Región Científica

e-ISSN: 2954-6168
Región Científica. 2026. 5(2), 2026642
doi: 10.58763/rc2026642

Indicadores clave de la cadena de valor agroindustrial azucarera cubana: análisis de contenido por procesos y dimensiones de desempeño y sostenibilidad

Key indicators of the Cuban sugar agro-industrial value chain: content analysis by processes and dimensions of performance and sustainability

Yasniel Sánchez Suárez[1], Pietro Mendonça de Santis Sica[2], Darian Samá Muñoz[3]

RESUMEN

Introducción: La agroindustria azucarera constituyó históricamente un eje principal de la economía cubana, y su reconversión hacia un modelo sostenible demandó sistemas de indicadores capaces de integrar las dimensiones productiva, económica, social, ambiental y tecnológica de la cadena de valor. El objetivo fue caracterizar el sistema de indicadores clave de la cadena de valor agroindustrial azucarera cubana, mediante un análisis de contenido por proceso clave y por dimensión de desempeño y sostenibilidad.
Metodología: Se aplicó un enfoque mixto, de tipo descriptivo-analítico, mediante análisis documental y de contenido sobre la matriz de indicadores institucional, con un esquema de codificación en siete dimensiones de desempeño y sostenibilidad.
Resultados: Los resultados evidenciaron 124 relaciones de indicadores, concentradas en las dimensiones de producción y capacidad (23.4%), recursos físicos e insumos (19.4 %), frente a una baja representación de las dimensiones económica-financiera (8.1%) y de innovación y tecnología (3.2%), esta última sin indicadores cuantitativos explícitos en los procesos de apoyo. La comparación con la literatura mostró un contraste: mayor peso de lo ambiental y la digitalización en la literatura internacional.
Conclusiones: Se concluyó que el sistema de indicadores requiere un rebalanceo hacia la sostenibilidad ambiental y la innovación para alinearse con marcos recientes de medición del desempeño de cadenas de valor agroindustriales.

Palabras clave: Desarrollo Sostenible, Economía Agraria, Estadísticas Agrícolas, Industria Alimentaria.

Clasificación JEL: L66, O33, Q13.

ABSTRACT

Introduction: The sugar agroindustry has historically been a main pillar of the Cuban economy, and its shift toward a sustainable model required indicator systems capable of integrating the productive, economic, social, environmental, and technological aspects of the value chain. The goal was to characterize the key indicator system of the Cuban sugar agroindustrial value chain through a content analysis by key process and by performance and sustainability dimensions.
Methodology: A mixed approach was applied, of a descriptive-analytical type, through documentary and content analysis of the institutional indicator matrix, with a coding scheme covering seven dimensions of performance and sustainability.
Results: The results showed 124 indicator relationships, mostly concentrated in the production and capacity dimensions (23.4%), physical resources and inputs (19.4%), compared to a low representation in the economic-financial dimension (8.1%) and innovation and technology (3.2%), the latter without explicit quantitative indicators in support processes. Comparison with the literature showed a contrast: a greater emphasis on environmental aspects and digitalization in international literature.
Conclusions: It was concluded that the indicator system needs a rebalance towards environmental sustainability and innovation to align with recent frameworks for measuring the performance of agro-industrial value chains.

Keywords: Agricultural Economics, Agricultural Statistics, Food Industry, Sustainable Development.

JEL Classification: L66, O33, Q13.

Recibido: 10-05-2026 **Revisado:** 10-08-2026 **Aceptado:** 15-09-2026 **Publicado:** 22-09-2026

Editor: Alfredo Javier Pérez Gamboa

[1]Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba.

[2]Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

[3]Universidad Agraria de La Habana. Mayabeque, Cuba.

Citar como: Sánchez Suárez, Y., Mendonça de Santis Sica, P., & Samá Muñoz, D. (2026). Indicadores clave de la cadena de valor agroindustrial azucarera cubana: análisis de contenido por procesos y dimensiones de desempeño y sostenibilidad. *Región Científica*, *5*(2), 2026642. https://doi.org/10.58763/rc2026642

Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0 Internacional.

INTRODUCCIÓN

La competitividad de las agroindustrias depende en gran medida de la capacidad de sus cadenas de suministro y de valor para generar, capturar, procesar y utilizar información y conocimiento relacionados con el desempeño de todos sus eslabones. Porter (1985) definió la cadena de valor como la desagregación de una organización en actividades primarias y de apoyo relevantes; desde esta perspectiva, el análisis de las cadenas se convirtió en una herramienta clave para identificar fuentes de ventaja competitiva y de diferenciación en un mercado cada vez más globalizado. Walters y Lancaster (2000) incluyen la noción de estrategia de valor, al puntualizar que la competitividad de una cadena demandaba eficiencia interna y coordinación. Posteriormente, Gereffi et al. (2005) incorporaron la dimensión de gobernanza al análisis de cadenas globales de valor, lo que mostró que la distribución del poder entre actores (productores, proveedores, compradores, comercializadores y reguladores) condicionó de manera decisiva la medición de información, y de ella que era objetivo de control y por quién, así como el propósito que compartieron todos los eslabones de la cadena.

Las investigaciones enfocadas en medir el desempeño evidenciaron una evolución desde sistemas centrados en indicadores económicos-financieros hacia marcos multidimensionales, que exploran los procesos internos, la satisfacción de los clientes y la formación y desarrollo del personal. Neely et al. (1995) abordaron esa transición y advirtieron sobre el riesgo de indicadores que reprodujeran sesgos históricos hacia lo económico-financiero sin profundizar en las capacidades operativas, en la calidad o en la innovación; mientras que, en un trabajo posterior, Neely et al. (2000) proponen adoptar el enfoque de procesos para el diseño y actualización de estos sistemas. En este sentido, Bourne et al. (2000) enfatiza en que si el diseño inicial es importante también lo es la actualización y ajustes periódicos de indicadores. Kaplan y Norton (1992) proponen como herramienta concreta el cuadro de mando integral donde establecen un equilibrio entre las perspectivas financiera, de cliente, de procesos internos y de aprendizaje organizacional. En el contexto específico de las cadenas de suministro, Gunasekaran et al. (2004) plantearon un marco de medición del desempeño estructurado por niveles de planificación (estratégico, táctico y operativo) y por eslabón de la cadena, actualizado posteriormente por Gunasekaran y Kobu (2007) mediante una revisión sistemática de la literatura sobre métricas logísticas y de cadena de suministro. Beamon (1998), por su parte, insistió en que el diseño de una cadena de suministro debía evaluarse simultáneamente en términos de recursos, resultados y flexibilidad, tres categorías que anticiparon buena parte de los esquemas de clasificación multidimensional utilizados en la actualidad.

