Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Indicadores clave de rendimiento (KPI) como herramienta para la eficiencia energética y sostenibilidad en cervecerías artesanales

Key Performance Indicators (KPIs) as a tool for energy efficiency and sustainability in craft breweries.

García-Macarty, R.A.*, Romero-Flores, E.A., Alcalde-Pérez, A.G., Ortega-Petterson, N., Castillo-Intriago, V.R.

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 852, Orizaba C.P. 94320, Ver., México (*https://orcid.org/0009-0003-2169-0741, https://orcid.org/0000-0001-9058-9346, https://orcid.org/0000-0001-7467-9835, https://orcid.org/0009-0001-8955-7192, https://orcid.org/0000-0002-2931-4914).

m07010264@orizaba.tecnm.mx*; edna.rf@orizaba.tecnm.mx; alma.ap@orizaba.tecnm.mx; nuria.op@orizaba.tecnm.mx; victor.ci@orizaba.tecnm.mx

Innovación tecnológica: Uso de indicadores clave en la gestión energética de cervecerías artesanales para mejorar consumo, reducir costos y aumentar sostenibilidad.

Área de aplicación industrial: Cervecerías artesanales y producción de bebidas con gestión energética eficiente para mayor competitividad y sostenibilidad.

Recibido: 19 febrero 2025
Aceptado: 09 octubre 2025

Abstract

This article explores how Key Performance Indicators (KPIs) are being adopted for energy management in craft breweries, aiming to improve efficiency while promoting sustainable practices. An exploratory literature review was carried out using databases such as SpringerLink, ScienceDirect, and Google Scholar. In total, 120 documents were identified; 35 of them met the inclusion criteria, and 20 were analyzed in depth. The studies reviewed report that implementing KPIs has helped breweries reduce overall energy use by approximately 15% and reduce operating costs by 10% to 20%. These results are more than numbers; they show that KPIs can serve as practical tools to guide decisions, plan investments, and monitor performance on a day-to-day basis. The contribution of this work lies in presenting evidence that connects the use of KPIs with tangible improvements in cost savings and sustainability, while also offering recommendations that can be applied in small-scale brewing operations. In addition, the review highlights the role of technologies such as real-time monitoring, renewable energy integration, and intelligent management systems in enhancing competitiveness in an evolving market.

Keywords: energy management, craft breweries, key performance indicators, sustainability, operational efficiency.

Resumen

Este artículo analiza cómo los Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) se están utilizando en la gestión energética de cervecerías artesanales, con el objetivo de mejorar la eficiencia y fomentar prácticas sostenibles. Se llevó a cabo una revisión exploratoria de la literatura en bases de datos como SpringerLink, ScienceDirect y Google Scholar. En total se identificaron 120 documentos; de ellos, 35 cumplieron con los criterios de inclusión y finalmente 20 fueron estudiados en detalle. Los trabajos revisados muestran que la aplicación de KPI ha permitido reducir en promedio un 15% el consumo energético y disminuir entre un 10% y 20% los costos operativos. Más allá de los porcentajes, la evidencia sugiere que los KPI se convierten en herramientas prácticas para orientar decisiones, planificar inversiones y dar seguimiento constante al desempeño. La principal aportación de este estudio es presentar resultados que relacionan directamente el uso de KPI con mejoras tangibles en ahorro y sostenibilidad, además de proponer recomendaciones aplicables al contexto de las microcervecerías. También se resalta el papel de tecnologías como el monitoreo en tiempo real, la integración de energías renovables y los sistemas inteligentes de gestión en el fortalecimiento de la competitividad frente a un mercado en transformación.

Palabras clave: Gestión de la energía, Cervecerías artesanales, Indicadores clave de rendimiento, Sostenibilidad, Eficiencia operativa.

Introducción

La producción de bebidas artesanales ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsada por la creciente demanda de productos únicos y de alta calidad. Sin embargo, este auge ha venido acompañado de desafíos considerables, particularmente en términos de costos operativos y sostenibilidad ambiental. En este contexto, la eficiencia energética se ha convertido en un componente crucial no solo para reducir costos, sino también para minimizar la huella ecológica y cumplir con las crecientes regulaciones ambientales que afectan a la industria cervecera artesanal (Olajire, 2020).

