se logrará tener una visión más clara del consumo energético actual, revisar alternativas y medir de manera más precisa los beneficios derivados de la instalación de paneles solares y que impactarán de manera más eficiente a la empresa Cartones América.

Técnicas de análisis de datos

Introducción a las técnicas de análisis de datos a utilizar

Teniendo en cuenta que el objetivo principal del estudio es evaluar el impacto energético, económico y ambiental de la instalación de un sistema de paneles solares en Cartones América, se empleará una **metodología cuantitativa**.

Dado que se cuenta con una base de datos suministrada por una empresa instaladora de paneles solares (SM Consultoría e Ingeniería), que incluye información sobre eficiencia y costos energéticos y huella de carbono antes y después de la instalación, es necesario aplicar técnicas de análisis de datos que permitan extraer conclusiones precisas y objetivas a partir de estos datos.

Las técnicas de análisis de datos seleccionadas incluyen **estadística descriptiva** y **regresión lineal simple**. Estas técnicas permitirán explorar, describir y comparar las variables clave del estudio: consumo energético, ahorro económico e impacto ambiental antes y después de la implementación de los paneles solares.

La **estadística descriptiva** ayudará a resumir y organizar los datos recolectados, proporcionando una visión general del comportamiento de las variables y así poder definir el porcentaje de transición energética que se podrá hacer de energía convencional a energía producida por paneles solares. La **regresión lineal** se utilizará para realizar proyecciones a partir de los datos existentes, con el fin de estimar el impacto futuro (energético o costo o huella de carbono) en Cartones América y posiblemente en otras empresas que estén interesadas en implementar sistemas de energía solar.

Estas técnicas proporcionarán los insumos necesarios para generar resultados claros y fundamentados que contribuyan a la toma de decisiones informadas sobre la viabilidad y los beneficios de la implementación de paneles solares en la empresa.

Figura 11. Instrumentos de recolección de datos. Fuente Elaboración propia

Instrumento de recolección	Técnica de análisis	Descripción
Base de datos suministrada por SM Consultoría e Ingeniería	Estadística descriptiva	Se calcularán medidas de tendencia central (media) y dispersión (desviación estándar) para analizar el comportamiento de las variables de eficiencia, costos energéticos y huella de carbono antes y después de la instalación
Base de datos suministrada por SM Consultoría e Ingeniería	Regresión lineal simple	Permitirá proyectar el impacto que la instalación de paneles solares podría tener en los costos energéticos de futuras empresas en función de los datos históricos obtenidos.

Descripción detallada de las técnicas a utilizar

Estadística descriptiva

La estadística descriptiva permitirá resumir y presentar los datos de manera clara y sencilla. En este caso, se aplicarán medidas de tendencia central como la media para entender el promedio de costos energéticos, el porcentaje de energía que pasará de ser consumida a las electrificadoras a ser generada por los paneles solares y la huella de carbono antes y después de la instalación, así como medidas de dispersión como la desviación estándar para evaluar la variabilidad en las empresas analizadas. Esto facilitará una visión general del comportamiento de las variables clave.

Regresión lineal simple

Para hacer predicciones a partir de los datos disponibles, se empleará una regresión lineal simple, donde la variable dependiente será la reducción de costos energéticos y la variable independiente será el tiempo después de la instalación de los paneles. Con esta técnica, se podrá proyectar cómo el impacto de los paneles solares podría evolucionar en Cartones América o en otras organizaciones basados en los datos históricos de otras empresas.

Validación de resultados esperados

Objetivo 1: Identificar el consumo energético actual de la empresa para determinar el porcentaje de energía que podría ser sustituido por el sistema de paneles solares.

Con la aplicación de estadística descriptiva, se podrá analizar el consumo energético

promedio actual de Cartones América, esta técnica permitirá establecer un perfil de consumo energético base. Luego, utilizando los datos proporcionados de empresas que ya han implementado sistemas de paneles solares, se calculará el porcentaje promedio de energía que estas empresas lograron sustituir por energía solar. Esto permitirá proyectar qué porcentaje de consumo energético de Cartones América podría ser cubierto con energía solar.

Objetivo 2: Determinar la reducción potencial de costos operativos mediante la implementación del sistema de paneles solares.

Para este objetivo, se realizarán ejercicios de estadística descriptiva para calcular el porcentaje promedio de disminución de los pagos realizados a la empresa de energía tras la implementación de los paneles solares en las empresas muestra, esto permitirá estimar la reducción de los costos energéticos para Cartones América. Además, se realizará un análisis de regresión lineal, con lo cual se busca se brindar a la Organización un modelo predictivo que estime la disminución (en pesos colombianos) del costo de energía eléctrica con base en el número de paneles solares que se desee instalar.

Objetivo 3: Cuantificar la reducción de la huella de carbono como resultado de la transición parcial o total hacia energía solar.

La estadística descriptiva permitirá analizar los niveles de huella de carbono antes y después de la instalación de los paneles solares en las empresas muestra, con este análisis se podrá determinar un porcentaje aproximado de la disminución de la huella de carbono esperada para Cartones América.

Análisis y Discusión de los Resultados

Objetivo 1: Identificar el consumo energético actual de la empresa para determinar el porcentaje de energía que podría ser sustituido por el sistema de paneles solares.

En la Tabla 1 se observan los datos de consumo energético proporcionados por las facturas de ISAGEN, correspondientes a los años 2022, 2023 y los primeros meses de 2024 en la Empresa Cartones América. Para realizar un diagnóstico completo, se ha aplicado la estadística descriptiva, la cual permite establecer un perfil base de consumo energético de la empresa.

