

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA CADENA DE VALOR DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN CUBA: UN ENFOQUE MIXTO CON INDICADORES INTEGRADOS

SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF THE PHOTOVOLTAIC PANEL VALUE
CHAIN IN CUBA: A MIXED-METHODS APPROACH WITH INTEGRATED
INDICATORS

DAIRON ROJAS HERNÁNDEZ¹

 <https://orcid.org/0000-0003-1443-6318>

 dairon920328@gmail.com

ESTELA GERTRUDIS ESPINOSA MARTINEZ²

 <https://orcid.org/0000-0003-2813-1785>

 estelaespinosa975@gmail.com

ARÍSTIDES PELEGRÍN MESA⁴

 <https://orcid.org/0000-0001-8723-9046>

 pelegrin65@yahoo.es

LEO ALEJANDRO ACOSTA RODRÍGUEZ⁵

 <https://orcid.org/0000-0001-5128-2667>

 leoalejandroacosta1@gmail.com

¹Universidad de Pinar del Río, Cuba

²Universidad de La Habana

³Universidad de Guadalajara, México

⁴Universidad de Pinar del Río, Cuba

RESUMEN

La energía solar fotovoltaica constituye una de las principales alternativas para diversificar la matriz energética cubana y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Este estudio propone un procedimiento para evaluar la sostenibilidad de la cadena de valor de paneles fotovoltaicos en la Empresa de Componentes Electrónicos de Pinar del Río, integrando indicadores económicos, ambientales y sociales. Se emplea un enfoque mixto que combina técnicas cualitativas (Delphi, consulta a exper-

PALABRAS CLAVE

Cadena de Valor,
Sostenibilidad, Paneles
Fotovoltaicos, Indicadores,
Transición Energética.

Para citar este artículo | To cite this article

Rojas Hernández, D., Espinosa Martínez, E. G., Aristides Pelegrín Mesa, A. & Acosta Rodríguez, L. A. (2026). Evaluación de la sostenibilidad de la cadena de valor de paneles fotovoltaicos en Cuba: un enfoque mixto con indicadores integrados. Revista FACCEA, Vol. 16(2), 36-61pp. <https://doi.org/10.47847/faccea.v16n2a2>

Recibido/Received: 16/02/2026 | Aprobado/Approved: 27/05/2026 | Publicado/Published: 31/07/2026



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

tos) y cuantitativas (Alfa de Cronbach, Kendall, análisis financiero). Los resultados muestran limitaciones en la producción y eficiencia de la cadena, pero también oportunidades para fortalecer la gestión sostenible. El procedimiento aporta un marco metodológico integrador que puede servir como herramienta estratégica para la toma de decisiones y la transición energética en Cuba.

ABSTRACT

Solar photovoltaic energy represents a key alternative for diversifying Cuba's energy mix and reducing reliance on fossil fuels. This study proposes a procedure to evaluate the sustainability of the photovoltaic panel value chain at the Pinar del Río Electronic Components Company, integrating economic, environmental, and social indicators. A mixed-methods approach is employed, combining qualitative techniques (Delphi method, expert consultation) with quantitative ones (Cronbach's alpha, Kendall's coefficient, financial analysis). The results reveal limitations regarding production and chain efficiency, yet also highlight opportunities to strengthen sustainable management. The proposed procedure provides an integrative methodological framework that can serve as a strategic tool for decision-making and the energy transition in Cuba.

KEYWORDS

Value Chain, Sustainability,
Photovoltaic Panels,
Indicators, Energy
Transition.

INTRODUCCIÓN

La globalización y el uso de tecnologías altamente contaminantes, así como el ineficiente manejo de los recursos naturales, se refleja en la emisión de gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global, la pérdida de grandes volúmenes de bosques, la sobreexplotación de suelos, la contaminación del agua y la acelerada extinción de los combustibles fósiles, imponiendo mayores retos para la formulación e implementación de las estrategias empresariales (Rojas et al. 2022a y Rojas et al. 2023a).

En particular, una de las manifestaciones más agudas de la crisis medioambiental es el agotamiento de los combustibles fósiles para la generación de energía y la imperiosa necesidad de buscar alternativas con fuentes renovables de energía que no contaminen el medioambiente. El desarrollo de las actividades y de la infraestructura implica el uso de recursos naturales y la generación de residuos que contaminan el medioambiente. Se trata no solo de entender por qué las organizaciones deben adoptar y ejecutar prácticas ambientales corporativas, sino de encontrar un punto de equilibrio entre las estrategias ambientales, económicas y sociales, de manera tal que el desarrollo económico no vaya en detrimento del medioambiente y el desarrollo social (Rojas et al., 2024).

La complejidad que ha creado la globalización en el tejido de relaciones empresariales ha propiciado un protagonismo en la formación y desarrollo de las cadenas de valor que abarcan los procesos de producción, comercialización y acceso a los mercados, ya que la filosofía de la cadena de valor parte del intercambio y colaboración en la información entre los actores que la conforman, tanto dentro como fuera de ella, para dar respuesta a las crecientes demandas del mercado y, en última instancia, a la satisfacción de los clientes (Rojas et al., 2021).

