

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

Edgar Leonardo Romero Oliva ¹ German Estuardo Jimenez ² Maykol Erisandy Alfaro Gutiérrez ³ Jonatán David Herrarte Osorio ⁴ Edith Rocío Estrada Rosado ⁵ Mercedes Haydee Veliz Dabroy ⁶ Trisha Disley Paz Méndez ⁷ Ingrid Marisol Cuevas Vides ⁸

RESUMEN

Uno de los pilares para el desarrollo económico y humano es la energía. América Latina avanza hacia una transición energética más sostenible mediante la implementación de sistemas de cogeneración, que aprovechan recursos locales para generar electricidad y calor de manera simultánea. Este estudio tiene como principal objetivo, el análisis de diferentes aspectos tecnológicos de generación en sistemas de cogeneración implementados en América Latina, evaluando la viabilidad y contribución al desarrollo energético y sostenible de la región.

La investigación es descriptiva-comparativa, basada en la revisión de distintos documentos y el análisis de casos reales desarrollados entre el 2015 y el 2024 en países como Guatemala, Brasil, Chile, Perú, Ecuador y Argentina. La metodología utilizada incluye el análisis de las tecnologías implementadas dentro del sector y su desarrollo a futuro. Los casos de estudio de este documento revelan que la cogeneración ha sido adoptada principalmente en los sectores industriales con una alta demanda térmica y eléctrica.

Se concluye que la cogeneración representa una alternativa totalmente viable para mejorar la eficiencia energética de América Latina.

Palabras Clave: cogeneración, eficiencia energética, biomasa, América Latina, políticas

públicas, energía, presión, temperatura, conversión.

ABSTRACT

Energy is a cornerstone of economic and human development. Latin America is progressing toward a more sustainable energy transition through the implementation of cogeneration systems, which utilize local resources to simultaneously produce electricity and heat. This study aims to analyze the technological aspects of cogeneration systems in Latin America, assessing their viability and contribution to regional energy and sustainable development. The research adopts a descriptive-comparative approach, reviewing various documents and analyzing real-world cases from 2015 to 2024 in countries such as Guatemala, Brazil, Chile, Peru, Ecuador, and Argentina. The methodology includes an evaluation of implemented technologies and their future potential. Findings indicate that cogeneration has been predominantly adopted in industrial sectors with high thermal and electrical demands. The study concludes that cogeneration is a fully viable alternative to enhance energy efficiency in Latin America, supporting both economic growth and sustainability goals.

Keywords: cogeneration, energy efficiency, biomass, Latin America, public policies, energy, pressure, temperature, conversion.

¹ Licenciado en Gestión de Energía y Ambiente, Universidad Galileo. Experiencia: 25 años en proyectos de baja tensión a nivel industrial. edgar.romero@galileo.edu. ² Licenciado en Supervisión de Servicios y Administración de la Calidad, Universidad Galileo. Experiencia: 30 años Instalación y Mantenimiento Eléctrico Industrial. Estuardoj@galileo.edu. ³ Licenciado en Tecnología y Administración de empresas. Universidad Galileo. Experiencia: Administración de Maquinaria y Mantenimiento, Ingenio Magdalena. 21005096@galileo.edu. ⁴ Ingeniero Químico con Especialidad en Sostenibilidad Ambiental, Universidad Galileo. Experiencia: Control de Calidad en Worleé Condimentos y sazónadores. david.herrarte@galileo.edu. ⁵ Ingeniera Química con Especialidad en Sostenibilidad Ambiental, Universidad Galileo. Experiencia: Control de Calidad en Bayer Guatemala y Vijusa. Rocio.estrada@galileo.edu. ⁶ Ingeniera Química con Orientación en Sostenibilidad, Universidad Galileo. Experiencia: Prácticas en Gestión de Calidad en Bayer Guatemala y Experiencia en Liderazgo Operativo, Ventas y Control de Procesos. mercedes.veliz@galileo.edu. ⁷ Ingeniera Química con Especialidad en Sostenibilidad Ambiental, Universidad Galileo. Experiencia: Prácticas en Tratamiento de Agua en Cervecería Centro Americana. 9004856@galileo.edu. ⁸ Licenciatura en Arquitectura con Diplomado en Diseño Urbano de Ciudades Sustentables y Licenciatura en Gestión de Energía y Ambiente, Universidad Rafael Landívar, Cátedra Unesco y FLACAM, Universidad Galileo. Experiencia: 20 años en Planificación y Desarrollo de Proyectos de Arquitectura Sustentable, Bioclimática, Energía Renovable y Automatización de Procesos Industriales. ingrid.cuevas@galileo.edu.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la cogeneración emerge como una alternativa importante para optimizar el uso de la energía en América Latina. Al generar electricidad y calor de manera simultánea, esta tecnología no solo maximiza la eficiencia superando el 80% en muchos casos, (Proyectos Nuevo Pemex México 2021) sino que también reduce la dependencia de los combustibles fósiles, aprovechando recursos disponibles localmente. Los beneficios son claros: menores costos operativos, un impacto ambiental reducido y mayor autonomía energética.

Sin embargo, pese a sus ventajas, su adopción en la región aún tropieza con obstáculos técnicos, marcos regulatorios ambiguos y limitaciones financieras.

Actualmente se enfrenta un nuevo paradigma de desarrollo económico y tecnológico que deriva en investigaciones y actualizaciones de los equipos para hacer más eficientes los procesos, evolucionando a una economía verde o economía sostenible a nivel mundial (Energía y Sociedad, s.f.). En este contexto, la cogeneración se consolida como una solución viable en América Latina para generar energía eléctrica y térmica de manera eficiente, combinando tecnologías como motores de gas, turbinas de vapor y calderas de recuperación. Ejemplos destacados incluyen los ingenios azucareros de Guatemala, que logran un 85% de eficiencia al usar bagazo, las plantas brasileñas de etanol con turbinas de contrapresión y proyectos innovadores en Chile y Perú, donde se integra energía solar térmica e hidrógeno verde. Sin embargo, su expansión enfrenta obstáculos como la falta de financiamiento, marcos regulatorios poco definidos y altos costos iniciales (Dialogue Earth, 2024).