Tabla 1. Consumo energético 2022, 2023 y 2024

Año	Mes	Consumo energético (KWh)
2022	Enero	313,076
	Febrero	299,489
	Marzo	329,671
	Abril	302,413
	Mayo	316,886
	Junio	307,257
	Julio	301,968
	Agosto	294,567
	Septiembre	283,908
	Octubre	282,561
	Noviembre	293,894
	Diciembre	293,996
2023	Enero	232,775

Año	Mes	Consumo energético (KWh)
	Febrero	222,676
	Marzo	280,983
	Abril	258,981
	Mayo	277,102
	Junio	274,534
	Julio	270,020
	Agosto	302,075
	Septiembre	283,340
	Octubre	305,690
	Noviembre	315,366
	Diciembre	299,867
	2024	Enero
Febrero		301,927
Marzo		289,676
Abril		316,057
Mayo		289,836
Junio		272,266
Julio		310,454
Agosto		286,213

Utilizando herramientas de estadística descriptiva se calculó la media y la desviación estándar del consumo energético mensual, obteniendo los siguientes resultados:

35

- **Consumo promedio mensual (Media): 291,237 kWh**
- **Desviación estándar: 23,010 kWh**

Interpretación de los resultados:

Consumo promedio: La media refleja que, en promedio, Cartones América consume aproximadamente **291.237 kWh** al mes. Este valor proporciona una referencia clave para evaluar el comportamiento energético de la empresa a lo largo del tiempo.

Desviación estándar: La desviación estándar de **23.010 kWh** indica que, en promedio, el consumo mensual se desvía en esa cantidad respecto a la media. Una desviación estándar alta sugiere que existen fluctuaciones importantes en el consumo energético mes a mes.

A partir de la base de datos proporcionada por SM Ingeniería y Consultoría, se procedió a realizar un análisis detallado del impacto que los Sistemas de Paneles Solares Fotovoltaicos (SSF) han tenido en cien (100) empresas. Este análisis es fundamental para proyectar el potencial de sustitución de energía convencional por energía solar en Cartones América, lo que permitirá obtener una visión clara de los posibles ahorros y beneficios energéticos.

En la Tabla 2 se observa el análisis de los datos del consumo energético previo y posterior a la instalación de los SSF, y refleja el porcentaje de energía solar que las empresas han podido integrar en su operación energética.

Tabla 2. Pre y Post Instalación de 100 empresas de SM

Pre-Instalación SSF		Post-Instalación SSF		
ID Empresa	Consumo Energético previo a instalación de SSF (kWh)	Porcentaje consumido del SSF	Consumo Energético del SSF (kWh)	Consumo Energético de la empresa de energía (kWh)
746327	12,530	47.49%	5,951	6,579
241260	21,072	11.36%	2,393	18,679
748445	6,834	26.80%	1,832	5,003
233791	14,808	52.72%	7,807	7,001
112983	5,695	33.10%	1,885	3,810
362690	5,695	59.12%	3,367	2,328
51240	7,973	40.46%	3,226	4,747
66592	5,695	11.87%	676	5,019
894724	13,669	22.18%	3,032	10,637
910186	28,340	39.49%	11,191	17,149
697118	9,112	13.33%	1,214	7,898
545047	18,225	51.94%	9,466	8,758
65456	3,987	15.07%	601	3,386
68454	5,904	12.14%	717	5,188
199222	14,170	27.68%	3,922	10,248
762746	15,414	23.88%	3,680	11,733
354084	32,061	29.30%	9,393	22,668
192750	27,128	25.32%	6,870	20,258
464258	1,881,711	48.62%	914,797	966,914
599067	1,771	11.69%	207	1,564
698836	6,166	13.62%	840	5,326
139381	8,632	26.13%	2,255	6,376
605104	7,399	40.28%	2,980	4,418
306249	3,543	28.27%	1,001	2,541
811541	3,083	12.53%	386	2,697
22863	8,632	27.60%	2,382	6,250
476091	10,481	52.87%	5,541	4,940
659936	7,399	25.25%	1,868	5,531
905171	9,248	45.54%	4,212	5,036
541946	8,632	11.59%	1,000	7,631
333486	14,181	50.77%	7,199	6,981
934287	6,782	17.47%	1,185	5,597
494579	4,316	42.70%	1,843	2,473
470597	8,015	11.82%	947	7,068
892944	7,399	36.38%	2,692	4,707

Pre-Instalación SSF		Post-Instalación SSF		
ID Empresa	Consumo Energético previo a instalación de SSF (kWh)	Porcentaje consumido del SSF	Consumo Energético del SSF (kWh)	Consumo Energético de la empresa de energía (kWh)
49973	7,399	11.79%	872	6,526
330709	11,098	25.78%	2,861	8,237
452870	7,399	23.62%	1,748	5,651
456941	8,015	28.79%	2,308	5,708
971910	4,932	28.16%	1,389	3,544
437442	7,399	48.54%	3,591	3,807
285236	7,399	47.13%	3,487	3,911
951003	11,098	10.47%	1,162	9,936
567317	7,399	43.37%	3,209	4,190
436984	7,399	59.63%	4,412	2,987
42174	6,166	18.19%	1,122	5,044
67033	7,399	49.21%	3,641	3,758
137765	7,399	32.07%	2,373	5,026
379920	9,248	45.02%	4,164	5,084
323335	15,414	30.51%	4,702	10,711
768623	38,226	15.46%	5,910	32,316
314862	17,263	37.72%	6,512	10,751
577742	4,316	53.01%	2,288	2,028
699889	8,015	23.60%	1,892	6,123
822292	8,015	19.26%	1,544	6,472
335202	9,248	27.48%	2,542	6,707
25450	7,399	38.68%	2,862	4,537
698893	7,399	57.87%	4,281	3,117
688145	4,932	21.84%	1,077	3,855
586069	5,549	50.83%	2,820	2,729
657465	8,632	42.46%	3,665	4,966
55813	5,549	47.18%	2,618	2,931
676387	9,248	41.53%	3,841	5,407
158471	8,632	41.31%	3,566	5,066
713447	8,015	50.33%	4,034	3,981
728811	8,015	20.76%	1,664	6,351
823189	9,865	25.30%	2,495	7,369
616542	7,399	51.15%	3,785	3,614
157348	6,782	49.75%	3,374	3,408
579422	9,865	29.66%	2,926	6,939
812740	4,316	46.93%	2,025	2,290
788756	6,166	50.67%	3,124	3,042
659484	8,632	56.43%	4,870	3,761