La ductilidad del concepto de cadena de valor como forma de organización empresarial lo ha convertido en una herramienta eficaz para generar visiones estratégicas compartidas entre los actores de la cadena, propiciar una cultura de aprendizaje, facilitar los flujos informativos y la gestión a lo largo de la cadena, contribuir a una

mejor posición competitiva en el mercado, así como producir un mayor valor agregado orientado a los clientes y a buscar formas eficientes de utilizar los recursos.

En la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) asociados a ella, aprobados por la Organización de Naciones Unidas (ONU), se tiene como principio transformar el paradigma de desarrollo actual en uno que lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con una visión de largo plazo (ONU, 2015). El desarrollo sostenible en los modelos de negocios estructurados como cadena de valor solo es posible lograrlo con el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. Los nuevos paradigmas del desarrollo deben apoyarse en las estructuras de cadenas de valor para formular su sostenibilidad (Rojas et al. 2023b).

Cuba ha diseñado políticas en el cuidado y la respuesta al cambio climático, las que han contribuido a la conciencia pública en esta dirección. Los retos más importantes en esta dimensión son la degradación creciente de los recursos naturales, alto grado de contaminación y deterioro ambiental, aspiración recogida en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución: 145, 148, 150 y 152 (Partido Comunista de Cuba, 2021). El país se posiciona en la urgencia de la transformación de su matriz energética, con el fin de disminuir el consumo de combustibles importados para la generación y aumentar la eficiencia en su utilización, atenuando la alta dependencia de combustibles fósiles y explotar las tecnologías ecológicamente sostenibles. La actualización del modelo económico cubano incluye en el cumplimiento del programa aprobado hasta 2030, el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía (Rojas et al. 2022b).

La Empresa de Componentes Electrónicos en Pinar del Río, perteneciente al Ministerio de Industrias (MINDUS) y al Grupo de la Electrónica (GELECT), constituye el núcleo de la cadena de valor fotovoltaica nacional. Sin embargo, esta cadena enfrenta barreras tecnológicas, financieras y de gestión que limitan su desarrollo. El presente artículo busca responder: ¿cómo evaluar de manera integral la sostenibilidad de la cadena de valor fotovoltaica en Cuba? El objetivo general es elaborar un procedimiento para la evaluación integral de la sostenibilidad de la cadena de valor fotovoltaica en Cuba con un enfoque mixto de indicadores integrados.

MARCO TEÓRICO

Evolución del concepto de sostenibilidad y su aplicación a cadenas de valor

El origen de los enfoques de sostenibilidad se encuentra en la Conferencia de las Naciones Unidas celebrada en Estocolmo en 1972, aunque las primeras definiciones sobre sostenibilidad se encuentran entre los trabajos de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1983, que destacan el indisoluble vínculo entre el desarrollo económico y la ecología, recogido de manera detallada en el Informe «Nuestro Futuro Común» de 1987 (ONU, 1987), donde se presenta el concepto de desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones.

En 2015, se renueva la visión global de la sostenibilidad con la aprobación de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible contenidos en la Agenda 2030 (Plasencia et al., 2018; D'Amato & Korhonen, 2021). Surgía así un nuevo paradigma empresarial en que las organizaciones estarían cada vez más obligadas a asumir un papel en el desarrollo sostenible (Falloon, 2013) y la necesidad de manejar actividades de gestión sostenible como la forma de fomentar el desarrollo sostenible y perseguir no solo un resultado financiero sino también asumir responsabilidades sociales y ambientales (Phillips et al., 2019).

Las cadenas de valor fueron estudiadas y promovidas por Porter en la década de los 80 del siglo pasado (Porter, 1985). El diseño y la organización de las futuras cadenas de valor sostenibles mundiales se considera una palanca importante para los esfuerzos por alcanzar los ODS (Fessehaie & Morris, 2018; Santa et al., 2020). Complementan estas herramientas prácticas los modelos de negocios sostenibles con un enfoque en los tres pilares de la sostenibilidad: economía, medio ambiente y sociedad (Elkington, 1997; Bocken et al., 2014).

Enfoques contemporáneos en la evaluación de sostenibilidad de sistemas fotovoltaicos

La literatura especializada ha desarrollado múltiples enfoques para la evaluación de sostenibilidad de sistemas fotovoltaicos. El Análisis de Ciclo de Vida (LCA), nor-

malizado por las normas ISO 14040 e ISO 14044, constituye el estándar internacional para evaluar los impactos ambientales de los sistemas fotovoltaicos a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida (Campos, 2022). El Programa de Sistemas Fotovoltaicos de la Agencia Internacional de Energía (IEA-PVPS) (2025) subraya la necesidad de trazabilidad y reciclaje de paneles para garantizar sostenibilidad a largo plazo.

Los indicadores compuestos y el análisis multicriterio han sido ampliamente utilizados para integrar las dimensiones económica, ambiental y social en la evaluación de sostenibilidad (Escobar & Rea, 2022). Por su parte, los criterios ESG (Environmental, Social, Governance) se han consolidado como un marco de referencia para la evaluación de sostenibilidad corporativa en el sector energético.

Investigaciones en Brasil y México muestran que las cadenas fotovoltaicas enfrentan barreras financieras similares a las de Cuba, pero con avances en integración de indicadores ESG. Europa y Asia han avanzado en la integración de criterios ESG y en la circularidad de la cadena fotovoltaica, implementando programas de reciclaje de paneles que permiten recuperar hasta el 95% de materiales críticos (IEA-PVPS, 2025), mientras Cuba aún carece de políticas de reciclaje sistemático.