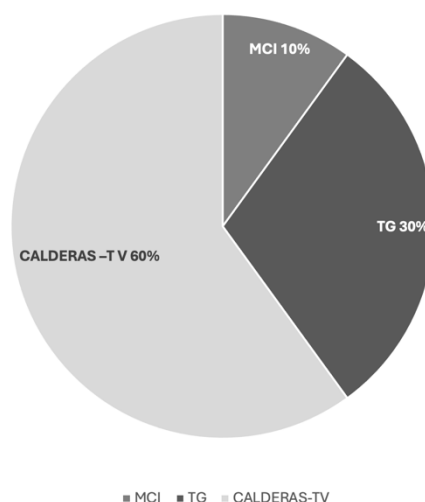
El objetivo de esta investigación es profundizar en los aspectos técnicos de la cogeneración, desde motores de gas hasta turbinas de vapor y sistemas de recuperación de calor, ilustrando cómo estas tecnologías pueden adaptarse a distintos contextos. Adicionalmente a examinar las experiencias exitosas en países como Guatemala,

Brasil, Chile y Perú, donde la combinación de biomasa, energía solar térmica e incluso hidrógeno verde, demuestra ser viable tanto económica como técnicamente.

FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS

En América Latina, en busca de una evolución tecnológica energética, se plantea implementar sistemas de cogeneración con el fin de impulsar y aprovechar recursos de energía locales. En la región se han utilizado motores alternativos, turbinas y calderas de recuperación de calor, que responden a factores tecnológicos con la capacidad de adaptación a distintos requerimientos de operación, mantenimiento y eficiencia térmica alcanzable, con la posibilidad de integrar sistemas de recuperación energético. A continuación, se explicará cada una de estas tecnologías.

Figura 1. Cogeneración por Tecnología América Latina – Sector Industria.



(Fuente: ACR Latinoamérica, s.f.)

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

Motores Alternativos de gas: Motores térmicos cíclicos de combustión interna, de movimiento alternativo, que convierte la energía química contenida en un combustible en energía mecánica de rotación de un eje. La reacción explosiva de la mezcla aire-combustible en el interior de un cilindro provoca el movimiento lineal del pistón, que la biela convierte en rotación del cigüeñal (García Garrido & Fraile Chico, 2008).

Turbinas de vapor: Motor térmico cíclico rotativo, de combustión externa, que desplazado por vapor produce energía mecánica. El vapor entra a alta presión y temperatura expandiéndose en la turbina, transformando una parte de su entalpía en energía mecánica. A la salida de la turbina, el vapor ha perdido presión y temperatura (García Garrido & Fraile Chico, 2008)

Tipos de Turbinas:

Turbinas de acción.

Turbina monoetapa y multietapa.

Turbina de contrapresión y condensación.

Turbina con extracción y con inyección.

Partes fundamentales de una turbina de vapor:

Sistema de admisión.

Cuerpo de turbina, formado por el rotor, el estator, el eje y la carcasa.

Escapa de la turbina.

Cierres laberínticos de vapor.

Reductor.

Generador.

Además, las calderas pueden ir dotadas de los siguientes componentes externos:

Calderas de recuperación de calor: Unidad a presión, donde el calor procedente de un combustible o de otra fuente de energía se transforma en energía térmica, utilizable a través de un fluido caloportador en fase líquida o vapor. Las calderas que se utilizan en las plantas de cogeneración son calderas que recuperan el calor contenido en los gases de escape de la máquina térmica de combustión. En ellas se calienta agua, que se convierte en vapor, utilizado para mover una turbina como fluido caloportador que aporta calor a alguna fase del proceso industrial al que está

asociada la planta de cogeneración. (García Garrido & Fraile Chico, 2008)

Partes fundamentales de una Caldera de Recuperación:

Cámara donde se realiza la combustión.

Cuerpos de intercambio, donde se transfiere el calor de los gases caliente al fluido caloportador.

Quemadores.

Envolvente o carcasa que aísla el cuerpo intercambiador del exterior.

Conjunto de elemento auxiliares y control de la caldera.

Además, las calderas pueden ir dotadas de los siguientes componentes externos:

Economizador, intercambiador de calor que precalienta el agua de entrada a la caldera, tomando calor de los humos o gases de escape.

Recuperadores, intercambiadores de calor que precalientan el aire de entrada a la cámara de combustión a partir de los gases de escape.

Tipos de Calderas de recuperación de calor:

Calderas de circulación natural.

Calderas con circulación forzada.

Calderas Piro-tubulares.

Calderas Acuotubulares,

AVANCES TECNOLÓGICOS

La eficiencia mide la transformación de una fuente de energía primaria en energía útil, como la electricidad y el calor. En este caso, la cogeneración es la tecnología más eficiente para lograr dicha transformación, tomando en cuenta que la eficiencia no depende de que la fuente primaria sea fósil. Si la cogeneración es la forma más útil de transformar el gas natural, también lo es para transformar un gas renovable. Adicional a la sostenibilidad ambiental y económica, también es necesario tomar en cuenta la sostenibilidad tecnológica. (VIU, 2025; Repsol, s.f)

Gran parte del sector industrial en América Latina tienen sistemas de generación de calor basados en calderas, motores o turbinas. Para realizar modificaciones, a una tecnología más sustentable,

Canalización del Conocimiento Científico

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

únicamente es necesario que el carbono del metano sea biogénico, o que utilice hidrógeno. Por lo anterior, toda la tecnología desarrollada en los últimos 125 años es adecuada para seguir aportando calor de alta temperatura a la industria en la era de los gases renovables, sin realizar cambios adicionales (Clúster de l'Energia Eficient de Catalunya, s.f.).

-Caso 1: Guatemala- Tecnología en Cogeneración: Ingenios Azucareros de Guatemala.

La industria azucarera en Guatemala ha incorporado sistemas de cogeneración como parte integral de su modelo energético, permitiendo el aprovechamiento térmico de la biomasa.

