

Cogeneración: conceptos y tecnologías en Guatemala

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Fecha de corrección: 17 julio 2025

Juan Diego Chinchilla Lee¹, Jorge Alejandro Azmita Avila², Breethany Raquel Barrera Contreras³, Luis Alfredo Max Dubón⁴, Diego Efraín Monzon Garcia⁵, Sheyla Nazareth Morales Milian⁶, Ricardo Ramírez Lizano⁷, Cesiah Christina Orellana Carrillo⁸

RESUMEN

La cogeneración, también conocida como producción combinada de calor y electricidad (CHP), constituye una estrategia energética eficiente para reducir el consumo de energía primaria y las emisiones contaminantes. Este estudio tuvo como objetivo analizar los fundamentos técnicos, clasificaciones tecnológicas y parámetros de operación de la cogeneración, con énfasis en su aplicación en Guatemala, particularmente en la industria azucarera. Se empleó una metodología de revisión bibliográfica y análisis documental de casos representativos del país. Se identificaron diversas tecnologías utilizadas, como turbinas de vapor multietapa y motores alternativos, además del aprovechamiento del bagazo de caña como biomasa.

Los resultados evidencian que la cogeneración en Guatemala tiene un alto potencial de eficiencia energética y viabilidad económica, con una producción aproximada de 2,822 GWh de energía renovable durante la zafra 2023/24. Se concluye que la implementación ampliada de esta tecnología puede contribuir significativamente a la diversificación de la matriz energética nacional y al desarrollo sostenible.

Palabras clave: cogeneración, conceptos de cogeneración, tecnologías.

ABSTRACT

Cogeneration, also known as combined heat and power (CHP) production, is an efficient energy strategy that reduces primary energy consumption

¹ Ingeniero en Sistemas Energéticos con posgrado en Hidroenergía, egresado de la Universidad Galileo. Coordinador de Proyectos en Grupo Econoenergy. Email: juan.chinchilla@galileo.edu

² Magíster en Administración de Negocios, egresado de la Universidad Galileo, y Arquitecto titulado por la Universidad Rafael Landívar. Email: alejandrosilver63@gmail.com

³ Licenciada en Administración y Tecnología de las Telecomunicaciones, egresada de la Universidad Galileo con Diplomado en Automatización de Proyectos Administrativos y Técnica Universitaria en Tecnología y Administración. Actualmente cursa el Postgrado en Gestión de Energías Alternativas. Email: breethany.barrera@galileo.edu

⁴ Ingeniero forestal con posgrado en Hidroenergía, egresado de la Universidad Landívar, con más de 17 años de experiencia en proyectos forestales, ambientales, catastrales y de agrimensura. Gerente de la empresa ASEFOR, empresa desde la cual se brindan servicios técnicos especializados en planificación, consultorías ambientales, avalúos y SIG. Email: aseforquate@gmail.com

⁵ Ingeniero en Sistemas Energéticos, con 8 años de experiencia en el sector energético especializado en Sistemas de Respaldo de Energía con Posgrado en Eficiencia Energética y Energía Renovable. Email: dimoga.2624@galileo.edu

⁶ Ingeniera en Sistemas Energéticos, egresada de la Universidad Galileo. Actualmente curso el Postgrado en Gestión de Energías Alternativas. Me desempeño como Coordinadora y Vendedora de Proyectos Solares, con enfoque en soluciones energéticas sostenibles para el sector empresarial y residencial. Email: sheyla.morales@galileo.edu

⁷ Ingeniero electricista, egresado de la Universidad Fidélitas de Costa Rica, con más de 9 años de experiencia, especialista en Sistemas de Gestión de la Energía, consultor y auditor de la norma ISO-50001, miembro del colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, se desempeña como gestor en sistemas de mejora continua y desarrollo de proyectos de optimización de recursos. Email: ricardo.pj20@gmail.com