Para abordar estos desafíos, las cervecerías artesanales han comenzado a adoptar prácticas más sistemáticas en la gestión de su consumo energético. La implementación de indicadores clave de rendimiento (KPI) en la gestión energética permite a estas empresas monitorear y optimizar su uso de energía de manera más precisa y efectiva. KPI como el consumo energético total, el costo energético por unidad producida y la eficiencia energética son herramientas esenciales que proporcionan datos cuantitativos críticos para evaluar y mejorar el desempeño energético de las cervecerías. Estudios recientes indican que las cervecerías que han implementado estos KPI han logrado reducir su consumo total de energía en un 15% y sus costos operativos entre un 10% y 20% (Peterson et al., 2022; Pino et al., 2023).

Además, la integración de tecnologías de monitoreo y control en tiempo real, combinada con el uso de KPI, ha demostrado ser una práctica eficaz para maximizar la eficiencia energética (Mischos et al., 2023). Estas tecnologías no solo permiten la rápida identificación y corrección de ineficiencias, sino que también contribuyen a una mayor resiliencia operativa, apoyando la sostenibilidad a largo plazo de las cervecerías artesanales. Este enfoque se alinea con la necesidad de respuestas ágiles y basadas en evidencia, especialmente en contextos donde

las decisiones deben tomarse en plazos limitados (Tapia-Benavente et al., 2021).

Finalmente, la implementación de KPI no solo aporta beneficios económicos, sino que también posiciona a las cervecerías artesanales como líderes en la adopción de prácticas sostenibles dentro de la industria de bebidas. Al reducir su impacto ambiental, estas empresas contribuyen de manera significativa a los objetivos globales de sostenibilidad, respondiendo a las crecientes demandas regulatorias y del mercado por operaciones más verdes y responsables (Rosburg & Grebitus, 2021; Julkovski et al., 2022).

La adopción de indicadores clave de rendimiento en la gestión energética es esencial para las cervecerías artesanales que buscan mejorar su eficiencia, reducir costos y avanzar hacia un modelo de producción más sostenible. La integración de estas prácticas, respaldada por el uso adecuado de tecnologías y metodologías ágiles, permite a las cervecerías adaptarse rápidamente a las necesidades del mercado y a las exigencias ambientales contemporáneas (Gennitsaris et al., 2023).

Objetivos

El objetivo principal de esta revisión exploratoria es evaluar la implementación y los efectos de los indicadores clave de rendimiento en la gestión energética de cervecerías artesanales, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y promover prácticas sostenibles en esta industria. Este estudio atiende la creciente presión regulatoria y de mercado para mejorar la gestión energética y reducir el impacto ambiental en el sector cervecero artesanal.

Los objetivos específicos de esta revisión son los siguientes:

1. Identificar los indicadores clave más utilizados en la gestión energética de cervecerías artesanales.
2. Evaluar el impacto de estos indicadores en la eficiencia energética y los costos operativos.
3. Proponer recomendaciones basadas en evidencia para su implementación efectiva en la industria cervecera artesanal.

Estos objetivos se presentan dentro de la introducción, siguiendo las guías de la revista, y contribuyen tanto al conocimiento académico sobre la gestión energética como a la generación de herramientas prácticas para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad en cervecerías artesanales.

Materiales y Métodos

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque de revisión exploratoria, con el propósito de sintetizar la evidencia sobre la implementación de indicadores clave de rendimiento en la gestión energética de cervecerías artesanales. A diferencia de una revisión sistemática exhaustiva, esta metodología permitió obtener conclusiones útiles en plazos más cortos, sin perder rigor en la selección y análisis de las fuentes (Haby et al., 2016; Smela et al., 2023).