Un ejemplo destacado es el Ingenio Pantaleon, uno de los más grandes y tecnológicamente avanzados del país. Este ingenio opera con una capacidad instalada de 100 MW eléctricos, generados a partir del bagazo de caña como combustible principal. (Pantaleon, 2018)

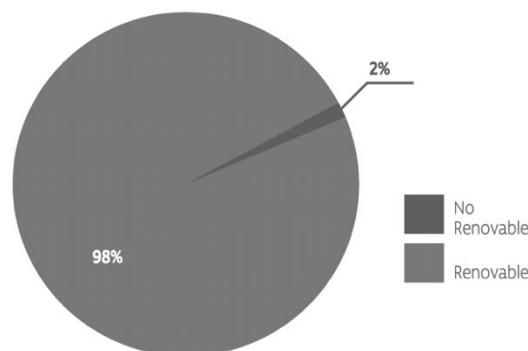
El sistema de cogeneración del Ingenio Pantaleon utiliza calderas acuotubulares de alta presión, operando a presiones de hasta 67 bar (aproximadamente 1,000 psi) y temperaturas de 495 °C, lo cual permite una mayor eficiencia térmica. (Pantaleon, 2018)

Estas calderas alimentan turbinas de vapor que además de generar electricidad para el autoconsumo, permiten exportar excedentes a la red eléctrica nacional, principalmente durante la zafra (noviembre a abril). En términos de eficiencia energética, el sistema alcanza un rendimiento de hasta 85 % en aprovechamiento energético global (térmico + eléctrico), superando ampliamente a las plantas térmicas convencionales (Wiki Ciencias, 2025).

Este tipo de integración no solo reduce el consumo de combustibles fósiles, sino que también contribuye a la disminución de emisiones de CO₂, reforzando los compromisos ambientales del sector azucarero guatemalteco.

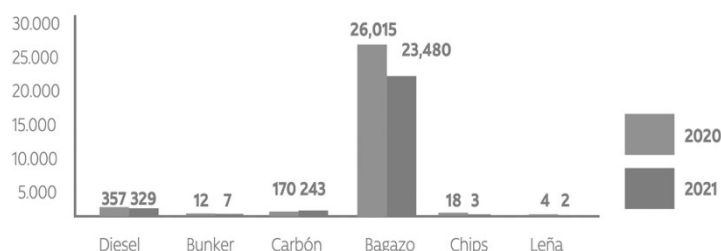
Figura 2. Tipos de Fuentes de Energía-Combustibles. Ingenio Pantaleon.

Tipos de Fuentes de Energía de Combustibles (%)



(Fuente: Pantaleon, reporte 2021, p. 48)

Figura 3. Tipos de Combustible para Producir Energía (TJ). Ingenio Pantaleon.



(Fuente: Pantaleon, reporte 2021, p. 48)

La experiencia del Ingenio Pantaleón demuestra que la cogeneración eficiente con biomasa es viable en países en desarrollo, siempre que exista infraestructura, disponibilidad de materia prima y un marco regulatorio favorable para la venta de excedentes eléctricos.

-Caso 2: Brasil – Uso de biomasa en plantas de etanol.

Brasil lidera el uso de biomasa residual, especialmente bagazo de caña, en plantas de etanol para cogenerar calor y electricidad. Cerca del 78 % de la bioenergía del país proviene de esta fuente, lo que permite el autoconsumo energético y la inyección de excedentes a la red eléctrica (OLADE, 2025).

Canalización del Conocimiento Científico

Las plantas usan turbinas de contrapresión para generar electricidad y vapor industrial, con una producción promedio de 12 kWh por tonelada de caña. Para 2024, se estima una capacidad operativa de 1,1 GW en cogeneración con bagazo (RenovaBio, 2021).

Balance de energía térmica:

$$Q_{util} = Q_{generado} - Q_{perdidas}$$

Ejemplos como Abengoa, con 140 MW instalados, destacan por combinar producción de etanol y electricidad. Asimismo, se impulsa el etanol de segunda generación (2G), utilizando bagazo y paja, con inversiones importantes de empresas como Raízen, que proyecta una producción de 328 millones de litros anuales en 2025 (OLADE, 2024).

Este modelo reduce el uso de combustibles fósiles, genera energía limpia y fortalece la sostenibilidad del sector.

-Caso 3: Chile – Integración de energía solar térmica en cogeneración

En Chile, la incorporación de energía solar térmica en sistemas de cogeneración emerge como una alternativa eficiente para reducir el uso de combustibles fósiles en sectores con alta demanda energética como la minería y la industria alimentaria. Las tecnologías más utilizadas incluyen colectores solares planos de alta eficiencia y colectores cilindro-parabólicos (CPC), capaces de generar temperaturas entre 150 °C y 400 °C, lo que permite su integración en procesos térmicos industriales y en sistemas de cogeneración a vapor (Revista Electricidad Chile, 2024).

Un ejemplo destacado es la planta solar térmica instalada en la Minera Gabriela Mistral de Codelco, que utiliza una instalación de colectores cilindro-parabólicos de 27 MW térmicos, permitiendo sustituir parte del consumo de diésel para la producción de agua caliente y vapor. Esta aplicación ha demostrado alta reducción de emisiones de CO₂, adicionalmente a la disminución de costos operativos y el aumento de la eficiencia global del sistema energético (Codelco, 2023).

Energía térmica útil captada:

$$Q_{util} = (Ac)(GDNI)(\eta_{opt}) - Q_{perdidas}$$

Desde el punto de vista ambiental, la integración solar térmica permite reducir la huella de carbono de las operaciones industriales, alineándose con los objetivos de descarbonización del país. Asimismo, al tratarse de una tecnología modular, su implementación puede adaptarse tanto a grandes instalaciones mineras como a procesos industriales de menor escala, especialmente en el norte de Chile, donde el potencial solar directo (DNI) supera los 2,700 kWh/m²-año (Tello Sotomayor, 2024).