⁸ Ingeniera Química con especialidad en Sostenibilidad y posgrado en Hidroenergía, egresada de la Universidad Galileo. Cuenta con experiencia en control de calidad, desarrollo de productos químicos, homologación de materias primas, gestión de materiales y análisis de no conformidades. Ha participado en la elaboración de reportes técnicos en la industria textil, así como en actividades académicas como auxiliar de cátedra. Represento a Guatemala en el XXIX Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Química (ALEIQ 2024). Email: Cesiah.orellana@galileo.edu

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Fecha de corrección: 17 julio 2025

and pollutant emissions. This study aims to analyze the technical foundations, technological classifications, and operational parameters of cogeneration, focusing on its application in Guatemala, particularly within the sugar industry. A documentary review methodology was used to examine national implementation cases and relevant technologies such as multi-stage steam turbines and internal combustion engines. The use of sugarcane bagasse as a biomass fuel source was highlighted. Results indicate that cogeneration in Guatemala demonstrates high energy efficiency and economic feasibility, producing approximately 2,822 GWh of renewable energy during the 2023/24 harvest. It is concluded that expanded implementation of this technology could play a key role in diversifying the national energy matrix and promoting sustainable development.

Keywords: cogeneration, cogeneration concepts, technologies.

INTRODUCCIÓN

La transformación del sistema energético mundial hacia un modelo más sostenible, eficiente y con menor impacto ambiental se ha convertido en una prioridad estratégica ante la crisis climática y la creciente demanda energética. En este contexto, la cogeneración —también conocida como producción combinada de calor y electricidad (CHP, por sus siglas en inglés)— representa una alternativa tecnológica que permite optimizar el aprovechamiento de los recursos energéticos mediante la producción simultánea de energía térmica y eléctrica a partir de una sola fuente primaria.

Este tipo de tecnología mejora significativamente la eficiencia global de los sistemas de generación al recuperar el calor residual que normalmente se desperdicia en los métodos tradicionales. Mientras una planta convencional puede alcanzar eficiencias del 40% al 50%, los sistemas de cogeneración pueden superar el 80% (Mago & Hueffed, 2010), lo que implica un ahorro considerable de energía primaria y una reducción proporcional de emisiones contaminantes, especialmente de dióxido de carbono (CO₂).

En países en vías de desarrollo como Guatemala, el uso de tecnologías energéticas más eficientes se

vuelve una necesidad, no solo por razones ambientales, sino también por su impacto económico y en la seguridad energética nacional. Sectores industriales como el azucarero, con alta demanda térmica y eléctrica, ofrecen condiciones ideales para la implementación de sistemas de cogeneración. En este ámbito, el uso del bagazo de caña como biomasa renovable ha generado avances significativos, permitiendo a algunos ingenios producir excedentes eléctricos para su comercialización en la red nacional.

A pesar de los beneficios demostrados, la cogeneración aún presenta desafíos en su adopción generalizada, debido a barreras tecnológicas, económicas y normativas. Por lo tanto, resulta esencial evaluar su viabilidad y potencial de expansión en el país desde una perspectiva técnica y contextual.

El objetivo de este artículo es analizar los fundamentos, clasificación tecnológica, parámetros operativos y situación actual de la cogeneración en Guatemala, con énfasis en su aplicación en la industria azucarera, así como sus ventajas energéticas, ambientales y regulatorias.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Fundamentos de la cogeneración

La cogeneración se basa en el principio de aprovechar el calor residual generado durante la producción de electricidad para usos térmicos, como calefacción, procesos industriales o refrigeración por absorción. Este aprovechamiento simultáneo permite lograr eficiencias energéticas globales del 65 % al 90 %, superando ampliamente a los sistemas convencionales, donde buena parte del calor se pierde (Cabeza & Rincón, 2007). La cogeneración también permite un uso más racional de combustibles fósiles y es fácilmente integrable con fuentes de energía renovable, lo que la convierte en una tecnología clave para la transición energética.