Pre-Instalación SSF		Post-Instalación SSF		
ID Empresa	Consumo Energético previo a instalación de SSF (kWh)	Porcentaje consumido del SSF	Consumo Energético del SSF (kWh)	Consumo Energético de la empresa de energía (kWh)
826272	4,932	55.02%	2,714	2,218
784348	6,782	55.01%	3,730	3,052
440872	8,015	26.47%	2,122	5,893
830501	8,632	38.26%	3,303	5,329
30571	4,932	28.85%	1,423	3,510
34954	8,015	53.44%	4,284	3,732
666480	9,865	55.66%	5,491	4,374
960613	9,865	45.75%	4,513	5,351
614129	4,316	33.95%	1,465	2,851
33757	8,015	56.74%	4,547	3,468
916228	1,356,410	17.77%	241,056	1,115,354
385360	4,932	54.68%	2,697	2,235
307458	4,316	58.71%	2,534	1,782
690279	9,248	52.23%	4,830	4,418
618129	9,248	54.15%	5,008	4,240
122413	9,865	33.48%	3,302	6,562
138669	8,632	22.79%	1,967	6,664
527243	7,399	54.74%	4,050	3,349
487261	8,015	46.04%	3,690	4,325
147263	73,986	31.93%	23,627	50,359
710508	6,782	34.63%	2,348	4,434
583717	8,632	55.90%	4,825	3,806
69299	4,316	50.51%	2,180	2,136
529866	9,865	18.15%	1,790	8,074
829695	8,015	58.37%	4,678	3,337
384486	8,015	52.51%	4,209	3,806
641210	8,015	55.19%	4,424	3,591
943182	9,248	36.30%	3,357	5,891

Teniendo en cuenta que el porcentaje promedio de consumo de energía solar en las empresas que han implementado Sistemas de Paneles Solares Fotovoltaicos (SSF) es del **36,49%**, este valor representa la media de la proporción de consumo energético que ha sido sustituido por energía solar. Este indicador es relevante para Cartones América, ya que sugiere que, **con la implementación de un SSF similar, la empresa podría**

potencialmente reemplazar hasta un 36,49% de su consumo energético actual mediante energía solar.

Con base en el porcentaje promedio de sustitución de energía solar del 36,49% calculado a partir de los datos proporcionados por SM Ingeniería y Consultoría, se ha estimado que Cartones América podría sustituir hasta **106,261 kWh** de su consumo energético anual mediante la implementación de un Sistema de Paneles Solares Fotovoltaicos (SSF).

Este cálculo se obtuvo al multiplicar el porcentaje promedio de sustitución por el promedio del consumo energético de la empresa, lo que proporciona una estimación precisa del potencial de ahorro energético que se puede alcanzar. Al adoptar esta medida, Cartones América no solo reduciría considerablemente su dependencia de fuentes de energía convencionales, sino que también se alinearía con sus objetivos de sostenibilidad, optimizando sus operaciones y contribuyendo a la reducción de su huella de carbono.

Objetivo 2: Determinar la reducción potencial de costos operativos mediante la implementación del sistema de paneles solares.

2.1 Datos obtenidos de la base de datos

Con base en los datos proporcionados por SM Ingeniería y Consultoría, se llevó a cabo un análisis de la disminución en el pago que realizan diferentes empresas a la empresa proveedora de energía, antes y después de la instalación de sistemas de paneles solares fotovoltaicos (ver *Tabla 3*).

Tabla 3. Pago pre y post a la empresa de energía

ID Empresa	Pago a empresa de energía previo a SSF (Pesos Colombianos)	Pago a empresa de energía post SSF (Pesos Colombianos)	Disminución de pago a empresa de energía (Pesos Colombianos)	Paneles instalados
746327	\$ 14,997,871	\$ 7,874,675	\$ 7,123,196	220
241260	\$ 25,223,693	\$ 22,359,050	\$ 2,864,643	370
748445	\$ 8,180,657	\$ 5,987,994	\$ 2,192,663	120
233791	\$ 17,724,757	\$ 8,380,205	\$ 9,344,552	260
112983	\$ 6,817,214	\$ 4,560,488	\$ 2,256,726	100
362690	\$ 6,817,214	\$ 2,786,961	\$ 4,030,254	100
51240	\$ 9,544,100	\$ 5,682,139	\$ 3,861,961	140
66592	\$ 6,817,214	\$ 6,007,695	\$ 809,519	100
894724	\$ 16,361,314	\$ 12,732,449	\$ 3,628,866	240
910186	\$ 33,923,459	\$ 20,527,493	\$ 13,395,965	480
697118	\$ 10,907,543	\$ 9,454,011	\$ 1,453,532	160
545047	\$ 21,815,086	\$ 10,483,787	\$ 11,331,298	320
65456	\$ 4,772,050	\$ 4,052,918	\$ 719,132	70
68454	\$ 7,067,387	\$ 6,209,709	\$ 857,678	100
199222	\$ 16,961,729	\$ 12,267,072	\$ 4,694,658	240
762746	\$ 18,450,259	\$ 14,044,743	\$ 4,405,516	250
354084	\$ 38,376,538	\$ 27,133,110	\$ 11,243,429	520
192750	\$ 32,472,455	\$ 24,249,159	\$ 8,223,296	440
464258	\$ 2,252,407,588	\$ 1,157,395,905	\$ 1,095,011,683	30520
599067	\$ 2,120,216	\$	\$ 247,868	30