Sumado a estos aportes, a finales de la década de los 90' se amplió la discusión relacionada con la sostenibilidad corporativa, donde Elkington (1997) introdujo la noción de triple resultado (*triple bottom line*) para integrar las dimensiones económica, social y ambiental en la evaluación del desempeño empresarial, planteamiento que Seuring y Müller (2008) trasladaron mediante una revisión de literatura a la gestión de cadenas de suministro sostenibles (GCSS) donde identificaron las principales barreras para su implementación. Carter y Rogers (2008) avanzaron hacia una teoría de la gestión sostenible de cadenas de suministro (GSCS) al articular las tres dimensiones de la sostenibilidad con otros procesos de apoyo —gestión de riesgos, transparencia, estrategia y cultura organizacional—, marco que Carter y Easton (2011) actualizaron mediante una revisión sistemática de investigación empírica. Ahi y Searcy (2013) compararon formalmente las definiciones de gestión verde y GSCS, mientras que Jabbour et al. (2013) sistematizaron las prácticas de gestión verde más estudiadas (producción más limpia, ecodiseño, logística inversa y compras verdes) y advirtieron sobre la persistente escasez de estudios centrados en las dimensiones social y de gobernanza frente al predominio de la dimensión ambiental en sentido estricto.

En el caso específico de la agroindustria de la caña de azúcar, la literatura internacional registró barreras similares entre las dimensiones de sostenibilidad; en este sentido, Viegas et al. (2024), en una revisión sistemática sobre indicadores de sostenibilidad en la producción de caña de azúcar, identificaron un claro predominio de los indicadores ambientales y económicos-financieros sobre los sociales. En Brasil, numerosos estudios abordaron la eficiencia técnica y ambiental de los ingenios: Bordonal et al. (2018) revisaron de forma integral la sostenibilidad de la producción brasileña de caña; Duarte et al. (2019) y Lemos et al. (2019) identificaron prácticas agroindustriales asociadas a la eficiencia técnica de los ingenios azucareros y alcoholeros; Carlucci et al. (2021) compararon factores ambientales y de impureza entre ingenios brasileños y australianos; y Gonçalves et al. (2021) propusieron estrategias para mejorar simultáneamente la eficiencia ambiental y la rentabilidad económica de los ingenios.

Desde la perspectiva del análisis de ciclo de vida (ACV), Ometto et al. (2009) evaluaron el etanol de caña brasileño, mientras que Tsiropoulos et al. (2014) compararon esa producción con la de India, y Rodrigues y Machado (2024) actualizaron el ACV de la cadena de suministro cañera en la región centro-oeste de Brasil. Jonker et al. (2016) y Khatiwada et al. (2016) optimizaron la configuración de cadenas de suministro bioenergéticas a partir de caña y eucalipto, mientras que Kadwa y Bezuidenhout (2015) y Santoro et al. (2017) abordaron la consistencia del suministro cañero a un ingenio sudafricano y la optimización de rutas de cosecha mecanizada respectivamente. Higgins (2006) y Renouf et al. (2013) documentaron experiencias australianas relacionadas con la optimización del transporte cañero y de diversificación de

productos con enfoque ambiental. En Asia, Yuttitham et al. (2011) y Prasara-A et al. (2019) evaluaron la huella de carbono y la sostenibilidad social y ambiental de productos derivados de la caña en Tailandia; mientras que Singh et al. (2025) aplicaron dinámica de sistemas al análisis de la cadena de suministro azucarera india. García et al. (2016) aportaron evidencia sobre la huella de carbono de la producción azucarera mexicana, y Machado y Da Cruz (2022) analizaron la sostenibilidad socioeconómica del comercio internacional de caña de azúcar.

En el contexto de América Latina y el Caribe, Contreras-Lisperguer et al. (2018) evaluaron, mediante ACV con un enfoque ambiental, económico y social, la cogeneración eléctrica a partir de bagazo de caña en Jamaica, lo que aporta un referente clave relacionado con la evaluación integral de la sostenibilidad agroindustrial azucarera estructuralmente próxima a la cubana. Por su parte, Chávez et al. (2020) y Gilani et al. (2020) propusieron modelos de programación para la planificación sostenible de operaciones ascendentes y de redes de suministro de bioetanol de caña, mientras que Mota et al. (2015) ofrecieron un marco general para el diseño y la planificación de cadenas de suministro sostenibles que integró de forma explícita las tres dimensiones de la sostenibilidad.

A estos resultados en el contexto agroindustrial de forma transversal se identificaron dos corrientes con incidencia directa: (1) el enfoque de relación agua-energía-alimentos (*water-energy-food nexus*), que Correa-Porcel et al. (2021) caracterizaron como un marco emergente para el sector agroalimentario, y que Hamidov y Helming (2020) analizaron específicamente para la agricultura o productos agrícolas de grandes consumos de agua; en esa misma dirección, Zarei et al. (2021) desarrollaron y jerarquizaron indicadores de sostenibilidad para sistemas agrícolas a partir de este enfoque, y Haghjoo et al. (2022) construyeron y validaron herramientas de evaluación de dicha relación a escala de finca; y (2) la digitalización y las tecnologías de la Industria 4.0 como un componente relevante de los sistemas de indicadores agroalimentarios: Hassoun et al. (2023) revisaron las aplicaciones de la transformación digital en la industria agroalimentaria, en tanto Morella et al. (2021) sistematizaron la implementación de tecnologías 4.0 a lo largo de la cadena de suministro agroalimentaria y propusieron indicadores clave para medir sus beneficios. Desde la perspectiva social, Orou Sannou et al. (2023) revisaron sistemáticamente los indicadores de sostenibilidad social en sistemas agroalimentarios y llegaron a la conclusión de que, pese a su crecimiento reciente, aún se encuentra menos desarrollada que la dimensión económica y ambiental, hallazgo coincidente con el señalado por Jabbour et al. (2013) para la gestión verde de cadenas de suministro en general.

En Cuba, la agroindustria azucarera constituyó un eje estratégico en la economía nacional, que con el paso del tiempo se reconvirtió y se evidenció la necesidad de sistemas de indicadores capaces de dar seguimiento simultáneo al desempeño agrícola, industrial, comercial, económico-financiero, ambiental y social a lo largo de toda la cadena, en un contexto de restricciones de financiamiento, energéticas, de insumos y tecnológicas. Estudios recientes sobre la provisión azucarera en Matanzas emplearon técnicas de pronóstico estadístico (García-López et al., 2024) y de aprendizaje automático (García et al., 2022) para mejorar la planificación industrial a partir de series históricas de indicadores físicos de la cadena, lo que evidenció tanto la disponibilidad de información cuantitativa en el territorio como la necesidad de sistematizar y evaluar críticamente el conjunto de indicadores sobre el que se construyeron esos modelos matemáticos. Sánchez Suárez et al. (2026), por su parte, proponen un marco integrado donde tienen en cuenta la adopción de la inteligencia artificial y la economía circular en la gestión de cadenas de valor agroindustriales azucareras.