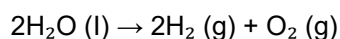
-Caso 4: Perú- Hidrógeno verde en cogeneración

En marzo de 2024, se promulgó en Perú la ley No 31992, para la producción de hidrógeno verde, promoviendo la investigación y transformación como un vector combustible en diferentes aplicaciones. Lo anterior potencia la descarbonización dentro del sector de cogeneración utilizándolo en lugar de los combustibles fósiles (Congreso de la República del Perú, 2024).

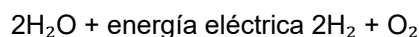
Uno de los proyectos representativos en Perú, es la Planta de ENAEX ubicada en Cusco, dentro de las instalaciones de Industrias Cachimayo (L. Quispe & J. Mercado, 2024).

Las ecuaciones de diseño para este caso incluyen: optimización de la eficiencia de la producción de hidrógeno, eficiencia de cogeneración y gestión de la energía.

Como se muestra en la figura 4, para la obtención de Hidrógeno Verde es necesario realizar un proceso de electrólisis del agua representado con la siguiente ecuación:



En donde 2H₂O (l) representa el agua en estado líquido, 2H₂ (g) representa el hidrógeno en estado gaseoso y O₂ (g) representa el oxígeno en estado gaseoso.



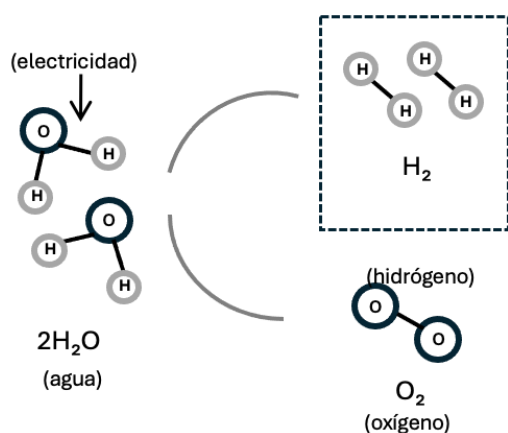
Eficiencia de la electrólisis:

$$nelect = \left(\frac{\text{energía hidrógeno}}{\text{energía eléctrica}} \right) \times 100\%$$

Eficiencia de la cogeneración:

$$ncog = \left(\frac{\text{energía eléctrica} + \text{energía térmica}}{\text{energía combustible}} \right)$$

Figura 4. Electrólisis para obtener hidrógeno.



(Fuente: Neutral, 2022, párr. 4)

BARRERAS PARA SU IMPLEMENTACIÓN

Barreras normativas y económicas

La falta de instrumentos financieros limita el acceso a capital para proyectos con altos costos de instalación, incluyendo estudios de viabilidad y equipamiento de cogeneración, así mismo los mecanismos no consideran los tiempos de recuperación largos ni los beneficios energéticos limitando el interés de los inversionistas. La falta de una política energética clara y estable y la poca claridad en incentivos agrava el problema.

-Caso 1: Perú – Regulaciones sobre interconexión con la red eléctrica

Perú cuenta con un marco normativo consolidado que garantiza el acceso abierto y no discriminatorio a la red eléctrica. La Ley de Concesiones Eléctricas (Decreto Ley N.º 25844) y la Ley N.º 28832 establecen que los concesionarios de transmisión y distribución deben permitir la conexión de terceros, bajo criterios técnicos y con supervisión de OSINERGMIN, el regulador del sector (Congreso de la República del Perú, 1992; Osinergmin, 2013). La operación técnica del sistema está a cargo del COES, que también coordina la planificación de la transmisión y el despacho económico de generación. En los últimos años, se han impulsado reformas orientadas a modernizar el sector, destacando la actualización del Procedimiento Técnico N.º 20 del COES (OSINERGMIN, 2021) y el desarrollo de un “Libro Blanco” para transformar el mercado eléctrico, introducir generación distribuida y facilitar nuevas tecnologías (Minem, 2025). Estas medidas buscan hacer más ágil y eficiente la interconexión de nuevos proyectos al SEIN, manteniendo criterios de seguridad y libre competencia.

-Caso 2: Ecuador – Obstáculos financieros en la adopción de la cogeneración

En Ecuador, la adopción de sistemas de cogeneración industrial enfrenta múltiples obstáculos financieros que limitan su escalabilidad.

A pesar del alto potencial técnico en sectores como alimentos, químicos y papel, las barreras económicas restringen la inversión privada. Uno de los principales desafíos es el alto costo inicial de capital asociado con tecnologías de cogeneración, especialmente cuando se integran turbinas de vapor o motores de gas con calderas de recuperación, cuya inversión supera los 1,000 USD/kW instalado (CELEC EP, 2017).

La ausencia de incentivos fiscales específicos, líneas de financiamiento preferenciales o mecanismos de compra garantizada de excedentes eléctricos dificulta aún más la viabilidad de estos proyectos. Aunque el marco regulatorio contempla

la cogeneración eficiente bajo la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, su implementación ha sido limitada por la falta de claridad en normativas secundarias y retrasos en la actualización de tarifas de venta de excedentes (ARCONEL, 2020).

A nivel institucional, la limitada articulación entre entes regulatorios, financieros y técnicos ha generado incertidumbre para los inversionistas. Adicionalmente, los costos de transacción para evaluar y certificar proyectos como eficientes suelen ser prohibitivos para medianas empresas. Superar estas barreras requiere de políticas públicas integradas que combinen regulación efectiva, acceso a financiamiento verde y apoyo técnico. Sin estos elementos, la cogeneración continuará subutilizada, desaprovechando su capacidad de mejorar la eficiencia energética y reducir emisiones industriales. (Fundación Bariloche, 2018; Orkestra, 2020)

EVALUACIÓN DE VIABILIDAD Y FUTURO

La cogeneración, o generación combinada de calor y electricidad (también conocida como CHP, Combined Heat and Power), es una tecnología energética madura, que permite alcanzar eficiencias globales muy altas (por encima del 80% en algunos casos) al aprovechar el calor residual de la producción de electricidad (Caterpillar, s.f.).