ID Empresa	Pago a empresa de energía previo a SSF (Pesos Colombianos)	Pago a empresa de energía post SSF (Pesos Colombianos)	Disminución de pago a empresa de energía (Pesos Colombianos)	Paneles instalados
		1,872,348		
698836	\$ 7,380,104	\$ 6,374,780	\$ 1,005,323	100
139381	\$ 10,332,145	\$ 7,632,621	\$ 2,699,524	140
605104	\$ 8,856,124	\$ 5,288,931	\$ 3,567,193	120
306249	\$ 4,240,432	\$ 3,041,650	\$ 1,198,783	60
811541	\$ 3,690,052	\$ 3,227,865	\$ 462,187	50
22863	\$ 10,332,145	\$ 7,480,954	\$ 2,851,191	140
476091	\$ 12,546,176	\$ 5,913,201	\$ 6,632,975	170
659936	\$ 8,856,124	\$ 6,620,136	\$ 2,235,988	120
905171	\$ 11,070,155	\$ 6,028,397	\$ 5,041,758	150
541946	\$ 10,332,145	\$ 9,134,549	\$ 1,197,596	140
333486	\$ 16,974,238	\$ 8,356,779	\$ 8,617,459	230
934287	\$ 8,118,114	\$ 6,699,492	\$ 1,418,622	110
494579	\$ 5,166,072	\$ 2,960,171	\$ 2,205,902	70
470597	\$ 9,594,135	\$ 8,460,348	\$ 1,133,787	130
892944	\$ 8,856,124	\$ 5,634,176	\$ 3,221,948	120
49973	\$ 8,856,124	\$ 7,812,045	\$ 1,044,079	120
330709	\$ 13,284,186	\$ 9,859,531	\$ 3,424,655	180
452870	\$ 8,856,124	\$ 6,763,872	\$ 2,092,252	120
456941	\$ 9,594,135	\$ 6,832,053	\$ 2,762,082	130
971910	\$ 5,904,083	\$ 4,241,621	\$ 1,662,462	80

ID Empresa	Pago a empresa de energía previo a SSF (Pesos Colombianos)	Pago a empresa de energía post SSF (Pesos Colombianos)	Disminución de pago a empresa de energía (Pesos Colombianos)	Paneles instalados
437442	\$ 8,856,124	\$ 4,557,285	\$ 4,298,839	120
285236	\$ 8,856,124	\$ 4,681,949	\$ 4,174,175	120
951003	\$ 13,284,186	\$ 11,893,690	\$ 1,390,496	180
567317	\$ 8,856,124	\$ 5,015,484	\$ 3,840,640	120
436984	\$ 8,856,124	\$ 3,575,245	\$ 5,280,880	120
42174	\$ 7,380,104	\$ 6,037,562	\$ 1,342,542	100
67033	\$ 8,856,124	\$ 4,498,003	\$ 4,358,121	120
137765	\$ 8,856,124	\$ 6,015,664	\$ 2,840,460	120
379920	\$ 11,070,155	\$ 6,086,031	\$ 4,984,125	150
323335	\$ 18,450,259	\$ 12,821,513	\$ 5,628,745	250
768623	\$ 45,756,642	\$ 38,682,062	\$ 7,074,580	620
314862	\$ 20,664,290	\$ 12,868,843	\$ 7,795,447	280
577742	\$ 5,166,072	\$ 2,427,486	\$ 2,738,586	70
699889	\$ 9,594,135	\$ 7,329,577	\$ 2,264,558	130
822292	\$ 9,594,135	\$ 7,746,463	\$ 1,847,672	130
335202	\$ 11,070,155	\$ 8,027,826	\$ 3,042,329	150
25450	\$ 8,856,124	\$ 5,430,767	\$ 3,425,357	120
698893	\$ 8,856,124	\$ 3,731,252	\$ 5,124,872	120
688145	\$ 5,904,083	\$ 4,614,466	\$ 1,289,616	80
586069	\$ 6,642,093	\$ 3,266,087	\$ 3,376,006	90
657465	\$ 10,332,145	\$	\$ 4,387,318	140

ID Empresa	Pago a empresa de energía previo a SSF (Pesos Colombianos)	Pago a empresa de energía post SSF (Pesos Colombianos)	Disminución de pago a empresa de energía (Pesos Colombianos)	Paneles instalados
		5,944,827		
55813	\$ 6,642,093	\$ 3,508,661	\$ 3,133,432	90
676387	\$ 11,070,155	\$ 6,472,612	\$ 4,597,544	150
158471	\$ 10,332,145	\$ 6,063,980	\$ 4,268,165	140
713447	\$ 9,594,135	\$ 4,765,297	\$ 4,828,838	130
728811	\$ 9,594,135	\$ 7,602,277	\$ 1,991,858	130
823189	\$ 11,808,166	\$ 8,821,276	\$ 2,986,890	160
616542	\$ 8,856,124	\$ 4,326,058	\$ 4,530,067	120
157348	\$ 8,118,114	\$ 4,079,159	\$ 4,038,955	110
579422	\$ 11,808,166	\$ 8,305,991	\$ 3,502,174	160
812740	\$ 5,166,072	\$ 2,741,581	\$ 2,424,491	70
788756	\$ 7,380,104	\$ 3,640,743	\$ 3,739,361	100
659484	\$ 10,332,145	\$ 4,502,184	\$ 5,829,961	140
826272	\$ 5,904,083	\$ 2,655,445	\$ 3,248,638	80
784348	\$ 8,118,114	\$ 3,652,734	\$ 4,465,379	110
440872	\$ 9,594,135	\$ 7,054,409	\$ 2,539,725	130
830501	\$ 10,332,145	\$ 6,378,691	\$ 3,953,454	140
30571	\$ 5,904,083	\$ 4,200,883	\$ 1,703,199	80
34954	\$ 9,594,135	\$ 4,466,673	\$ 5,127,462	130
666480	\$ 11,808,166	\$ 5,235,850	\$ 6,572,315	160
960613	\$ 11,808,166	\$ 6,405,581	\$ 5,402,584	160

