UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS

CARRERA DE ECONOMÍA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR COMO FACTOR CLAVE DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO: EL CASO DEL PROYECTO SANITARIO DEL INGA, QUITO".

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Economista

Línea de investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socioeconómico.

AUTOR:

Edwin Augusto Paredes Paredes

DIRECTOR:

MSc. Diego Jamil Taboada Salazar

Ibarra-Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	PAREDES PAREDES EDWIN AUGUSTO

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR COMO FACTOR CLAVE DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO: EL CASO DEL PROYECTO SANITARIO DEL INGA, QUITO.
AUTOR:	EDWIN AUGUSTO PAREDES PAREDES
FECHA: AAAA/MM/DD	31/07/2026
SOLICITA PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	■ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	ECONOMISTA
DIRECTOR /ASESORA:	MSc. Diego Taboada / MSc. Karina Jaramillo

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días del mes de septiembre de 2026.

EL AUTOR:

PAREDES PAREDES EDWIN AUGUSTO

Firmado digitalmente por PAREDES PAREDES EDWIN AUGUSTO
Fecha: 2026.09.04 19:37:15 -05'00'

Edwin Augusto Paredes Paredes

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 31 de julio de 2026

MSc. Diego Jamil Taboada Salazar

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
DIEGO JAMIL TABOADA SALAZAR

MSc. Diego Jamil Taboada Salazar

C.C.: 1002323317

Dedicatoria

A mi madre, por ser mi brújula cuando estaba perdido, por su amor infinito, su fortaleza en los momentos difíciles y su ejemplo de entrega y sacrificio. Gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo, humildad y perseverancia. Esta meta también es tuya.

A mi hijo, que pese a su prematura partida siempre será el motor que impulsa mis pasos en busca de nuevos logros. Eres el farol que alumbra mi camino y mientras viva, vivirás en mí, como una estrella caminando a mi lado.

Con todo mi amor y gratitud.

Edwin Paredes

Agradecimiento

A mi madre, cuyo amor y fuerza han sido la raíz de mi fortaleza. Su ejemplo cotidiano de lucha, dignidad y constancia son la enseñanza que han forjado mi carácter y me ha enseñado que la vida es un libro escrito con cada acierto y error.

A mi familia, contada con los dedos de mi mano, por su presencia constante —aunque distantes y separados por kilómetros —, han servido de combustible para no darme por vencido. Gracias por ser parte de este logro, por esta meta escrita con sudor, aliento y sangre. Su compañía ha sido abrigo en medio del ruido y la incertidumbre.

A mis antepasados que caminan conmigo desde el pensamiento, en cada célula, en cada acierto y error; desde las preguntas que no buscan consuelo sino solo existir. A mis docentes, colegas y amigos, por las conversaciones que dejaron huella y por los espacios compartidos donde la duda también fue semilla.

Este trabajo es una forma de gratitud hecha palabra, escrita desde la conciencia de que uno nunca se construye solo.

Edwin Paredes

RESUMEN

Las energías renovables son una alternativa crucial para transformar la matriz energética del Ecuador, la cual depende de combustibles fósiles y de energía hidroeléctrica, fuentes que no abastecen el consumo interno por problemas estructurales y fluctuaciones climáticas. El presente trabajo tiene como objetivo analizar cómo la implementación de energías renovables en Ecuador, ejemplificada por el Proyecto Sanitario del Inga en Quito contribuye al crecimiento económico de la localidad, identificando los factores clave que inciden en esta relación. La investigación aplicó un enfoque cuantitativo y un modelo de regresión lineal múltiple utilizando herramientas econométricas robustas de Newey-West, mediante datos mensuales de ingresos por venta de energía, producción de biogás, capacidad instalada e inversión acumulada. Los resultados de los supuestos confirman la ausencia de multicolinealidad y homocedasticidad; aunque se detectaron desviaciones en normalidad y autocorrelación, estas fueron saneadas y resueltas mediante la metodología aplicada, garantizando la validez del modelo. Se concluye que existe una relación positiva y estadísticamente significativa entre la inversión acumulada en infraestructura, el aprovechamiento del biogás y los ingresos generados; adicionalmente, el proyecto al contratar personal de la zona y disminuir los gases de efecto invernadero coadyuva el desarrollo sostenible de la localidad, por lo tanto, este tipo de proyectos es una opción viable a replicar en otras regiones del país siempre que cuenten con características similares en cantidad de población y residuos sólidos a las del relleno del Inga, adaptando su implementación a las características particulares de cada territorio.

Palabras claves: Energías renovables; Biogás; Crecimiento económico; Desarrollo sostenible; Recursos energéticos.

ABSTRACT

Renewable energies are a crucial alternative for transforming Ecuador's energy matrix, which currently relies on fossil fuels and hydroelectric power—sources that cannot meet domestic consumption due to structural problems and climate fluctuations. This study aims to analyze how the implementation of renewable energies in Ecuador, exemplified by the Inga Sanitation Project in Quito, contributes to local economic growth, identifying the key factors influencing this relationship. The research applied a quantitative approach and a multiple linear regression model using robust Newey-West econometric tools, with monthly data on energy sales revenue, biogas production, installed capacity, and accumulated investment. The results confirm the absence of multicollinearity and homoscedasticity; although deviations in normality and autocorrelation were detected, these were corrected and resolved using the applied methodology, ensuring the model's validity. It is concluded that there is a positive and statistically significant relationship between the accumulated investment in infrastructure, the use of biogas, and the income generated; additionally, the project, by hiring local personnel and reducing greenhouse gas emissions, contributes to the sustainable development of the locality. Therefore, this type of project is a viable option to replicate in other regions of the country, provided they have similar characteristics in terms of population size and solid waste generation to those of the Inga landfill, adapting its implementation to the particular characteristics of each territory.

Keywords: Renewable energy; Biogas; Economic growth; Sustainable development; Energy resources.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria iv

Agradecimiento v

RESUMEN vi

ABSTRACT vii

ÍNDICE GENERAL viii

ÍNDICE DE TABLAS x

Introducción 1

Problema de investigación 1

Justificación 3

Objetivos 4

Objetivo general 4

Objetivos específicos 4

Hipótesis: 4

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 6

1.1 Teorías económicas 6

1.1.1 Teoría del Crecimiento Endógeno 6

1.1.2 Teoría del Desarrollo Sostenible 6

1.1.3 Teoría de la Economía Circular 7

1.2 Conceptualización 7

1.2.1 Energías renovables y desarrollo sostenible 7

1.2.1.1 Concepto y tipos de energías renovables 7

1.2.1.1.1 Energía hidroeléctrica 8

1.2.1.1.2 Energía solar 8

1.2.1.1.3 Energía eólica 9

1.2.1.1.4 Bioenergía (Biogás) 9

1.2.1.2 Beneficios ambientales, sociales y económicos 11

1.2.1.2.1 Beneficios ambientales 11

1.2.1.2.2 Beneficios sociales 12

1.2.1.2.3 Beneficios económicos 13

1.2.1.3 Análisis de la incidencia de las energías renovables en el cumplimiento de los (ODS) 14

1.2.1.3.1 ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante 14

1.2.1.3.2 ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico 15

1.2.1.3.3 ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura 15

1.2.1.3.4 ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles 16
1.2.1.3.5 ODS 13: Acción por el Clima 17
1.2.2 El biogás como energía renovable en el contexto ecuatoriano 17
1.2.2.1 Definición y características del biogás 17
1.2.2.2 Tecnologías de producción de biogás 18
1.2.2.3 Ventajas frente a otras fuentes 20
1.2.2.4 Gestión de residuos y contexto del proyecto de biogás El Inga 20
1.2.2.5 Sistema tecnológico de producción y aprovechamiento del biogás 21
1.3 Otras investigaciones 22
CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO 25
Diseño de la investigación 25
Población de estudio 26
Procedimiento 27
Análisis de datos 28
Consideraciones éticas 31
Matriz de operacionalización de variables 32
3.1 Levantamiento, desagregación y tratamiento de las variables de estudio 33
3.1.1 Variable dependiente: ingresos por venta de energía eléctrica (Y) 33
3.1.2 Variable producción de biogás (X_1) 34
3.1.3 Variable independiente: capacidad instalada (X_2) 36
3.1.4 Variable independiente: inversión acumulada (X_3) 37
3.1.5 Base de datos depurada para estimación econométrica 39
3.1.6 Generación de empleo e indicadores operativos y ambientales 40
3.2 Cuantificación econométrica de los efectos del proyecto 41
3.2.1 Pruebas de diagnóstico y validación de supuestos del modelo 45
3.2.2 Síntesis general y evaluación del cumplimiento de los objetivos específicos 50
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 54
Conclusiones 54
Recomendaciones 55
Bibliografía 57
ANEXOS 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Promedio histórico de capacidad instalada y participación energética en Ecuador (2016-2024)* 10
Tabla 2 *Signos esperados de las variables independientes del modelo* 30
Tabla 3 *Serie histórica completa de ingresos nominales por venta de energía (Y)* 33
Tabla 4 ***Serie histórica desagregada de la disposición de residuos y producción de biogás (X_1)*** 35
Tabla 5 *Serie histórica de la capacidad instalada nominal de la planta (X_2)* 36
Tabla 6 *Serie histórica de la inversión nominal y acumulada del proyecto (X_3)* 37
Tabla 7 *Base de datos depurada para el procesamiento estadístico (2016-2024)* 39
Tabla 8 *Generación de empleo directo en el Proyecto Sanitario El Inga* 40
Tabla 9 *Indicadores de gestión de biogás y generación de energía* 41
Tabla 10 *Resultados del modelo de regresión lineal múltiple con errores estándar robustos de Newey-West (N=107)* 43
Tabla 11 *Resultados de la prueba de multicolinealidad mediante el Factor de Inflación de la Varianza* 45
Tabla 12 *Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los residuos* 47
Tabla 13 *Resultados de la prueba de homocedasticidad de Breusch-Pagan* 48
Tabla 14 *Resultados de la prueba de correlación serial de Breusch-Godfrey* 49
Tabla 15 *Base de datos mensual de las variables del modelo (2016 – 2024)* 63

Introducción

Problema de investigación

Ecuador ha emprendido varias reformas en el sector energético durante las primeras décadas del siglo XXI, buscando cambiar su matriz que históricamente estaba basada en derivados de petróleo. No obstante, a partir del año 2010, se efectuaron proyectos hidroeléctricos a gran escala como: Sopladora, Coca Codo Sinclair, y Minas–San Francisco, buscando cambiar la matriz energética del país. Estos proyectos fueron ejecutados con el objetivo de lograr soberanía energética, disminuir el consumo de combustibles fósiles que afecta el medio ambiente. Además, se buscaba reducir los costos asociados con la generación y distribución de energía eléctrica.

Sin embargo, los gobiernos de turno no han podido cristalizar el cambio de la matriz energética, debido a que, por variables exógenas como las fluctuaciones climáticas y variables endógenas como la alta concentración en la generación hidroeléctrica, el deterioro ambiental de ciertas cuencas hidrográficas, y las investigaciones por presuntas irregularidades en la contratación y ejecución de proyectos, como el caso de Coca Codo Sinclair, que ha sido investigado por fallas estructurales y contratos con presuntas irregularidades adjudicados a la empresa Sinohydro, y los sobrecostos, entendidos como los incrementos significativos en los presupuestos originalmente aprobados, los cuales en algunos proyectos superaron el 20% debido a modificaciones contractuales, ampliaciones de obras no previstas o fallas técnicas no contempladas en los diseños iniciales, han detenido la ejecución de estos proyectos hidroeléctricos afectando su sostenibilidad a largo plazo.

Los proyectos que generan energía limpia como la solar, eólica y biomasa, han enfrentado dificultades en su estructura, tales como: limitaciones en la infraestructura existente, falta de redes de traspaso de acuerdo a las características de estas fuentes, normativa técnica

específica, deficiencia institucional para facilitar el desarrollo de estas iniciativas, poco financiamiento y retrasos en su desarrollo.

En este contexto, el proyecto del relleno sanitario de biogás del Inga en Quito, es una colaboración entre la empresa pública metropolitana de gestión integral de residuos sólidos (EMGIRS-EP) y la parte privada (Gasgreen), representando una alternativa innovadora en la generación de energías renovables, utilizando los residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito para generar energía limpia, coadyuvando a la sostenibilidad ambiental, el bienestar de la localidad y la economía circular. Por lo expuesto, la energía generada por esta planta contribuye a diversificar la matriz energética nacional con una fuente renovable y sostenible.

No obstante, esta iniciativa pese a su aporte estratégico no se le ha dado la debida visibilidad, presentando desafíos de sostenibilidades, lo cual es necesario dar prioridad a proyectos enfocados en la generación de energía limpia y sostenible, promoviendo a la par el desarrollo económico local y la sostenibilidad.

Por lo expuesto, es necesario realizar un análisis crítico sobre el papel de la planta de biogás de El Inga como modelo de energía renovable alternativa, para evaluar su contribución al bienestar social y económico en Ecuador, considerando sus logros, limitaciones y su potencial de replicabilidad en otras zonas del país.

Justificación

Dadas las actuales condiciones ambientales globales y la deficiencia en el abastecimiento energético en el Ecuador, resulta fundamental analizar el aporte económico y social de proyectos alternativos de energía renovable en el desarrollo del país. En los últimos años el país ha dado avances en la transformación de su matriz energética, priorizando proyectos que generen energías renovables de hidroeléctricas, sin embargo, la dependencia de energías a base de combustibles fósiles en el sector transporte e industrial aún persiste, lo cual impacta negativamente al medio ambiente. Por lo tanto, es crucial que proyectos como el del Inga se den prioridad, ya que aprovecha los residuos sólidos urbanos y rurales para generar de energía, brindando beneficios económicos, sociales y ambientales para la localidad.

Por lo tanto, la presente investigación se centró en el análisis de la contribución del proyecto de biogás del relleno sanitario de El Inga en Quito, al crecimiento económico de la localidad. La energía producida en el relleno del Inga al emplear los residuos sólidos tanto urbanos como rurales representa una alternativa en el ámbito de las energías renovables, reduciendo los gases de efecto invernadero y proporcionando empleo formal a la población local. Este proyecto pese a contribuir al suministro de energía eléctrica nacional y al desarrollo sostenible, las investigaciones que estudian el impacto económico, social, ambiental y la posibilidad de su replicabilidad en otras regiones del país son limitadas, por lo cual, la presente investigación busca aportar con datos estadísticos actualizados sobre el impacto de estas iniciativas innovadoras de energías renovables al desarrollo sostenible nacional.