La búsqueda de información se realizó en bases de datos académicas reconocidas como SpringerLink, ScienceDirect y Google Scholar, empleando términos clave en inglés y español relacionados con: "gestión energética", "indicadores clave de rendimiento", "cervecerías artesanales", "eficiencia energética" y "reducción de costos". El rango temporal considerado fue de los últimos cinco años (2019–2024), complementado con literatura gris pertinente para asegurar una visión actualizada (Tapia-Benavente et al., 2021).

En total se identificaron 120 documentos. De ellos, 35 cumplieron con los criterios de inclusión previamente definidos (relevancia temática, disponibilidad de datos cuantitativos o cualitativos sobre KPI y eficiencia energética en industrias de bebidas o similares) y, tras una segunda depuración, 20 estudios fueron analizados en detalle. Entre los criterios de exclusión se consideraron: trabajos sin relación directa con el uso de KPI, estudios sin datos suficientes para la comparación y publicaciones duplicadas.

La extracción de datos se llevó a cabo mediante un formulario predefinido que permitió registrar: autor, año, tipo de estudio, contexto de la cervecería, indicadores clave utilizados, resultados en eficiencia y costos, así como observaciones adicionales. Asimismo, se aplicó una adaptación de la herramienta ROBIS (Risk of Bias in Systematic Reviews) para evaluar la calidad y consistencia de la evidencia (Gennitsaris et al., 2023).

La síntesis de la información se realizó de manera narrativa y con apoyo en tablas comparativas, destacando patrones comunes, resultados cuantificables y recomendaciones derivadas de los estudios seleccionados (D'Ascenzo et al., 2024).

Resultados

El análisis de los 20 estudios seleccionados permitió identificar patrones comunes en el uso de indicadores clave de rendimiento (KPI) dentro de las cervecerías artesanales. Los resultados se organizan en tablas con información detallada, de modo que el lector pueda relacionar directamente los hallazgos con la metodología descrita.

Tabla 1. Síntesis de estudios revisados sobre KPI en cervecerías artesanales.

Autor / Año	Tipo de estudio	KPI evaluados	Resultados principales	Observaciones
Pino et al. (2024)	Caso de estudio (microcervecería)	Consumo energético total, uso de PVT	Reducción del 47.6% de la demanda energética con sistema PVT	Retorno de inversión moderado (5–7 años)
Mohammed et al. (2024)	Revisión sistemática	Captura y conversión de carbono	Disminución del 60.2% de emisiones de CO_2	Requiere alta inversión inicial
Farghali et al. (2023)	Revisión	Estrategias de ahorro energético	Ahorros de hasta 35.4% al integrar IA y renovables	Aplicable a escalas mayores
Mischos et al. (2023)	Revisión	Sistemas inteligentes de gestión energética	Optimización del consumo en 28.7%	Mejora en resiliencia operativa
Kusakana (2020)	Caso de estudio	Fotovoltaico con almacenamiento en baterías	Ahorro de 30.5% en costos operativos	Alta dependencia del contexto regulatorio
Roth et al. (2020)	Marco metodológico	Uso de medidores inteligentes (MEMPI)	Eficiencia mejorada en 25.1%	Aporta marco replicable para cervecerías
Siqueiros et al. (2019)	Experimental	Recuperación de energía de residuos	Recuperación del 40.8% de energía	Fomenta circularidad de procesos
Andersson & Thollander (2019)	Revisión	KPI en industria papelera (comparativa)	Reducciones de 22.6% en predicciones energéticas	Transferible a sector bebidas

Tabla 2. Principales estrategias aplicadas para mejorar la eficiencia energética en cervecerías.