ID Empresa	Pago a empresa de energía previo a SSF (Pesos Colombianos)	Pago a empresa de energía post SSF (Pesos Colombianos)	Disminución de pago a empresa de energía (Pesos Colombianos)	Paneles instalados
614129	\$ 5,166,072	\$ 3,412,181	\$ 1,753,891	70
33757	\$ 9,594,135	\$ 4,150,856	\$ 5,443,279	130
916228	\$ 1,623,622,770	\$ 1,335,078,770	\$ 288,544,000	22000
385360	\$ 5,904,083	\$ 2,675,586	\$ 3,228,497	80
307458	\$ 5,166,072	\$ 2,132,965	\$ 3,033,107	70
690279	\$ 11,070,155	\$ 5,288,638	\$ 5,781,517	150
618129	\$ 11,070,155	\$ 5,075,698	\$ 5,994,457	150
122413	\$ 11,808,166	\$ 7,855,281	\$ 3,952,885	160
138669	\$ 10,332,145	\$ 7,977,107	\$ 2,355,038	140
527243	\$ 8,856,124	\$ 4,008,595	\$ 4,847,529	120
487261	\$ 9,594,135	\$ 5,177,116	\$ 4,417,019	130
147263	\$ 88,561,242	\$ 60,279,488	\$ 28,281,754	1200
710508	\$ 8,118,114	\$ 5,307,027	\$ 2,811,087	110
583717	\$ 10,332,145	\$ 4,556,140	\$ 5,776,005	140
69299	\$ 5,166,072	\$ 2,556,749	\$ 2,609,323	70
529866	\$ 11,808,166	\$ 9,665,176	\$ 2,142,990	160
829695	\$ 9,594,135	\$ 3,994,010	\$ 5,600,124	130
384486	\$ 9,594,135	\$ 4,556,193	\$ 5,037,941	130
641210	\$ 9,594,135	\$ 4,298,676	\$ 5,295,458	130
943182	\$ 11,070,155	\$ 7,052,121	\$ 4,018,035	150

En este análisis se calcularon las medias de los pagos realizados a la empresa de energía antes y después de la implementación de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos (SSF). Estos cálculos permiten estimar la reducción promedio en los costos energéticos tras la instalación de los SSF en las empresas evaluadas.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- **Media del pago previo a la instalación del SSF: \$49,902,392**
- **Media del pago post-instalación del SSF: \$32,155,006**

Se realizó una división entre las dos medias obtenidas previamente: **\$49,902,392** y **\$32,155,006**, que corresponden al pago energético previo y posterior a la implementación de los paneles solares, respectivamente. Este cálculo se llevó a cabo para obtener una relación que refleje el impacto promedio de la instalación de los paneles solares en la reducción de los costos energéticos. Este análisis proporciona una base sólida para entender el porcentaje de ahorro que podría lograrse con la implementación de estos sistemas en Cartones América **(35.56%)**.

Teniendo en cuenta el cálculo anterior, se determina que el ahorro energético promedio tras la implementación de los paneles solares en las empresas es del **35.56%**, ya que al porcentaje inicial de consumo energético del **100%** se le resta el **64%**, que corresponde al consumo energético que aún depende de la empresa eléctrica.

2.2 Datos obtenidos de Cartones América

A partir de los datos proporcionados por Cartones América (ver *Tabla 4*), se ha recopilado el consumo energético mensual (en KWh) y los valores correspondientes a pagar en pesos colombianos durante los años 2022, 2023 y parte de 2024. Estos datos reflejan el comportamiento del consumo de energía en la empresa a lo largo de los diferentes meses, donde se observa fluctuación en el consumo, influenciado por múltiples factores operativos.

El consumo energético promedio es **146.564.441**. Este dato es fundamental para proyectar los ahorros que se podrían obtener con la implementación de paneles solares, considerando la reducción estimada del 35,56% en el consumo energético tras la instalación de Sistemas de Paneles Solares Fotovoltaicos (SSF).

Tabla 4. Promedio consumo de energía

Mes	Consumo Energía (Kwh)	Valor a Pagar
enero-2022	313076	\$ 142.470.779
febrero-2022	299489	\$ 134.165.582
marzo-2022	329671	\$ 158.979.150
abril-2022	302413	\$ 150.367.762
mayo-2022	316886	\$ 161.245.954
junio-2022	307257	\$ 160.321.010
julio-2022	301968	\$ 154.864.091
agosto-2022	294567	\$ 159.363.613
septiembre-2022	283908	\$ 148.517.949
octubre-2022	282561	\$ 105.622.397
noviembre-2022	293894	\$ 148.758.269
diciembre-2022	293996	\$ 145.249.543
enero-2023	232775	\$ 119.854.428
febrero-2023	222676	\$ 117.650.290
marzo-2023	280983	\$ 152.624.661

Mes	Consumo Energía (Kwh)	Valor a Pagar
abril-2023	258981	\$ 134.857.532
mayo-2023	277102	\$ 136.319.824
junio-2023	274534	\$ 135.838.360
julio-2023	270020	\$ 137.423.035
agosto-2023	302075	\$ 154.923.028
septiembre-2023	283340	\$ 139.599.582
octubre-2023	305690	\$ 159.680.533
noviembre-2023	315366	\$ 171.997.943
diciembre-2023	299867	\$ 154.228.997
enero-2024	310065	\$ 150.933.451
febrero-2024	301927	\$ 148.707.996
marzo-2024	289676	\$ 143.976.003
abril-2024	316057	\$ 166.663.237
mayo-2024	289836	\$ 147.140.264
junio-2024	272266	\$ 141.166.445
julio-2024	310454	\$ 162.686.750
agosto-2024	286213	\$ 143.863.656

Con base en el porcentaje de ahorro estimado de **35,56%** y el valor promedio mensual pagado por Cartones América de **\$146.564.441**, se puede proyectar el ahorro mensual que la empresa podría obtener tras la implementación de Sistemas de Paneles Solares Fotovoltaicos el cual es de **\$52,124,468**.