La Directiva 2012/27/UE reconoce como cogeneración de alta eficiencia aquella que logra un ahorro mínimo del 10 % de energía primaria respecto a una producción separada. (Unión Europea, 2012) Este criterio es especialmente relevante para proyectos de pequeña y microescala, que pueden

Cogeneración: conceptos y tecnologías en Guatemala

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

beneficiarse de reducciones en los límites mínimos exigidos.

Clasificación de sistemas de cogeneración

Los sistemas de cogeneración pueden clasificarse de diversas maneras según el criterio adoptado. A continuación, se presentan las clasificaciones más comunes y utilizadas en la literatura técnica y científica.

Según la secuencia de procesos

La cogeneración puede clasificarse según el orden en el cual se produce la energía eléctrica y el calor útil:

Ciclo Topping: Es el tipo más común. En este sistema, el combustible se emplea primero para generar energía eléctrica mediante una turbina o un motor. Posteriormente, el calor residual del proceso se recupera y se utiliza para generar calor útil en forma de vapor o agua caliente. Este tipo de ciclo se caracteriza por su alta eficiencia global.

Ciclo Bottoming: En este tipo de sistema, el combustible se utiliza inicialmente para satisfacer una demanda térmica de alta temperatura, como en procesos industriales. Luego, el calor residual se emplea para generar energía eléctrica, usualmente mediante una turbina de vapor. Aunque menos frecuente, este ciclo es útil en procesos con grandes requerimientos térmicos. (Çengel, 2015)

Según el tipo de motor o tecnología utilizada

Dependiendo del equipo principal que transforma la energía, los sistemas de cogeneración se pueden dividir en:

Motores de combustión interna alternativos (MCIA): Utilizan diésel o gas natural. Son adecuados para aplicaciones de pequeña escala debido a su menor capacidad y costo inicial relativamente bajo.

Turbinas de gas: Ideales para aplicaciones de mediana y gran escala. Su funcionamiento se basa en la combustión de gas natural, con recuperación del calor de los gases de escape.

Turbinas de vapor: Comúnmente utilizadas en industrias que ya cuentan con vapor disponible. La energía se genera a partir del aprovechamiento del vapor de alta presión.

Fecha de corrección: 17 julio 2025

Pilas de combustible: Una tecnología emergente que destaca por su alta eficiencia energética y bajas emisiones contaminantes.

Sistemas de ciclo combinado: Se combinan turbinas de gas y turbinas de vapor para mejorar la eficiencia global del sistema, alcanzando rendimientos superiores al 80%. (Al-Sulaiman, 2011)

Según la potencia instalada

Esta clasificación permite definir la escala de aplicación del sistema de cogeneración, lo cual incide directamente en el tipo de tecnología empleada y su viabilidad económica:

Micro cogeneración: Con potencias inferiores a 50 kWe. (Unión Europea, 2004). Se utilizan principalmente en viviendas, edificios pequeños u oficinas. A menudo emplean motores de combustión o microturbinas.

Pequeña escala: Entre 50 kWe y 1 MWe. Son adecuadas para hospitales, hoteles, universidades o pequeñas industrias. Representan un buen equilibrio entre eficiencia y facilidad de implementación (Unión Europea, 2004).

Mediana y gran escala: Mayores a 1 MWe. Se destinan a aplicaciones industriales, plantas de generación distribuida o redes de calefacción urbana.

Parámetros Característicos de los Sistemas de Cogeneración

Para evaluar el desempeño y la viabilidad técnica y económica de un sistema de cogeneración, se consideran diversos parámetros característicos. Estos permiten comparar alternativas y medir la eficiencia del sistema en distintas condiciones de operación. (Horlock, J. H, 1997)

Rendimiento eléctrico, térmico y global

Rendimiento eléctrico: Es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía del combustible consumido.

$$\eta = \frac{E_{eléctrica}}{E_{combustible}}$$

Cogeneración: conceptos y tecnologías en Guatemala

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Rendimiento térmico: Es la fracción de la energía del combustible que se convierte en energía térmica útil.

$$\eta = \frac{E_{\text{térmica}}}{E_{\text{combustible}}}$$

Rendimiento global: Suma de los rendimientos eléctrico y térmico, representa la eficiencia total del sistema.