Lo anterior, consiste en la producción simultánea, en un mismo proceso, de energía eléctrica y calor útil, típicamente aprovechando combustibles en instalaciones industriales o de servicio. A pesar de ser conocida desde hace décadas y de sus ventajas en ahorro de energía primaria, reducción de costos y menores emisiones de gases de efecto invernadero (por cada unidad de energía útil se quema menos combustible), América Latina apenas ha aprovechado el gran potencial de cogeneración existente. (Enel X, 2020, Fundación Bariloche, 2018)

Potencial de expansión en América Latina

Varios estudios, como el informe *"Cogeneration and District Energy – Sustainable Energy*

Technologies for Today and Tomorrow" publicado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), destacan que América Latina cuenta con recursos energéticos para la cogeneración, aunque una gran parte de este potencial permanece sin explotar. Entre las fuentes más prometedoras se encuentra la biomasa residual, especialmente en sectores agroindustriales. Un ejemplo es el bagazo de caña de azúcar, subproducto ampliamente disponible en países como Brasil, Colombia, México y gran parte de Centroamérica. Así como gas natural en países con reservas (Argentina, México, Bolivia, Trinidad y Tobago, entre otros). Además, industrias intensivas en energía (refinación de petróleo, química, papelería, siderurgia, alimentaria) y grandes complejos comerciales o de servicios (hospitales, aeropuertos, universidades) presentan oportunidades para instalar sistemas de cogeneración aprovechando su demanda simultánea de electricidad y calor (OLADE, 2024).

La infraestructura actual de cogeneración en la región es aún incipiente en comparación con su potencial. En países como Brasil, la cogeneración con biomasa (principalmente bagazo en ingenios azucareros) ha crecido en la última década; se estima que para 2024 Brasil alcanzará en torno a 1.1 GW de capacidad de cogeneración biomasa operativa. En América Central, países como Guatemala, El Salvador o Costa Rica también aprovechan la cogeneración en ingenios azucareros, exportando excedentes eléctricos a la red durante la zafra (Verdezoto et al., 2021).

Sin embargo, en términos generales, la capacidad instalada en América Latina es pequeña frente al amplio universo de aplicaciones posibles, y gran parte del "calor residual" de procesos industriales aún se pierde en la atmósfera en lugar de ser recuperado (Organización Latinoamericana de Energía, s.f.).

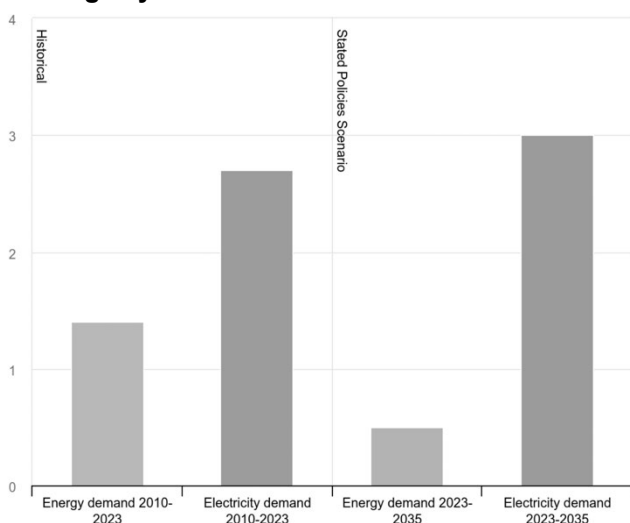
Entre los beneficios económicos y ambientales comprobados de la cogeneración se cuentan: (a) ahorro de combustible primario y reducción de costos operativos gracias al uso eficiente de la energía; (b) disminución de emisiones de CO₂ y otros contaminantes por cada MWh generado, en

comparación con la generación separada de electricidad y calor; (c) mayor seguridad energética y confiabilidad, al proveer energía en el propio sitio de consumo (lo que reduce la dependencia de la red y las pérdidas por transmisión); y (d) en muchos casos, valorización de residuos, por ejemplo, la quema de bagazo, biogás o residuos forestales para generar energía útil en lugar de disponerlos (Agrifcente, 2024).

Un estudio de caso en Ecuador ilustra el impacto potencial, se estimó un potencial de cogeneración en el sector industrial de aproximadamente 600 MW_{el} (cerca del 7% de la capacidad eléctrica instalada del país); si se implementara plenamente, la eficiencia energética industrial podría aumentar un 35–40%, ahorrando hasta 18.6×10^6 litros mensuales de combustibles fósiles, evitando la emisión de 576,800 toneladas de CO₂ al año y creando más de 2,600 empleos directos (García et al., 2021).

Esto evidencia que la expansión de la cogeneración en América Latina tendría efectos positivos no solo en términos energéticos, sino también ambientales y socioeconómicos (generación de empleos verdes, desarrollo tecnológico local, entre otros) (Peláez Samaniego, 2020).

Figura 5. Crecimiento Anual de la Demanda de la Energía y Electricidad en América Latina.



(Fuente: Vilela, Latam Green, 2025)

Desarrollo de nuevas políticas para incentivar su uso

Dada la importancia de remover barreras iniciales, varios gobiernos latinoamericanos han introducido políticas de fomento a la cogeneración en los últimos años. No obstante, la región aún se encuentra en una etapa temprana en cuanto a marcos regulatorios específicos para cogeneración.

Un análisis comparativo de ocho países de América Latina evidenció que la regulación aún es incipiente y que los incentivos disponibles suelen ser estándar y similares, principalmente enfocados en exenciones o reducciones impositivas (reducción de aranceles de importación, IVA y/o impuestos a la renta para equipos de cogeneración) orientada a facilitar la inversión de capital (Vergara-Schmalbach, Morelos Gómez & Lora Guzmán, 2014).

Estos incentivos fiscales han mostrado impacto positivo en los países donde un proyecto de cogeneración resulta factible bajo condiciones base, la aplicación de incentivos reduce significativamente el tiempo de retorno de inversión (ROI) y aumenta la tasa interna de retorno (IRR), mejorando la rentabilidad del proyecto. En otras palabras, los incentivos actuales, aunque son modestos han contribuido a viabilizar proyectos que antes no alcanzaban los umbrales financieros requeridos (Rivera Alvarez, 2020).