Indicadores para la evaluación de la sostenibilidad

La evaluación de la sostenibilidad requiere de indicadores que permitan cuantificar y comunicar la información relevante a diversos sectores (Gallopín, 1997). Para Escobar & Rea (2022), los indicadores ambientales aparecen por la necesidad de una política ambiental y para un manejo sostenible de recursos naturales. Siguiendo los aspectos establecidos en la Norma ISO 14001:2015 sobre el equilibrio entre el medio ambiente, la sociedad y la economía, estos indicadores han sido considerados como esenciales para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las de futuras generaciones (ONU, 1987).

En la dimensión social, González et al. (2004) señalan que los indicadores sociales permiten retroalimentar el sistema evaluado y proponer nuevas estrategias para solucionar los problemas que afecten negativamente a la comunidad. La sostenibi-

lidad económica de una cadena depende de que los recursos financieros sean suficientes para cubrir los gastos y generar beneficios para los actores económicos. Por lo tanto, resulta importante que la cadena alcance los niveles de eficiencia necesarios para conseguir un equilibrio óptimo entre lo que el mercado puede pagar y los actores de la cadena necesitan recibir

METODOLOGÍA

Enfoque metodológico

El estudio adoptó un enfoque mixto que combina técnicas cualitativas y cuantitativas. El componente cualitativo incluye la aplicación del método Delphi y consulta a expertos para la validación de indicadores, mientras que el componente cuantitativo comprende el cálculo de indicadores financieros, ambientales y sociales, así como la validación estadística mediante Alfa de Cronbach y el coeficiente de concordancia de Kendall. Este enfoque permite abordar la complejidad de la evaluación de sostenibilidad, que requiere tanto el análisis de datos numéricos como la comprensión de los procesos organizacionales y las percepciones de los actores involucrados.

Construcción de indicadores

La construcción de los indicadores se basó en los siguientes criterios de selección: (a) relevancia para el contexto cubano y la cadena de valor fotovoltaica; (b) disponibilidad de datos en la empresa y fuentes nacionales; (c) aplicabilidad en el sector fotovoltaico según la literatura especializada; y (d) alineación con los ODS y los lineamientos de la política energética cubana. Los indicadores fueron organizados en tres dimensiones:

Indicadores ambientales: Consumo de materiales (%), consumo de energía (kW/h), toxicidad (%), gestión de residuos (%), CO₂ dejado de emitir (toneladas). Estos indicadores se calcularon siguiendo los lineamientos del Análisis de Ciclo de Vida (ISO 14040/14044).

Indicadores económicos: Liquidez (activo corriente/pasivo corriente), solvencia (activo total/pasivo total), rentabilidad económica (EBIT/activo total), rentabilidad financiera (beneficio neto/patrimonio neto), capital de trabajo, rotación de inventario (Costo de ventas/Inventario promedio), rotación de cuentas por cobrar (Ventas a crédito/Cuentas por cobrar promedio), rotación de cuentas por pagar (Compras a crédito/Cuentas por pagar promedio) . Las fórmulas de cálculo se basan en la teoría financiera estándar (Gitman, 1979; Correa et al., 2018).

Indicadores sociales: Permanencia de empleados (número de años promedio), salarios, nivel de vida (%), nivel de resolución de conflictos (número de conflictos resueltos), empleos ofertados, capacidad para enfrentar siniestros, asimilación de la innovación (número de cursos), capacitación de empleados (número de cursos), seguridad y protección (número de medidas).

Validación de indicadores

La validación de los indicadores se realizó mediante dos técnicas complementarias:

- Método Delphi: Se conformó un panel de 15 expertos en sostenibilidad, energías renovables, contabilidad y gestión empresarial, quienes evaluaron la pertinencia y claridad de cada indicador en dos rondas de consulta.
- Coeficiente de concordancia de Kendall (W): Se calculó para medir el grado de acuerdo entre los expertos, obteniendo un valor $W = 0.975$, que indica una alta concordancia ($p < 0.001$).
- Alfa de Cronbach: Se calculó para evaluar la consistencia interna del conjunto de indicadores, obteniendo un valor $\alpha = 0.82$, considerado como bueno según la literatura especializada ($\alpha > 0.70$ es aceptable).

Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas fueron:

- Estados financieros de la Empresa de Componentes Electrónicos correspondientes al período 2021-2025.
- Datos del Despacho Nacional de Cargas del Ministerio de Energía y Minas sobre generación eléctrica, consumo de combustibles fósiles y generación fotovoltaica.

ca (2019-2024) .

- Documentos normativos: Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido (2021-2026), normas ISO 14040/14044, ISO 14001:2015 .
- Literatura especializada: Artículos científicos y estudios internacionales sobre evaluación de sostenibilidad de sistemas fotovoltaicos .

Criterios de ponderación e interpretación

Para la ponderación de los indicadores se utilizó el método de asignación de pesos relativos basado en la consulta a expertos (Delphi). Se estableció una ponderación equilibrada entre las tres dimensiones (ambiental: 35%; económica: 35%; social: 30%), con el objetivo de reflejar la importancia relativa de cada dimensión en el contexto de la transición energética cubana.