Estrategia	KPI relacionados	Impacto observado
Sistema fotovoltaico-térmico (PVT)	Consumo energético total, costo por unidad producida	Reducción de 47.6% en demanda energética (Pino et al., 2024)
Captura y conversión de carbono	Emisiones de CO_2	Reducción de 60.2% en emisiones (Mohammed et al., 2024)
Inteligencia artificial y energías renovables	Eficiencia global del proceso	Reducción de 35.4% en consumo energético (Farghali et al., 2023)
Integración de energía solar	Costo energético total	Ahorro del 39.9% en costos (Pino et al., 2023)
Sistemas inteligentes de gestión energética	Consumo energético total	Optimización de 28.7% (Mischos et al., 2023)
Almacenamiento en baterías	Costo energético total	Reducción de 30.5% en costos (Kusakana, 2020)
Medidores inteligentes	Precisión de monitoreo	Mejora del 25.1% en eficiencia (Roth et al., 2020)
Recuperación de energía de residuos	Eficiencia global del sistema	Recuperación del 40.8% de energía (Siqueiros et al., 2019; Rawalgaonkar et al., 2023)
Implementación de KPI	Consumo y costo por unidad	Reducción de 32.3% en costos (Andersson & Thollander, 2019)
Modelos predictivos	Predicciones energéticas	Mejora del 22.6% en precisión (Bär & Voigt, 2019)



Figura 1. Análisis comparativo del impacto de los KPI en la gestión energética de cervecerías artesanales *(Gráfico de telaraña, no incluido en este texto)*.

Discusión

Los resultados de esta revisión muestran que los indicadores clave de rendimiento (KPI) son mucho más que simples métricas: se convierten en una guía práctica para mejorar la gestión energética en cervecerías artesanales. La evidencia recopilada señala reducciones promedio del 15% en consumo energético y entre un 10% y 20% en costos operativos, lo cual confirma su utilidad como parte de un proceso de mejora continua (Peterson et al., 2022; Pino et al., 2023).

Además de los valores numéricos, los KPI ayudan a los productores a reconocer dónde se concentran las ineficiencias, por ejemplo, en procesos de refrigeración o embotellado (Andersson & Thollander, 2019). También ofrecen un marco para evaluar tecnologías emergentes, como paneles fotovoltaicos o sistemas de captura de carbono, antes de comprometer recursos en inversiones significativas (Pino et al., 2024; Mohammed et al., 2024). De esta manera, los KPI no solo permiten medir, sino anticipar y planificar de manera más estratégica (Bär & Voigt, 2019).

Otra aportación de los estudios revisados es la relación entre KPI y la resiliencia operativa. La integración de sistemas inteligentes de gestión y el uso de medidores avanzados hacen posible identificar anomalías en tiempo real, lo que evita pérdidas y favorece un control más preciso, especialmente en cervecerías con recursos limitados (Mischos et al., 2023; Roth et al., 2020).

No obstante, debe señalarse que los periodos de retorno de inversión de ciertas tecnologías varían ampliamente, lo que obliga a cada cervecería a realizar análisis financieros ajustados a su contexto particular (Gennitsaris et al., 2023). Aquí, los KPI funcionan como brújula para priorizar acciones que generen tanto impacto económico como ambiental.

En lo práctico, incluso medidas simples como llevar un registro del consumo energético por lote representan un primer paso hacia una gestión más eficiente y consciente (Rosburg & Grebitus, 2021). Finalmente, aunque el análisis se centró en cervecerías artesanales, la evidencia indica que el uso de KPI puede trasladarse a otras industrias de bebidas y alimentos, aportando beneficios similares en sostenibilidad y competitividad (Julkovski et al., 2022; Mainardis et al., 2024).

Conclusiones

Los resultados de esta revisión muestran que los indicadores clave de rendimiento (KPI) representan una herramienta práctica y de gran valor para las cervecerías artesanales que buscan gestionar mejor su consumo energético. La evidencia encontrada señala reducciones promedio del 15% en el uso de energía y entre un 10% y 20% en los costos operativos, datos que reflejan beneficios concretos tanto en lo económico como en lo ambiental (Peterson et al., 2022; Pino et al., 2023).

Más allá de los porcentajes, los KPI ayudan a visualizar procesos con oportunidades claras de mejora, como la refrigeración, la recuperación de calor o el embotellado, y sirven como apoyo para priorizar inversiones tecnológicas con mayor retorno (Andersson & Thollander, 2019; Roth et al., 2020). Incluso para cervecerías con recursos limitados, empezar a registrar y analizar indicadores básicos representa un paso realista y efectivo hacia la eficiencia energética y la sostenibilidad (Rosburg & Grebitus, 2021).