Adicional a lo expuesto, es relevante y actual realizar investigaciones de esta naturaleza para aumentar la data sobre el impacto de las energías renovables en el crecimiento económico local, para proporcionar evidencias empíricas que sustenten el diseño de políticas públicas que promuevan proyectos de energía renovable que contribuyan al cambio de la matriz energética y a la protección del medio ambiente.

Objetivos

Objetivo general

- Analizar cómo la implementación de energías renovables en Ecuador, ejemplificada por el Proyecto Sanitario del Inga en Quito durante el período 2016-2024, contribuye al crecimiento económico de la localidad, identificando los factores clave que inciden en esta relación.

Objetivos específicos

- Determinar la relación existente entre la producción de biogás, la capacidad instalada y la inversión acumulada con los ingresos por venta de energía eléctrica del Proyecto Sanitario El Inga, para cuantificar su desempeño económico durante el período 2016–2024 y describir su aporte al dinamismo de la localidad.
- Evaluar el aporte del proyecto a la generación de empleo directo y su contribución a la sostenibilidad ambiental, mediante el aprovechamiento de residuos sólidos, la reducción de emisiones contaminantes y la generación de energía limpia.
- Determinar la viabilidad de replicar el Proyecto Sanitario de El Inga en otras regiones del país, a partir del análisis de los resultados de eficiencia obtenidos mediante el modelo econométrico.

Hipótesis:

1. **H_0:** No existe relación estadísticamente significativa entre la producción de biogás, la capacidad instalada y la inversión acumulada del Proyecto Sanitario El Inga con los ingresos por venta de energía eléctrica como indicador del crecimiento económico local, durante el periodo 2016-2024.

2. **H_1:** Existe una relación estadísticamente significativa y positiva entre la producción de biogás, la capacidad instalada y la inversión acumulada del Proyecto Sanitario El Inga con los ingresos por venta de energía eléctrica como indicador del crecimiento económico local, durante el periodo 2016-2024.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Teorías económicas

1.1.1 Teoría del Crecimiento Endógeno

La Teoría del Crecimiento Endógeno busca explicar que el crecimiento de una economía se basa en factores endógenos y no exógenos; esto permite que el crecimiento económico a largo plazo sea factible, ya que depende de factores internos que están en control de un país (López Montero J. J., 2023). Bajo esta premisa, la productividad de un país o de un sector en específico depende del conocimiento acumulado y la especialización laboral, ya que esto impulsa la producción y genera excedentes a largo plazo; permitiendo que la población incremente su nivel de ingresos, y por añadidura, se fortalece la economía nacional.

Esta teoría se relaciona directamente con el Proyecto Sanitario de El Inga, ya que la producción de energía a partir del biogás necesitó una inversión significativa en tecnología e infraestructura, la cual es crucial para el desarrollo de capacidades técnicas del personal en la región. Por lo expuesto, el crecimiento endógeno se aplica en este tipo de proyectos, ya que es indispensable la inversión en tecnología para que el capital humano se sienta motivado a especializarse y poder estar aptos para operar el sistema integrado que transforma el biogás en energía renovable. De este modo, el proyecto genera empleo formal al personal especializado de la localidad, contribuye al dinamismo económico y optimiza los residuos. De esta forma, contribuye al crecimiento interno y refuerza la necesidad de invertir en innovación y conocimiento para promover el desarrollo sostenible local.

1.1.2 Teoría del Desarrollo Sostenible

La Teoría del Desarrollo Sostenible, formulada por la comisión Brundtland 1987 establece que “permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer

las posibilidades de las del futuro de satisfacer sus propias necesidades" (CEPAL, s/f). Además, esta teoría busca atender las necesidades del presente, promoviendo que los países en vías de desarrollo logren su crecimiento económico sin afectar al medio ambiente.

Este enfoque al integrar tres dimensiones interdependientes —crecimiento económico, inclusión social y sostenibilidad ambiental—se alinea con el Proyecto Sanitario de El Inga, ya que su proceso de transformación de los residuos sólidos en energía renovable contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y al mismo tiempo, genera empleo local.

1.1.3 Teoría de la Economía Circular

Según (Europeo, 2023) el modelo de producción y consumo de la economía circular implica procesos como "compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende". Por lo expuesto, los residuos o desechos son insumos productivos que aún pueden ser parte del ciclo económico.

Esta teoría se aplica en el Proyecto Sanitario de El Inga, ya que utiliza los desechos sólidos orgánicos para transformarlos en energía eléctrica que beneficia a los habitantes de la localidad, contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases contaminantes del Distrito Metropolitano de Quito.

1.2 Conceptualización

1.2.1 Energías renovables y desarrollo sostenible

1.2.1.1 Concepto y tipos de energías renovables

Las energías renovables provienen de fuentes naturales y por su origen se reponen permitiendo su utilización de forma segura y sin afectar al medio ambiente. Esto lo confirma (Naciones Unidas, 2022) en su página web, al señalar que las energías renovables se derivan de

fuentes naturales, las cuales tienen la capacidad de regenerarse con mayor velocidad de lo que se pueden consumir.

Las energías renovables actualmente están teniendo relevancia debido a que sus costos son más bajos en comparación con la energía a base de combustibles fósiles y su producción es tres veces mayor (Naciones Unidas, 2022).

A continuación, se detallan las fuentes más relevantes y que tienen relación con el tipo de energía estudiada en esta investigación:

1.2.1.1.1 Energía hidroeléctrica

Este tipo de energía utiliza la fuerza cinética del agua de los ríos, corrientes y mareas para generar electricidad. (BBVA, 2024) menciona que "la fuerza que provoca el movimiento del agua hace girar una turbina conectada a un transformador, que convierte el movimiento en energía eléctrica".

Esta energía no contamina, debido a que utiliza el ciclo del agua, por lo cual es considerada como renovable. No obstante, es necesario construir represas para contener el caudal del agua y esto sí provoca un impacto medioambiental, por la modificación del ecosistema.

1.2.1.1.2 Energía solar

La energía solar es de las más abundantes, debido a que se puede obtener, aunque esté nublado el cielo. Esta energía es producida por la luz o calor emitido por el sol y lo expuesto lo confirma (ACCIONA, n.d) en su página web, al mencionar que "la energía solar es producida por la luz –energía fotovoltaica- o el calor del sol –termosolar- para la generación de electricidad o la producción de calor". Esta energía es renovable e inagotable y se la obtiene a través de paneles solares y espejos ubicados en diferentes superficies".

1.2.1.1.3 Energía eólica

(Naciones Unidas, 2022) afirma que “la energía eólica aprovecha la energía cinética del aire en movimiento gracias al uso de enormes turbinas eólicas ubicadas en superficies terrestres, en alta mar o en aguas dulces (sobre la superficie acuática)”.

Este tipo de energía ha sido utilizada desde la antigüedad, no obstante, los avances tecnológicos han permitido mejorar la eficiencia, mediante la utilización de turbinas cuya altitud es mayor y sus rotores son de mayor diámetro. Pese a la efectividad de este tipo de energía cinética, no se puede ubicar las turbinas en cualquier lugar, dado que debe cumplirse dos condiciones para que funcionen: ubicación y las condiciones del viento deben ser las adecuadas.

1.2.1.1.4 Bioenergía (Biogás)

“La bioenergía se produce a partir de diversos materiales orgánicos, denominados biomasa, como la madera, el carbón, el estiércol y otros abonos utilizados para la producción de calor y electricidad, y los cultivos agrícolas destinados a biocombustibles líquidos” (Naciones Unidas, 2022).

Este tipo de energía de biomasa es utilizada mayormente en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo, logrando abastecer a su población de forma completa o parcial de electricidad. Los usos que le dan a esta energía varían dependiendo la zona, sin embargo, por lo general se emplea para cocinar, calentar e iluminar. Los sistemas actuales emplean cultivos energéticos, residuos sólidos, agrícolas y forestales para producir energía.

Pese a las ventajas que brinda la energía de biomasa, genera gases de efecto invernadero, pero sus niveles son menores en comparación con los producidos por los combustibles fósiles. Por lo expuesto, es importante que se sepa gestionar de forma adecuada, dado que su extensión

sin un control debido puede provocar deforestación, causando alteraciones en el suelo y afectando negativamente (Naciones Unidas, 2022).

En el Ecuador, el aprovechamiento de la bioenergía a través del biogás representa una oportunidad estratégica para la economía circular. A diferencia de las aplicaciones rurales básicas, los sistemas modernos, como el implementado en el Proyecto Sanitario El Inga utilizan los residuos sólidos urbanos para generar electricidad de manera constante. Esta gestión técnica no solo mitiga el impacto de los gases de efecto invernadero, sino que transforma un residuo en un activo con impacto directo en el crecimiento económico local, al generar empleo especializado y diversificar la oferta energética de la ciudad de Quito.

Tabla 1

Promedio histórico de capacidad instalada y participación energética en Ecuador (2016-2024)

Fuente de Energía	**Capacidad Instalada Promedio (MW)**	**Participación Promedio en la Matriz (%)**	**Cobertura Promedio de la Demanda (%)**
Energía hidroeléctrica	4.985	81,30%	78,40%
Energía solar	26	0,14%	0,22%
Energía eólica	35	0,21%	0,38%
Bioenergía (Biogás)	148	1,25%	1,10%
Otras energías (Termoeléctrica)	2.890	17,10%	15,90%
Importaciones	-	-	4,00%
TOTAL PROMEDIO	**8.084**	**100%**	**100%**

Nota. Elaboración propia a partir de Informes Anuales de CENACE (2016-2024).

Al analizar el promedio del periodo 2016-2024, se puede observar el porcentaje de cada tipo de energía eléctrica que aporta a la demanda interna de Ecuador. En este contexto, la Bioenergía (Biogás) aunque cuenta con una participación de 148MW y una participación del

1,25% en comparación a las demás energías parece baja, se consolida como la energía renovable no convencional más estable frente a la variabilidad climática.

Por otro lado, en la categoría de “Otras energías” de la tabla se agrupan las energías a base de combustibles fósiles (como fuel oil, diésel y gas natural) y la biomasa sólida (caña de azúcar y palma). Por último, el 4,00% de energía eléctrica que se importa en promedio desde Colombia y Perú evidencia la importancia estratégica de potenciar proyectos como El Inga para fortalecer la soberanía energética nacional.

1.2.1.2 Beneficios ambientales, sociales y económicos

Los beneficios que ofrecen las energías renovables no se limitan a lo ambiental, también impactan de forma positiva en lo social y económico. A continuación, se detalla los beneficios más importantes:

1.2.1.2.1 Beneficios ambientales

En lo ambiental contribuye a reducir las emisiones contaminantes, lo cual ayuda a que la calidad de la salud pública mejore. También ayuda a preservar los recursos naturales al reducir el consumo de los combustibles fósiles

(Planet, n.d) en su página web menciona que “las energías renovables como la solar y la eólica, son clave para bajar las emisiones de CO2. Usar estas fuentes de energía en la producción y transporte ayuda mucho”. Cada vez más países optan por incorporar medidas que reduzcan la contaminación ambiental y una de estas son las exenciones de impuestos en la compra de coches eléctricos, los cuales aparte que son más eficientes, contaminan menos que los de combustión.

En el mismo artículo menciona que “las energías limpias son más eficientes y pierden menos energía en calor. Esto es diferente a los motores tradicionales que pierden hasta un 80%

de su energía" (Planet, n.d). Por lo expuesto, es evidente los beneficios que brindan las energías renovables en la lucha por reducir los gases de efecto invernadero.

Analizando los beneficios desde una perspectiva técnica y global, IRENA (2020) menciona la importancia del uso de fuentes renovables para descarbonizar el planeta, señalando que la combinación de estas con medidas de eficiencia energética puede reducir hasta el 90% de las emisiones mundiales de CO_2 proyectadas para el año 2050 (p. 1).

A nivel local, los beneficios que ofrecen las energías renovables pueden observarse en el Proyecto Sanitario El Inga, en Quito. A través del tratamiento de los desechos sólidos se aprovecha el biogás que se produce para convertirlo en energía eléctrica, lo cual contribuye a eliminar el metano (gas de efecto invernadero) que es superior a 25 veces el CO_2 causado por el calentamiento. Con esto se logra eliminar la emisión de hasta 400,000 toneladas de CO_2 anuales, un impacto equivalente a la absorción de 2,4 millones de árboles, demostrando que la viabilidad técnica de la economía circular es un factor clave para la sostenibilidad ambiental del país (EMGIRS-EP, 2022).

1.2.1.2.2 Beneficios sociales

En lo referente a los beneficios sociales, se resalta el impacto que tiene en la salud pública, debido a que al reducirse la contaminación atmosférica la calidad del aire mejora, reduciendo con esto el riesgo de que la población adquiera enfermedades respiratorias, cardiovasculares, cáncer, problemas de salud reproductiva y otros efectos en la salud. Lo expuesto se sustenta en lo mencionado en la página de (Planet, n.d) en la cual se señala que el número de muertes causadas por la contaminación del aire asciende a más de 13 millones.

Además de la salud, la transición hacia energías renovables generará un aumento de empleos en el sector renovable, beneficiando al tejido social local. (IRENA, 2020) este cambio en la matriz energética puede generar hasta 42 millones de empleos directos e indirectos a nivel

mundial para el año 2050, lo que motiva a la población de los sectores donde se asientan estos proyectos a la especialización laboral y al desarrollo de capacidades técnicas para acceder a nuevos puestos de trabajo. En el caso de proyectos como El Inga, esto se traduce en la generación de plazas de trabajo estables y la dinamización de la economía en las zonas rurales o periféricas donde se asientan las plantas.

Otro beneficio social clave es la mejora en los indicadores de bienestar humano. IRENA (2020) estima que la transformación energética puede elevar el índice de bienestar mundial en un 13,5%, gracias a la reducción en la contaminación atmosférica, resolviendo externalidades negativas mediante al acceso a energías más limpias y asequibles (p. 2). Por lo expuesto, es importante que se den prioridad a proyectos de energía renovables, debido a que los beneficios sociales que brindan no solo se resumen en menores casos de enfermedades, sino también en una mayor equidad social, seguridad energética y una reducción significativa del gasto público en salud.

1.2.1.2.3 Beneficios económicos

Los beneficios económicos se pueden observar al reducirse los costos energéticos, esto es debido a que al reemplazar los combustibles fósiles por energía renovable como la solar o eólica las tarifas de los consumidores se reducen. Lo mencionado lo resalta (Planet, n.d) al indicar que “una gran ventaja de las energías renovables es la reducción de tarifas energéticas. Las tecnologías como el sol y el viento son más baratas que las tradicionales. Esto significa que los consumidores pagan menos por la energía.