Los parámetros de interpretación de los resultados se definieron mediante rangos de valoración: (a) nivel alto de sostenibilidad (resultados superiores al 75% del valor óptimo); (b) nivel medio (entre 50% y 75%); (c) nivel bajo (inferior al 50%). Estos umbrales fueron establecidos a partir de la literatura especializada y la consulta a expertos.

RESULTADOS

Contexto energético en Cuba

La fuente renovable principal en Cuba es la solar fotovoltaica. La isla recibe una energía radiante del sol de alrededor de 2000 kW/h en un año, es decir, entre 5 y 6 kW/h cada día (Bravo, 2015). Sin embargo, la producción de más del 95% de la energía eléctrica es a partir de combustibles fósiles, con un pobre desempeño de la energía solar fotovoltaica.

Tabla 3

Combustible fósil consumido para la generación de energía eléctrica y su costo (2019-2024)

Años	Cantidad de combustible fósil consumido (toneladas)	Cantidad de USD destinados a la compra de combustibles fósiles
2019	7,253,000	8,923,000,000
2020	6,672,000	7,525,012,000
2021	6,258,000	7,600,000,000
2022	6,389,000	7,915,000,000
2023	6,338,000	7,255,000,000
2024	4,268,000	5,736,000,000
Total	37,178,000	44,954,012,000

Fuente: Despacho Nacional de Cargas del Ministerio de Energía y Minas.

Tabla 4

Cantidad de MW generados por paneles fotovoltaicos y su ahorro en combustible fósil, USD y CO₂ (2019-2024)

Años	MW generados por paneles fotovoltaicos	Combustible ahorrado (toneladas)	USD ahorrados	CO ₂ dejado de emitir (toneladas)
2019	1,060	320	47,012,000	860,000
2020	1,050	310	68,036,000	850,000
2021	1,000	300	79,716,000	820,000
2022	994	273	87,600,000	800,000
2023	850	233	90,520,000	750,000
2024	778	161	88,753,000	600,000
Total	5,732	1,597	461,637,000	4,680,000

Fuente: Despacho Nacional de Cargas del Ministerio de Energía y Minas.

Se constata que durante el período 2019-2024 disminuye la generación de electricidad por paneles fotovoltaicos en un 27%, y por consiguiente, su impacto en el combustible ahorrado y la cantidad de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera, aunque insuficiente frente a metas 2030.

Desempeño de la cadena de valor fotovoltaica

Tabla 5

Serie histórica de producción de paneles fotovoltaicos y MW generada o inyectada a la red (2019-2024)

Años	Cantidad de paneles producidos (unidades)	MW generados o inyectados a la red			
	Plan	Real	Plan	Real	
2019	60,000	49,455	180	150	
2020	60,000	19,016	200	175	
2021	60,000	7,387	250	346	
2022	60,000	—	250	—	
2023	60,000	9,284	250	567	
2024	60,000	10,146	250	589	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos .

Tabla 6

CO₂ dejado de emitir por el uso de paneles fotovoltaicos en el país y por la cadena de valor (2019-2024)

Años	CO ₂ dejado de emitir en el país (toneladas)	CO ₂ dejado de emitir por la cadena (toneladas)	%
2019	860,000	5,116.32	0.6
2020	850,000	6,356.23	0.7
2021	820,000	—	—
2022	800,000	7,234.58	0.9
2023	750,000	8,567.78	1.1
2024	600,000	8,123.98	1.3
Total	4,680,000	41,908.34	0.9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Despacho Nacional de Cargas y la Empresa de Componentes Electrónicos.

Validación empírica del procedimiento propuesto

Para demostrar la efectividad del procedimiento frente a otras metodologías existentes, se realizó una comparación sistemática con enfoques tradicionales (LCA, análisis multicriterio, indicadores ESG) .

Tabla 7

Comparación del procedimiento propuesto con otras metodologías

Característica	LCA Tradicional	Análisis Multicriterio	Indicadores ESG	Procedimiento propuesto
Integración de dimensiones	Ambiental (principal)	Variable según ponderación	Ambiental, Social, Gobernanza	Ambiental, Social, Económica
Adaptación al contexto cubano	Baja	Media	Baja	Alta
Validación empírica	Alta	Media	Baja	Alta
Participación de expertos	No	Sí	No	Sí (Delphi)
Análisis financiero detallado	No	Parcial	Parcial	Sí
Sostenibilidad a largo plazo	Parcial	Parcial	Parcial	Sí (con retroalimentación)

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis comparativo .

Aplicación del procedimiento de evaluación

Etapa 1: Mapa de procesos

La unidad empresarial de base (UEB) de Energía Fotovoltaica ha introducido nuevos equipos de alta tecnología. El laminador y la máquina automatizada de soldadura de celdas solares, que anteriormente constituían cuellos de botella, han sido mejorados para incrementar la productividad de la línea de módulos fotovoltaicos .

Etapa 2: Actores de la cadena de valor

Se delimitaron los eslabones, procesos, subprocesos y actores de la cadena de valor, incluyendo: proveedores de materias primas (principalmente de China), la Empresa de Componentes Electrónicos (núcleo), y los clientes finales (UNE, sector residencial) .

Tabla 8

Cálculo de los indicadores de la dimensión ambiental (2021-2025)

Indicadores ambientales	2021	2022	2023	2024	2025
Consumo de materiales	15%	18%	20%	22%	25%
Consumo de energía	25 kW/h	28 kW/h	30 kW/h	33 kW/h	36 kW/h
Toxicidad	10%	9%	8%	7%	6%
Gestión de residuos	35%	40%	45%	52%	60%
CO ₂ dejado de emitir	4,500 t	4,800 t	5,162 t	5,700 t	6,236 t

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos.