A pesar del volumen de literatura internacional sobre sostenibilidad de la cadena de valor azucarera, resultó poco frecuente encontrar estudios de caracterización sistemática y con una base documental institucional, la estructura completa del sistema de indicadores de entrada y salida de una cadena de valor azucarera concreta, distribuida por proceso clave y por dimensión de desempeño y sostenibilidad, y que contrastara esa estructura con los marcos de medición del desempeño y con la experiencia internacional de la propia agroindustria azucarera. Ese vacío resultó particularmente relevante para el caso cubano, donde la escasez de trabajos publicados en bases de datos indexadas sobre el diseño de los sistemas de indicadores de la cadena de valor azucarera contrastó con la relevancia estratégica que el sector tiene para la economía nacional y territorial.

En consecuencia, la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar el sistema de indicadores clave de la cadena de valor agroindustrial azucarera cubana, mediante un análisis de contenido por proceso clave y por dimensión de desempeño y sostenibilidad.

METODOLOGÍA

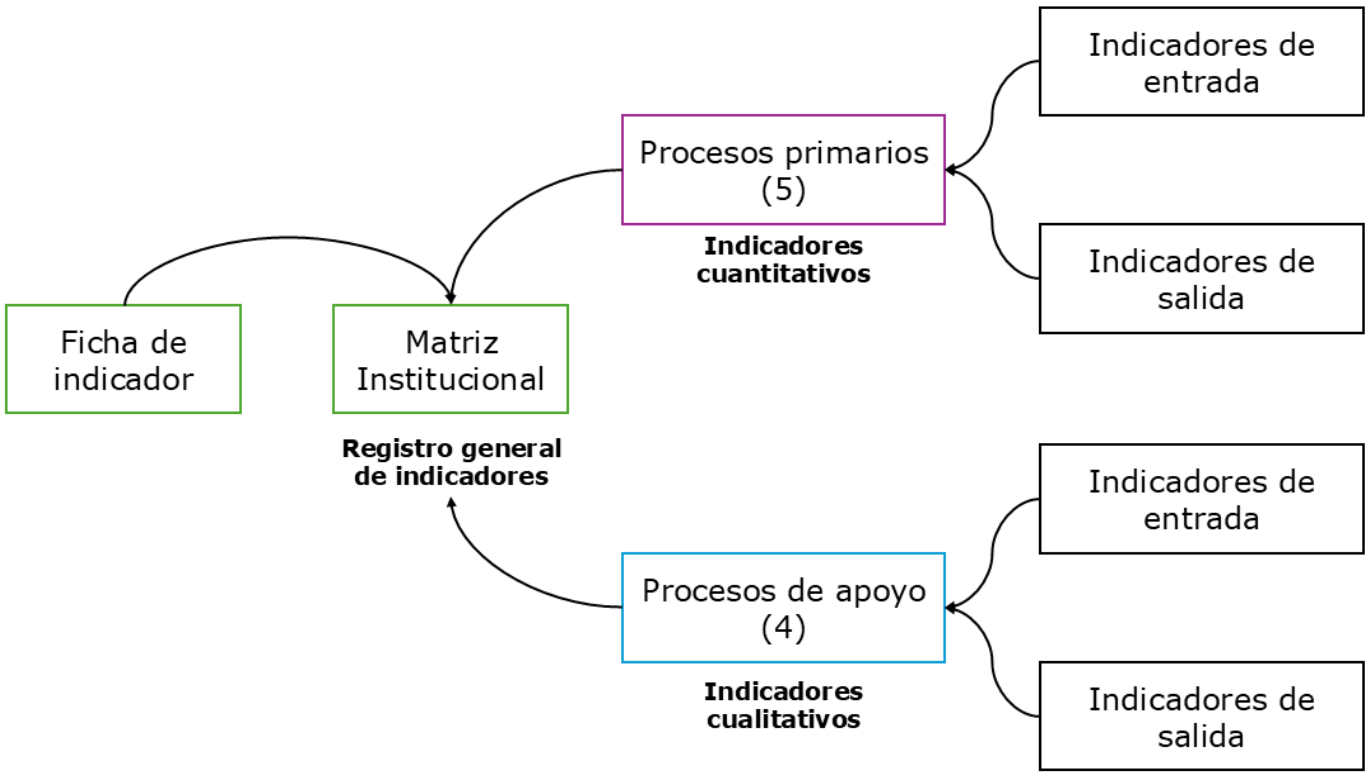
La investigación se desarrolló bajo un paradigma postpositivista con enfoque mixto, de predominio cuantitativo y complemento cualitativo, dado que combinó el conteo y la clasificación sistemática de indicadores (enfoque cuantitativo) con la interpretación de su contenido semántico para fines de codificación temática (enfoque cualitativo). Según su alcance, el estudio fue de tipo descriptivo-analítico y transversal: descriptivo porque caracterizó la estructura del sistema de indicadores tal como estaba en el momento del análisis, y analítico al establecer la relación entre procesos, dimensiones

de sostenibilidad y eslabones de la cadena, contrastándolos con la literatura especializada. El diseño fue no experimental y documental, basado en el análisis de contenido de una fuente institucional primaria (proveniente del grupo empresarial AZCUBA), sin manipulación de variables ni intervención sobre la unidad de estudio.

El objeto de estudio fue la matriz de indicadores de la cadena de valor de la caña de azúcar proveniente del grupo empresarial AZCUBA, correspondiente a su versión revisada vigente (año 2026), organizada según el modelo de cadena de valor de Porter (1985) en cinco procesos primarios: (1) producción agropecuaria, (2) cosecha, (3) producción de azúcar, (4) producción de derivados y (5) comercialización; y cuatro procesos de apoyo: (1) adquisición de suministros; (2) planificación, financiamiento y control interno; (3) gestión de los recursos humanos; y (4) desarrollo tecnológico e innovación.

Para cada proceso primario, la matriz institucional documentó de forma estructurada las entradas y salidas del proceso, así como los indicadores asociados a cada entrada y a cada salida; para los procesos de apoyo, la matriz documentó entradas y salidas cualitativas sin indicadores cuantitativos explícitos asociados, circunstancia que se analizó como un hallazgo relevante del estudio. La fuente documental se complementó con las fichas específicas de indicadores de cada proceso primario disponibles en el mismo registro institucional, empleadas como fuente de triangulación para verificar la consistencia de los indicadores extraídos de la matriz general (Figura 1).

Figura 1.
Análisis de la información en la matriz institucional



Fuente: elaboración propia.

Procesamiento de la información

El procesamiento de la información se realizó en tres fases sucesivas (Tabla 1).

El esquema de codificación integró el enfoque del triple resultado de Elkington (1997) y su desagregación operativa propuesta por Carter y Rogers (2008) Seuring y Müller (2008) para las dimensiones económica, social y ambiental; la distinción entre indicadores de recursos, de producción y de flexibilidad de Beamon (1998) y el marco multinivel de Gunasekaran et al. (2004) para las dimensiones productiva y de recursos; y la separación entre indicadores de mercado/cliente y de aprendizaje/innovación propuesta por Kaplan y Norton (1992) para las dimensiones de calidad-mercado e innovación-tecnología.