Otra forma en como beneficia las energías renovables a la economía es en la generación de empleo y esto se debe a que al construir hidroeléctricas u otra forma de energía renovable la población del sector es contratada, lo cual se resume en un aumento del poder adquisitivo del Ecuador. En cuanto a las inversiones primicias menciona que “el ministro de Energía, René

Ortiz, en el año 2021, a Ecuador han llegado USD 400 millones por inversión extranjera directa. Estos recursos han ingresado a través de la adjudicación de obras de energía renovable" (Coba, 2021).

Lo expuesto deja constancia de lo relevante que son estos proyectos que buscan cambiar la matriz energética, dado que no solo cubre la necesidad de electricidad, sino que también impulsa la generación de empleo.

1.2.1.3 Análisis de la incidencia de las energías renovables en el cumplimiento de los (ODS)

La generación de energía renovable se relaciona de forma directa con los objetivos de la Agenda 2030, ya que la implementación de proyectos de energía renovable, como el proyecto del biogás en el Inga, facilita la transición hacia matrices energéticas limpias. Esta iniciativa no solo responde a una necesidad ambiental, sino que actúa como un dinamizador de las metas globales de desarrollo, impactando de forma transversal en las dimensiones económica, social y ambiental. A nivel nacional, este impacto es crítico considerando que según el Examen Nacional Voluntario de Ecuador de la (STPE, 2020), aunque se ha logrado cubrir a nivel nacional la demanda de energía eléctrica en un porcentaje superior al 97%, el país aún enfrenta el desafío de diversificar su matriz para asegurar la resiliencia energética frente a crisis climáticas. A continuación, se detalla la incidencia en los ODS 7, 8, 11 y 13:

1.2.1.3.1 ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante

Este objetivo busca que la población tenga acceso a energía barata y limpia. Según el diagnóstico del Examen Nacional Voluntario (STPE, 2020), el país ha logrado una cobertura eléctrica nacional del 98,9% en el 2019 ahorrando 9,1 millones de barrilles equivalentes de petróleo (BEP). Esto representa un avance significativo en la eficiencia energética al disminuir la dependencia del sector hidrocarburífero; sin embargo, el reto actual es abastecer a las zonas

rurales para reducir las brechas de acceso y diversificar la matriz para asegurar la autosuficiencia frente a cambios climáticos (p. 71). Lo expuesto se puede conseguir dando apertura a más proyectos de energías renovables; pues, aunque sus costos iniciales suelen ser altos, en el largo plazo permite una reducción en las facturas y una mayor estabilidad económica nacional.

1.2.1.3.2 ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico

Este objetivo busca promover el crecimiento económico sostenido, la generación de empleo y el trabajo decente para todos. Lo expuesto se respalda en lo mencionado en (Saclima Renovables, 2024) al recalcar que la industria de las energías renovables requiere de mano de obra calificada para la instalación y mantenimiento de las infraestructuras, lo cual dinamiza la economía local.

Ante esto, la (STPE, 2020), en el diagnóstico del Examen Nacional Voluntario del ODS 8, menciona que el país, a través de la formación técnica y tecnológica, ha fomentado el empleo inclusivo y de calidad, fomentando las capacidades laborales que cubren las demandas del sector productivo para reducir las brechas de desempleo (p. 74).

1.2.1.3.3 ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

Este objetivo por su parte busca que al desarrollarse proyectos de energía renovable se reduzca la dependencia de combustibles fósiles. En la misma página web (Saclima Renovables, 2024) se menciona que “al incorporar fuentes de energía renovable, se disminuye la dependencia de combustibles fósiles y se mejora la seguridad energética”. Reducir la dependencia energética solo es posible si se invierte en infraestructura orientada a generar energía renovable, lo cual permite estar libre de las fluctuaciones de precios de los mercados internacionales.

Al respecto, el diagnóstico del Examen Nacional Voluntario (STPE, 2020) destaca que el país ha logrado reducir la intensidad de las emisiones de CO2 por unidad de valor agregado registrando una disminución del 16,6% entre 2011 y 2018— producto de la modernización de la infraestructura energética. No obstante, el informe señala que Ecuador debe fortalecer la inversión en investigación y desarrollo tecnológico para alcanzar una industrialización inclusiva y sostenible, que sea resiliente con el medio ambiente (p. 78).

En este contexto, el aprovechamiento del biogás en El Inga representa una innovación técnica que transforma la infraestructura de gestión de residuos en una fuente de energía productiva.

1.2.1.3.4 ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

(Saclima Renovables, 2024) menciona con respecto a este objetivo, que las energías renovables que funcionan de forma descentralizada pueden proporcionar energía eléctrica en áreas donde las redes eléctricas convencionales no llegan, mejorando la calidad de vida y facilitando el desarrollo económico y social. En este sentido, el ODS 11 busca que las ciudades y comunidades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Al respecto, el diagnóstico del Examen Nacional Voluntario (STPE, 2020) destaca la importancia de que el país garantice un hábitat seguro y saludable para la población, puesto que para el 2019 solo el 51,3% de las familias contaban con una vivienda propia y digna con acceso a los servicios básicos (Ilustración 32, p. 87). Este diagnóstico subraya la necesidad de mejorar la infraestructura urbana y el acceso a los servicios esenciales, ante esto, la energía limpia ayuda a cubrir la demanda de energía eléctrica en sectores con carencia del servicio.

En este contexto, el Proyecto Sanitario El Inga al transformar los residuos sólidos en energía eléctrica cumple con este objetivo al proveer de energía limpia para el Distrito

Metropolitano de Quito, reduciendo con esto la huella de carbono de la ciudad y coadyuvando al desarrollo urbano sostenible que demanda el diagnóstico nacional.

1.2.1.3.5 ODS 13: Acción por el Clima

Este objetivo busca contribuir de forma directa en la aplicación de medidas que combatan el cambio climático. Esto se menciona en (Saclima Renovables, 2024) al señalar que "las energías sostenibles, como la solar y la eólica, no emiten gases de efecto invernadero durante su operación, ayudando a mitigar el cambio climático al reducir la huella de carbono global".

Al respecto, el diagnóstico del Examen Nacional Voluntario (STPE, 2020) señala que Ecuador, gracias a la modernización de su matriz energética, ha logrado reducir la intensidad de emisiones de CO2. No obstante, advierte que es necesario fomentar más proyectos que tengan como objetivo disminuir el impacto ambiental de las actividades productivas y urbanas para lograr cumplir con las metas climáticas (p. 94). En este contexto, el proyecto de biogás en El Inga cumple con este objetivo al capturar el gas metano proveniente de los residuos para transformarlo en energía limpia, reduciendo así la huella de carbono del Distrito Metropolitano de Quito."

1.2.2 El biogás como energía renovable en el contexto ecuatoriano

1.2.2.1 Definición y características del biogás

El biogás es una fuente de energía renovable que se consigue mediante la digestión anaerobia de residuos sólidos, agrícolas y forestales, en ausencia de oxígeno. Este proceso compuesto genera una mezcla gaseosa compuesta principalmente por dióxido carbono (CO_2) y metano (CH_4).

(APPA Renovables, n.d) menciona que “el biometano se obtiene al purificar el biogás, logrando un gas compuesto casi totalmente por metano, que puede utilizarse en redes de gas existentes o como energía para calefacción, electricidad o transporte”.

Por otro lado (Ecogal, n.d) menciona que:

> Una planta de biogás es una instalación donde se produce de forma acelerada el ciclo natural de descomposición. Se reciben materias orgánicas, deyecciones orgánicas (70%) y subproductos agrícolas y/o residuos industriales (30%), que se mezclan y son conducidos hacia los digestores. Dentro de estos grandes recipientes cerrados, sin aire del exterior y con condiciones óptimas de temperatura, es donde las bacterias actúan. Se produce una digestión anaeróbica controlada o descomposición de la materia orgánica. De aquí se obtiene biogás y un subproducto que es un buen biofertilizante para aplicar en los campos.

Por lo expuesto, una planta de biogás acelera el proceso de descomposición, tanto de materias orgánicas, deyecciones orgánicas y subproductos agrícolas y/o residuos industriales.

1.2.2.2 Tecnologías de producción de biogás

En la producción de biogás se utiliza tecnologías de codigestión anaeróbica, mezclando purines (70 %) y los residuos agrícolas (30 %) en digestores herméticos, los cuales operan sin oxígeno a temperatura controlada (Sánchez-Céspedes, 2017). Para obtener una mejor homogeneización del sustrato se puede utilizar cualquiera de los dos sistemas existentes para este proceso. El primer sistema es el de alimentación en seco (tornillo sin fin) y el segundo es el líquido (maceración), sin embargo, el más eficiente es el segundo (UNAM, 2016, pág. 40).

En el proceso industrial existen cinco etapas claves:

Primera etapa: Es Aeróbica, “el oxígeno del aire que está en contacto con la basura ocasiona que las sustancias de fácil biodegradación se comiencen a degradar a partir de su contacto con el oxígeno” (CRISANTO PERRAZO, 2013, pág. 23) . Durante este proceso los compuestos orgánicos se descomponen por los microorganismos, produciendo dióxido de

carbono, agua, materia degradada y energía liberada en forma de calor (con temperaturas entre 35 y 40 °C). Esta etapa es breve y depende directamente de la disponibilidad de oxígeno.

Segunda etapa: En esta fase de producción de biogás los organismos aeróbicos generan ácidos orgánicos que reducen el pH y disuelven compuestos inorgánicos, predominando el CO_2 en el gas producido. Al agotarse el oxígeno, da inicio la etapa anaerobia, donde los nitritos y sulfitos compuestos se transforman en gases como nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (CRISANTO PERRAZO, 2013).

Tercera etapa: Esta etapa se conoce como acidogénica, debido a que en este proceso la actividad de los microorganismos se intensifica, produciéndose ácidos orgánicos y algo de hidrógeno. Las bacterias acidogénicas descomponen mediante en enzimas, compuestos complejos como proteínas, lípidos, ácidos nucleicos y polisacáridos se descomponen en sustancias más simples. Estos compuestos pueden ser aprovechados por otros microorganismos como fuente de energía o para generar nueva biomasa (CRISANTO PERRAZO, 2013).

Cuarta etapa: En la etapa metanogénica, los microorganismos metanogénicos convierten ácidos y hidrógeno en metano y dióxido de carbono, alcanzando su máxima producción de metano (40-60%). El pH aumenta, reduciendo contaminantes y metales pesados. El biogás contiene principalmente metano (30-70%) y CO_2, con trazas de gases tóxicos y olorosos que causan el típico olor en rellenos sanitarios (CRISANTO PERRAZO, 2013).

Quinta etapa: En esta fase la actividad microbiana disminuye, generando restos de materia orgánica que produce biogás. Además, se forma una cantidad pequeña de materia biodegradable nueva que se convierte en metano (CH_4), sin embargo, la cantidad de biogás es menor debido a la velocidad del proceso. En rellenos sanitarios, las etapas anteriores pueden ocurrir simultáneamente y la duración de cada fase varía según la composición y facilidad de degradación de los residuos enterrados (CRISANTO PERRAZO, 2013).

1.2.2.3 Ventajas frente a otras fuentes

El biogás frente a otras formas de energía renovable presenta claras ventajas. En primer lugar, aprovecha los residuos orgánicos que aumentaría la contaminación ambiental, en segundo ayuda a reducir las emisiones de metano y por último ofrece una producción energética continua para la población del sector (TodoIngenierías, n.d).

Esta fuente de energía se diferencia de la solar o eólica, por la reutilización de nutrientes como fertilizante para generar energía eléctrica necesaria para las zonas rurales. (TodoIngenierías, n.d) sobre este punto menciona "a diferencia de la energía solar o eólica, que dependen de las condiciones climáticas, el biogás puede generar energía de forma constante".

Otra ventaja es la versatilidad del biogás, ya que puede utilizarse como se mencionó anteriormente tanto para la "generación de electricidad, calefacción y refrigeración, y como combustible para vehículos. Esto brinda flexibilidad y versatilidad en el uso de esta fuente de energía renovable" (TodoIngenierías, n.d).

Estas características posicionan al biogás como una alternativa viable para su replicación en otras regiones del país, especialmente en zonas con abundante generación de residuos sólidos urbanos.

1.2.2.4 Gestión de residuos y contexto del proyecto de biogás El Inga

El manejo integral de residuos sólidos es un problema que toda ciudad tiene, en este caso Quito no es la excepción, debido a que las autoridades de turno han intentado darle una solución al tratamiento de los desechos, buscando mitigar sus impactos ambientales y sociales. En este contexto el relleno sanitario El Inga es una solución a este problema. Este relleno cuenta con la infraestructura necesaria para el tratamiento de los residuos sólidos de la ciudad y es administrado por la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS, n.d).

El proyecto sanitario de El Inga buscando gestionar los residuos ha incorporado tecnologías innovadoras que le permite la producción de biogás a partir de los desechos orgánicos depositados. Este proyecto sostenible está alineado con las políticas nacionales del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, el cual incentiva la gestión adecuada de residuos sólidos y el aprovechamiento energético de fuentes renovables para contribuir a la reducción de emisiones contaminantes y al desarrollo sostenible (Espinosa Mantilla K. G., 2021).

Por su parte, el municipio de Quito ha impulsado el desarrollo de sistemas que optimizan la recuperación de energía y la reducción del impacto ambiental producto de las operaciones del relleno sanitario El Inga. En este punto el relleno aplica las recomendaciones regionales e internacionales para la gestión sostenible de residuos sólidos urbanos (Informa, 2024).

Estas acciones han logrado reducir la contaminación ambiental mediante el tratamiento de los residuos sólidos, al tiempo que promueve el desarrollo local a través de la generación de empleo y el suministro de energía limpia y renovable a los habitantes del sector el Inga. El 17 de octubre de 2024, EMGIRS EP y Gasgreen firmaron una alianza para capturar y aprovechar el biogás del relleno sanitario El Inga, elevando la capacidad de generación eléctrica de 5 MW a 9 MW, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases nocivos al transformar el metano en energía renovable (Gasgreen, 2024).

1.2.2.5 Sistema tecnológico de producción y aprovechamiento del biogás

El sistema de biogás del Proyecto Sanitario El Inga, en Quito, aprovecha la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos para generar energía renovable, contribuyendo al tratamiento de los residuos sólidos y reduciendo el impacto ambiental (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2025).

El proceso sanitario del proyecto sanitario del Inga cuenta con procesos controlados de descomposición anaeróbicas de los residuos orgánicos depositados. Para extraer el biogás se utilizan sistemas de drenaje activos, conformada por redes de tuberías y pozos instalados estratégicamente dentro del relleno, capturando el gas producido y conduciéndolo hacia las instalaciones de almacenamiento y tratamiento.