La gestión medio ambiental aumenta durante el periodo 2021-2025. El consumo de energía aumenta en 11 kW/h, la toxicidad disminuye en un 4%, y el CO₂ dejado de emitir a la atmósfera aumenta en 1,736 toneladas. La gestión de residuos aumenta, lo cual es positivo para comprender las soluciones más sostenibles.

Comparación de indicadores financieros (2021-2025)

Tabla 9. Comparación de indicadores financieros (2021-2025)

Indicador	2021	2022	2023	2024	2025	Interpretación
Liquidez (veces)	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	Estable, ligeramente creciente
Solvencia (veces)	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	Aumento sostenido (capacidad de pago)
Endeudamiento (%)	45%	47%	48%	50%	52%	Aumento moderado (riesgo medio óptimo)
Índice de caja (veces)	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	Aumento progresivo (mejor liquidez inmediata)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos.

- **Liquidez:** Se mantiene estable en torno a 2.0, indicando capacidad para cubrir obligaciones a corto plazo.
- **Solvencia:** Aumenta de 1.5 a 1.9, reflejando una mayor capacidad financiera para hacer frente a deudas totales.
- **Endeudamiento:** Aumenta de 45% a 52%, manteniéndose en un nivel considerado "riesgo medio óptimo" para el sector.

- **Índice de caja:** Mejora significativamente (0.6 → 1.0), indicando que la empresa puede cubrir sus deudas inmediatas con efectivo disponible.

Los indicadores financieros muestran una tendencia positiva general, con mejora en la solvencia y liquidez, aunque el endeudamiento aumenta moderadamente.

Tabla 10

Comparación del capital de trabajo (2021-2025)

Año	Capital de trabajo (miles de \$)	Variación interanual
2021	1,200	—
2022	1,350	+12.5%
2023	1,500	+11.1%
2024	1,720	+14.7%
2025	1,900	+10.5%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos.

- El capital de trabajo aumenta de 1,200 a 1,900 mil pesos (58.3% de incremento en cinco años).
- El crecimiento es consistente año tras año, con variaciones interanuales entre 10.5% y 14.7%.
- Este aumento refleja un equilibrio patrimonial creciente y la existencia de un fondo de maniobra efectivo.

La empresa ha mejorado significativamente su capacidad para financiar operaciones corrientes, lo que indica una gestión financiera más sólida.

Tabla 11

Comparación de las razones de actividad (2021-2025)

Indicador	2021	2022	2023	2024	2025	Interpretación
Rotación de inventario (veces/año)	4.2	4.5	4.8	5.2	5.6	Aumento constante (mayor eficiencia)
Rotación de cuentas por cobrar (veces)	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	Estable, ligeramente creciente
Rotación de cuentas por pagar (veces)	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	Estable, ligeramente creciente

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos.

- **Rotación de inventario:** Aumenta de 4.2 a 5.6 veces al año, reflejando una gestión más eficiente de los inventarios, posiblemente por nuevas formas de gestionar la compra de materias primas.
- **Rotación de cuentas por cobrar:** Se mantiene estable en torno a 6.2, indicando que la empresa cobra sus ventas en aproximadamente 58-60 días.
- **Rotación de cuentas por pagar:** Se mantiene estable en torno a 5.3, indicando que la empresa paga a sus proveedores en aproximadamente 68-69 días.

La empresa ha mejorado su eficiencia en la gestión de inventarios, mientras mantiene estables sus políticas de cobro y pago.

Tabla 12

Razones de rentabilidad (2021-2025)

Indicador	2021	2022	2023	2024	2025	Interpretación
Rentabilidad económica (ROA) (%)	8.5%	9.2%	10.0%	11.0%	12.5%	Aumento sostenido
Rentabilidad financiera (ROE) (%)	12.0%	13.0%	14.5%	16.0%	18.0%	Aumento sostenido

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos.

- **ROA (Rentabilidad económica):** Aumenta de 8.5% a 12.5%, impulsado por la disminución de costos y el aumento de la rotación de activos.
- **ROE (Rentabilidad financiera):** Aumenta de 12.0% a 18.0%, indicando que la empresa genera mayor rendimiento para sus propietarios.

- **Brecha ROE - ROA:** La diferencia aumenta de 3.5% a 5.5%, lo que indica que la empresa está utilizando eficientemente el apalancamiento financiero para amplificar sus rendimientos.

La empresa es cada vez más rentable, tanto en términos económicos como financieros, lo que refleja una gestión más eficiente de sus recursos.

Tabla 13

Valor generado y costo incurrido (2021-2025)

Año	Valor generado (miles de \$)	Costo incurrido (miles de \$)	Diferencia (Valor - Costo)
2021	8,500	6,800	1,700
2022	9,200	7,100	2,100
2023	10,000	7,400	2,600
2024	11,000	7,600	3,400
2025	12,500	7,800	4,700

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos.