Este estudio también evidencia que el uso de KPI se conecta con tendencias globales hacia la circularidad y la descarbonización. Tecnologías como la integración de energías renovables, la valorización de subproductos y la digitalización de procesos encuentran mayor impacto cuando están respaldadas por métricas claras y comparables (Gennitsaris et al., 2023; D'Ascenzo et al., 2024). De esta forma, la adopción de KPI no es solo una opción de mejora, sino una estrategia clave para asegurar la competitividad y resiliencia de las cervecerías en un entorno de creciente exigencia regulatoria y social (Mainardis et al., 2024; Julkovski et al., 2024).

En conclusión, los KPI permiten unir la operación diaria con una visión de sostenibilidad a largo plazo. Su incorporación fortalece la capacidad de las cervecerías artesanales para crecer, innovar y al mismo tiempo reducir su impacto ambiental, consolidando su papel en un sector donde eficiencia y responsabilidad van de la mano.

Referencias

Tapia-Benavente, L., Vergara-Merino, L. I., Garegnani, L., Ortiz-Muñoz, L., Hernández, C. L., & Vargas-Peirano, M. (2021). Rapid reviews: definitions and uses. *Medwave, 21*(1). https://doi.org/10.5867/medwave.2021.01.8090

Smela, B., et al. (2023). Rapid literature review: definition and methodology. *Routledge*. https://doi.org/10.1080/20016689.2023.2241234

Haby, M. M., Chapman, E., Clark, R., Barreto, J., Reveiz, L., & Lavis, J. N. (2016). What are the best methodologies for rapid

reviews of the research evidence for evidence-informed decision making in health policy and practice: A rapid review. *Health Research Policy and Systems, 14*(83). https://doi.org/10.1186/s12961-016-0155-7

Pino, A., Pino, F. J., Cabello González, G., Navas, S. J., & Guerra, J. (2024). PVT potential for a small-scale brewing process: A case study. *Thermal Science and Engineering Progress, 53*, 102670. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102670

Mohammed, S., Eljack, F., Al-Sobhi, S., & Kazi, M. K. (2024). The role of emerging carbon capture and conversion technologies for energy transition to clean hydrogen: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141506

Farghali, M., et al. (2023). Strategies to save energy in the context of the energy crisis: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01591-5

Pino, A., Pino, F. J., & Guerra, J. (2023). Integration of solar energy in Small-scale Industries: Application to microbreweries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 57*, 103276. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103276

Mischos, S., Dalagdi, E., & Vrakas, D. (2023). Intelligent energy management systems: a review. *Artificial Intelligence Review, 56*(10), 11635–11674. https://doi.org/10.1007/s10462-023-10441-3

Kusakana, K. (2020). Optimal energy management of a grid-connected dual-tracking photovoltaic system with battery storage: Case of a microbrewery under demand response. *Energy, 212*, 118782. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118782

Roth, J., Brown, H. A., & Jain, R. K. (2020). Harnessing smart meter data for a Multitiered Energy Management Performance Indicators (MEMPI) framework: A facility manager informed approach. *Applied Energy, 276*, 115435. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115435

Siqueiros, E., Lamidi, R. O., Pathare, P. B., Wang, Y., & Roskilly, A. P. (2019). Energy Recovery from Brewery Waste: experimental and modelling perspectives. *Energy Procedia, 161*, 24–31. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.054

Andersson, E., & Thollander, P. (2019). Key performance indicators for energy management in the Swedish pulp and paper industry. *Energy Strategy Reviews, 24*, 229–235. https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.03.004

Bär, R. M., & Voigt, T. (2019). Analysis and Prediction Methods for Energy Efficiency and Media Demand in the Beverage Industry. *Food Engineering Reviews, 11*(3), 200–217. https://doi.org/10.1007/s12393-019-09195-y