Una vez obtenido el biogás es sometido a procesos de purificación para eliminar impurezas y gases contaminantes, principalmente sulfuro de hidrógeno y humedad, que pueden reducir el rendimiento y la durabilidad de los equipos generadores de energía. Este biogás una vez tratado alimenta generadores eléctricos que convierten la energía química del gas en energía eléctrica, reduciendo el consumo energético a base de combustibles fósiles por energía limpia y renovable.

Este sistema representa una alternativa sostenible y eficiente para el manejo de residuos sólidos urbanos, promoviendo el desarrollo de energías renovables y aportando beneficios ambientales y económicos a la ciudad de Quito (CRISANTO PERRAZO, 2013).

1.3 Otras investigaciones

En este apartado se presentan estudios relevantes que permiten contextualizar el tema abordado, aportando perspectivas técnicas y económicas vinculadas al uso de energías renovables y la producción de biogás en Ecuador.

La planta de biogás del relleno sanitario de El Inga, es una iniciativa pública operada por la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP), la cual inició sus operaciones en 2016 con 2 MW de potencia instalada; en el 2017 pasó a 5 MW y tras una ampliación inaugurada en octubre de 2024, alcanza 9 MW, energía suficiente para abastecer a más de 40 000 hogares y evitar la emisión anual de unas 400 000 t

de CO_2 equivalentes (Mejía, 2020). Estos datos establecen la base técnica y operativa del caso de estudio

(Espinosa Mantilla K. , 2021), en su tesis “Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable: potencial y viabilidad en Quito”, analizó el potencial del biogás generado a partir de residuos orgánicos en el Distrito Metropolitano de Quito. Su objetivo principal fue evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar proyectos de biogás como alternativa de energía renovable. Con un enfoque mixto (revisión bibliográfica y entrevistas a expertos), concluyó que existe alto potencial de rentabilidad y sostenibilidad urbana, además de una contribución directa a la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones. Estos hallazgos constituyen un antecedente relevante, pues coinciden con el enfoque técnico y geográfico de la presente investigación.

(PUCACHAQUI SIMBA, 2019) en su tesis en su tesis titulada “Análisis del efecto sobre el crecimiento económico del incremento de la producción de energía renovable en el Ecuador para el periodo 1970 2016” (Escuela Politécnica Nacional, Quito) examinó cómo influye el aumento en la generación de energías renovables sobre el crecimiento del PIB y las emisiones de CO_2 en Ecuador. En su investigación utilizó un modelo SVAR (Structural Vector Autoregressive) y variaciones en productividad del periodo estudiado, llegando a la conclusión de que existe un impacto positivo “el efecto del aumento de la producción de energía con base en fuentes renovables en el impacto positivo entre el aumento de la producción de energías renovables y el crecimiento económico. Asimismo, determinó que un aumento en la producción de energía renovable también contribuye a la reducción de emisiones contaminantes (C02).

En síntesis, el presente marco teórico deja en claro la importancia de las energías renovables, particularmente del biogás, como una alternativa amigable con el medio ambiente para diversificar la matriz energética ecuatoriana y promover el desarrollo económico y

ambiental. El caso del proyecto sanitario El Inga constituye un ejemplo concreto que sustenta el análisis planteado en esta investigación.

A partir de los conceptos analizados, se comprende la importancia de la inversión en energías no convencionales, como el biogás, ya que son un eje fundamental para promover el crecimiento económico local involucrando a sus habitantes en su desarrollo. Articulando los postulados de la economía circular, el desarrollo sostenible y el crecimiento endógeno, se demuestra que energías como la del biogás de la planta El Inga no solo ayudan a disminuir el impacto ambiental mediante el tratamiento de los residuos sólidos, sino que también son un motor de productividad que estabiliza de forma directa la oferta de energía eléctrica inyectada a la red nacional. Este flujo constante contribuye a la actividad económica, debido a que mitiga el impacto de los choques exógenos ocasionados por los racionamientos energéticos, los cuales afectan la continuidad operativa de las empresas y negocios, provocando contracciones económicas que aumentan sus costos marginales.

Asimismo, la inversión en capital físico y tecnología acumulada en la central de El Inga coadyuva al crecimiento del comercio en la localidad; al aumentar los empleos formales, el dinero obtenido dinamiza la economía, lo cual se refleja en un mejoramiento en el bienestar social de sus habitantes. El incremento de los puestos de trabajo en el personal técnico, administrativo y de logística promueve que más personas de las periferias se especialicen, lo cual eleva el ingreso disponible de las familias, aumentando de forma directa la demanda de bienes y servicios. Por lo expuesto, el biogás es una alternativa viable que aporta al dinamismo económico, social y ambiental, sin embargo, por sí solo no es suficiente para garantizar el crecimiento total de una zona, ya que esto dependerá de la escala del proyecto, las reglas que se apliquen y cómo se involucre a la gente del lugar en los beneficios

CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO

Diseño de la investigación

La presente investigación fue de enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo y explicativo, ya que se empleó una regresión lineal múltiple, la cual permite analizar relaciones económicas ajustando modelos lineales entre una variable dependiente (y) y variables independientes (x) (Granados, 2016). En este sentido, el enfoque cuantitativo se caracteriza por el uso de técnicas de recolección de datos de forma objetiva, medible y numérica (Martínez Alonso & Román Santana, 2025).

Este modelo econométrico se diseñó con el objetivo de establecer la relación entre la variable dependiente, representada por los ingresos generados por el proyecto en el periodo 2016-2024, y por las variables independientes: producción de biogás, capacidad instalada en megavatios (MW) y la inversión acumulada en dólares. Estas variables permitieron determinar el impacto económico del proyecto de biogás del relleno sanitario El Inga, en el crecimiento económico del área en que opera, a partir de la relación existente entre los factores productivos y los resultados económicos obtenidos.

La estrategia de investigación se basó en la recopilación y en el análisis de datos secundarios provenientes de registros históricos y reportes técnicos del proyecto de biogás. Esta información permitió sustentar la investigación desde un enfoque teórico como cuantitativo y enmarcar el análisis dentro del marco económico y lograr cumplir los objetivos planteados.

Finalmente, el diseño metodológico aplicado se justifica por la necesidad de medir de forma objetiva y cuantificable el impacto económico del proyecto, permitiendo establecer relaciones entre variables mediante evidencia empírica. Para lograrlo se utilizaron datos históricos y herramientas estadísticas que garantizaron la validez y confiabilidad de los resultados, lo cual resultó crucial para facilitar la interpretación del comportamiento del

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE LINEA
eduvirtual.utn.edu.ec

proyecto en el periodo de estudio y su incidencia en el crecimiento económico del área donde opera.

Población de estudio

Está compuesta por la totalidad de datos históricos relacionados con el desempeño económico del proyecto de biogás El Inga durante el periodo 2016-2024. En este caso, y tomando en cuenta la naturaleza de la información, el universo de estudio corresponde al conjunto de unidades de análisis que se pretende examinar dentro de la investigación (Lanzetta & Malegarie, 2017).

Al trabajarse con la totalidad de datos disponibles del proyecto en el periodo estudiado, la investigación adopta un enfoque censal completo, por lo cual se prescinde estrictamente de la selección de una muestra. Esto significa que no hubo una selección aleatoria, sino que se utilizó toda la información existente de los registros técnicos y fuentes institucionales oficiales del sujeto de estudio. Este procedimiento está respaldado por lo expuesto por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) quienes explican que, en diseños con características y contextos específicos, la elección de las unidades responde directamente a los objetivos de la investigación **(p. 200)**, lo cual justifica la utilización de todo el universo para que al aplicarse el modelo econométrico los resultados sean válidos y libres de sesgos.

Fuentes de información y técnicas de recolección de datos

En la presente investigación, cuyo diseño es de carácter no experimental y de nivel documental, se recopiló la información de fuentes secundarias e instituciones validadas. En este caso, se solicitó a la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP) la información necesaria para el modelo econométrico, la cual es producto de los registros técnicos y registros diarios de la planta. Los datos operativos y financieros del caso de

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE LINEA
eduvirtual.utn.edu.ec

estudio se gestionaron de forma directa con el personal de la planta del Proyecto Sanitario El Inga.

Procedimiento

El desarrollo de la investigación se estructuró en cinco fases secuenciales y lógicas, diseñadas para garantizar la replicabilidad del estudio y el cumplimiento de los objetivos planteados:

- **Fase 1: Recolección de información:** Se realizó el levantamiento de series de tiempo de periodicidad mensual correspondientes al periodo 2016-2024. Esta desagregación permitió consolidar un tamaño muestral de N = 108 observaciones, optimizando los grados de libertad del modelo y asegurando la robustez en la estimación de los parámetros operativos (producción de biogás en m^3 y capacidad instalada en MW) y financieros (inversión acumulada) obtenidos de los registros administrativos de EMGIRS-EP y la alianza Gasgreen.
- **Fase 2: Especificación del modelo:** Se diseñó el modelo de regresión lineal múltiple tomando para este fin lo establecido en las hipótesis H_0 y H_1, buscando establecer la relación entre los factores productivos y los ingresos nominales generados.
- **Fase 3: Procesamiento econométrico:** Los datos de las variables explicativas y dependiente del modelo econométrico fueron procesados en el software Stata aplicando el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), sin embargo, al no ser significativos los p-valores se aplicó el estimador de residuos de Newey-West. Esto permitió determinar la relación entre la producción de biogás, capacidad instalada e inversión acumulada en infraestructura con la venta de energía eléctrica sobre el crecimiento económico de la localidad.
- **Fase 4: Validación y análisis de replicabilidad:** Para determinar la replicabilidad de este tipo de proyectos en otras regiones del país se ejecutaron pruebas de post-

estimación (VIF, Breusch-Pagan y Durbin-Watson). Con estos resultados validados, se realizó un análisis de sensibilidad para confirmar que los estimadores sean consistentes y determinar si el modelo de gestión de El Inga es técnicamente viable para ser replicado.

Análisis de datos

Para la presente investigación se emplearon valores nominales en las variables de ingresos por venta de energía eléctrica e inversión acumulada, en vez de valores reales, ya que representan los montos liquidados por el CENACE y facturados por la EMGIRS-EP. Asimismo, al no cambiar el precio del kilovatio hora, no se deflactaron los valores (IPC), porque que este indicador mide los cambios en la canasta básica familiar y no valores establecidos en convenios institucionales.

El análisis de la información recolectada se realizó mediante estadística descriptiva, mientras que para las regresiones y estimaciones se aplicó la estadística inferencial utilizando el software Stata.

Para determinar tendencias y comportamientos históricos de las variables del modelo econométrico se empleó la estadística descriptiva a través de tablas y gráficos.

Posteriormente, para determinar la validez del modelo se aplicó una regresión lineal múltiple, por lo tanto, se transformó las variables a valores logarítmicos. Esta conversión se aplicó para estabilizar la varianza al trabajar con valores altos, lo cual se puede observar en las variables (ingresos por venta de energía eléctrica e inversión acumulada en infraestructura). Con este procedimiento se disminuye el efecto causado por la dispersión de los residuos, evitando con esto errores por los valores extremos al momento de realizar las estimaciones en el Stata, lo cual permite tener una interpretación más clara en términos económicos. Por otro lado, esto ayuda a evaluar los resultados en términos de elasticidades para determinar el impacto causado por cambios en la variable explicativa (inversión acumulada) en la variable dependiente

(ingresos por venta de energía eléctrica), en cambio, las variables (producción de biogás y capacidad instalada) se trabajaron con valores naturales.

Tomando en cuenta estas consideraciones, el modelo de regresión lineal tiene la siguiente estructura:

$$\ln(Y_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln(X_{1t}) + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 \ln(X_{3t}) + \varepsilon_t$$

El modelo está organizado y desagregado de forma mensual, con un total de 107 observaciones:

- $\ln(Y_t)$: Representa el logaritmo natural de la variable dependiente, que corresponde a los ingresos nominales por venta de energía en el mes **t**.
- β_0: Es el término constante de la recta de regresión.
- $\ln(X_{1t})$: Logaritmo de la variable independiente (producción de biogás mensual en m^3).
- X_{2t}: Capacidad instalada de la planta en MW.
- $\ln(X_{3t})$: Logaritmo de la inversión acumulada en infraestructura (valores nominales en dólares).
- ε_t: Error de los factores producto de las variables que no se incluyen en el modelo.

Como los datos de energía eléctrica suelen arrastrar patrones del pasado y presentarse cambios bruscos por temporadas, afectando el resultado del supuesto de homocedasticidad y no autocorrelación, se empleó la metodología de errores robustos de Newey-West con 1 rezago, en vez de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Se eligió emplear solo un rezago porque es la forma más limpia de optimizar el modelo para los 107 meses de la muestra, tomando en cuenta que el primer periodo (enero 2016) se descartó por falta de valores.

En la tabla 12 se detallan las variables, indicadores, signo esperado y la justificación económica:

Tabla 2

Signos esperados de las variables independientes del modelo

Variable	**Indicador/ unidades**	**Signo esperado**	**Justificación económica**
Logaritmo de la producción de Biogás $\ln(X_{1t})$	Metros cúbicos $\mathbf{ln}(\boldsymbol{m^3})$	Positivo ($\beta_1 > 0$)	Un incremento en el volumen procesado eleva de forma directa la facturación real.
Capacidad instalada (X_{2t})	Megavatios (MW)	Positivo ($\beta_2 > 0$)	Las expansiones técnicas en la planta generan un impacto marginal positivo en los ingresos.
Logaritmo de la inversión acumulada $\mathbf{ln}(\boldsymbol{X_{3t}})$	Logaritmo de dólares nominales acumulados	Positivo ($\beta_3 > 0$)	La acumulación del stock de capital físico actúa como un motor de crecimiento endógeno que incrementa los ingresos de largo plazo.

Nota. Elaboración propia a partir del planteamiento del modelo y marco conceptual.

Para asegurar la consistencia estadística de los resultados, decidí evaluar de forma individual los cuatro supuestos post-estimación tradicionales sobre el vector de errores del modelo mensual (N = 107). En la práctica econométrica con series de tiempo las pruebas de diagnóstico no se fuerzan para que cumplan de manera artificial con un escenario ideal. Al contrario, cada test se analiza bajo su propia distribución matemática, donde la aceptación o el rechazo de las hipótesis describe con total transparencia el comportamiento operativo y financiero de la planta. De hecho, la aparición de fallas en los supuestos clásicos de Mínimos Cuadrados Ordinarios es lo que justifica técnicamente la aplicación posterior del estimador robusto de Newey-West con un rezago, garantizando el rigor científico necesario para la defensa de grado.