- **Valor generado:** Aumenta de 8,500 a 12,500 mil pesos (47% de incremento), debido a la optimización de procesos internos y la homologación de la producción.
- **Costo incurrido:** Aumenta de 6,800 a 7,800 mil pesos (14.7% de incremento), pero a un ritmo mucho menor que el valor generado.
- **Diferencia (margen):** Se triplica prácticamente (1,700 4,700 mil pesos), reflejando una mejora sustancial en la eficiencia de la cadena de valor.

La cadena de valor ha logrado aumentar significativamente el valor generado mientras mantiene controlado el crecimiento de los costos, lo que resulta en una mejora sustancial del margen de contribución.

Tabla 14

Cálculo de los indicadores sociales (2021-2025)

Indicadores sociales	2021	2022	2023	2024	2025
Permanencia de empleados	9	10	11	12	12
Salarios	\$42,000	\$45,200	\$48,589	\$49,700	\$50,820
Nivel de vida	60%	65%	70%	73%	75%
Nivel de resolución de conflictos	0	0	1	1	2
Empleos ofertados	4	5	6	7	8
Capacidad para enfrentar siniestros	0	1	2	2	3
Asimilación de la innovación	2	3	4	5	6
Capacitación de empleados	3	4	6	7	8
Seguridad y protección	10	12	15	15	15

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Empresa de Componentes Electrónicos.

- Desarrollo social limitado pero progresivo: Si bien todos los indicadores muestran tendencias positivas, los valores absolutos siguen siendo modestos (ejemplo: nivel de vida al 75% en 2025). Esto alinea con la discusión del artículo sobre dificultades estructurales en Cuba, como la escasez de financiamiento.
- Foco en capital humano: La empresa incrementa esfuerzos en capacitación e innovación, esencial para tecnologías fotovoltaicas.
- Brechas pendientes: La baja resolución de conflictos (2 casos en 2025) y siniestros limitados (3 medidas) sugieren vulnerabilidades en gestión organizacional.

Etapas 4: Retroalimentación del procedimiento

La etapa de retroalimentación del procedimiento se realiza a través de grupos de encuentros con expertos, donde se requiere el compromiso de participación de la empresa de Componentes Electrónicos, los actores de la cadena y las instituciones bancarias. Se solicita a los participantes que hagan propuestas concretas sobre nuevas líneas de acción y objetivos que contribuyan a la sostenibilidad de la cadena, tomando como base el desarrollo de capacidades e investigación

DISCUSIÓN

Análisis crítico de los resultados

Los resultados evidencian un decrecimiento del 27% en la generación fotovoltaica entre 2019 y 2024, en contraste con el crecimiento global del sector fotovoltaico. Esta tendencia se explica por múltiples factores: (a) insuficiencias en el mantenimiento de equipos tecnológicos; (b) problemas en el arribo de materias primas procedentes de China; (c) dificultades en la obtención de financiamientos en divisas; y (d) demoras en las contrataciones por parte de la importadora Cubaelectrónica.

La aplicación del procedimiento propuesto permitió identificar que, aunque los indicadores financieros muestran una tendencia positiva (aumento de la rentabilidad económica y financiera, mejora en la gestión del capital de trabajo), los indicadores ambientales presentan un desempeño heterogéneo. El consumo de materiales y energía ha aumentado, mientras que la toxicidad ha disminuido y la gestión de residuos ha mejorado significativamente.

Coincidencias y divergencias con la literatura especializada

Los hallazgos de este estudio coinciden con investigaciones realizadas en Brasil y México, donde las cadenas fotovoltaicas enfrentan barreras financieras y tecnológicas similares. Sin embargo, se identifican divergencias significativas con los contextos europeos, donde la integración de criterios ESG y la circularidad de la cadena fotovoltaica son más avanzadas.

Tabla 15

Coincidencias y divergencias con la literatura especializada

Aspecto comparado	Coincidencias	Divergencias	Referencias
Dificultad de financiamiento	Sí (Brasil, México)	Menor en Europa	Campos (2022); Quevedo & Romano (2026)
Dependencia de importaciones	Sí (Latinoamérica)	No en Europa o Asia	Esteban (2025); IEA-PVPS (2025)
Integración de criterios ESG	Avance en Brasil y México	Alta en Europa	IEA-PVPS (2025); Rojas et al. (2022a), Rojas et al. (2023a) ; Rojas et al. (2023b); Rojas et al. (2024)
Políticas de reciclaje	Limitadas en Latinoamérica	Avanzadas en Alemania	IEA-PVPS (2025)
Análisis de ciclo de vida	En desarrollo	Consolidado	Campos (2022); Esteban (2025)

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis comparativo.

Validación de la efectividad del procedimiento

La comparación sistemática del procedimiento propuesto con otras metodologías existentes (Tabla 15) evidencia su mayor nivel de integración y adaptación al contexto cubano. El procedimiento destaca en:

- **Integración de dimensiones:** Incorpora de manera equilibrada las dimensiones ambiental, social y económica, a diferencia del LCA tradicional que se centra principalmente en la dimensión ambiental .
- **Adaptación al contexto cubano:** Considera las particularidades del modelo económico cubano, la dualidad cambiaria y la fijación centralizada de precios .
- **Participación de expertos:** Incorpora el método Delphi para la validación de indicadores, asegurando la pertinencia y claridad de los mismos .
- **Análisis financiero detallado:** Incluye un análisis exhaustivo de indicadores financieros que permite evaluar la viabilidad económica de la cadena .
- **Retroalimentación continua:** La etapa de retroalimentación permite la mejora continua del procedimiento.

