

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA



TESIS

**ANÁLISIS DE SEGURIDAD ENERGÉTICA DE LA CADENA DE
VALOR DEL GAS NATURAL EN EL PERÚ MEDIANTE
CÁLCULO DE ÍNDICE DE DESBALANCE**

PRESENTADO POR:

Br. LUCERO GARCIA FLORES

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
PETROQUÍMICO**

ASESOR:

Dr. ANTONIO RAMIRO JESÚS BUENO
LAZO

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ANTONIO RAMIRO JESÚS BUENO LAZO
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada:
..... ANÁLISIS DE SEGURIDAD ENERGETICA DE LA CADENA DE VALOR DEL GAS NATURAL EN
..... EL PERÚ MEDIANTE CALCULO DE INDICE DE DESBALANCE ✓

Presentado por: LUCERO GARCIA FLORES DNI N° 76038295
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de
..... INGENIERO PETROQUÍMICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 4 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 1%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 22 de Enero de 2026

Firma

Post firma..... Antonio Ramiro Jesús Bueno Lazo

Nro. de DNI..... 23878046

ORCID del Asesor..... 0000-0002-6415-3028

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** oid:::27259:547905341

Lucero García

ANÁLISIS DE SEGURIDAD ENERGETICA DE LA CADENA DE VALOR DEL GAS NATURAL EN EL PERÚ MEDIANTE CÁLCULO ...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:547905341

106 páginas

Fecha de entrega

21 ene 2026, 6:58 a.m. GMT-5

23.610 palabras

Fecha de descarga

21 ene 2026, 7:09 a.m. GMT-5

133.511 caracteres

Nombre del archivo

ANÁLISIS DE SEGURIDAD ENERGETICA DE LA CADENA DE VALOR DEL GAS NATURAL EN EL PERÚ M....pdf

Tamaño del archivo

886.6 KB

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
11 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
447 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniero de Procesos:

En cumplimiento con lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos vigente de nuestra Facultad, tengo el honor de presentar la tesis intitulada: **“ANÁLISIS DE SEGURIDAD ENERGÉTICA DE LA CADENA DE VALOR DEL GAS NATURAL EN EL PERÚ MEDIANTE CÁLCULO DE ÍNDICE DE DESBALANCE”**, con la finalidad de optar al título profesional de Ingeniero Petroquímico.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su incesante aliento y esfuerzo, que me han permitido alcanzar el privilegio de tener una profesión. Su dedicación y sacrificio son mi mayor inspiración día a día.

A mis docentes, y en especial a mi asesor, Dr. Antonio Jesús Bueno Lazo, por la formación académica y los valiosos consejos brindados a lo largo de estos años.

DEDICATORIA

La culminación de esta etapa ha sido posible gracias al aliento de mis padres Rufino García y Delfina Flores por lo que es un honor dedicarles la presente tesis.

A Marco Antonio García, quien, desde el amor de un hermano, siempre fue mi principal fuente de motivación.

A José Luis García y Gabriela García, por el amor y la comprensión que, sin saberlo, me brindaron fuerza e impulso para seguir adelante.

RESUMEN

La presente investigación evalúa la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en el Perú mediante un índice compuesto que integra diversos indicadores en una métrica anual llamada índice de desbalance. El estudio cubre el periodo 2012 a 2023 y proyecta su evolución al 2030. Se seleccionaron diez indicadores representativos de la cadena del gas natural y se recopiló información histórica para aplicar técnicas estadísticas como la normalización Z score y el Análisis de Componentes Principales, lo que permitió reducir los datos a tres componentes que explican la mayor parte de la variabilidad. Con estos componentes se construyó un índice anual normalizado entre 0, que indica mayor balance, y 1, que señala mayor desbalance. Los resultados muestran una tendencia creciente, con dos episodios críticos en los periodos 2016 a 2017 y 2022 a 2023, donde el índice alcanzó sus valores más altos. Este deterioro se relaciona con la caída de la tasa entre reservas y producción, la paralización de la exploración y el incremento del uso de combustibles líquidos en la generación térmica. La prueba estadística Mann Kendall confirma la tendencia ascendente y la simulación Monte Carlo indica que el índice se concentra entre 0.50 y 0.58 con alta confianza. La proyección al 2030 estima que podría llegar a 0.867, lo que evidencia un riesgo creciente si no se aplican medidas correctivas. En conjunto, los resultados muestran desafíos estructurales que requieren fortalecer la exploración, asegurar la reposición de reservas y reducir la dependencia de combustibles líquidos.