$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{el}} + \eta_{\text{térmico}}$$

Relación trabajo-calor

Es el cociente entre la energía eléctrica y la energía térmica generadas por el sistema. Este parámetro indica si el sistema está orientado a la producción eléctrica o térmica.

$$RTC = \frac{E_{\text{eléctrica}}}{E_{\text{térmica}}}$$

Una relación alta sugiere un sistema centrado en la generación eléctrica, mientras que una baja indica una mayor producción de calor.

Ahorro de energía primaria

Este indicador mide la cantidad de energía primaria (por ejemplo, gas natural o diésel) que se ahorra al usar un sistema de cogeneración frente a sistemas separados de generación de electricidad y calor.

$$\text{Ahorro \%} = \left(1 - \frac{E_{\text{combcog}}}{E_{\text{combseparado}}}\right) \times 100$$

Índice de Ahorro de Fuel (IAF)

El IAF compara el combustible ahorrado mediante la cogeneración frente a una producción convencional separada:

$$IAF = \frac{F_{\text{separado}} - F_{\text{cog}}}{F_{\text{separado}}}$$

Un valor positivo indica que la cogeneración es más eficiente que la generación separada.

Tasa de cobertura y factor de utilización

Tasa de cobertura: Indica qué proporción de la demanda térmica o eléctrica de una instalación es cubierta por la cogeneración.

$$\text{Tasa de cobertura} = \frac{\text{Demanda cubierta}}{\text{Demanda actual}}$$

Fecha de corrección: 17 julio 2025

Factor de utilización: Representa el aprovechamiento del calor residual o electricidad generada respecto al total disponible. (Al-Sulaiman, 2011)

$$\text{Factor de utilización} = \frac{E_{\text{utilizada}}}{E_{\text{disponible}}}$$

Integración energética

La integración energética en sistemas de cogeneración busca adaptar la forma y temperatura del calor generado a las necesidades específicas del usuario. Esto se puede lograr mediante:

Intercambiadores de calor, que ajustan la temperatura del calor residual para diferentes procesos.

Transformación térmica, como enfriadoras de absorción para producir frío a partir del calor.

Acumuladores térmicos, que permiten desacoplar la generación y el consumo de energía en el tiempo.

Además, se promueve la integración con redes eléctricas y térmicas urbanas, maximizando el aprovechamiento energético mediante estrategias de trigeneración (electricidad, calor y frío). Estas configuraciones permiten una operación flexible ante variaciones de demanda y precios energéticos, lo que mejora la resiliencia del sistema.

Situación de la cogeneración en Guatemala

Para comprender a mayor profundidad la cogeneración en Guatemala es necesario entender la evolución histórica de la industria azucarera pues esta preside la cogeneración. Según datos históricos las primeras plantaciones de azúcar se comenzaron en el año 1536 y se utilizaban los primeros trapiches para la extracción de la azúcar. Para el siglo XVII la utilización de trapiches aumentó exponencialmente facilitando la exportación de azúcar más adelante en el siglo XIX. (Cengicaña, 2014).

Con el tiempo se crearon asociaciones y departamentos cuyo objetivo era proporcionar metodologías, conocimientos, procesos y tecnologías que permitieran el avance de la agroindustria azucarera en Guatemala.

Canalización del Conocimiento Científico

Cogeneración: conceptos y tecnologías en Guatemala

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Con el tiempo (y derivado de utilizar los subproductos de la caña y la necesidad de reducir la emisión de CO₂ en el país) se tomó en cuenta el bagazo de caña como una biomasa y de la cual se quema en las calderas y así generar vapor. Sin embargo la necesidad de generar una mayor cantidad de vapor ha permitido que las generadoras pasen de turbinas de una etapa (las cuales se utilizaban como molinos por medio de la expansión de fluidos como el vapor pasando así a una sola fila de estator y rotor).