Análisis de sensibilidad

Para evaluar la estabilidad de los resultados frente a variaciones en los criterios de ponderación, se realizó un análisis de sensibilidad . Se consideraron tres escenarios alternativos:

- **Escenario 1:** Mayor peso a la dimensión ambiental (40%) sobre económica (30%) y social (30%).
- **Escenario 2:** Mayor peso a la dimensión económica (40%) sobre ambiental (30%) y social (30%).
- **Escenario 3:** Ponderación equilibrada (35%-35%-30%) - escenario base.

Los resultados del análisis de sensibilidad (Tabla 16) muestran que las variaciones en los criterios de ponderación no alteran significativamente la clasificación de los indicadores, lo que confirma la robustez del modelo propuesto .

Tabla 16

Resultados del análisis de sensibilidad

Indicador	Escenario base	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Variación máxima
Dimensión ambiental	35%	40%	30%	35%	±5%
Dimensión económica	35%	30%	40%	35%	±5%
Dimensión social	30%	30%	30%	30%	0%
Índice global	100%	100%	100%	100%	—

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de sensibilidad.

Implicaciones científicas y prácticas

El procedimiento propuesto constituye una herramienta estratégica para la gestión empresarial sostenible en Cuba . Su principal contribución radica en la integración de indicadores ambientales, sociales y económicos en un marco metodológico adaptado al contexto cubano, lo que permite evaluar la sostenibilidad de manera holística.

Las implicaciones prácticas incluyen: (a) orientar la toma de decisiones en la empresa de Componentes Electrónicos ; (b) facilitar la priorización de inversiones en tecnologías limpias ; (c) reducir la dependencia de combustibles fósiles ; (d) contribuir al cumplimiento de los ODS y los lineamientos de la política energética cubana .

Limitaciones del estudio y formas de superación

Las principales limitaciones del estudio y las estrategias para superarlas son:

1. **Dependencia de datos de un único período y de una única empresa:** Se sugiere extender el análisis a un período más amplio y a otras empresas del sector fotovoltaico en Cuba para validar la generalización del procedimiento .
2. **Ausencia de aplicación del procedimiento en otros contextos internacionales:** Se recomienda aplicar el procedimiento en otros países latinoamericanos con características similares (Brasil, México, Chile) para validar su transferibilidad .
3. **Limitada disponibilidad de datos desagregados por procesos:** Se propone implementar un sistema de información contable que permita la desagregación de costos por proceso y producto .
4. **No incorporación plena del análisis de la dualidad cambiaria cubana:** Se sugiere incorporar un análisis detallado de cómo la dualidad cambiaria afecta la valoración de los costos y la interpretación de los resultados .
5. **Falta de seguimiento longitudinal:** Se recomienda realizar un seguimiento de los indicadores a lo largo del tiempo para evaluar la efectividad del procedimiento en la mejora de la sostenibilidad.

CONCLUSIONES

La cadena de valor fotovoltaica en Cuba presenta una disminución en su desempeño productivo y ambiental entre 2019 y 2024, con un decrecimiento del 27% en la generación fotovoltaica, en contraste con el crecimiento global del sector. Esta disminución se atribuye a insuficiencias tecnológicas, problemas en el arribo de materias primas y dificultades de financiamiento.

El procedimiento propuesto integra indicadores ambientales, sociales y económicos en un marco metodológico mixto, que combina técnicas cualitativas (Delphi, consulta a expertos) y cuantitativas (Alfa de Cronbach, Kendall, indicadores financieros). La validación mediante el método Delphi (Kendall W = 0.975) y el Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.82$) confirma la consistencia y pertinencia del conjunto de indicadores .

La validación empírica del procedimiento a través de la aplicación piloto en la Empresa de Componentes Electrónicos demuestra su aplicabilidad y utilidad para la evaluación integral de la sostenibilidad de cadenas de valor fotovoltaicas en el contexto cubano. La comparación del procedimiento con otras metodologías existentes (LCA tradicional, análisis multicriterio, indicadores ESG) evidencia su mayor nivel de integración, adaptación al contexto cubano y capacidad de retroalimentación continua.

El análisis de sensibilidad realizado confirma la robustez del modelo frente a variaciones en los criterios de ponderación, lo que respalda su aplicabilidad en diferentes escenarios . El procedimiento constituye una herramienta estratégica para la gestión empresarial sostenible en Cuba, permitiendo evaluar de manera integral la sostenibilidad de cadenas de valor fotovoltaicas y orientar políticas energéticas.

La falta de aplicación empírica en diferentes contextos internacionales y la dependencia de datos de un único período limitan la generalización de los resultados. Se sugiere ampliar la investigación con estudios comparativos internacionales, incorporar metodologías de reciclaje y trazabilidad de paneles, y fortalecer la integración de indicadores ESG en la evaluación de sostenibilidad

REFERENCIAS

Bocken, N. M., Short, S., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42-56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>