Dado que Cartones América ya ha decidido reducir el 30% del pago de energía, se ha calculado el impacto que esta decisión tendrá en su factura mensual promedio es de:

Ahorro estimado: Para calcular el 30% del promedio actual de **\$146,564,441**, multiplicamos ese valor por 0.30:

- $146.564.441 \times 0.30 = 43.969.332$

Nuevo monto a pagar: Después de la reducción del 30%, el monto que la empresa pagaría sería:

- $\$146.564.441 - \$43.969.332.30 = \$102.595.108$

Por lo tanto, si Cartones América reduce el 30% del pago de energía, lograría un ahorro mensual de aproximadamente **\$43.969.332**.

Teniendo en cuenta que la empresa SM Consultoría e Ingeniería realizó una cotización en la que se determinó que, para cubrir el 30% del consumo de energía, el costo total de los paneles solares asciende a \$2.900.000.000. Al dividir este monto por el ahorro mensual estimado de \$43.969.332, se estima que la inversión en los paneles solares se recuperaría en aproximadamente 65,96 meses, lo que equivale a 5,5 años. Este periodo de retorno de la inversión refleja la viabilidad económica del proyecto en términos de reducción de costos energéticos a mediano plazo. Además, es importante considerar que la vida útil de los paneles solares es de 25 años, mientras que el inversor tiene una vida útil aproximada de 15 años. SM Consultoría e Ingeniería ofrece la posibilidad de realizar la inversión en cuatro pagos: un 40% al firmar el contrato, un 30% al entregar los equipos, un 20% al finalizar la obra y un 10% cuando se legalice el sistema. Durante el resto de la vida útil de los paneles, es decir, 25 años menos los 5,5 años de retorno de inversión, la empresa dejará de pagar el 30% del consumo de energía cubierto por los paneles, lo que se traducirá en un aumento significativo en las ganancias y permitirá reinvertir esos recursos en otras áreas o mejorar su rentabilidad general.

Regresión Lineal

Además, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal con el objetivo de proporcionar a la organización un modelo predictivo. Este modelo permitirá estimar la disminución del costo de energía eléctrica (en pesos colombianos) en función del número de paneles solares que se instalen. De esta manera, la empresa podrá tomar decisiones informadas respecto al tamaño óptimo de la instalación de SSF (Sistemas de Paneles Solares Fotovoltaicos), maximizando el ahorro energético y reduciendo los costos operativos a largo plazo. Este análisis será una herramienta clave para optimizar la inversión en energía renovable.

Se utiliza *Tabla 3* seleccionando los datos de la columna “Disminución de pago a empresa de energía” como variable “Y” y los datos de la columna “Paneles instalados” como variable “X”, como resultado se obtiene una ecuación de la forma $Y(x)=m*x+b$, los resultados se obtuvieron con ayuda de la función de regresión lineal de Excel dando como resultado la siguiente ecuación:

$$Y(X) = 28145.16266 * X - 1341164.844 \quad \text{Formula 1}$$

En la cotización realizada por SM se necesitarían 1,370 paneles solares para cubrir el 30% del consumo actual (**106,261 kWh**), se utilizó la fórmula obtenida a partir de la regresión lineal (Ecuación 1) para calcular la disminución estimada en el recibo de energía. **Aplicando esta fórmula, se estima que la reducción del pago sería de aproximadamente \$37.217.708.** Este valor refleja el ahorro esperado en los costos energéticos tras la instalación de los paneles solares, permitiendo a Cartones América alcanzar su objetivo de reducir en un 30% su factura de energía.

Objetivo 3: Cuantificar la reducción de la huella de carbono como resultado de la transición parcial o total hacia energía solar.

La siguiente *Tabla 5* presenta los datos de disminución en toneladas de CO₂ por KWh consumido, antes y después de la instalación de los Sistemas de Paneles Solares Fotovoltaicos (SSF) en las empresas muestra. Este análisis permitirá a Cartones América proyectar el impacto ambiental positivo derivado de la reducción de la huella de carbono.

Tabla 5. Datos de disminución de CO₂ por KWh

ID Empresa	Toneladas de CO ₂ /KWh previo a SSF	Toneladas de CO ₂ /KWh post SSF	Porcentaje de disminución de toneladas
746327	8.73	5.11	41.49%
241260	14.68	13.31	9.36%
748445	4.76	3.63	23.80%
233791	10.32	5.39	47.72%
112983	3.97	2.89	27.10%
362690	3.97	1.86	53.12%
51240	5.56	3.42	38.46%
66592	3.97	3.66	7.87%
894724	9.52	7.98	16.18%
910186	19.75	12.15	38.49%
697118	6.35	5.69	10.33%
545047	12.70	6.36	49.94%
65456	2.78	2.53	9.07%
68454	4.11	3.70	10.14%
199222	9.87	7.34	25.68%
762746	10.74	8.39	21.88%
354084	22.34	16.47	26.30%
192750	18.90	15.25	19.32%
464258	1311.26	686.90	47.62%
599067	1.23	1.11	9.69%
698836	4.30	3.80	11.62%
139381	6.01	4.68	22.13%