Con la evolución de las cogeneración y nuevas tecnologías se implementaron las turbinas multietapas. Al aplicar las turbinas multietapas se logró la generación de energía eléctrica no solo para la producción de azúcar sino también para aprovechamiento del calor como fuente de energía.

El surgimiento de leyes que fomentan el desarrollo de fuentes energéticas renovables en la República de Guatemala permite el mejoramiento y el avance de la cogeneración.

En los últimos años se ha convertido en una fuente de alta eficiencia energética para la generación de calor y vapor. Según datos históricos de la Asociación de Azucareros de Guatemala se estimó que:

“la presencia de las cogeneradoras fue de un 27% como la segunda fuente más importante de electricidad a partir de noviembre de 2021 a mayo de 2022”, esto queda estimado en la siguiente gráfica:

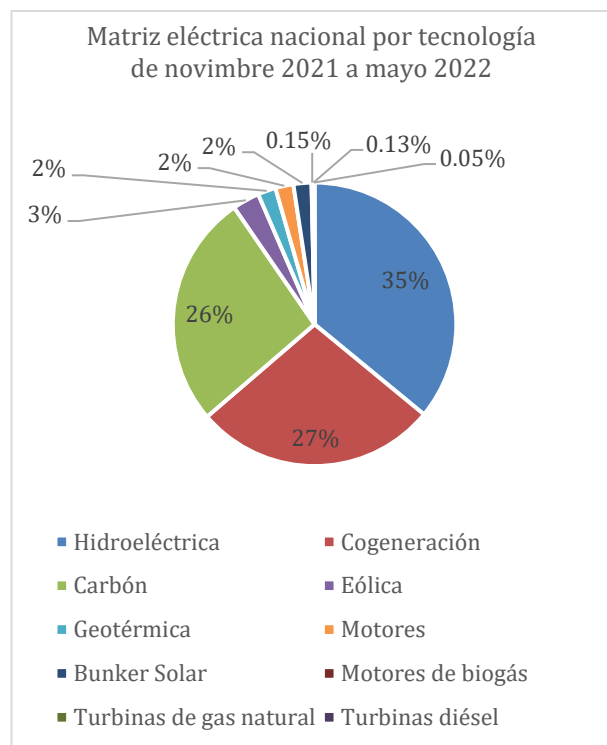
Tabla 1. Matriz eléctrica nacional por tecnología de noviembre 2021 a mayo 2022.

Sector	Fuente
Hidroeléctrica	35%
Cogeneración	27%
Carbón	26%
Eólica	3%
Geotérmica	2%
Motores	2%
Bunker solar	2%
Motores de biogás	0.15%
Turbinas de gas natural	0.13%
Turbinas diésel	0.05%

(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Fecha de corrección: 17 julio 2025

Figura 1. Matriz eléctrica nacional por tecnología de noviembre 2021 a mayo 2022.



(Fuente: Elaboración propia, 2025)

En la actualidad la Asociación de Azucareros de Guatemala indica desde su página web que:

“En la Zafra 2023/24, los ingenios cogeneradores aportaron aproximadamente 2,822 GWh de energía Renovable.” (Asazgua, 2025)

Esto permite evidenciar el potencial energético que ofrecen las generadoras en el territorio nacional a fin de contribuir no solo con el medio ambiente sino como suministradores de energía a las Empresas Eléctricas Municipales de Guatemala.

Perspectivas Tecnológicas y Estratégicas para el Desarrollo de la Cogeneración en Guatemala

La cogeneración puede integrarse eficazmente con fuentes renovables como la biomasa o la solar térmica, lo que es especialmente viable en Guatemala debido a la disponibilidad de residuos agrícolas. Esta combinación permite diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles, mejorando la seguridad energética del país (IRENA, 2018).