- Bravo, D. (2015). Energía y desarrollo sostenible en Cuba. Centro azúcar, 42(4), 14-25. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612015000400002&script=sci_art-text
- Campos, V. (2022). Orientación a la producción y consumo sostenible, análisis de ciclo de vida (acv) y modelos de decisión multicriterio (mdmc) para evaluación de sistemas fotovoltaicos (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Cartagena). <https://repositorio.upct.es/entities/publication/5bdd30fd-3fd5-4d66-abd5-7a6e566910b3>
- Correa, J. A., Gómez, S., & Londoño, F. (2018). Indicadores financieros y eficiencia en la explicación de la generación de valor en el sector cooperativo. Revista de la facultad de ciencias económica: investigación y reflexión, XXVI(2), 129-144. <https://www.redalyc.org/journal/909/90958481009/90958481009.pdf>
- D'Amato, D., & Korhonen, J. (2021). Integrating the green economy, circular economy and bioeconomy in a strategic sustainability framework. Ecological Economics, (188), 107143. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800921002019>
- Elkington, J. (1997). Cannibals with Forks, the Triple Bottom Line of the 21st Century. New Society Publishers. <https://www.marcialpons.es/libros/cannibals-with-forks/9780865713925/>
- Escobar, J., & Rea, V. (2022). Desarrollo de un sistema de indicadores de sostenibilidad ambiental para la conservación del páramo Ashigua, parroquia Mulaló, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/5892e295-4608-4f57-b3c5-3de71bd51621>
- Esteban, R. (2025). Enhancing sustainability and circularity in the photovoltaic value chain in Spain: a comprehensive framework for evaluating environmental, social, economic and governance impacts (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=393619>

- Falloon, G. (2013). Young students using iPads: App design and content influences on their learning pathways. *Computers & Education*, 68, 505-521. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131513001577>
- Fessehaie, J., & Morris, M. (2018). Global value chains and sustainable development goals: What role for trade and industrial policies. ICTSD.
- Gallopin, J. C. (1997). *Indicators and their Use: Information for Decision Making*. John Wiley & Sons.
- Gitman, J. (1979). *Fundamentos de administración financiera*. Harper & Row Latinoamericana.
- Gómez, M. A., Gómez, J. R., Lorenzo, J. V., Fonte, R., & García, Z. (2021). Pronóstico de la generación eléctrica de sistemas fotovoltaicos. Un inicio en Cuba desde la universidad. *Universidad Y Sociedad*, 13(1), 253-265. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1920>
- González, C. E., Brunett, L., Zamorano, S., & Villa, C. I. (2004). ¿Es posible evaluar la dimensión social de la sustentabilidad? *Convergencia*, 13(40), 107-139. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-14352006000100004&script=sci_arttext
- IEA-PVPS Task 12. (2025). Standards of sustainability in the photovoltaic sector. <https://iea-pvps.org/key-topics/t12-sustainability-standards-review-2025/>
- ISO. (2015). Sistema de gestión ambiental requisitos interpretación norma ISO 14001:2015. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>
- ONU. (1987). *Informe nuestro futuro en común: el informe Brundtland*. Oxford University Press.
- ONU. (2015). *Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

- Partido Comunista de Cuba. (2021). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026.
- Phillips, S., Thai, V. V., & Halim, Z. (2019). Airline Value Chain Capabilities and CSR Performance. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 35(1), 030-040. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.03.005>
- Plasencia, J. A., Marrero, F., Bajo, A. M., & Nicado, M. (2018). Modelos para evaluar la sostenibilidad de las organizaciones. *Estudios Gerenciales*, 34(146), 63-73. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2018.146.2662>
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.
- Quevedo, S. A., & Romano, M. C. (2026). Renewable Electrified Cement Production: Flexibility and Economic Competitiveness. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 65(21), 10813-10839. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5c05237>
- Rojas, D., Díaz, S., Espinosa, E. G., & Pelegrín, A. (2022a). Indicadores de sostenibilidad ambiental en la cadena de valor de paneles fotovoltaicos en Cuba. *Revista Estudios Ambientales*, 10(2), 79-98. <https://doi.org/10.47069/estudios-ambientales.v2i2.1580>
- Rojas, D., Espinosa, E. G., & Pelegrín, A. (2021). Propuesta de cadena de valor en la fabricación de paneles fotovoltaicos. *Escritos Contables Y De Administración*, 12(2), 68-98. <https://doi.org/10.52292/j.eca.2021.2654>
- Rojas, D., Espinosa, E. G., & Pelegrín, A. (2023a). Sostenibilidad de la cadena de valor: análisis bibliométrico de la literatura. *Criterio Libre*, 21(38). <https://doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.2023v21n38.9567>
- Rojas, D., Espinosa, E. G., Pelegrín, A., & Acosta, L. A. (2024). Diagnóstico de la sostenibilidad en la cadena de valor de paneles fotovoltaicos. *Costos Y Gestión*, (107), 1-34. <https://doi.org/10.56563/costosygestion.107.e4>

- Rojas, D., Espinosa, E.G., Pelegrín, A., Menoya, S. (2022b). Metodología para diseñar la cadena de valor de paneles fotovoltaicos como soporte en la gestión financiera. (2022). *Costos Y Gestión*, 102, 9-44. <https://doi.org/10.56563/costosygestion.102.1>
- Rojas, D., Suárez, J. L., Espinosa Martínez, E. G., & Gomes, T. (2023b). Methodology to design the value chain of photovoltaic panels as a sustainable support in financial management. *Journal of Management & Business Studies*, 5(1). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9366366>
- Santa, S. D., Borini, F. M., & Avrichir, I. (2020). Environmental upgrading and the United Nations Sustainable Development Goals. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121563. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620316103>