Tabla 1.
Fases del procesamiento de la información

Fases	Nombre	Acciones	Objetivo
Fase 1	Extracción y normalización	Se transcribió electrónicamente el contenido íntegro de la matriz y se normalizó el texto de cada indicador para identificar indicadores formalmente idénticos repetidos en más de un proceso o en más de una lista.	Distinguir el número de relaciones indicador-proceso del número de indicadores únicos contenidos en el sistema
Fase 2	Codificación temática	Cada indicador único se clasificó en una de siete dimensiones de desempeño y sostenibilidad construidas deductivamente a partir de la literatura revisada: producción y capacidad; recursos físicos, insumos y tierra; calidad, mercado y cliente; económico-financiera; trabajo y comunidad; ambiental y uso eficiente de recursos; e innovación y tecnología.	Agrupar los indicadores en función de las dimensiones de la sostenibilidad.
Fase 3	Análisis relacional	Se construyeron matrices de frecuencia que cruzaron los procesos primarios y de apoyo con las siete dimensiones de sostenibilidad, donde se diferenciaron los indicadores de entrada de los de salida.	Aproximar la continuidad informativa entre eslabones consecutivos de la cadena.

Nota. Todo el procesamiento se realizó en la hoja de cálculo de Microsoft Excel, lo que garantizó la trazabilidad y reproducibilidad del conteo de indicadores a partir del archivo fuente.

Cada indicador fue codificado por un único investigador a partir de su enunciado literal; los casos ambiguos se recodificaron bajo un criterio alternativo (análisis de sensibilidad) y se comparó la distribución resultante con la original, sin variaciones superiores a dos puntos porcentuales en ninguna dimensión.

Revisión de la literatura

La revisión bibliográfica que sustentó el marco teórico y la discusión de los resultados se realizó mediante una búsqueda bibliográfica estructurada para garantizar la transparencia según los principios de la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2021), aunque sin constituir una revisión sistemática completa. Se consultaron las bases de datos Scopus, Web of Science y SciELO, y se utilizaron las combinaciones de descriptores temáticos: "cadena de valor", "caña de azúcar", "agroindustria azucarera", "indicadores de sostenibilidad", "medición del desempeño" y sus equivalentes en inglés (*"value chain", "sugarcane", "sustainability indicators", "performance measurement"*), restringidas a artículos revisados por pares publicados preferentemente en los últimos 15 años, con inclusión de obras teóricas seminales sin restricción temporal cuando constituyeron referentes obligados del campo. Se priorizaron artículos científicos, excluyéndose cualquier referencia cuyos metadatos no pudieron confirmarse de forma independiente. La búsqueda se realizó el 18 de septiembre de 2026.

Limitación metodológica

Se reconoce que el estudio se basó en una única fuente documental institucional y en una codificación realizada por un solo investigador, sin un segundo codificador independiente que permitiera calcular un coeficiente de concordancia interinvestigador; esta limitación se mitigó parcialmente mediante la triangulación con las fichas específicas por proceso y mediante el análisis de sensibilidad descrito, pero no sustituyó la robustez que aportaría una codificación múltiple en estudios futuros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

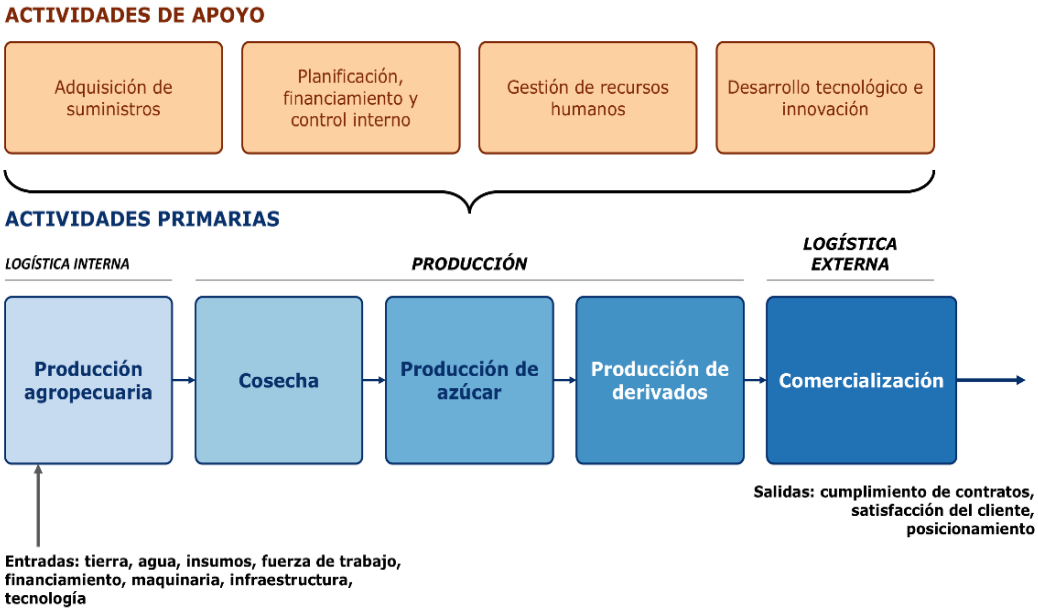
Estructura general de la cadena de valor y naturaleza de sus indicadores

La cadena de valor analizada se organizó, a partir del modelo de Porter (1985) y la propuesta de Sánchez Suárez et al. (2026), en cinco actividades primarias dispuestas secuencialmente y cuatro actividades de apoyo transversales (Figura 2). Esta estructura coincidió con la lógica de encadenamiento secuencial descrita por Walters y Lancaster (2000) y con el principio de gobernanza de cadena señalado por Gereffi et al. (2005), en la medida en que cada proceso primario recibió como entradas los resultados del proceso anterior y transfirió sus salidas al siguiente.

Un primer hallazgo relevante radicó en la naturaleza marcadamente asimétrica del sistema de indicadores entre actividades primarias y de apoyo. Mientras que los cinco procesos primarios documentaron de forma explícita 124 relaciones entre indicadores y procesos (59 asociadas a entradas y 65 a salidas, correspondientes a 92 indicadores únicos tras eliminar duplicidades entre procesos), las cuatro actividades de apoyo —que en conjunto agruparon 15 subprocesos de gestión, 26 entradas y 23 salidas de naturaleza cualitativa— no contaron con ningún indicador cuantitativo explícito asociado en la matriz institucional. Este vacío resultó coherente con las advertencias de Neely et al. (1995) sobre el riesgo de que los sistemas de indicadores privilegien lo medible y visible —en este caso, la producción física primaria— en contraparte con las funciones de soporte decisivas para la sostenibilidad de la cadena, como: la gestión de recursos humanos o el desarrollo tecnológico mediante innovación, y resultó especialmente relevante dado que fue precisamente en la actividad de apoyo "desarrollo tecnológico e innovación" donde la matriz institucional ubicó, de forma cualitativa,

las salidas vinculadas a la gestión ambiental, la responsabilidad social empresarial y la competitividad tecnológica de la cadena.