Peterson, S. D., Amón, R., Wong, T., Spang, E. S., & Simmons, C. W. (2022). Material and energy flow analysis of craft brewing: A case study at a California microbrewery. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 6*, 1028520. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1028520

Rosburg, A., & Grebitus, C. (2021). Sustainable development in the craft brewing industry: A case study of Iowa brewers. *Business Strategy and the Environment, 30*(7), 2966–2979. https://doi.org/10.1002/bse.2782

Olajire, A. A. (2020). The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production, 256*, 102817. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.102817

Gennitsaris, S., Oliveira, M. C., Vris, G., Bofilios, A., Ntinou, T., Frutuoso, A. R., … & Dedoussis, V. (2023). Energy Efficiency

Management in Small and Medium-Sized Enterprises: Current Situation, Case Studies and Best Practices. *Sustainability, 15*(4), 3727. https://doi.org/10.3390/su15043727

D'Ascenzo, F., Vinci, G., Maddaloni, L., Ruggeri, M., & Savastano, M. (2024). Application of Life Cycle Assessment in Beer Production: A Systematic Review. *Beverages, 10*(3), 86. https://doi.org/10.3390/beverages10030086

Mainardis, M., Hickey, M., & Dereli, R. K. (2024). Lifting craft breweries sustainability through spent grain valorisation and renewable energy integration: A critical review in the circular economy framework. *Journal of Cleaner Production, 447*, 141527. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141527

Bowler, A. L., Rodgers, S., Meng, F., McKechnie, J., Cook, D. J., & Watson, N. J. (2024). Development of an open-source carbon footprint calculator of the UK craft brewing value chain. *Journal of Cleaner Production, 435*, 140181. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140181

Rawalgaonkar, D., Zhang, Y., Walker, S., Kirchman, P., Zhang, Q., & Ergas, S. J. (2023). Recovery of Energy and Carbon Dioxide from Craft Brewery Wastes for Onsite Use. *Fermentation, 9*(9), 831. https://doi.org/10.3390/fermentation9090831

Adino, E., Abewaa, M., & Tiruneh, A. (2024). Energy audit and associated carbon footprint estimation for a Meta Abo brewery. *Heliyon, 10*(6), e28300. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28300

Julkovski, D. J., Sehnem, S., Ramos, M. C. P., & Jabbour, C. J. C. (2022). Circular business models and the environment: Maturity levels of the circular economy and innovation in greener craft breweries. *Business Strategy and the Environment, 32*(6), 3465–3488. https://doi.org/10.1002/bse.3311

Bonato, S. V., de Jesus Pacheco, D. A., Schwengber ten Caten, C., & Caro, D. (2022). The missing link of circularity in small breweries' value chains: Unveiling strategies for waste management and biomass valorization. *Journal of Cleaner Production, 336*, 130275. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130275

Idowu, I. A., Hashim, K. S., Shaw, A., & Nunes, L. J. R. (2022). Energy recovery from brewery spent grains and spent coffee grounds: A circular economy approach to waste valorization. *Biofuels*. https://doi.org/10.1080/17597269.2022.2135292

Gruba, M. C., Denes, D., Lobo, R. C. G., & Isaak, A. (2022). Circular economy initiatives: Strategic implications, resource management, and entrepreneurial innovation in a Brazilian craft beer ecosystem during the COVID era. *Sustainability, 14*(19), 11826. https://doi.org/10.3390/su141911826

Colpo, I., Funck, V. M., & Martins, M. E. S. (2022). Waste Management in Craft Beer Production: Study of Industrial Symbiosis in the Southern Brazilian Context. *Environmental Engineering Science, 39*(5), 441–453. https://doi.org/10.1089/ees.2021.0193

Julkovski, D. J., Sehnem, S., Lara, A. C., & Ramos, M. D. C. P. (2024). Circularity of resources in the craft brewery segment: An analysis supported by innovation. *Environmental Quality Management, 33*(3), 265–281. https://doi.org/10.1002/tqem.22118