Cogeneración: conceptos y tecnologías en Guatemala

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Además, la incorporación de tecnologías digitales como sensores inteligentes, IoT e inteligencia artificial permite optimizar el rendimiento de los sistemas de cogeneración, facilitar el mantenimiento predictivo y adaptarse dinámicamente a la demanda. Esto aumenta la eficiencia operativa, especialmente en sistemas de mediana y gran escala (European Commission, 2021).

Ventajas tecnológicas, económicas y ambientales

Tecnológicas: La cogeneración permite una mayor eficiencia energética, reducción de pérdidas por transporte y adaptabilidad a diferentes escalas y sectores. Las tecnologías modernas como turbinas de gas, motores alternativos y ciclos combinados han incrementado su confiabilidad y rendimiento.

Económicas: Al generar simultáneamente electricidad y calor, se reducen los costos energéticos totales. En Guatemala, los ingenios azucareros que utilizan cogeneración con bagazo tienen menores costos de producción y, además, pueden vender excedentes eléctricos a la red.

Ambientales: Se reduce el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂. El uso de biomasa como el bagazo de caña implica un ciclo neutro de carbono. La cogeneración también contribuye a reducir la huella ecológica y mejorar el cumplimiento de metas climáticas nacionales.

Legislación y normativas

En Guatemala, el desarrollo de la cogeneración está regulado por diversas leyes y políticas que promueven la generación con fuentes renovables:

Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable (Decreto 52-2003): Fomenta la inversión en energías limpias y permite la venta de excedentes a la red eléctrica nacional.

Política Energética 2013–2027: Promueve la eficiencia energética y la diversificación de la matriz mediante cogeneración y otras tecnologías.

Normas técnicas del Administrador del Mercado Mayorista (AMM): Establecen los criterios de operación, medición y despacho para generadores cogeneradores.

Fecha de corrección: 17 julio 2025

Sin embargo, aún existe la necesidad de un marco normativo específico que reconozca los beneficios de la cogeneración de alta eficiencia y facilite su implementación en sectores distintos al azucarero.

RESULTADOS

El análisis documental y técnico de los sistemas de cogeneración en Guatemala, especialmente en la industria azucarera, revela resultados clave en cuanto a eficiencia, capacidad instalada y generación energética. A partir del uso de bagazo de caña como biomasa, se ha logrado integrar turbinas multietapa en los procesos industriales de los ingenios azucareros, permitiendo una producción energética considerable.

Durante la zafra 2023/2024, los ingenios cogeneradores del país produjeron aproximadamente 2,822 GWh de energía renovable, contribuyendo de forma significativa al abastecimiento del sistema eléctrico nacional. Considerando que la generación de electricidad total en Guatemala para el 2023 fue de 13,469 GWh (Country Economy, 2024) se estima el porcentaje de participación que aporta la cogeneración en la generación de electricidad total. Esta producción representa una de las mayores participaciones de generación distribuida por biomasa en Centroamérica (SELA, 2023).

Tabla 2. Participación anual estimada de cogeneración en generación de electricidad.

Participación anual estimada de cogeneración en generación de electricidad		
Guatemala		Región
Cogeneración con bagazo (Zafra 2023/2024)	2,822 GWh	
Total electricidad generada (Guatemala, 2023)	13,469 GWh	
Participación porcentual:	20,90%	7,80%

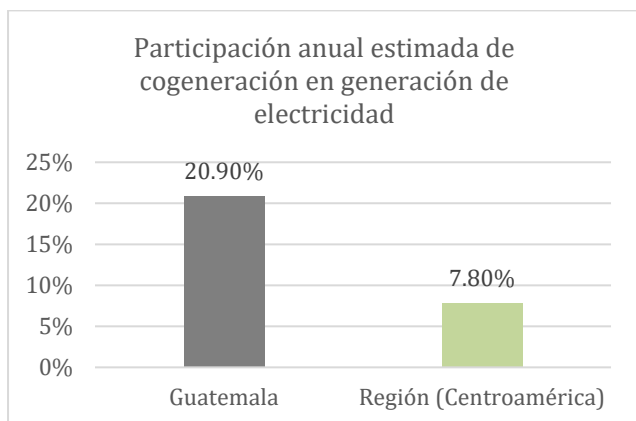
(Fuente: Elaboración propia, 2025)

Figura 2. Participación anual estimada de cogeneración en generación de electricidad.