-Caso 6: Argentina – Investigación en materiales avanzados

Argentina ha consolidado una infraestructura científica sólida en el desarrollo de materiales avanzados, con instituciones como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y el Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJu). Estas entidades contribuyen al avance tecnológico en sectores estratégicos como energía nuclear, almacenamiento energético y electromovilidad (Argentina.gob.ar, 2020).

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

La CNEA realiza ensayos fisicoquímicos, metalúrgicos y de caracterización mecánica sobre materiales metálicos, compuestos y poliméricos.

Análisis termodinámico: Expansión térmica.

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

Donde ΔL es el cambio de longitud, α es el coeficiente de expansión térmica, L_0 la longitud inicial y ΔT el cambio de temperatura.

Sus laboratorios están acreditados para evaluar corrosión, integridad estructural y comportamiento bajo condiciones extremas, siendo fundamentales para el sector nuclear argentino (CNEA, 2024).

Por su parte, el INTI promueve desarrollos en recubrimientos especiales, análisis termomecánicos y validación de materiales en plantas piloto, brindando apoyo tecnológico a la industria nacional y fortaleciendo procesos de innovación en pequeñas y medianas empresas (INTI, 2024). En el norte del país, el CIDMEJu (dependiente del CONICET, la Universidad Nacional de Jujuy y el Gobierno de Jujuy) impulsa líneas de investigación en compuestos de litio, reciclaje de baterías, separación isotópica ($^6\text{Li}/^7\text{Li}$), y tecnologías electroquímicas para almacenamiento de energía. Este centro organizó en 2024 el Congreso Internacional RELiTE, reuniendo a expertos de Europa y América para discutir sobre producción sustentable de litio y materiales avanzados (CONICET, 2024).

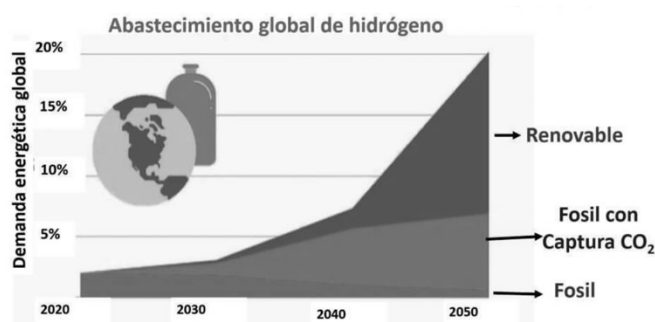
RESULTADOS

En América Latina, actualmente se impulsa una adopción de sistemas de cogeneración como una estrategia para poder fortalecer un aprovechamiento de los recursos energéticos de cada región, adaptando e incorporando diversas tecnologías para diferentes condiciones operativas. En este contexto se puede destacar tres componentes de importancia como los motores alternativos de gas, las turbinas de vapor y las calderas, permitiendo mejorar la eficiencia térmica, reducir emisiones y fomentar el desarrollo sostenible latinoamericano.

El caso del Ingenio Pantaleon en Guatemala, ha incorporado con éxito la cogeneración a través de bagazo de caña, logrando una fuerte capacidad instalada de 100MW. Este caso es una muestra palpable de como la cogeneración es totalmente viable en la región (Pantaleon, 2018).

Otro caso interesante es el de Perú, fomentando la investigación y producción de hidrógeno verde como base, siendo un combustible limpio para la sustitución de fósiles en los procesos de cogeneración (L. Quispe & J. Mercado, 2024). Lo anterior visiona a futuro, una posible potencialización de generación partiendo de una base totalmente sustentable.

Figura 6. Abastecimiento Global de Hidrógeno



(Fuente: Pacheco Tanaka, 2022)

Dentro de la investigación de materiales avanzados sobre el tema, Argentina ha desarrollado una infraestructura científica bastante sólida realizando ensayos en corrosión, integridad estructural y comportamientos bajo condiciones extremas. Por otra parte, se lideran investigaciones en litio y tecnologías de almacenamiento energético que le dan un soporte amplio a la cogeneración, fortaleciendo este sector (Argentina.gob.ar, 2020).

De acuerdo con la información de Panorama Energético de América Latina y el Caribe de OLADE, la región alcanzó una capacidad instalada total de generación eléctrica de 523 GW en 2023, de los cuales aproximadamente el 25% proviene de fuentes renovables no convencionales, incluyendo biomasa y cogeneración. Se estima que con una implementación más amplia de sistemas de

Canalización del Conocimiento Científico

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

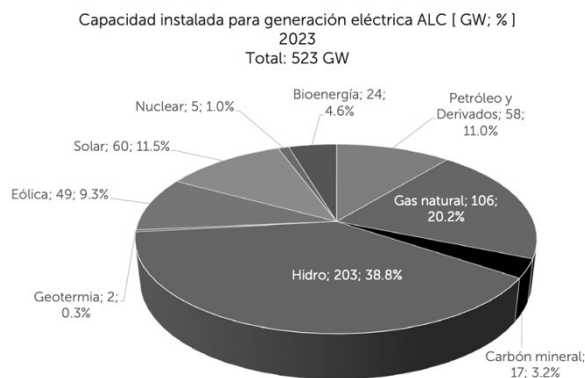
Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

cogeneración, América Latina podría reducir hasta un 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero en sectores industriales para el 2030, aprovechando el calor residual y sustituyendo los combustibles fósiles. (OLADE, 2023)

Con un 25% de la matriz eléctrica regional que proviene de fuentes renovables y con la posibilidad de reducción en un 30% de las emisiones industriales hacia el año 2030 mediante la cogeneración es posible marcar la diferencia para una transformación verdaderamente sostenible. (OLADE, 2023)

Figura 7. Capacidad Instalada para Generación Eléctrica, 2023.