ID Empresa	Toneladas de CO2/KWh previo a SSF	Toneladas de CO2/KWh post SSF	Porcentaje de disminución de toneladas
605104	5.16	3.23	37.28%
306249	2.47	1.82	26.27%
811541	2.15	2.01	6.53%
22863	6.01	4.54	24.60%
476091	7.30	3.66	49.87%
659936	5.16	3.96	23.25%
905171	6.44	3.83	40.54%
541946	6.01	5.38	10.59%
333486	9.88	5.46	44.77%
934287	4.73	4.18	11.47%
494579	3.01	1.75	41.70%
470597	5.59	5.04	9.82%
892944	5.16	3.33	35.38%
49973	5.16	4.75	7.79%
330709	7.73	6.20	19.78%
452870	5.16	4.04	21.62%
456941	5.59	4.03	27.79%
971910	3.44	2.57	25.16%
437442	5.16	2.91	43.54%
285236	5.16	2.98	42.13%
951003	7.73	7.08	8.47%
567317	5.16	3.02	41.37%
436984	5.16	2.13	58.63%
42174	4.30	3.77	12.19%
67033	5.16	2.82	45.21%
137765	5.16	3.76	27.07%
379920	6.44	3.67	43.02%
323335	10.74	7.57	29.51%
768623	26.64	24.12	9.46%
314862	12.03	7.61	36.72%
577742	3.01	1.56	48.01%
699889	5.59	4.32	22.60%
822292	5.59	4.79	14.26%
335202	6.44	4.93	23.48%
25450	5.16	3.21	37.68%
698893	5.16	2.33	54.87%

ID Empresa	Toneladas de CO2/KWh previo a SSF	Toneladas de CO2/KWh post SSF	Porcentaje de disminución de toneladas
688145	3.44	2.79	18.84%
586069	3.87	2.06	46.83%
657465	6.01	3.76	37.46%
55813	3.87	2.27	41.18%
676387	6.44	4.15	35.53%
158471	6.01	3.83	36.31%
713447	5.59	2.89	48.33%
728811	5.59	4.70	15.76%
823189	6.87	5.20	24.30%
616542	5.16	2.72	47.15%
157348	4.73	2.61	44.75%
579422	6.87	5.18	24.66%
812740	3.01	1.78	40.93%
788756	4.30	2.29	46.67%
659484	6.01	2.74	54.43%
826272	3.44	1.72	50.02%
784348	4.73	2.27	52.01%
440872	5.59	4.16	25.47%
830501	6.01	3.83	36.26%
30571	3.44	2.58	24.85%
34954	5.59	2.77	50.44%
666480	6.87	3.39	50.66%
960613	6.87	3.87	43.75%
614129	3.01	2.02	32.95%
33757	5.59	2.64	52.74%
916228	945.20	786.68	16.77%
385360	3.44	1.63	52.68%
307458	3.01	1.36	54.71%
690279	6.44	3.21	50.23%
618129	6.44	3.34	48.15%
122413	6.87	4.85	29.48%
138669	6.01	4.82	19.79%
527243	5.16	2.39	53.74%
487261	5.59	3.29	41.04%
147263	51.56	37.67	26.93%
710508	4.73	3.18	32.63%

ID Empresa	Toneladas de CO2/KWh previo a SSF	Toneladas de CO2/KWh post SSF	Porcentaje de disminución de toneladas
583717	6.01	2.71	54.90%
69299	3.01	1.64	45.51%
529866	6.87	5.70	17.15%
829695	5.59	2.55	54.37%
384486	5.59	2.76	50.51%
641210	5.59	2.67	52.19%
943182	6.44	4.43	31.30%

De acuerdo con lo anterior, al cuantificar la reducción de la huella de carbono como resultado de la transición parcial o total hacia energía solar, se pudieron observar resultados significativos. Según esta información, el promedio de disminución de emisiones de CO2 por KWh, basado en los datos de otras empresas que han implementado sistemas de paneles solares, es del **33,11%**. Este dato refleja un avance considerable en los esfuerzos por reducir las emisiones de carbono y promover el uso de energías renovables.

Conclusiones

El estudio realizado en Cartones América demuestra claramente que la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos tiene el potencial de generar importantes beneficios, tanto desde el punto de vista económico como ambiental. De acuerdo con los datos obtenidos, se puede concluir que la empresa podría reemplazar un 36.49% de su consumo energético total real por energía solar, lo que permitiría reducir de manera significativa su dependencia de fuentes de energía no renovables. Este cambio tendría un impacto económico considerable, ya que se estima que, gracias a la instalación de estos paneles, la empresa podría lograr un ahorro promedio mensual del 35.56% en el pago de sus facturas de electricidad. Esto se traduce en una disminución aproximada de \$52,124,468 mensuales en costos operativos, lo cual mejora considerablemente la rentabilidad.

El análisis de los datos también muestra que la reducción en el consumo de energía no renovable no solo genera beneficios económicos, sino que también representa un avance significativo en términos de sostenibilidad. Con la transición parcial hacia la energía solar, la empresa reduciría su huella de carbono, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Este aspecto es crucial en el contexto actual, donde la lucha contra el cambio climático se ha convertido en una prioridad tanto a nivel global como local. Las energías renovables, como la solar, juegan un papel clave en la reducción de las emisiones de carbono, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En términos teóricos, estos resultados están respaldados por varios estudios que han subrayado la importancia de las fuentes de energía renovables en la industria, tanto por su capacidad para reducir costos a largo plazo como por su impacto positivo en la preservación del

medio ambiente (Dossou et al., 2023; Jin & Kim, 2018); la implementación de paneles solares en Cartones América no solo fortalecería su sostenibilidad operativa, sino que también mejoraría su competitividad en el mercado, ya que las empresas que adoptan prácticas más ecológicas tienden a posicionarse mejor frente a los consumidores y las regulaciones exigidas por los gobiernos.