Consideraciones éticas

La presente investigación se basó en los principios de integridad académica, honestidad y transparencia. Al emplearse datos secundarios de carácter institucional, se siguieron los siguientes lineamientos en su tratamiento:

- **Veracidad y fidelidad de la información:** En la recolección y organización de los datos para armar las series temporales (2016-2024) se mantuvo una postura completamente objetiva. Las cifras operativas y financieras que se obtuvieron de la EMGIRS-EP, y la alianza Gasgreen, el Operador Nacional de Electricidad (CENACE) recibieron un tratamiento técnico riguroso, evitando alterar los números para no sesgar las estimaciones finales del modelo econométrico mensual.
- **Reconocimiento de la propiedad intelectual:** En el desarrollo de la investigación utilicé citas directas e indirectas de autores para sustentar el marco teórico y las metodologías analizadas, aplicando las directrices de las normas APA de 7ma edición (INDEX). Así respeté los derechos de autor en cada una de las fuentes bibliográficas y estudios previos que consulté para estructurar el proyecto.
- **Responsabilidad profesional:** La interpretación de las elasticidades se realizó con total imparcialidad, exponiendo los resultados de Stata de forma honesta, tanto en la significancia estadística de los coeficientes como en la validez real de cada supuesto evaluado. Esto otorga el rigor científico que la universidad exige, reflejando el impacto real que el proyecto de biogás ejerce en la economía local.
- **Confidencialidad:** La información proporcionada por la central del Inga, tanto la financiera como la técnica fue manejada de manera responsable, respetando la veracidad de los datos para que los resultados obtenidos respondan a la realidad del proyecto. Asimismo, su uso se limita para fines académicos, por lo cual no afecta las operaciones de las empresas involucradas.

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Fuente
Crecimiento Económico Local	Aumento de los ingresos generados por el proyecto en la zona de operación, como indicador de su aporte al crecimiento económico local.	Económica	Ingresos nominales	Razón	EMGIRS-EP / INEC
Energía Renovable	Volumen de recurso energético aprovechado mediante la captura de residuos sólidos.	Técnica	Producción de biogás (metros cúbicos – m^3)	Razón	Reportes Técnicos El Inga
Capacidad Instalada	Potencial máximo de generación eléctrica de la infraestructura disponible.	Infraes-tructura	Potencia Nominal (Megavatios - MW)	Razón	Fichas Técnicas del Proyecto
Inversión de Capital	Recursos financieros destinados a la adquisición de activos fijos y tecnología.	Financiera	Inversión acumulada nominal.	Razón	Balances Financieros EMGIRS-EP
Sostenibilidad Laboral	Contribución del proyecto en la estabilidad y creación de puestos de trabajo directos.	Social	Número de empleos formales	Razón	Nómina/ Administrativa/ Planta

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Levantamiento, desagregación y tratamiento de las variables de estudio

Los datos correspondientes a las variables del modelo econométrico se presentan a continuación, detallando su origen y criterio de consolidación técnica.

3.1.1 Variable dependiente: ingresos por venta de energía eléctrica (Y)

Los valores de esta variable que se detallan a continuación corresponden a valores nominales, ya que el precio del kilovatio hora establecido en el contrato vigente con CENACE se mantiene fijo durante todo el periodo de estudio. Por esta razón, no es necesario deflactarlos, al no estar afectados por variaciones inflacionarias.

Los datos que se exponen en la tabla 3 son de manera anual; sin embargo, para la estimación en Stata se utilizó una base de datos en función de las 107 observaciones conformadas por los meses que abarca el periodo estudiado (2016-2024). Se decidió mostrar de esta manera la información para optimizar espacio y que los lectores puedan observar con claridad el crecimiento anual de las variables analizadas en el modelo econométrico.

Tabla 3

Serie histórica completa de ingresos nominales por venta de energía (Y)

Año	**Ingresos nominales por venta de energía ($ Corrientes, Y_{nom})**	**Fuente y origen del registro institucional**
2016	$1.424.666,37	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.
2017	$2.560.604,37	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.
2018	$4.444.646,67	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.

Año	Ingresos nominales por venta de energía ($ Corrientes, Y_{nom})	Fuente y origen del registro institucional
2019	$4.116.773,07	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.
2020	$4.122.617,89	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.
2021	$4.039.366,21	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.
2022	$3.824.079,14	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.
2023	$3.574.618,85	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.
2024	$3.164.271,98	Balances Comerciales y Reportes de Liquidación de CENACE.

Nota. Elaboración propia a partir de datos históricos de liquidaciones financieras provistos por el Proyecto Sanitario El Inga (2026).

3.1.2 Variable producción de biogás (X_1)

Ante la falta de registros estadísticos de la variable independiente (producción de biogás) correspondiente al periodo (2016-2022) se utilizaron los datos reales de residuos dispuestos (t) y los datos de producción de biogás (m^3) del periodo (2023-2025) para determinar un factor de conversión promedio (FC) que permitiera inferir los valores faltantes en la producción de biogás. Este procedimiento se sustenta en los fundamentos técnicos establecidos por CRISANTO PERRAZO (2013), quien confirma que la cantidad de biogás producido de los rellenos sanitarios depende de la cantidad de desechos, ya que es directamente proporcional a la materia orgánica disponible.

$$FC = \frac{\boldsymbol{Biogás\ 2023 + Biogás\ 2024 + Biogás\ 2025}}{\boldsymbol{Residuos\ 2023 + Residuos\ 2024 + Residuos\ 2025}}$$

$$\boldsymbol{FC = \frac{25891,99 + 25004,15 + 23570,91}{769608,78 + 759446,22 + 799305,41} = \frac{74467,05}{2328360,41} = 0,031982613\ m^3/t}$$

Al aplicar la fórmula que se muestra, se obtuvo el factor de conversión ($\mathbf{0,031982613\ m^3/t}$), sin embargo, para mayor exactitud se calculó el factor de conversión mensualizado, el cual considera una variación respecto al valor anual de **0,000808881**, obteniendo: $FC_{mensual} = 0,031982613 + 0,000808881 = 0,032791543\ m^3/t$

Este valor mensualizado se procedió a multiplicar por las toneladas de residuos que EMGIRS recibe una vez realizada la separación de la fracción inorgánica, para cada mes del período 2016-2022. De esta manera, se lograron completar los valores faltantes en la serie de tiempo de la variable independiente (X_1)presentada en la Tabla 4.

Tabla 4

Serie histórica desagregada de la disposición de residuos y producción de biogás (X_1)

Año	Total, residuos dispuestos (t)	Producción de biogás (m3)	Tipo de origen del dato
2016	709.266,67	22.125,83	
2017	754.854,16	24.190,45	
2018	766.166,93	24.548,84	
2019	762.002,60	24.381,91	
2020	746.281,46	24.138,97	Valor Estimado (Modelo de Masa de Residuo)
2021	771.454,75	24.693,73	
2022	746.986,98	23.858,61	
2023	769.608,78	25.891,99	

Año	Total, residuos dispuestos (t)	Producción de biogás (m3)	Tipo de origen del dato
2024	759.446,22	25.004,15	

Nota. Elaboración propia en base a los datos de los reportes del Proyecto Sanitario El Inga (2026). Los datos operativos del año 2025 fueron utilizados exclusivamente para obtener el factor de conversión, sin embargo, sus valores no forman parte del presente estudio. La serie unificada de la variable independiente (X_1) se detalla en la presente Tabla 4.

3.1.3 Variable independiente: capacidad instalada (X_2)

Tabla 5

Serie histórica de la capacidad instalada nominal de la planta (X_2)

Año	Capacidad instalada (megavatios - MW, X_2)	Estado técnico de los grupos de generación eléctrica
2016	2,0	Fase operativa inicial con dos unidades de generación base.
2017	2,0	Sostenimiento de potencia e interconexión de transformadores.
2018	5,0	Adquisición de moto generadores U3 y U4.
2019	5,0	Estabilidad e inyección a la red bajo capacidad de 5 MW.
2020	5,0	Compra del motor Jenbacher y mantenimiento.
2021	5,0	Suministro continuo de energía eléctrica a la central CENACE.
2022	5,0	Cambio de repuestos para mantener la potencia de los motores.
2023	5,0	La planta hasta esta fecha produce 5 MW de forma eficiente.
2024	9,0	Expansión estructural definitiva mediante acoplamiento final a 9 MW.

Nota. Elaboración propia en base a la información técnica recibida mediante vía correo electrónico por parte del técnico del departamento de la planta del Proyecto Sanitario El Inga (2026).

3.1.4 Variable independiente: inversión acumulada (X_3)

Esta variable independiente agrupa el total de recursos destinados a la infraestructura, equipos y sistemas de operación de la planta. Se toma como base la constatación física de activos de Gasgreen y EMGIRS-EP, que detallan cada inversión desde la etapa inicial hasta la ampliación final.

El valor inicial de $5.334.993,85 registrada como pre-2016 es la inversión inicial correspondiente a las obras civiles, plataforma base, motores generadores y sistemas de captura y tratamiento de biogás instalados los cuales fueron necesarios para el funcionamiento de la planta. A partir de 2016 se registraron y acumularon las nuevas compras, renovaciones y mejoras realzadas hasta acumular los $9.445.919,84 en 2024.

Se utiliza la inversión acumulada y no la anual, porque representa mejor el stock de capital instalado, que es lo que realmente define la capacidad de generación y el rendimiento del proyecto a lo largo del tiempo. Al igual que con los ingresos por venta de energía, estos montos se presentan en valores nominales, conforme constan en los registros contables oficiales, manteniendo la coherencia metodológica del análisis.

Tabla 6

Serie histórica de la inversión nominal y acumulada del proyecto (X_3)

Año	Inversión anual ($)	Inversión acumulada nominal ($, $X_{3\ nom}$)	Explicación del criterio contable y técnico validado
Pre-2016	—	$5.334.993,85	**Histórico acumulado.** Stock de capital inicial consolidado por fases de montaje estructural previas, incluyendo el fondo base, obras complementarias y equipamiento tecnológico de los periodos de expansión inicial.

Año	Inversión anual ($)	Inversión acumulada nominal ($, $X_{3\ nom}$)	Explicación del criterio contable y técnico validado
2016	$104.815,16	$5.439.809,01	Suma de obra civil, motores iniciales e infraestructura base adicionada al saldo histórico acumulado.
2017	$2.242.969,61	$7.682.778,62	Incorporación de nuevos generadores pesados, chillers y transformadores de ampliación técnica de la planta.
2018	$51.094,48	$7.733.873,10	Adición de caudalímetros y el sistema reconector de celdas de autoconsumo energético.
2019	$21.500,00	$7.755.373,10	Adquisición e instalación de la caja de revisión para el control CDM.
2020	$172.520,00	$7.927.893,10	Compra del primer bloque de motor de repuesto Jenbacher para la optimización de la unidad U3.
2021	—	$7.927.893,10	Continuidad del stock de capital, registrando un año plano sin compras de activos fijos adicionales.
2022	$1.518.026,74	$9.445.919,84	Renovación pesada de la central mediante tres bloques de motores nuevos para las unidades de generación U2, U3 y U4.
2023	—	$9.445.919,84	Consolidación operativa total, alcanzando el techo contable auditado del reporte técnico de la planta.
2024	—	$9.445.919,84	Cierre del periodo de estudio con el total acumulado de la infraestructura de generación de la planta.

Fuente: Constatación física de activos, Gasgreen y EMGIRS EP

Nota. En una primera etapa se trabajó con información anual, pero al aplicar el modelo econométrico se obtuvieron p-valores muy altos, lo que indicó que con esa cantidad reducida de observaciones no se lograba la significancia estadística necesaria. Por esta razón se construyó la base de datos con frecuencia mensual: como no se cuenta con el mes exacto de incorporación de cada activo, se mantiene el mismo valor acumulado durante todos los meses del año, garantizando que coincida con el monto anual aquí presentado. La tabla completa con los valores mensuales se encuentra en la Tabla F.15 del Anexo G.

3.1.5 Base de datos depurada para estimación econométrica

Los valores correspondientes a ingresos por venta de energía, producción de biogás (m^3), capacidad instalada (MW) e inversión acumulada se resumen en la tabla que se muestra a continuación. Esta matriz unificada incluye los valores de la variable dependiente y las independientes, organizadas para que el software estadístico las reconozca correctamente, evitando incurrir en errores durante el procesamiento de los datos.

Tabla 7

Base de datos depurada para el procesamiento estadístico (2016-2024)

Año	Ingresos nominales ($)	Producción de biogás X_1 (m^3)	Capacidad instalada X_2 (MW)	Inversión acumulada nominal X_3 ($)
2016	1.424.666,37	22.125,83	2,0	5.439.809,01
2017	2.560.604,37	24.190,45	2,0	7.682.778,62
2018	4.444.646,67	24.548,84	5,0	7.733.873,10
2019	4.116.773,07	24.381,91	5,0	7.755.373,10
2020	4.122.617,89	24.138,97	5,0	7.927.893,10
2021	4.039.366,21	24.693,73	5,0	7.927.893,10
2022	3.824.079,14	23.858,61	5,0	9.445.919,84
2023	3.574.618,85	25.891,99	5,0	9.445.919,84
2024	3 164 271.98	25.004,15	9,0	9.445.919,84

Nota. Elaboración propia a partir de datos históricos nominales e institucionales del Proyecto Sanitario El Inga (2026).

3.1.6 Generación de empleo e indicadores operativos y ambientales

A continuación, se presenta la información recopilada sobre el impacto social y el desempeño general del proyecto. En la tabla 8 se detalla la generación de empleo directo durante, los datos permiten ver cómo el proyecto del Inga ha contribuido a la economía local. En la tabla 9, se exponen los principales indicadores de gestión del biogás, que resumen su capacidad de producción, los beneficios ambientales logrados y el aporte energético que entrega a la red nacional.

Tabla 8

Generación de empleo directo en el Proyecto Sanitario El Inga

Nivel jerárquico	Hasta 2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Nacional	Extranjero
Directivo	1	0	1	0	0	0	2	1	1
Administrativo	0	3	1	0	0	0	4	4	0
Operativo	0	2	9	2	1	0	14	14	0
Comercial	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	**1**	**5**	**11**	**2**	**1**	**0**	**20**	**19**	**1**

Nota: Los valores corresponden a la contratación acumulada de personal desde la etapa de construcción hasta el año 2019.

Tabla 9

Indicadores de gestión de biogás y generación de energía

Indicador técnico y ambiental	Valor	Unidad de medida	Periodo de referencia
Volumen de biogás captado	566.000	m³ anuales	Operación consolidada
Capacidad instalada de generación eléctrica	9	MW	2024
Población abastecida con energía limpia	40.000	Hogares	Promedio anual
Emisiones de CO_2 equivalente evitadas	165.000	TCO_2e anuales	Anual

Nota: Elaboración propia con base en informes técnicos de EMGIRS EP y Gasgreen (2024). Los datos corresponden a la operación del sistema de aprovechamiento de biogás en el Proyecto Sanitario El Inga.