Cogeneración: conceptos y tecnologías en Guatemala

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Fecha de corrección: 17 julio 2025



(Fuente: Elaboración propia, 2025)

A su vez se estima que, con el uso de tecnologías modernas de cogeneración, algunos ingenios alcanzan rendimientos energéticos globales superiores al 80%, superando ampliamente la media de sistemas convencionales (40–50%) (Esquivel, 2023).

En términos de cobertura energética, algunos ingenios han logrado abastecerse completamente durante el periodo de cosecha, con excedentes de energía eléctrica que se inyectan a la red, especialmente en zonas con presencia de Empresas Eléctricas Municipales. Sin embargo, se identifican diferencias notables en el nivel de inversión tecnológica entre ingenios, lo que afecta la eficiencia y la capacidad de exportación de energía.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos confirman que la cogeneración en Guatemala, impulsada principalmente por la industria azucarera, representa una solución viable para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. La alta eficiencia observada en ingenios con turbinas multietapa y sistemas de recuperación de calor se alinea con la literatura científica internacional, que sitúa los rangos óptimos de eficiencia entre el 65 % y el 90 % (Horlock, 1997; Çengel & Boles, 2015).

La cifra de 2,822 GWh de energía renovable generada en la última zafra refuerza el potencial del bagazo como recurso energético renovable. Este valor se compara favorablemente con otras fuentes renovables no convencionales en el país, posicionando a la cogeneración como una fuente

estratégica. Además, la naturaleza cíclica y localizada de la industria azucarera favorece la generación distribuida, reduciendo pérdidas en transmisión y mejorando la resiliencia energética en regiones rurales.

No obstante, se identifican limitaciones estructurales. Algunos ingenios no cuentan con la inversión necesaria para actualizar sus sistemas a tecnologías más eficientes, lo que genera una brecha tecnológica. Asimismo, el marco normativo actual, aunque promueve las energías renovables, no ofrece incentivos específicos suficientes para la cogeneración de alta eficiencia fuera del sector azucarero.

Finalmente, la comparación con estudios previos (Cengicaña, 2014) evidencia que Guatemala aún tiene un camino por recorrer en cuanto a integración energética nacional y políticas públicas enfocadas en cogeneración. Se sugiere impulsar programas de financiamiento, certificación técnica y expansión del modelo hacia sectores como el hotelero, hospitalario y agroindustrial no azucarero.

CONCLUSIONES

La cogeneración representa una estrategia energética eficiente y sostenible con alto potencial de aplicación en Guatemala. Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que el aprovechamiento del bagazo de caña como biomasa y la implementación de tecnologías modernas como turbinas multietapa han permitido alcanzar rendimientos energéticos superiores al 80 %, lo cual supera ampliamente a los sistemas de generación convencionales.

La producción de 2,822 GWh de energía renovable durante la zafra 2023/2024 demuestra la capacidad real de los ingenios azucareros para contribuir al abastecimiento eléctrico nacional, reforzando la viabilidad técnica y económica del modelo de cogeneración. Asimismo, se observó que aquellos ingenios con mayor inversión tecnológica logran un mejor aprovechamiento energético, lo que subraya la necesidad de incentivar la modernización del resto del sector.

A pesar de estos avances, persisten desafíos importantes. El marco regulatorio aún carece de mecanismos específicos para fomentar la

Canalización del Conocimiento Científico

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Fecha de corrección: 17 julio 2025

cogeneración de alta eficiencia más allá de la industria azucarera. La expansión hacia otros sectores industriales y comerciales requiere tanto apoyo institucional como financiamiento para proyectos de pequeña y mediana escala.