Finalmente, este estudio sugiere que el modelo implementado por Cartones América es replicable en otras industrias del sector, lo que podría transformar a la empresa en un referente regional en la adopción de tecnologías limpias y eficientes.

Lista de referencias

Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M. S., & Said, Z. (2022). Up-to-date literature review on Solar PV systems: Technology progress, market status and R&D. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132339. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132339>

ANDI. (2022). *El cartón: Indicador económico global*.
<https://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2023/09/Comunicado-CPPC-Carton-indicador-de-la-economia.pdf>

Ang, T.-Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939.
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>

Autosolar. (2024, septiembre 2). *Qué orientación e inclinación tienen los paneles solares en Colombia*. <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/que-orientacion-e-inclinacion-tienen-los-paneles-solares-en-colombia>

Cartones America. (2024, septiembre 2). *Quiénes Somos*.
<https://www.cartonesamerica.com/quienes-somos>

CELSIA. (s. f.-a). *Celsia instala su primer piso solar en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT*. <https://www.celsia.com/en/noticias/celsia-instala-su-primer-piso-solar-en-el-centro-internacional-de-agricultura-tropical-ciat/>

Celsia. (s. f.). *Celsia Solar Yumbo*. <https://www.celsia.com/es/granjas-solares/>

CELSIA. (s. f.-b). *Celsia pone en operación segunda fase de techos solares en Universidad Autónoma de Occidente*. <https://www.celsia.com/es/noticias/celsia-pone-en-operacion-segunda-fase-de-techos-solares-en-universidad-autonoma-de-occidente/>

Dossou, T. A. M., Ndomandji Kambaye, E., Asongu, S. A., Alinsato, A. S., Berhe, M. W., & Dossou, K. P. (2023). Foreign direct investment and renewable energy development in sub-saharan Africa: Does governance quality matter? *Renewable Energy*, 219, 119403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119403>

El congreso de Colombia. (Mayo 13). *Ley 1715 de 2014*.
https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=57353

Fernandez Gomez, J. (2024, julio 16). *Most efficient solar panels 2024*.
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>

Helmenstine, A. (2021, marzo 20). *Ejemplos de energía eléctrica*.
<https://sciencenotes.org/electrical-energy-examples/#:~:text=Electrical%20energy%20is%20a%20form%20of%20energy%20produced,the%20charge%20is%20stored%2C%20it%E2%80%99s%20potential%20electrical%20energy.>

Ini, L. (2024, julio 3). *Colombia alcanza los 1.193 MW de capacidad instalada fotovoltaica*. <https://www.pv-magazine-latam.com/2024/07/03/colombia-alcanza-los-1-193-mw-de-capacidad-instalada-fotovoltaica/>

JA SOLAR. (s. f.). *600W n-type bifacial double glass high efficiency mono module JAM72D40 575-600/LB*. <https://www.jasolar.com/html/en/>

Jin, T., & Kim, J. (2018). What is better for mitigating carbon emissions – Renewable energy or nuclear energy? A panel data analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 464-471. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.022>

Minienergía. (2024, marzo 29). *La transición energética justa en Colombia seguirá avanzando de manera gradual*. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-justa-en-colombia->

seguir%20avanzando-de-manera-

gradual/#:~:text=La%20transici%C3%B3n%20adelantada%20por%20el%20Gobierno%20Nacional%20gira,limpias%20y%20la%20reindustrializaci%C3%B3n%20de%20la%20econom%C3%ADa%20colombiana.

Ministerio de Ambiente. (2022, agosto 5). *Resolución No. 0851*.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/08/Resolucion-0851-de-2022.pdf>

Ministerio de minas y energía. (2021, octubre 7). *COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS*.

<https://www.chec.com.co/Portals/9/Documentos/Clientes%20y%20comunidad/Cientes/Cientes%20y%20hogares/Sobre%20el%20servicio/Creg174-2021.pdf?ver=cw4LuLQqhGfVoc6YswoGHA%3d%3d>

Molano Rodriguez, P. (2022, noviembre 29). *Descarbonización: Una meta ambiciosa a 2050*. <https://uniandes.edu.co/es/noticias/ambiente-y-sostenibilidad/descarbonizacion-una-meta-ambiciosa-a-2050>

Molina Sanchez, P. (2017, noviembre 15). *El departamento de Huila, en Colombia, se abastecerá de solar fotovoltaica*. <https://www.pv-magazine-latam.com/2017/11/15/el-departamento-de-huila-en-colombia-se-abastecera-de-solar-fotovoltaica/>

Munilla Gimenez, V. (2023). Ley de conservación de la energía: Qué es y fórmula. En *GEOencilopedia* (p. 1). Ley de conservación de la energía: qué es y fórmula

Muñoz, Á. V., & Calvache, Ó. S. (2019). *Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia*.

Perez, J. (2024). *Cómo las placas solares pueden cargar sin necesidad de sol.*

<https://placasypaneles.es/blog/las-placas-solares-cargan-sin-sol/>

Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaid, K., Chae, K.-J.,

Wilberforce, T., & Olabi, A. G. (2021). Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of The Total Environment*, 754, 141989.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141989>

Ser Colombia. (2024). *Informe ser Colombia.*

https://www.linkedin.com/posts/angelica-maria-alvarez-a715aba5_informe-ser-colombia-ugcPost-7238923043719319552-EYZI?utm_source=share&utm_medium=member_ios

UPME. (2024, julio). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024-2038.*

https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Proyeccion_demanda_energia_electrica_y_potencia_maxima_rev_jul2024.pdf

Victoria, M., Haegel, N., Peters, I. M., Sinton, R., Jäger-Waldau, A., Del Cañizo, C., Breyer, C., Stocks, M., Blakers, A., Kaizuka, I., Komoto, K., & Smets, A. (2021). Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future. *Joule*, 5(5), 1041-1056.

<https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.005>