3.2 Cuantificación econométrica de los efectos del proyecto

Una vez obtenida la matriz consolidada de los valores históricos anuales del proyecto, se procedió a realizar una estimación preliminar en Stata utilizando los valores nominales tanto del ingreso por venta de energía como de la inversión acumulada; sin embargo, esta arrojó valores de significancia nulos con p-valores que oscilaron entre 0.43 y 0.98 (ver Anexo A). Estos resultados iniciales se explican por el reducido número de observaciones (apenas 9 años) y la consecuente falta de grados de libertad; además, los datos anuales solo reflejaban tendencias generales, sin capturar la dinámica real mes a mes del proyecto. Por este motivo, se desagregaron estos valores en una serie mensualizada. Si bien la base completa comprende 108 meses, la muestra efectiva quedó conformada por 107 observaciones, ya que en el primer mes del año 2016 no se registraron ingresos por venta de energía; esta celda vacía es excluida

automáticamente por el software para garantizar la consistencia matemática al calcular los logaritmos. De esta forma se cubre íntegramente el periodo 2016-2024, se redujo la varianza de los errores estándar y se eliminaron sesgos en la estimación del impacto de cada variable independiente.

La base de datos completa con las 107 observaciones mensuales se presenta en la Tabla 15, ubicada en el Anexo G, al final del documento.

Al ampliar el tamaño muestral y considerando que las series temporales energéticas suelen presentar dependencia temporal y volatilidad, se descartó el uso de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) clásicos. En su lugar, se aplicó el estimador de Errores Estándar Robustos de Newey-West configurado con un rezago, herramienta diseñada para corregir simultáneamente la heterocedasticidad y la autocorrelación serial, garantizando así la validez de las pruebas de significancia al 95 %. La especificación matemática del modelo quedó definida como:

$$\ln(Y_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln(X_{1t}) + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 \ln(X_{3t}) + \varepsilon_t$$

- $\ln(Y_t)$: Representa el logaritmo natural de la variable dependiente, que corresponde a los ingresos nominales por venta de energía en el mes **t**.
- β_0: Es el término constante de la recta de regresión.
- $\ln(X_{1t})$: Logaritmo de la variable independiente (producción de biogás mensual en m^3).
- X_{2t}: Capacidad instalada de la planta en MW.
- $\ln(X_{3t})$: Logaritmo de la inversión acumulada en infraestructura (valores nominales en dólares).
- ε_t: Error de los factores producto de las variables que no se incluyen en el modelo.

A continuación, en la tabla 10 se muestran los coeficientes numéricos obtenidos en la estimación final en Stata utilizando la muestra mensual ampliada, junto con sus respectivos estadísticos de contraste y los niveles de significancia que sustentan el análisis empírico de la investigación:

Tabla 10

Resultados del modelo de regresión lineal múltiple con errores estándar robustos de Newey-West (N=107)

Variable Independiente	**Coeficiente (β)**	**Error Estándar**	**Estadístico t**	**P-valor (p)**	**Significación**
Logaritmo de la producción de biogás *(ln X_1)*	0,2907113	0,1440649	2,02	0,046	Significativo al 5 %
Capacidad instalada *(X_2)*	0,0330850	0,0350546	0,94	0,347	No significativo
Logaritmo de la inversión acumulada *(ln X_3)*	0,9972899	0,3175086	3,14	0,002	Altamente significativo
Constante *(β_0)*	-5,6926440	4,8825180	-1,17	0,246	No significativo

Nota. Estimación realizada en Stata con errores estándar robustos de Newey-West para corregir la heterocedasticidad y la autocorrelación mensual.

Estadísticos de Ajuste global del modelo:

- Número de observaciones (N): 107
- Estadístico F(3, 103): 11, 16
- Prob > F: 0.0000 (Modelo globalmente muy significativo).

Análisis de los resultados del modelo estimado

Los resultados obtenidos sobre las 107 observaciones (sin tomar en cuenta el mes de enero del 2016 al no tener valor) estimados bajo los errores estándar robustos de

Newey-West permiten determinar la relación entre el logaritmo de la variable dependiente (ingresos por venta de energía) y las variables explicativas (producción de biogás, capacidad instalada e inversión acumulada en infraestructura). El modelo arrojó un estadístico F de 11,16 y un p-valor global de 0,000 cuyos valores lo vuelven muy significativo y confirman que las variables explicativas afectan a la variable dependiente, eliminando los sesgos producto del azar y proporcionando seguridad en la estructura del modelo.

En la tabla se muestra el valor del logaritmo de la producción de biogás cuyo coeficiente de 0,2907 y un p-valor de 0,046 permite determinar que al ser positivo e inferior al 5% es significativo. Adicional, al analizar su elasticidad se puede predecir el comportamiento de los ingresos por venta de energía eléctrica, en este sentido si se da un incremento del 1% en la producción de biogás sufrirá un incremento en promedio del 0,29 % en la facturación por venta de energía.

El valor del logaritmo de la inversión acumulada muestra un valor de significancia alto, debido que su coeficiente es de 0,9973 y su p-valor es de 0,002. Este valor al ser cercano a la unidad, corresponde a una elasticidad unitaria, por lo tanto, el incremento de la inversión acumulada y el de los ingresos por venta de energía eléctrica crecen en la misma proporción, reflejando el impacto positivo que tiene el aumento en inversión acumulada en la producción del proyecto.

En contraste, la variable capacidad instalada presenta un nivel de significancia bajo, esto debido a que su coeficiente es de 0,0331 y su p-valor es de 0,347, valor superior al 5%. Este resultado se puede deber a la cantidad de observaciones (107 observaciones) y porque la cantidad de MW casi no cambia, modificándose en años puntuales y se mantiene así hasta que se incremente la inversión en infraestructura, por lo que su impacto mensual no es evidente sino de forma global.

El coeficiente del término constante muestra un nivel de significancia bajo, similar a los de la capacidad instalada, cuyo p-valor es de 0,246, es decir no es significativo. Sin embargo, analizando estos resultados en su conjunto, existe una relación positiva entre las variables explicativas con la dependiente (ingresos por venta de energía eléctrica). No obstante, para determinar con mayor validez empírica si el desempeño financiero del proyecto tiene incidencia sobre el impacto en el crecimiento económico de Quito, el bienestar de la localidad y en la sostenibilidad ambiental, es necesario complementar con información adicional tales como: distribución de beneficios, impacto en las actividades productivas, indicadores de salud pública, calidad ambiental y vinculación con las políticas locales de desarrollo.

3.2.1 Pruebas de diagnóstico y validación de supuestos del modelo

Una vez estimados los coeficientes del modelo, es necesario verificar el cumplimiento de los supuestos estadísticos sobre los residuos para garantizar que las inferencias y los niveles de significancia sean completamente válidos y replicables.

A. Prueba de no multicolinealidad (factor de inflación de la varianza - VIF)

Para verificar que no existe multicolinealidad perfecta que distorsione los errores estándar, se calculó el Factor de Inflación de la Varianza (VIF). Bajo el criterio econométrico para este supuesto, el VIF debe ser inferior a 5.0 (o una tolerancia superior a 0.20) para descartar problemas de multicolinealidad. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 11

Resultados de la prueba de multicolinealidad mediante el Factor de Inflación de la Varianza

Variable	VIF	Interpretación
Logaritmo de la inversión acumulada ln_X3	1,89	Sin problemas
Capacidad instalada Capacidad_instalada_X2	1,89	Sin problemas

Variable	VIF	Interpretación
Logaritmo de la producción de biogás ln_X1	1,01	Sin problemas
VIF promedio	1,60	Sin problemas

Nota. VIF = factor de inflación de la varianza. Resultados completos de la prueba en el Anexo C. Fuente: Elaboración propia.

Se verificó el supuesto de multicolinealidad para revisar que no exista una relación lineal excesiva entre las variables explicativas, por lo cual se calculó el factor de inflación de la varianza (VIF). Este indicador nos dice cuánto se puede ver afectada la precisión de cada coeficiente si otra variable le aporta información muy parecida.

Los resultados de la tabla 11 muestran que el logaritmo de la producción de biogás tiene un VIF de 1,01, mientras que tanto la capacidad instalada como el logaritmo de la inversión acumulada registran un valor de 1,89 cada una, con un promedio general de 1,60. Estos valores muestran que no existen problemas de multicolinealidad: por norma general, se considera que solo hay un problema real si el VIF supera el límite de 10, o en casos más estrictos el valor de 5. Como los valores de la regresión lineal son inferiores a 5, significa que cada variable proporciona información de forma independiente y diferenciada, por lo tanto, los coeficientes estimados son estables y confiables.

B. Prueba de normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk)

Para revisar que los errores de la regresión tengan una distribución normal, se aplicó la prueba formal de Shapiro-Wilk sobre los residuos del modelo mensual (N=107). Los resultados obtenidos en Stata se muestran a continuación:

Tabla 12

Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los residuos

Variable	Observaciones	Estadístico W	Valor V	Valor z	Probabilidad > z
Residuos	107	0,94093	5,161	3,654	0,00013

Nota. H_0: los residuos siguen una distribución normal. Resultados completos de la ejecución en Stata se encuentran en el Anexo D. Fuente: Elaboración propia.

La prueba de Shapiro-Wilk se aplicó para revisar que exista normalidad en los residuos, lo cual es habitual para muestras de tamaño moderado como la utilizada. En este supuesto, la hipótesis nula sostiene que los residuos se ajustan a una distribución normal, mientras que la alternativa no.

El valor W obtenido es de 0,94093, el cual se aproxima a 1, indica que se ajusta a la normalidad, sin embargo, la probabilidad de z al ser de 0,00013, su nivel de significancia al ser menor al 5 %, se rechaza la hipótesis nula (para que H_0 no se rechace el p-valor debe ser mayor al 5 %). Este resultado se debe al tamaño de la muestra (107 observaciones), debido a que al ser un valor alto la prueba detecta desviaciones pequeñas que con menores datos no se detectarían. Por lo cual, los residuos no cumplen con el supuesto de normalidad.

No obstante, esto no invalida los resultados del modelo econométrico. Al contar con una muestra amplia y haber utilizado errores estándar robustos de Newey-West en la estimación principal, se cuenta con el respaldo del teorema del límite central, lo que garantiza que los coeficientes y las pruebas de significancia sigan siendo fiables para explicar las relaciones económicas analizadas.

C. Prueba de homocedasticidad de los residuos (Breusch-Pagan)

Con el fin de revisar si la varianza de los errores es constante en el tiempo, se aplicó la prueba formal de Breusch-Pagan / Cook-Weisberg. En esta evaluación, la hipótesis nula (H_0) plantea que existe homocedasticidad, mientras que la alternativa (H_1) señala la presencia de heterocedasticidad en función de los ingresos del proyecto. De este modo, un p-valor mayor al 5% indica que la varianza es estable. El resumen de estos datos se muestra a continuación:

Tabla 13

Resultados de la prueba de homocedasticidad de Breusch-Pagan

Estadístico	**Valor**	**Grados de libertad**	**Probabilidad > χ^2**
Chi-cuadrado	0,85	1	0,3570

Nota. H_0: varianza constante de los residuos (homocedasticidad). Resultados completos en el Anexo E. Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se muestran en la tabla 13 indican que el estadístico chi-cuadrado es de 0,85, con un valor de probabilidad de 0,3570 (equivalente al 35,70 %). Al ser este valor muy superior al umbral estándar del 5 %, no se rechaza la hipótesis nula, lo que confirma que se cumple el supuesto de varianza constante (homocedasticidad).

El resultado obtenido es positivo para el modelo, ya que demuestra la ausencia de dispersión en los errores lo cual confirma la fiabilidad de los coeficientes estimados. Además, esto justifica la aplicación de los errores estándar de Newey-West para solucionar la autocorrelación causada por los datos mensuales.

D. Prueba de no autocorrelación serial (Breusch-Godfrey)

Para verificar la independencia temporal de los errores, se aplicó la prueba Breusch-Godfrey LM de autocorrelación serial. La hipótesis nula (H_0) sostiene que no existe autocorrelación en los residuos, mientras que la hipótesis alternativa confirma la presencia de dependencia entre observaciones sucesivas. Se considera que hay autocorrelación si el valor p es inferior al umbral del 5 %. El resumen de la prueba se presenta a continuación:

Tabla 14

Resultados de la prueba de correlación serial de Breusch-Godfrey

Rezagos (p)	Estadístico χ^2	Grados de libertad	Probabilidad > χ^2
1	62,918	1	0,0000

Nota. H_0: ausencia de autocorrelación serial en los residuos. Resultados completos de la ejecución en Stata se encuentran en el Anexo F. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 el valor del estadístico chi-cuadrado obtenido es de 62,918, con un valor de probabilidad asociado de 0,0000, el cual es muy inferior al nivel de significancia del 5 %, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se confirma la presencia de autocorrelación en los residuos del modelo. Este resultado se explica por la naturaleza del proyecto del Inga, ya que, al generar energía basado en residuos, esta dependencia es completamente normal y responde a la dinámica continua de la operación de la central.

Así, variaciones en la cantidad de gas acumulado en el relleno sanitario, retrasos en la recolección de basura en ciertos meses, o las paradas programadas por mantenimiento causan un efecto que no se agota de inmediato, sino que se transmite al periodo siguiente, afectando los ingresos de forma secuencial a lo largo de los 107 meses estudiados. Este hallazgo no invalida

la investigación, ya que la autocorrelación no altera los coeficientes estimados, aunque sí afectaría a los errores estándar si se ignorara. Por esta razón, se aplicaron desde el principio los errores estándar robustos de Newey-West, los cuales están diseñados específicamente para corregir la dependencia temporal de los residuos, garantizando que las pruebas de significancia y las conclusiones mantengan toda su validez y rigor académico.

3.2.2 Síntesis general y evaluación del cumplimiento de los objetivos específicos

Los resultados obtenidos permiten dar respuesta integral a cada uno de los propósitos planteados en la investigación, integrando los hallazgos del modelo econométrico, las pruebas de supuestos y los datos operativos y sociales del proyecto.

El análisis de los efectos económicos del proyecto del Inga sobre la localidad cuenta con respaldo estadístico robusto: el modelo global es significativo, y mediante la estimación con errores estándar robustos de Newey-West se confirmó que una mayor producción de biogás y la inversión acumulada en infraestructura se traducen en mayores ingresos del proyecto. Esta relación coincide plenamente con los hallazgos de PUCACHAQUI SIMBA (2019), quien demostró en su investigación que el incremento en la producción de energía renovable y la inversión en su infraestructura generan impactos positivos y significativos sobre el crecimiento económico en el contexto ecuatoriano.