Figura 2.
Estructura de la cadena de valor de la agroindustria azucarera



Fuente: elaboración propia a partir de la matriz institucional de indicadores de la cadena de valor.

Indicadores de entrada y salida por proceso primario y de apoyo

La Tabla 2 resume el número de entradas, salidas e indicadores asociados a cada proceso primario de la cadena. La producción agropecuaria con 12, la cosecha con 13 y la producción de azúcar con 14 concentraron el mayor número de indicadores de entrada respectivamente, asociados sobre todo al control de recursos físicos: tierra, agua, variedades y maquinaria; también abordaron la calidad de la materia prima en el momento de corte. La producción de azúcar registró el mayor número de indicadores de salida (n=14), vinculados al rendimiento industrial y a la calidad del producto terminado, mientras que la comercialización presentó el menor número de salidas documentadas (n=3) frente a un número comparativamente alto de entradas (n=7) y de indicadores de entrada (n=11), lo que sugirió una cadena con mayor desarrollo instrumental en sus eslabones productivos que en su eslabón comercial, en contraste con la relevancia que Beamon (1998) y Gunasekaran et al. (2004) atribuyeron a los indicadores de servicio al cliente y de capacidad de respuesta comercial dentro de un sistema de medición del desempeño equilibrado.

Tabla 2.
Entradas, salidas e indicadores por proceso primario de la cadena de valor

Proceso primario	Entradas	Indicadores de entrada	Salidas	Indicadores de salida	Total
Producción agropecuaria	8	12	8	16	28
Cosecha	6	13	7	14	27
Producción de azúcar	8	14	6	14	28
Producción de derivados	8	9	5	12	21
Comercialización	7	11	3	9	20
Total	37	59	29	65	124

Las actividades de apoyo agruparon, en conjunto, 15 subprocesos de gestión: tres en adquisición de suministros (importación, compra de materias primas y materiales nacionales, y servicios), cuatro en planificación, financiamiento y control interno (finanzas externas, finanzas internas, control interno y planificación), cuatro en gestión de los recursos humanos (empleo y salarios, formación de capacidades, seguridad y salud laboral, y cuadros) y cuatro en desarrollo tecnológico e innovación (investigación, nuevas tecnologías, mejora continua, y responsabilidad social y medioambiental). Como se señaló, ninguno de estos subprocesos contó con indicadores cuantitativos explícitos en la matriz, lo que limitó la

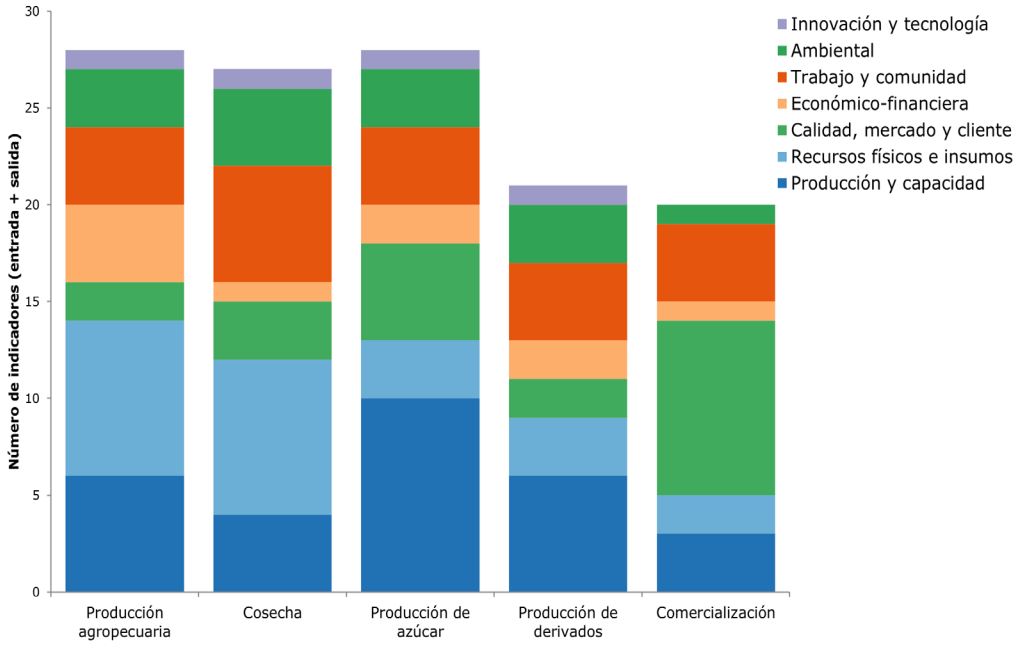
posibilidad de dar seguimiento numérico sistemático a aspectos como la cantidad y calificación del personal, el acceso a crédito externo o la implementación de sistemas de gestión ambiental y de la calidad, todos ellos documentados únicamente como entradas o salidas de carácter cualitativo.

Distribución de los indicadores por dimensión de desempeño y sostenibilidad

Los 124 indicadores primarios agrupados por codificación en las siete dimensiones de sostenibilidad definidas metodológicamente arrojaron la distribución que se presenta en la Figura 3. Las dimensiones "producción y capacidad" (23,4 %) y "recursos físicos, insumos y tierra" (19,4 %) concentraron en conjunto cerca de dos quintas partes del sistema de indicadores, seguidas por "trabajo y comunidad" (17,7 %) y "calidad, mercado y cliente" (16,9 %). En el extremo opuesto se encuentran las dimensiones económico-financiera con 8,1 %, la ambiental con el 11,3 % y la dimensión de innovación y tecnología únicamente con el 3,2 % de los indicadores, la más baja de todas las categorías analizadas, elementos que pueden atentar contra la competitividad de la cadena.

Figura 3.

Distribución de las 124 relaciones por proceso primario y dimensión de desempeño y sostenibilidad



Fuente: elaboración propia.

Esta distribución reveló un patrón divergente al descrito por la literatura clásica sobre sistemas de medición del desempeño, que advirtió el predominio histórico de los indicadores financieros frente a los operativos (Kaplan & Norton, 1992; Neely et al., 1995); en la cadena analizada, la dimensión económico-financiera fue una de las dimensiones menos representadas (8,1 %), mientras que las dimensiones operativas y de recursos físicos concentraron la mayor proporción del sistema. Este hallazgo resultó coherente con el peso histórico otorgado, en el modelo de gestión de la agroindustria azucarera cubana, al control físico de los procesos agrícolas e industriales, pero reprodujo, en sentido inverso, el mismo desequilibrio que Gunasekaran et al. (2004) y Neely et al. (1995) señalaron como indeseable: un sistema de indicadores desbalanceado, en este caso hacia lo productivo-operativo y en con brechas necesaria a analizar en las dimensiones económico-financiera, ambiental y de innovación.