(Fuente: OLADE, 2023)

CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo de esta investigación se concluye que cada uno de los sistemas de cogeneración instalados, como motores de gas, turbinas de vapor y sistemas de recuperación de calor, se adaptan a distintos contextos en Latinoamérica a partir del estudio de casos prácticos en Guatemala, Brasil, Chile, Perú, Ecuador y Argentina, que establecen un concreto avance hacia modelos energéticos más sostenibles, con una reducción de hasta un 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero en sectores industriales para el 2030. Si bien el nivel de desarrollo y aplicación sostiene variantes entre

los países, se observa una tendencia hacia la incorporación de nuevas tecnologías en sectores estratégicos en cogeneración, como hidrógeno verde o gas natural a los procesos, adicional al almacenamiento energético industrial reduciendo el consumo de combustibles fósiles y promoviendo la integración de fuentes renovables. Esto evidencia que la diversidad tecnológica es una fortaleza regional que puede impulsar una transición energética más resiliente.

-Recomendaciones para futuras investigaciones

Evaluar políticas públicas que puedan diseñarse e implementarse para acelerar la inversión en proyectos de cogeneración.

Analizar el desarrollo y evolución de marcos regulatorios que faciliten la conexión de plantas de cogeneración a la red eléctrica y la venta de excedentes, incentivando así su adopción por parte del sector industrial y comercial.

Investigar la incorporación de innovaciones tecnológicas en sistemas de cogeneración, particularmente aquellas que integren energías renovables como la solar térmica o el hidrógeno verde, mediante estudios piloto o análisis de viabilidad técnica y económica.

Explorar mecanismos de financiamiento alternativo, como asociaciones público-privadas, fondos específicos para cogeneración e instrumentos de inversión verde, que permitan superar la barrera de costos iniciales elevados.

Analizar el impacto ambiental de la cogeneración en términos de reducción de emisiones de CO₂ y eficiencia energética, así como su contribución al desarrollo de empleos verdes y al fortalecimiento del tejido socioeconómico local.

AGRADECIMIENTOS: Al Dr. Mario René Santizo Calderón, por su valioso apoyo técnico y conocimiento en la redacción del presente artículo y a la Universidad Galileo de Guatemala, por su compromiso con la formación académica y científica del país.

Canalización del Conocimiento Científico

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2020). *Estudio de condiciones para la cogeneración eficiente en Ecuador*.
<https://www.recursosyenergia.gob.ec>
- Agrificiente. (2024, 31 de julio). *Cogeneración energética: impacto y beneficios para el ambiente*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de Agrificiente
- Argentina.gob.ar. . (2020, 29 de septiembre). *El desarrollo de la metalurgia científica argentina y sus resultados*. Recuperado de Argentina.gob.ar
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2024). *Ley Orgánica de Competitividad Energética*. Registro Oficial Suplemento N° 475.
- Asociación de Azucareros de Guatemala (Asazgua). (2023). *Estudio de caso: Actividades de la agroindustria azucarera de Guatemala apoyando el ODS 7*. Guatecana.
<https://guatecana.com/documentos/estudio-de-caso-aia-ods07/>
- Barragán-Escandón, A., Jara-Nieves, D., Romero-Fajardo, I., Zalamea-León, E. F., & Serrano-Guerrero, X. (2022). *Barriers to renewable energy expansion: Ecuador as a case study*. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100903.
<https://www.researchgate.net/publication/362583398>
- BNAmericas. (2023). *Making the most of waste: Brazil's biomass cogeneration capacity expected to hit 11GW in 2024*.
<https://www.bnamericas.com/en/interviews/making-the-most-of-waste-brazils-biomass-cogeneration-capacity-expected-to-hit-11gw-in-2024>
- Caterpillar. (s.f.). *Calor y potencia combinados (CHP, Combined Heat and Power)*. Recuperado el 23 de junio de 2025, de Caterpillar
- Cengicaña. (2020). *Uso eficiente del bagazo para generación eléctrica*.
<https://www.cengicana.org/publicaciones>
- CIAT. (2022). *Energía renovable en la agroindustria de caña en Centroamérica*.
<https://www.ciat.cgiar.org>
- Clúster de l'Energia Eficient de Catalunya. (s.f.). *Eficiencia, cogeneración y sostenibilidad tecnológica*.
<https://www.clusterenergia.cat/noticies/eficiencia-cogeneracionsostenibilitat-tecnologica/>
- CNEA. (2024). *División de Materiales Avanzados*. Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina.
<https://www.cnea.gob.ar/areas/materiales-avanzados>
- Codelco. (2023). *Codelco renueva contrato de energía limpia con la planta termosolar Pampa Elvira*.
<https://www.codelco.com/codelco-renueva-contrato-de-energia-limpia-con-pampa-elvira>
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (s.f.). *La generación distribuida de energía eléctrica: un nuevo paradigma*. Argentina.gob.ar. .
<https://www.argentina.gob.ar/cnea/destaca-dos/energia-solar-desde-generar-electricidad-para-sus-instalaciones-hasta-fabricar-3>
- CONICET. (2024). *CIDMEJu: Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía*.
<https://jujuy.conicet.gov.ar/cidmeju>
- Dialogue Earth. (2024). *Pérdidas de energía amenazan el avance de la transición energética en América Latina*. Reporte Minero.
<https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2025/05/perdidas-energia-transicion-america-latina-bid-dialogue-earth>