Estos recursos se reflejan de forma directa e indirecta en el dinamismo de la zona, ya que permiten mantener la contratación de personal residente en el área de influencia, lo cual eleva el ingreso disponible de las familias y aumenta el comercio local; además, la energía generada cubre parte de la demanda del Distrito Metropolitano y alrededores, reduciendo la presión sobre la red nacional y evitando interrupciones que afectarían la actividad productiva local. Asimismo, PUCACHAQUI SIMBA (2019) destaca que este tipo de iniciativas fortalecen

la matriz energética nacional al sustituir fuentes fósiles, lo que a su vez reduce vulnerabilidades económicas y favorece un desarrollo más estable en las localidades beneficiadas.

Con el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad se garantiza que estas estimaciones de impacto no presentan sesgos por dispersión desigual, mientras que la corrección aplicada por autocorrelación asegura la validez de las conclusiones.

Por su parte, el aporte del proyecto en lo social y ambiental se sustenta en los registros operativos y en el comportamiento mismo del proyecto: se ha generado un total de 20 puestos de trabajo directos, de los cuales 19 corresponden a personal nacional, mayoritariamente de la zona, fomentando la especialización técnica local. En materia ambiental, se aprovechan cerca de 566 000 m^3 anuales de biogás derivado de residuos, evitando la emisión de 165 000 toneladas anuales de CO_2 equivalente, esto se logra al capturar el metano, cuyo potencial de calentamiento es 25 veces mayor que el dióxido de carbono, esto es fundamental ya que ayuda al cuidado del medio ambiente. Este lo confirma Olmedo Ruiz y Curillo Tigre (2019), quienes señalan que el aprovechamiento del biogás generado por los residuos sólidos evita su liberación directa a la atmósfera, reduciendo la contaminación del aire y protegiendo la salud pública: disminuye los riesgos de enfermedades, personal que labora en las instalaciones como para los habitantes de las zonas aledañas al relleno (p.71). A esto se resume en mejor calidad del aire y mejores condiciones de vida de la población de la localidad. A esto se suma la capacidad actual de la planta, que asciende a 9 MW, la cual abastece a más de 40 000 hogares con energía limpia.

Estos resultados son producto de fuentes distintas: por un lado, los registros operativos y técnicos que sirvieron de base al modelo econométrico para evaluar el desempeño económico del Proyecto del Inga; por otro, la información complementaria sobre contratación de personal y reducción de la contaminación. No obstante, para confirmar su contribución integral al bienestar comunitario hace falta más información sobre su distribución y vínculo con políticas locales.

Asimismo, aunque replicar el proyecto es técnicamente viable, su impacto dependerá de la generación de residuos y el contexto institucional de cada territorio.

La autocorrelación detectada en los residuos no invalida estos resultados, sino que los explica: responde a la inercia propia de la gestión de residuos, variaciones en la recolección, mantenimiento de equipos o acumulación de materia orgánica, características propias de este tipo de iniciativas.

Finalmente, la viabilidad de replicar el Proyecto Sanitario de El Inga en otras regiones del país se confirma a partir de la estabilidad de las relaciones identificadas en el modelo y el cumplimiento de los supuestos: la disponibilidad de materia prima y la inversión tecnológica son los factores determinantes del rendimiento, por lo que la iniciativa es aplicable en otras localidades siempre que cuenten con condiciones similares. Al respecto, Rocha Niño y Rodríguez Bolaños (2024, p. 92) mencionan que la forma óptima de aprovechar el WTE (valorización energética de residuos sólidos, por sus siglas en inglés *Waste to Energy*) depende de la cantidad de población y su porcentaje de producción, y estas características se observan en ciudades grandes ya que la cantidad de residuos anual es considerable y puede ser aprovechada.

Los datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2024, p.7) confirman exactamente esto: provincias como Guayas, Azuay y Santo Domingo de los Tsáchilas presentan las condiciones más favorables para replicar proyectos de este tipo, ya que registran las cifras más altas de producción de residuos por habitante (Guayas alcanza los 1,24 kg al día, Azuay 1,00 kg y Santo Domingo 0,83 kg), además de contar con coberturas de recolección superiores al 80 % en sus vías principales (INEC, 2024. p.6). Estos valores demuestran que se genera el volumen constante y suficiente de desechos necesario para mantener el funcionamiento continuo de una planta como la de El Inga.

Por el contrario, en provincias con menor población y producción no se alcanzaría ese mismo nivel de rendimiento ni rentabilidad. Según los mismos registros del INEC (INEC, 2024, p.7), Loja genera solo 0,66 kg por habitante al día, Bolívar 0,71 kg, Carchi 0,63 kg y Morona Santiago 0,67 kg. Aunque en algunas de estas zonas existan iniciativas de reciclaje, la cantidad total de residuos es muy baja para justificar la inversión en una planta de gran escala; ahí sí se podrían implementar proyectos más pequeños y adaptados a su generación, pero no se podría replicar el modelo completo ni obtener los mismos resultados que en provincias con mayor concentración de habitantes.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A partir del análisis estadístico, la validación del modelo y la evaluación integral del desempeño del proyecto en el periodo 2016-2024, se establecen las siguientes conclusiones, alineadas con los propósitos de la investigación:

- La relación entre la inversión acumulada en infraestructura, el aprovechamiento del biogás y los ingresos generados presenta consistencia y significancia estadística, lo que confirma que los recursos destinados a fortalecer la capacidad tecnológica y operativa se traducen en retornos sostenidos que dinamizan la actividad económica de la zona de influencia. Los resultados demuestran que cada avance en la producción del recurso y cada mejora en la infraestructura amplían la capacidad del proyecto para generar valor económico, alineándose con los postulados del crecimiento endógeno que reconoce en la inversión en tecnología y conocimiento un motor fundamental del desarrollo local. Sin embargo, estos resultados por sí solos no garantizan un crecimiento amplio y sostenido, ya que es necesario que se den condiciones complementarias, como que los beneficios se queden en el territorio y se vinculen con otras actividades productivas locales.

- La iniciativa cumple de forma integral con los tres pilares del desarrollo sostenible: al transformar residuos en energía evita la liberación de gases nocivos que afectarían la calidad del aire y la salud pública, abre espacios de capacitación y empleo formal para personas del entorno, y suma una fuente estable de generación limpia que diversifica la oferta energética nacional y reduce la dependencia de recursos fósiles. Sin embargo, para afirmar que el proyecto mejora de forma integral el bienestar comunitario a largo plazo, es necesario contar con información más detallada sobre cómo se distribuyen estos beneficios y cómo se articulan con las políticas públicas locales de desarrollo. De

esta manera, el proyecto no solo cumple su función productiva, sino que integra la gestión de residuos, el bienestar social y la protección ambiental en un mismo esquema operativo.

- El modelo desarrollado es viable de aplicar en otras regiones del país siempre que se cuente con condiciones mínimas de volumen constante de residuos generados y cobertura consolidada de recolección. En territorios con menor escala poblacional y producción de desechos no es necesario descartar esta tecnología, sino adaptar su tamaño y diseño a las realidades locales para mantener su rendimiento y viabilidad financiera, sin que esto signifique renunciar a los beneficios que brinda la valorización energética de residuos.

Recomendaciones

Tomando como base los resultados obtenidos y las conclusiones expuestas, se plantean las siguientes orientaciones prácticas:

- Se sugiere a las entidades públicas y actores involucrados priorizar la asignación de recursos hacia la renovación y expansión de infraestructuras de valorización energética, así como establecer mecanismos de seguimiento periódico que vinculen el desempeño operativo con los indicadores económicos de la zona. Asimismo, se recomienda diseñar esquemas de financiamiento que den continuidad a las mejoras tecnológicas, ya que los resultados demuestran que estas inversiones se reflejan directamente en mayores ingresos y en una mayor estabilidad del proyecto en el tiempo.

- Es necesario integrar este tipo de iniciativas en los planes locales de desarrollo social y ambiental, mediante programas de formación técnica dirigidos a habitantes de las áreas

cercanas a los rellenos sanitarios, y reconociendo formalmente su aporte a la salud pública y al cumplimiento de las metas de sostenibilidad nacionales e internacionales. Además, se propone incluir estos proyectos en los programas de inserción laboral local, de modo que la especialización requerida para su operación se convierta en una oportunidad para las comunidades cercanas.

- Es importante contar con lineamientos técnicos diferenciados que consideren el tamaño poblacional, la cantidad de residuos sólidos y el marco normativo, para estandarizar procesos y que este tipo de proyectos se puedan ejecutar en otras regiones del país de acuerdo a sus características particulares ya sea a gran escala o versiones de menor inversión. Por lo cual se propone que los municipios de cada región evalúen la factibilidad de replicar este tipo de proyectos tomando como referencia investigaciones previas y estadísticas del proyecto del Inga en temas de rentabilidad, desarrollo local y reducción en niveles de contaminación, incorporando normativa que regule y permita su funcionamiento, así como facilitar el acceso a fuentes de financiamiento para facilitar asociaciones mixtas y que sean replicados en territorios donde se cumplan las condiciones idóneas para su implementación.

  .

Bibliografía

ACCIONA. (n.d). *ACCIONA*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de ACCIONA: https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar

APPA Renovables. (n.d). *APPA Renovables*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de APPA Renovables: https://www.appa.es/appa-biogas/que-es-el-biogas/

BBVA. (07 de 2024). *BBVA Sostenibilidad*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de BBVA Sostenibilidad: https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/

CEPAL. (s/f). *Naciones Unidas*. Recuperado el 13 de 07 de 2025, de Naciones Unidas: https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible

Coba, G. (22 de 05 de 2021). *Primicias.e.c*. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de Primicias.e.c: https://www.primicias.ec/noticias/economia/energia-renovable-inversion-extranjera-directa/

Colombia, M. d. (2020). *Guía de biogás para el sector porcícola en Colombia.* Guía ajustada, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Guia_Biogás__ajustada_1.pdf

CRISANTO PERRAZO, L. A. (2013). *Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogás generado por el relleno sanitario del Inga.* Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito, Quito. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6350/6/UPS%20-%20KT00806.pdf

Ecogal. (n.d). *Ecogal*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de Ecogal: https://ecogal.es/divisiones/ecogal-biogas/que-es-biogas/?utm_source=chatgpt.com

El Comercio. (15 de 10 de 2018). *El Comercio*. Recuperado el 22 de 06 de 2025, de El Comercio: https://www.elcomercio.com/actualidad/deuda-usd-millones-pone-riesgo/

El Comercio. (17 de 10 de 2024). *El Comercio*. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de El Comercio: https://www.elcomercio.com/actualidad/quito-amplia-su-capacidad-de-generacion-de-energia-limpia.html

EMGIRS, E. P. (n.d). *EMGIRS*. Recuperado el 21 de 06 de 2020, de EMGIRS: https://www.emgirs.gob.ec/

EMGIRS-EP. (30 de 03 de 2022). *EMGIRS-EP*. Obtenido de EMGIRS-EP: https://www.quitoinforma.gob.ec/2022/03/30/la-planta-de-biogas-de-emgirs-ep-contribuye-con-el-cuidado-del-planeta/

EMGIRS–EP, E. P. (30 de 03 de 2022). *EMGIRS–EP*. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de EMGIRS–EP: https://www.emgirs.gob.ec/index.php/noticiasep/670-la-planta-de-biogas-de-emgirs-ep-contribuye-con-el-cuidado-del-planeta

Espinosa Mantilla, K. (2021). *Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable.* Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.

Espinosa Mantilla, K. G. (2021). *Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable: Análisis del potencial de la ciudad de Quito.* Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, Quito. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8410

Europeo, P. (24 de 05 de 2023). *Parlamento Europeo*, Economía circular: definición, importancia y beneficios. Recuperado el 13 de 07 de 2025, de Parlamento Europeo: https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios

Gasgreen, E. E. (17 de 10 de 2024). *EMGIRS*. Recuperado el 17 de 06 de 2025, de EMGIRS: https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools/zentools-slideshow/planta-de-incineracion-de-fauna-urbana-muerta-2/8-features/872-alianza-estrategica-entre-emgirs-ep-y-gasgreen-gestion-sostenible-de-biogas-en-quito-2

Granados, R. M. (2016). *Modelos de regresión lineal múltiple.* Universidad de Granada. España, España . Recuperado el 17 de 04 de 2026

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodologìa de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (1.ª ed).* México.: McGraw-Hill Interamericana.

Informa, Q. (17 de 10 de 2024). *Quito Informa*. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de Quito Informa: https://www.quitoinforma.gob.ec/2024/10/17/manejo-adecuado-de-residuos-solidos-genera-energia-electrica-para-quito/

IRENA. (2020). *Perspectivas mundiales de las energías renovables: transformación energética de aquí a 2050.* IRENA.

Lanzetta, D., & Malegarie, J. (2017). *Iniciándonos en el mundo. Breve resumen sobre etapas del proceso de Investigación.* Buenos Aires: Editorial de UBA.

Liberto, D. (02 de 08 de 2006). *Ivestopedia*. Recuperado el 12 de 07 de 2025, de Ivestopedia: https://www.investopedia.com/terms/e/endogenousgrowththeory.asp

López Montero, J. (2023). *ENERGÍA RENOVABLE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL.* CHIMBORAZO: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.

López Montero, J. J. (2023). *ENERGÍA RENOVABLE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN EL ECUADOR.* Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.

Martínez Alonso, J. M., & Román Santana, W. M. (2025). *Metodología de la investigación académica: Enfoque cuantitativo y cualitativo. Guía práctica para investigadores noveles.* Feigòo.

Mejía, M. G. (17 de 05 de 2020). *Quito informa*. Recuperado el 02 de 07 de 2025, de Quito informa: https://www.quitoinforma.gob.ec/2017/10/16/quito-se-destaca-en-el-ecuador-al-producir-energia-electrica-de-la-basura/?utm_source=chatgpt.com

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (16 de 04 de 2025). *Municipio del Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de Municipio del Distrito Metropolitano de Quito: https://www.quitoinforma.gob.ec/2025/04/16/como-recibimos-el-relleno-sanitario-el-inga-que-hemos-hecho-y-hacia-donde-vamos/

Naciones Unidas. (17 de 05 de 2022). *Naciones Unidas*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de Naciones Unidas: https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy

Pepe, M. (22 de 03 de 2017). *Energías-Renovables.com*. Recuperado el 21 de 06 de 2025, de Energías-Renovables.com: https://www.energias-renovables.com/panorama/invertir-en-renovables-y-eficiencia-energetica-haria-20170322?utm_source=chatgpt.com

Planet, Z. (n.d). *ZYS Planet*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de ZYS Planet: https://zysplanet.com/agua-y-energia/beneficios-de-las-energias-renovables/?utm_source=chatgpt.com

PUCACHAQUI SIMBA, M. N. (2019). *ANÁLISIS DEL EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO DEL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL ECUADOR PARA EL PERIODO 1970-2016.* ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, FACULTAD DE CIENCIAS. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Saclima Renovables. (27 de 08 de 2024). *Saclima*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de Saclima: https://www.saclima.com/los-beneficios-de-las-energias-sostenibles-y-su-contribucion-a-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-ods/?utm_source=chatgpt.com

Sánchez-Céspedes, C. A.-L.-J. (2017). Producción de biogás a partir de residuos orgánicos: codigestión de lodos primarios y residuos alimenticios. *15*(01), 18. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445558421003

STPE, S. (2020). *Perspectivas mundiales de las energías renovables: transformación energética de aquí a 2050.* Quito: Secretaría Técnica de Planificación.