La baja representación de la dimensión ambiental (11,3 %) contrastó con el peso creciente que esta dimensión alcanzó en la literatura internacional sobre sostenibilidad cañera, principalmente en mercados con mayor fuerza en el sector como Brasil. Viegas et al. (2024) identificaron un predominio de los indicadores ambientales en la producción de caña de azúcar a escala global, donde destacan cada vez más estudios relacionados con la huella de carbono y ACV aplicados a esta agroindustria en el mismo país (Bordonal et al., 2018; Ometto et al., 2009), México (García et al., 2016), Tailandia (Prasara-A et al., 2019; Yuttitham et al., 2011) y el Caribe (Contreras-Lisperguer et al., 2018). En la cadena cubana analizada los indicadores de naturaleza ambiental identificados se limitaron fundamentalmente al porcentaje de caña quemada, al contenido de materias extrañas, a indicadores puntuales de afectaciones ambientales asociados a la cosecha y a la producción industrial, sin que se identificaran indicadores explícitos de huella de carbono, consumo hídrico, eficiencia energética del bagazo o gestión de residuos y vinazas, pese a que la literatura internacional documentó ampliamente el

potencial de estos últimos como fuente de valor ambiental y energético de la cadena de valor cañera (Gonçalves et al., 2021; Jonker et al., 2016; Khatiwada et al., 2016).

La dimensión de innovación y tecnología, por su parte, careció de indicadores cuantitativos en los procesos de apoyo, con solo 4 (3,2 %) en los primarios, lo que contrastó de forma marcada con el papel central que Hassoun et al. (2023) y Morella et al. (2021) atribuyeron a la digitalización y a las tecnologías de la Industria 4.0, principalmente con el despliegue de herramientas de trazabilidad digital, sensórica y el análisis de datos en tiempo real como componente explícito y medible de los sistemas agroalimentarios contemporáneos.

La dimensión "trabajo y comunidad", con 17,7 % de los indicadores, fue comparativamente más alta que en otros estudios internacionales sobre sostenibilidad de cadenas agroalimentarias. Jabbour et al. (2013) y Orou Sannou et al. (2023) coincidieron en señalar que la dimensión social constituyó, a escala internacional, la menos desarrollada de las tres dimensiones del triple resultado, por lo que la relativamente alta representación de indicadores laborales y comunitarios en la cadena cubana analizada, asociados sobre todo a seguridad e higiene del trabajo y aportes a la comunidad, constituyó una fortaleza relativa del sistema frente a la tendencia internacional, aunque coexistió con la práctica ausencia de indicadores sociales de carácter participativo o de percepción de las comunidades cañeras, atributos que Orou Sannou et al. (2023) identificaron entre las menos exploradas.

Continuidad de los indicadores entre procesos consecutivos

El análisis de coincidencia entre los indicadores de salida de un proceso y los indicadores de entrada del proceso siguiente permitió aproximar el grado de continuidad informativa de la cadena, elementos que potencian la integración y colaboración entre eslabones. La relación entre cosecha y producción de azúcar mostró la mayor continuidad, con cinco indicadores compartidos, lo que reflejó la centralidad de la calidad de la materia prima como variable crítica de control en el tránsito entre ambos procesos, consistente con el papel atribuido al rendimiento potencial cañero en estudios cubanos recientes sobre pronóstico industrial (García et al., 2022; García-López et al., 2024). En este sentido, las relaciones entre los eslabones producción de azúcar y de derivados; entre producción de azúcar y comercialización; y entre producción de derivados y comercialización presentaron apenas un indicador compartido o ninguno, lo que sugirió una menor trazabilidad explícita de la información de calidad y desempeño hacia los eslabones finales de la cadena. Esta discontinuidad resultó relevante a la luz de los planteamientos de Beamon (1998) y de Carter y Rogers (2008) sobre la necesidad de visibilidad y trazabilidad a lo largo de toda la cadena como condición necesaria para una gestión sostenible.

Contraste con la experiencia internacional de la agroindustria azucarera

La Tabla 3 muestra un análisis comparativo con énfasis dimensional identificado en la cadena de valor azucarera cubana analizada frente a un conjunto de experiencias internacionales documentadas en la literatura revisada. El contraste evidenció que, mientras los estudios internacionales revisados concentraron su atención mayoritariamente en las dimensiones ambiental y económico-productiva, la cadena cubana analizada mostró un perfil de indicadores orientado principalmente hacia el control físico de la producción y hacia la dimensión laboral y comunitaria, con una menor representación de las dimensiones ambiental, económico-financiera y, sobre todo, de innovación y tecnología.

Tabla 3.
Análisis comparativo con énfasis dimensional identificado en la cadena de valor azucarera cubana

Experiencia	Énfasis dimensional predominante	Fuente
Brasil (ingenios azucareros y alcoholeros)	Eficiencia técnica, ambiental y energética (cogeneración, ACV)	Carlucci et al. (2021); Duarte et al. (2019); Lemos et al. (2019); Ometto et al. (2009)
Tailandia (productos derivados de la caña)	Huella de carbono y sostenibilidad social y ambiental	Prasara-A et al. (2019); Yuttitham et al. (2011)
Australia (transporte y diversificación)	Logística de cosecha y diversificación ambiental de productos	Higgins (2006); Renouf et al. (2013)
Jamaica (cogeneración con bagazo)	Sostenibilidad ambiental, económica y social integrada (ACV)	Contreras-Lisperguer et al. (2018)
India (cadena de suministro azucarera)	Dinámica de sistemas aplicada a eficiencia de la cadena	Singh et al. (2025); Tsiropoulos et al. (2014)
Cuba (cadena analizada)	Control físico-productivo y dimensión laboral/comunitaria; baja dotación ambiental y de innovación	Presente estudio

Este contraste este estudio no implicó una valoración negativa del sistema azucarero cubano analizado, dado que respondió a prioridades de gestión históricamente centradas en el aseguramiento físico de la producción en un contexto de fuertes restricciones materiales y financieras; sin embargo, sí evidenció un área de oportunidad concreta para su actualización: la incorporación explícita de indicadores ambientales cuantificables, particularmente de eficiencia

energética del bagazo, gestión de residuos y vinazas, y consumo hídrico; y de indicadores de innovación y digitalización en las actividades de apoyo correspondientes, en consonancia con las tendencias documentadas por Hassoun et al. (2023), Morella et al. (2021) y por el conjunto de estudios ambientales sobre agroindustrias cañeras revisados en este trabajo.