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

- Enel X. (2020). *¿Qué es la cogeneración de energía y cómo funciona?* Recuperado de corporate.enelx.com Fundación Bariloche. (2018). *Análisis comparativo del marco regulatorio y comercial para sistemas de cogeneración en América Latina y el Caribe*. Recuperado de fundacionbariloche.org.ar
- Energía y Sociedad. (s.f.). 1.1. *Energía y Sociedad*. <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/1-1-energia-y-sociedad/>
- Fraunhofer ISE. (2019). *Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) in Mining and Agroindustries in Latin America*. <https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2019/12/SHIP-LAC-Final-Report.pdf>
- Fundación Bariloche. (2018). *Análisis comparativo del marco regulatorio y comercial para sistemas de cogeneración en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Recuperado el 24 de junio de 2025, de Fundación Bariloche - Informe sobre cogeneración Orkestra. (2020). *Eficiencia energética en el sector industrial*. Instituto Vasco de Competitividad. Recuperado el 24 de junio de 2025, de Informe Orkestra sobre eficiencia energética.
- García Garrido, S., & Fraile Chico, D.(2008). *Cogeneración: Diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- García, J., Pérez, M., & Rodríguez, L. (2021). *Potential and impacts of cogeneration in tropical climate countries: Ecuador as a case study*. Universidad de Cuenca. Recuperado el 23 de junio de 2025, de Dspace Universidad de Cuenca
- González, A., et al. (2022). *Barriers to renewable energy expansion: Ecuador as a case study*. <https://www.researchgate.net/publication/362583398>
- Gobierno del Perú – Congreso de la República. (1992) *Decreto Ley N° 25844 – Ley de Concesiones Eléctricas*.
- Guatecana. (2023). *Estudio de caso AIA-ODS07*. Asociación de Azucareros de Guatemala. <https://guatecana.com/documentos/estudio-de-caso-aia-ods07/>
- IEA Bioenergy. (2024). *Implementation of bioenergy in Brazil – 2024 update*.
- INTI. (2024). *Instituto Nacional de Tecnología Industrial – Materiales y procesos*. <https://www.inti.gob.ar>
- MERNNR. (2021). *Autogeneradores y cogeneradores en el sector eléctrico*. <https://www.recursosyenergia.gob.ec>
- Ministerio de Energía de Chile. (2021). *Ruta Energética 2018–2022*. <https://energia.gob.cl/rutaenergetica>
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021). *Plan de Transición Energética Justa*. <https://www.recursosyenergia.gob.ec>
- Minem. (2025). *Modernización del subsector eléctrico peruano*. <https://gestion.pe>
- OLADE. (2024). *Gas natural: el energético de la transición energética en América Latina y el Caribe*. Organización Latinoamericana de Energía. <https://www.olade.org/editoriales/gas-natural-el-energetico-de-la-transicion-energetica-en-america-latina-y-el-caribe>
- OLADE. (2024). *Ley del Combustible del Futuro – Brasil*. <https://www.olade.org>
- Organización Latinoamericana de Energía. (s.f.). *La cogeneración en Argentina*. Ecuador: OLADE. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00284.pdf>
- Osinergmin. (2013). *¿Qué es el COES?* <https://prie.osinergmin.gob.pe>
- OSINERGMIN. (2021). *Informe N.º 266-2021-GRT*.

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

- Pacheco Tanaka, D. A. (2022, junio 17). *El Perú tiene todas las condiciones para producir y exportar hidrógeno verde*. Vicerrectorado de Investigación – UNI. <https://vri.uni.edu.pe/experto-en-la-uni-el-peru-tiene-todas-las-condiciones-para-producir-y-exportar-hidrogeno-verde/>
- Pantaleon. (2021). *Sostenibilidad energética en el ingenio*. <https://www.pantaleon.com>
- Primicias. (2025). *Subsidio a industrias y tarifas eléctricas*. <https://www.primicias.ec>
- Proyectos México. (2021). *Cogeneración eficiente: Proyecto Nuevo Pemex. The Green Expo*. <https://www.proyectosmexico.gob.mx/wp-content/uploads/2021/02/COGENERACION-EFICIENTE.-PROYECTO-NUEVO-PEMEX-THE-GREEN-EXPO.pdf>
- RELITE. (2024). *Red Latinoamericana de Tecnologías del Litio y Energía – Congreso 2024*. <https://relite.org.ar>
- Repsol. (s.f.). *¿Qué es la cogeneración y cómo funciona?* Repsol. Recuperado el 24 de junio de 2025, de Repsol - Cogeneración Universidad Internacional de Valencia (VIU). (2025, 18 de junio). *Cogeneración: una solución eficiente para la generación de energía*. Recuperado el 24 de junio de 2025, de VIU - Cogeneración energética.
- RenovaBio. (2021). *Eficiencia energética y cogeneración en etanol*. Ministerio de Minas y Energía, Brasil.
- Solar Payback. (2020). *Oportunidades para la energía solar térmica en la industria chilena*. <https://www.solar-payback.com/chile/>
- Tello Sotomayor, V. E. (2024). *Evaluación técnico-económica de la integración de sistemas de descarbonización en procesos industriales térmicos en Chile* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio UChile.
- Verdezoto, L., Parco, F., Jácome, C., Katan, W., & Mora, A. (2021). *Energía renovable a partir de la biomasa de la caña de azúcar*. Revista de Investigación Talentos, Volumen VIII (1), enero - junio 2021
- Vergara-Schmalbach, J. C., Morelos Gómez, J., & Lora Guzmán, H. (2014). *Análisis comparativo de las políticas públicas en materia ambiental en países latinoamericanos*. Universidad de Cartagena. Recuperado de dialnet.unirioja.es
- Wiki Ciencias. (2025). *Ciclo combinado y cogeneración: Eficiencia energética y aplicaciones industriales*. <https://www.wikiciencias.net/ciclo-combinado-y-cogeneracion-eficiencia-energetica-y-aplicaciones-industriales>

Análisis tecnológico de la Cogeneración en América Latina

Fecha de recepción: 21 junio del 2025

Fecha de corrección: 18 julio 2025

ANEXOS

Contribuciones / CRediT

1.- Edgar Leonardo Romero Oliva / Resumen, Abstract e Introducción.

2.- Edith Rocío Estrada Rosado / Evaluación de Viabilidad y Futuro.

3.- German Estuardo Jimenez / Avances tecnológicos.

4.- Ingrid Marisol Cuevas Vides / Resumen, Abstract, Introducción, Avances Tecnológicos, Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

5.- Jonatan David Herrarte Osorio / Fundamentos Tecnológicos.

6.- Maykol Erisandy Alfaro Gutiérrez / Barreras para su Implementación.

7.- Mercedes Haydee Veliz Dabroy / Evaluación de Viabilidad y Futuro.

8.- Trisha Disley Paz Méndez / Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.