Se concluye que, con políticas públicas adecuadas, incentivos específicos y transferencia tecnológica, la cogeneración puede consolidarse como un pilar fundamental en la transición energética del país, promoviendo una matriz diversificada, eficiente y ambientalmente responsable.

AGRADECIMIENTOS

Se expresa un especial agradecimiento al **Ingeniero Mario Santizo**, quien, en calidad de tutor de esta investigación, brindó una orientación experta, oportuna y constante a lo largo del desarrollo del presente trabajo. Su compromiso académico y disposición fueron fundamentales para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Asimismo, se agradece a la **Universidad Galileo** por proporcionar el entorno académico, los recursos institucionales y el respaldo necesario para la realización de esta investigación.

De manera particular, se reconoce al **Instituto de Recursos Energéticos**, por ser un pilar en nuestra formación profesional y por compartir los conocimientos que han permitido nuestro desarrollo como Masters.

Se extiende también un agradecimiento a la **Asociación de Azucareros de Guatemala**, por brindar los recursos técnicos y la información necesaria para llevar a cabo este artículo científico.

Finalmente, se reconoce la valiosa participación de los compañeros que colaboraron en el desarrollo del estudio sobre cogeneración, cuyo esfuerzo conjunto y compromiso académico contribuyeron significativamente a la obtención de los resultados presentados.

REFERENCIAS

Al-Sulaiman, F. A., Dincer, I., & Hamdullahpur, F. (2011). Energy analysis of a trigeneration plant based on solid oxide fuel cell and organic Rankine cycle. *International Journal of Hydrogen*

- Energy*, 36(1), 1067–1078. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.10.014>
- Cabeza, L. F., & Rincón, L. (2007). *Cogeneración y eficiencia energética en instalaciones térmicas*. Universidad de Lleida.
- Cengicña. (2014). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. En A. M. Mario Melgar, *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala* (pp. 362–381). Librerías Artemis Edinter, S.A.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- CountryEconomy.com. (2024). *Guatemala - Consumo de electricidad*. <https://countryeconomy.com/energy-and-environment/electricity-consumption/guatemala>
- Esquivel, A. A. (2023). *Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad proactiva en un ingenio para la producción de vapor y generación de energía eléctrica, Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Horlock, J. H. (1997). *Cogeneration – Combined heat and power (CHP): Thermodynamics and economics*. Krieger Publishing Company.
- Koufopanos, C. A., & Vasalos, I. A. (2002). Cogeneration and combined heat and power (CHP). En *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. UNESCO. <https://www.eolss.net>
- Mago, P. J., & Hueffed, A. K. (2010). Evaluation of the potential of cogeneration in the US. *Energy Policy*, 38(8), 4208–4215. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.038>
- Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA). (2023, diciembre 21). *Energía renovable cubrirá 79% de la demanda de Centroamérica en 2023*. https://www.sela.org/energia-renovable-cubrira-79-de-la-demanda-de-centroamerica-en-2023/?utm_source=chatgpt.com
- Thermal Engineering. (2025, junio 14). ¿Qué es la teoría de las turbinas de vapor? Termodinámica: Definición. *Thermal Engineering*. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-teoria-de-las-turbinas-de-vapor-termodinamica-definicion/>
- Unión Europea. (2004). *Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de febrero de 2004, relativa a la promoción de la cogeneración basada en la demanda útil de calor y energía eléctrica*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Unión Europea. (2012). *Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 315, 1–56. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32012L0027>

Cogeneración: conceptos y tecnologías en Guatemala

Fecha de Recepción: 18 de junio 2025

Fecha de corrección: 17 julio 2025

Zhang, Y., Wang, L., & Chen, H. (2021). Efficiency analysis of cogeneration systems in industrial applications. *Applied Energy*, 285, 116432.