CONCLUSIONES

El sistema de indicadores de entrada y salida de la cadena de valor azucarera analizada se estructuró en cinco procesos primarios y cuatro procesos de apoyo, donde se documentaron 124 relaciones entre indicadores y procesos primarios, sin que las actividades de apoyo contaran con indicadores cuantitativos explícitos pese a agrupar funciones decisivas para la sostenibilidad de la cadena, como la gestión de los recursos humanos, la planificación financiera y el desarrollo tecnológico e innovación.

La distribución de los indicadores por dimensión de sostenibilidad mostró una concentración en las dimensiones de producción y capacidad, y de recursos físicos e insumos, frente a una representación comparativamente baja de las dimensiones ambiental, de innovación y tecnología, elemento que contrastó con el mayor peso otorgado a estas últimas dimensiones en la literatura internacional reciente sobre cadenas de valor agroindustrias azucareras sostenibles y sobre digitalización.

El análisis de continuidad entre procesos evidenció una mayor densidad de indicadores compartidos en la relación entre la cosecha y la producción de azúcar, asociada al control de la calidad de la materia prima, frente a una continuidad prácticamente nula hacia los eslabones de producción de derivados y comercialización, lo que señaló una oportunidad de mejora en la trazabilidad informativa de los tramos finales de la cadena.

El sistema de indicadores analizado requiere un rebalanceo hacia la sostenibilidad ambiental, la innovación y la digitalización, mediante la incorporación de indicadores cuantitativos explícitos en las actividades de apoyo y en los eslabones finales de la cadena, sin desestimar la relativa fortaleza mostrada por la dimensión laboral y comunitaria frente a la tendencia internacional documentada. Como limitación, el estudio se basó en una única fuente documental institucional codificada por un solo investigador, por lo que futuras investigaciones podrían ampliar la triangulación mediante codificación múltiple, y series temporales de los propios indicadores, de manera que se consolide un marco de referencia nacional para la evaluación de la sostenibilidad de la cadena de valor azucarera.

REFERENCIAS

Ahi, P., & Searcy, C. (2013). A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, *52*, 329–341. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.018

Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, *55*(3), 281–294. https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00079-6

Bordonal, R. O., Carvalho, J. L. N., Lal, R., de Figueiredo, E. B., de Oliveira, B. G., & La Scala, N., Jr. (2018). Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *38*, 13. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x

Bourne, M., Mills, J., Wilcox, M., Neely, A., & Platts, K. (2000). Designing, implementing and updating performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management*, *20*(7), 754–771. https://doi.org/10.1108/01443570010330739

Carlucci, F. V., Lemos, S. V., Salgado, A. P., Jr., & Rebehy, P. C. P. W. (2021). Environmental, field and impurity factors to increase the agricultural performance of Brazilian and Australian sugarcane mills. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *23*, 2083–2100. https://doi.org/10.1007/s10098-021-02105-z

Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *38*(5), 360–387. https://doi.org/10.1108/09600030810882816

Carter, C. R., & Easton, P. L. (2011). Sustainable supply chain management: Evolution and future directions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *41*(1), 46–62. https://doi.org/10.1108/09600031111101420

Chávez, M. M. M., Sarache, W., Costa, Y., & Soto, J. (2020). Multiobjective stochastic scheduling of upstream operations

in a sustainable sugarcane supply chain. *Journal of Cleaner Production*, *276*, 123305. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123305

Contreras-Lisperguer, R., Batuecas, E., Mayo, C., Díaz, R., Pérez, F. J., & Springer, C. (2018). Sustainability assessment of electricity cogeneration from sugarcane bagasse in Jamaica. *Journal of Cleaner Production*, *200*, 390–401. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.322

Correa-Porcel, V., Piedra-Muñoz, L., & Galdeano-Gómez, E. (2021). Water–energy–food nexus in the agri-food sector: Research trends and innovating practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(24), 12966. https://doi.org/10.3390/ijerph182412966

Duarte, A., Salgado Jr, A. P., Lemos, S. V., de Souza Jr, M. A. A., & de Almeida Antunes, F (2019). Proposal of operating best practices that contribute to the technical efficiency in Brazilian sugar and ethanol mills. *Journal of Cleaner Production*, *214*, 173–184. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.204

Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.

García, C. A., García-Treviño, E. S., Aguilar-Rivera, N., & Armendáriz, C. (2016). Carbon footprint of sugar production in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, *112*(4), 2632–2641. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.113

García-López, Y., González-Sáez, L. Y., & Cabrera-Hernández, J. A. (2022). Aplicaciones de aprendizaje automático para el análisis industrial de la provisión azucarera en Matanzas, Cuba. Revista U.D.C.A *Actualidad & Divulgación Científica*, *25*(2), e2334. https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2334

García-López, Y., González-Sáez, L. Y., & Cabrera-Hernández, J. A. (2024). Pronóstico de la provisión azucarera agroindustrial en Matanzas, Cuba. Revista U.D.C.A *Actualidad & Divulgación Científica*, *27*(2), e2555. https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2555

Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, *12*(1), 78–104. https://doi.org/10.1080/09692290500049805

Gilani, H., Sahebi, H., & Oliveira, F. (2020). Sustainable sugarcane-to-bioethanol supply chain network design: A robust possibilistic programming model. *Applied Energy*, *278*, 115653. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115653

Gonçalves, F., Perna, R., Lopes, E., Maciel, R., Tovar, L., & Lopes, M. (2021). Strategies to improve the environmental efficiency and the profitability of sugarcane mills. *Biomass and Bioenergy*, *148*, 106052. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106052

Gunasekaran, A., Patel, C., & McGaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, *87*(3), 333–347. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.08.003

Gunasekaran, A., & Kobu, B. (2007). Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: A review of recent literature (1995–2004) for research and applications. *International Journal of Production Research*, *45*(12), 2819–2840. https://doi.org/10.1080/00207540600806513

Haghjoo, R., Choobchian, S., Morid, S., & Abbasi, E. (2022). Development and validation of management assessment tools considering water, food, and energy security nexus at the farm level. *Environmental and Sustainability Indicators*, *16*, 100206. https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100206

Hamidov, A., & Helming, K. (2020). Sustainability considerations in water–energy–food nexus research in irrigated agriculture. *Sustainability*, *12*(15), 6274. https://doi.org/10.3390/su12156274

Hassoun, A., Marvin, H. J. P., Bouzembrak, Y., Barba, F. J., Castagnini, J. M., Pallarés, N., Rabail, R., Aadil, R. M., Bangar, S. P., Bhat, R., Cropotova, J., Maqsood, S., & Regenstein, J. M. (2023). Digital transformation in the agri-food industry: Recent applications and the role of the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*, 1217813. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1217813

Higgins, A. (2006). Scheduling of road vehicles in sugarcane transport: A case study at an Australian sugar mill. *European Journal of Operational Research*, *170*(3), 987–1000. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.055

Jabbour, A. B. L. de S., Arantes, A. F., & Jabbour, C. J. C. (2013). Green supply chain management: Mapping the territory. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, *12*(2), 145–167. https://doi.org/10.1504/IJESD.2013.052975

Jonker, J. G. G., Junginger, H. M., Verstegen, J. A., Lin, T., Rodríguez, L. F., Ting, K. C., Faaij, A. P. C., & van der Hilst, F. (2016). Supply chain optimization of sugarcane first generation and eucalyptus second generation ethanol production in Brazil. *Applied Energy*, *173*, 494–510. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.069

Kadwa, M., & Bezuidenhout, C. N. (2015). Modelling sugarcane supply consistency at a sugar mill. *Computers and Electronics in Agriculture*, *111*, 107–111. https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.019

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard—Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, *70*(1), 71–79.