TodoIngenierías. (n.d). *TodoIngenierías*. Recuperado el 20 de 06 de 2025, de TodoIngenierías: https://todoingenierias.com/ventajas-de-la-ingenieria-de-biogas-frente-a-otras-energias-renovables/

UNAM, F. d. (2016). *Estudio de digestión anaeróbica seca y húmeda en planta piloto para la construcción de una planta de tratamiento de la fracción orgánica de los residuos*

sólidos urbanos (FORSU) en el municipio de Naucalpan. Informe técnico, Ciudad de México, México. Obtenido de https://www.giz.de/en/downloads/ENRES%20Estudio_determinar_potencial_producc_biogas_env_2.pdf

ANEXOS

Anexo A

Resultados de la estimación lineal preliminar en Stata (datos anuales nominales, 2016-2024).

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	9
				F(3, 5)	=	1.11
Model	2.9419e+12	3	9.8064e+11	Prob > F	=	0.4272
Residual	4.4164e+12	5	8.8328e+11	R-squared	=	0.3998
				Adj R-squared	=	0.0397
Total	7.3583e+12	8	9.1979e+11	Root MSE	=	9.4e+05

Ingresos_nominales_Y	Coefficient	Std. err.	t	P>|t|	[95% conf.	interval]
Produccion_biogas_X1	460.5049	537.0562	0.86	0.430	-920.0421	1841.052
Capacidad_instalada_X2	89009.02	227435.8	0.39	0.712	-495633.2	673651.2
Inversion_acumulada_X3	.0135643	.4844242	0.03	0.979	-1.231688	1.258816
_cons	-8257517	1.07e+07	-0.77	0.474	-3.57e+07	1.91e+07

Nota: La tabla presenta los resultados de la regresión lineal por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) utilizando valores nominales corrientes. Se observa que ninguna de las variables independientes resulta estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95% (P>|t| > 0.05), lo cual se atribuye principalmente al tamaño reducido de la muestra (n = 9).

Anexo B

Captura de la estimación del modelo con errores estándar robustos de Newey-West

Regression with Newey-West standard errors — Number of obs = 107
Maximum lag = 1 — F(3, 103) = 11.16
Prob > F = 0.0000

ln_Y	Coefficient	Newey-West std. err.	t	P>|t|	[95% conf.	interval]
ln_X1	.2907113	.1440649	2.02	0.046	.0049926	.57643
Capacidad_instalada_X2	.033085	.0350546	0.94	0.347	-.0364376	.1026076
ln_X3	.9972899	.3175086	3.14	0.002	.3675865	1.626993
_cons	-5.692644	4.882518	-1.17	0.246	-15.37597	3.990679

Nota. Salida gráfica obtenida directamente del software estadístico Stata para la muestra mensual (N=107).

Anexo C

Resultado de la prueba de multicolinealidad mediante el factor de inflación de la varianza (VIF)

```
. vif

    Variable |       VIF       1/VIF
-------------+----------------------
        ln_X3 |      1.89    0.527898
Capacidad_~2 |      1.89    0.528124
        ln_X1 |      1.01    0.988319
-------------+----------------------
    Mean VIF |      1.60
```

Nota. Captura de pantalla del indicador VIF para las tres variables independientes analizadas.

Anexo D

Resultado de la prueba de normalidad de los residuos mediante el test de Shapiro-Wilk

```
. swilk residuos

                    Shapiro-Wilk W test for normal data

    Variable |        Obs       W           V       z       Prob>z
-------------+-------------------------------------------------------
    residuos |        107    0.94093     5.161   3.654     0.00013
```

Nota. Captura del reporte estadístico del test de Shapiro-Wilk para el vector de errores.

Anexo E

Resultado de la prueba de homocedasticidad mediante el test de Breusch-Pagan / Cook-Weisberg

```
. hettest

Breusch-Pagan/Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
Assumption: Normal error terms
Variable: Fitted values of ln_Y

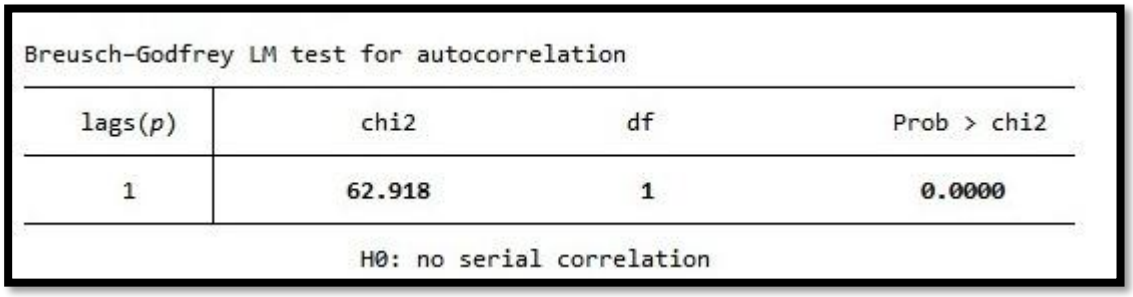
H0: Constant variance

    chi2(1) =   0.85
Prob > chi2 = 0.3570
```

Nota. Salida gráfica de la evaluación de la constancia de la varianza residual.

Anexo F

Resultado de la prueba de no autocorrelación serial mediante el test de Breusch-Godfrey



Breusch-Godfrey LM test for autocorrelation

lags(*p*)	chi2	df	Prob > chi2
1	62.918	1	0.0000

H0: no serial correlation

Nota. Captura de la verificación de la independencia temporal de los errores para un rezago mensual.

Anexo G

Tabla 15

Base de datos mensual de las variables del modelo (2016 – 2024)

Fecha	Ingresos nominales Y ($)	Producción de biogás X_1 (m^3)	Capacidad instalada X_2 (MW)	Inversión acumulada X_3 ($)
2016				
2016m1	—	—	—	5.439.809,01
2016m2	107.797,77	1.690,68	2	5.439.809,01
2016m3	108.970,55	1.929,24	2	5.439.809,01
2016m4	135.577,82	1.961,06	2	5.439.809,01
2016m5	139.641,75	1.969,63	2	5.439.809,01
2016m6	130.164,10	1.830,22	2	5.439.809,01
2016m7	133.184,50	1.788,55	2	5.439.809,01
2016m8	187.361,73	1.762,39	2	5.439.809,01
2016m9	103.755,81	1.748,09	2	5.439.809,01
2016m10	123.235,86	1.849,68	2	5.439.809,01
2016m11	121.706,20	1.787,09	2	5.439.809,01
2016m12	133.270,28	1.925,22	2	5.439.809,01
2017m1	132.985,77	2.045,82	2	7.682.778,62
2017m2	123.925,67	1.757,77	2	7.682.778,62
2017m3	134.724,85	2.144,80	2	7.682.778,62
2017m4	100.955,47	2.062,02	2	7.682.778,62
2017m5	204.005,11	2.225,04	2	7.682.778,62
2017m6	226.717,39	2.032,73	2	7.682.778,62
2017m7	232.963,13	1.968,71	2	7.682.778,62
2017m8	214.000,19	1.948,04	2	7.682.778,62
2017m9	169.304,72	1.949,61	2	7.682.778,62
2017m10	315.283,11	2.042,82	2	7.682.778,62

Fecha	Ingresos nominales Y ($)	Producción de biogás X_1 (m^3)	Capacidad instalada X_2 (MW)	Inversión acumulada X_3 ($)
2017m11	306.039,07	1.960,84	2	7.682.778,62
2017m12	399.699,89	2.052,25	2	7.682.778,62
2018m1	368.453,37	2.178,27	5	7.733.873,10
2018m2	366.467,36	1.869,78	5	7.733.873,10
2018m3	334.243,49	2.118,01	5	7.733.873,10
2018m4	388.850,28	2.086,67	5	7.733.873,10
2018m5	367.346,27	2.192,72	5	7.733.873,10
2018m6	372.143,82	2.092,83	5	7.733.873,10
2018m7	380.057,95	1.993,52	5	7.733.873,10
2018m8	395.967,26	1.950,18	5	7.733.873,10
2018m9	367.430,98	1.955,58	5	7.733.873,10
2018m10	337.262,52	1.999,54	5	7.733.873,10
2018m11	381.844,33	1.998,58	5	7.733.873,10
2018m12	384.579,04	2.113,16	5	7.733.873,10
2019m1	367.665,39	2.079,23	5	7.755.373,10
2019m2	351.870,35	1.882,26	5	7.755.373,10
2019m3	386.455,49	2.162,07	5	7.755.373,10
2019m4	384.485,93	2.173,27	5	7.755.373,10
2019m5	352.153,78	2.206,84	5	7.755.373,10
2019m6	325.786,13	2.033,84	5	7.755.373,10
2019m7	336.840,61	2.012,64	5	7.755.373,10
2019m8	344.210,90	1.903,15	5	7.755.373,10
2019m9	374.222,50	1.862,90	5	7.755.373,10
2019m10	285.120,93	1.911,35	5	7.755.373,10
2019m11	327.201,97	2.021,99	5	7.755.373,10
2019m12	280.759,11	2.132,37	5	7.755.373,10
2020m1	316.714,98	2.207,87	5	7.927.893,10
2020m2	301.060,83	1.943,18	5	7.927.893,10
2020m3	336.080,05	2.066,09	5	7.927.893,10
2020m4	384.882,11	1.804,52	5	7.927.893,10
2020m5	319.957,84	1.964,69	5	7.927.893,10
2020m6	353.552,74	1.964,70	5	7.927.893,10
2020m7	394.989,67	2.048,52	5	7.927.893,10
2020m8	394.922,91	1.927,58	5	7.927.893,10
2020m9	371.888,68	1.955,87	5	7.927.893,10
2020m10	372.399,77	1.968,13	5	7.927.893,10
2020m11	344.897,49	2.157,46	5	7.927.893,10
2020m12	231.270,82	2.130,37	5	7.927.893,10
2021m1	378.729,53	2.121,40	5	7.927.893,10
2021m2	358.698,52	1.856,58	5	7.927.893,10
2021m3	395.801,06	2.174,49	5	7.927.893,10

Fecha	Ingresos nominales Y ($)	Producción de biogás X_1 (m^3)	Capacidad instalada X_2 (MW)	Inversión acumulada X_3 ($)
2021m4	361.384,03	2.141,72	5	7.927.893,10
2021m5	386.598,13	2.125,12	5	7.927.893,10
2021m6	244.372,75	2.090,18	5	7.927.893,10
2021m7	390.252,52	2.032,27	5	7.927.893,10
2021m8	332.673,96	1.934,35	5	7.927.893,10
2021m9	324.127,09	1.977,67	5	7.927.893,10
2021m10	293.239,27	2.048,83	5	7.927.893,10
2021m11	313.443,17	1.979,14	5	7.927.893,10
2021m12	260.046,18	2.211,99	5	7.927.893,10
2022m1	220.023,05	2.050,76	5	9.445.919,84
2022m2	227.854,37	1.860,42	5	9.445.919,84
2022m3	291.209,32	2.173,20	5	9.445.919,84
2022m4	262.076,67	2.106,34	5	9.445.919,84
2022m5	356.390,82	2.130,80	5	9.445.919,84
2022m6	319.962,81	1.790,69	5	9.445.919,84
2022m7	336.465,07	2.022,86	5	9.445.919,84
2022m8	353.826,38	1.976,20	5	9.445.919,84
2022m9	357.702,11	1.862,04	5	9.445.919,84
2022m10	380.981,32	1.893,61	5	9.445.919,84
2022m11	354.094,16	1.960,05	5	9.445.919,84
2022m12	363.493,07	2.031,63	5	9.445.919,84
2023m1	362.166,39	2.700,00	5	9.445.919,84
2023m2	316.335,14	2.550,00	5	9.445.919,84
2023m3	346.179,14	2.500,00	5	9.445.919,84
2023m4	280.143,00	2.150,00	5	9.445.919,84
2023m5	298.023,16	2.300,00	5	9.445.919,84
2023m6	304.995,86	2.400,00	5	9.445.919,84
2023m7	301.931,07	2.300,00	5	9.445.919,84
2023m8	328.559,23	2.400,00	5	9.445.919,84
2023m9	248.301,08	2.100,00	5	9.445.919,84
2023m10	254.304,27	1.900,00	5	9.445.919,84
2023m11	241.358,38	2.000,00	5	9.445.919,84
2023m12	292.322,14	591,99	5	9.445.919,84
2024m1	261.383,24	2.800,00	9	9.445.919,84
2024m2	283.193,66	2.700,00	9	9.445.919,84
2024m3	310.819,31	2.600,00	9	9.445.919,84
2024m4	316.420,74	2.500,00	9	9.445.919,84
2024m5	291.357,85	2.400,00	9	9.445.919,84
2024m6	300.533,53	2.350,00	9	9.445.919,84
2024m7	300.021,96	2.450,00	9	9.445.919,84
2024m8	269.905,22	2.550,00	9	9.445.919,84

Fecha	Ingresos nominales Y ($)	Producción de biogás X_1 (m^3)	Capacidad instalada X_2 (MW)	Inversión acumulada X_3 ($)
2024m9	203.783,38	2.650,00	9	9.445.919,84
2024m10	194.694,94	675,88	9	9.445.919,84
2024m11	189.568,12	662,19	9	9.445.919,84
2024m12	242.590,03	666,08	9	9.445.919,84

Nota: Los ingresos provienen de reportes oficiales de CENACE; la producción de biogás combina estimaciones técnicas para el periodo 2016-2022 y mediciones reales para 2023-2024; la capacidad instalada se actualiza en los meses de ampliación; la inversión acumulada se mantiene constante cada año por no disponer del mes exacto de activación de equipos, coincidiendo con los totales anuales consolidados. Los valores marcados con guion (—) corresponden al mes de puesta en marcha inicial, sin registro de ingresos por venta de energía; la muestra válida para el modelo comprende 107 observaciones mensuales.