Khatiwada, D., Leduc, S., Silveira, S., & McCallum, I. (2016). Optimizing ethanol and bioelectricity production in sugarcane biorefineries in Brazil. *Renewable Energy*, *85*, 371–386. https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.009

Lemos, S. V., Salgado, A. P., Jr., Duarte, A., de Souza, M. A. A., Jr., & Antunes, F. A. (2019). Agroindustrial best practices that contribute to technical efficiency in Brazilian sugar and ethanol production mills. *Energy*, *177*, 397–411. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.053

Machado, R. L., & Da Cruz, T. V. (2022). An empirical approach analyzing the socioeconomic sustainability of the international sugarcane trade. *Sustainability*, *14*(4), 2198. https://doi.org/10.3390/su14042198

Morella, P., Lambán, M. P., Royo, J., & Sánchez, J. C. (2021). Study and analysis of the implementation of 4.0 technologies in the agri-food supply chain: A state of the art. *Agronomy*, *11*(12), 2526. https://doi.org/10.3390/agronomy11122526

Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., & Barbosa-Povoa, A. P. (2015). Towards supply chain sustainability: Economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production*, *105*, 14–27. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.052

Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, *15*(4), 80–116. https://doi.org/10.1108/01443579510083622

Neely, A., Mills, J., Platts, K., Richards, H., Gregory, M., Bourne, M., & Kennerley, M. (2000). Performance measurement system design: Developing and testing a process-based approach. *International Journal of Operations & Production Management*, *20*(10), 1119–1145. https://doi.org/10.1108/01443570010343708

Ometto, A. R., Hauschild, M. Z., & Roma, W. N. L. (2009). Lifecycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Brazil. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *14*, 236–247. https://doi.org/10.1007/s11367-009-0065-9

Orou Sannou, R., Kirschke, S., & Günther, E. (2023). Integrating the social perspective into the sustainability assessment of agri-food systems: A review of indicators. *Sustainable Production and Consumption*, *39*, 175–190. https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.014

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Porter, M. E. (1985). Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance. Free Press.

Prasara-A, J., Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Pongpat, P., & Sawaengsak, W. (2019). Environmental and social life cycle assessment to enhance sustainability of sugarcane-based products in Thailand. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *21*, 1447–1458. https://doi.org/10.1007/s10098-019-01715-y

Renouf, M. A., Pagan, R. J., & Wegener, M. K. (2013). Bio-production from Australian sugarcane: An environmental investigation of product diversification in an agro-industry. *Journal of Cleaner Production*, *39*, 87–96. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.036

Rodrigues, T. G., & Machado, R. L. (2024). Life cycle assessment of the sugarcane supply chain in the Brazilian Midwest region. *Sustainability*, *16*(1), 285. https://doi.org/10.3390/su16010285

Sánchez Suárez, Y., Samá Muñoz, D., Pancorbo Sandoval, J. A., Domínguez Díaz, L. E., Hernández Nariño, A., Marqués León, M., & Espinosa Blanco, M. A. (2026). Sustainable sugar agro-industrial value chain: An integrated lean framework for risk management, circularity, and artificial intelligence. *Sustainability*, *18*(13), 6389. https://doi.org/10.3390/su18136389

Santoro, E., Soler, E. M., & Cherri, A. C. (2017). Route optimization in mechanized sugarcane harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture*, *141*, 140–146. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.013

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, *16*(15), 1699–1710. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020

Singh, S., Srivastava, S. K., & Jangirala, S. (2025). System Dynamics Analysis of Sugarcane Supply Chain in Indian Sugar Industry. *Global Business Review*, *26*(2), 468-480. https://doi.org/10.1177/0972150921999521

Tsiropoulos, I., Faaij, A. P. C., Seabra, J. E. A., Lundquist, L., Schenker, U., Briois, J. F., & Patel, M. K. (2014). Life cycle assessment of sugarcane ethanol production in India in comparison to Brazil. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *19*, 1049–1067. https://doi.org/10.1007/s11367-014-0714-5

Viegas, G. C., Marta-Costa, A., Fragoso, R., & Cambaza, E. (2024). The sustainability of sugarcane production: A systematic review of sustainability indicators. *New Medit*, 23(4), 121–134. https://doi.org/10.30682/nm2404h

Walters, D., & Lancaster, G. (2000). Implementing value strategy through the value chain. *Management Decision*, *38*(3), 160–178. https://doi.org/10.1108/EUM0000000005344

Yuttitham, M., Gheewala, S. H., & Chidthaisong, A. (2011). Carbon footprint of sugar produced from sugarcane in eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 19(17-18), 2119–2127. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.017

Zarei, S., Bozorg-Haddad, O., Singh, V. P., & Loáiciga, H. A. (2021). Developing water, energy, and food sustainability performance indicators for agricultural systems. *Scientific Reports*, *11*(1), 22831. https://doi.org/10.1038/s41598-021-02147-9

FINANCIACIÓN
Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS
Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL
No se utilizó IA en el desarrollo del artículo.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA
Conceptualización: Yasniel Sánchez Suárez, Pietro Mendonça de Santis Sica, Darian Samá Muñoz.
Curación de datos: Darian Samá Muñoz.
Análisis formal: Yasniel Sánchez Suárez, Pietro Mendonça de Santis Sica.
Investigación: Yasniel Sánchez Suárez, Pietro Mendonça de Santis Sica, Darian Samá Muñoz.
Metodología: Yasniel Sánchez Suárez, Pietro Mendonça de Santis Sica, Darian Samá Muñoz.
Administración del proyecto: Yasniel Sánchez Suárez.
Software: Yasniel Sánchez Suárez, Pietro Mendonça de Santis Sica.
Supervisión: Pietro Mendonça de Santis Sica.
Validación: Yasniel Sánchez Suárez, Pietro Mendonça de Santis Sica.
Visualización: Yasniel Sánchez Suárez, Pietro Mendonça de Santis Sica.
Redacción – borrador original: Yasniel Sánchez Suárez.
Redacción – revisión y edición: Pietro Mendonça de Santis Sica, Darian Samá Muñoz.