Palabras Clave: Seguridad Energética, Gas natural, Indicadores e Índice de desbalance.

ABSTRACT

This research evaluates energy security in the natural gas value chain in Peru through the construction of a composite index that integrates various indicators into an annual metric called the imbalance index. The study covers the period from 2012 to 2023 and projects its evolution to 2030. Ten representative indicators of the natural gas chain were selected, and historical information was compiled to apply statistical techniques such as Z-score normalization and Principal Component Analysis, which reduced the dataset to three components that explain most of the variability. Based on these components, an annual index was developed and normalized on a scale from 0, indicating higher balance, to 1, indicating higher imbalance. The results show an upward trend, with two critical periods between 2016–2017 and 2022–2023, during which the index reached its highest values. This deterioration is associated with the decline in the reserves-to-production ratio, the stagnation of exploration activities, and the increased use of liquid fuels in thermal power generation. The Mann-Kendall statistical test confirms the upward trend, and the Monte Carlo simulation indicates that the index is concentrated between 0.50 and 0.58 with high confidence. The projection to 2030 estimates that the index could reach 0.867, revealing a growing risk if corrective measures are not implemented. Overall, the results highlight structural challenges that require strengthening exploration efforts, ensuring reserve replacement, and reducing dependence on liquid fuels.

Keywords: Energy Security, Natural gas, Indicators, Imbalance index.

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
Capítulo I: Generalidades	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Formulación del Problema	4
1.3.1 Problema general	4
1.3.2 Problemas específicos	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Justificación.....	5
1.6 Antecedentes.....	6
Capítulo II: Marco Teórico.....	12
2.1 Seguridad Energética.....	12
2.2 Dimensiones de Seguridad Energética	12
2.3 Índices de Seguridad Energética	14
2.4 Cadena de valor	16
2.5 Cadena de valor de gas natural en el Perú.....	16
2.6 Indicadores de Seguridad Energética	17

2.7 Indicadores de Seguridad Energética aplicados a sistemas de gas natural.....	21
2.8 Métodos de construcción de un índice	24
2.9 Normalización de datos	25
2.10 Análisis de Componentes Principales	26
2.11 Agregación Ponderada y Escalamiento del Índice	27
2.12 Prueba de Mann – Kendall	28
2.13 Simulación Monte Carlo.....	30
2.14 Estimación de Escenarios Futuros mediante Series Temporales	31
Capítulo III: Metodología	32
3.1 Metodología de la Investigación	32
3.1.1 Diseño de la investigación.....	32
3.1.2 Nivel de la investigación	32
3.1.3 Tipo de investigación	33
3.1.4 Población	33
3.1.5 Muestreo	33
3.1.6 Variables.....	33
3.2 Métodos	35
Capítulo IV: Resultados y Discusiones	43
4.1 Definición de indicadores de seguridad energética de la cadena de valor del gas natural del Perú.....	43
4.2 Integración de la información histórica de los indicadores de seguridad energética de la cadena de valor del gas natural del Perú.....	46
4.2.1 Normalización de datos	48
4.3 Análisis de Componentes Principales	51
4.3.1 Construcción del índice compuesto.....	55
4.3.2 Cálculo del Índice de Desbalance.....	58

4.4 Evolución y Proyección del Índice de Desbalance.....	65
4.4.1 Validación de la tendencia mediante prueba de Mann Kendall	65
4.4.2 Simulación de Monte Carlo.....	67
4.4.3 Proyección tendencial al 2030.....	72
4.5 Discusión de resultados	75
4.5.1 Comparación de resultados.....	75
4.5.2 Implicaciones estratégicas	77
4.5.3 Diferencias y aportes	78
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Métodos para la construcción de un índice	25
Figura 2 Diagrama del desarrollo del proyecto de investigación	34
Figura 3 Flujograma de Selección de Indicadores	36
Figura 4 Flujograma de recopilación y normalización de datos	38
Figura 5 Flujograma de Análisis de Componentes Principales y Cálculo del Índice de Desbalance	40
Figura 6 Porcentaje de varianza explicada por cada componente principal	52
Figura 7 Evolución del índice de desbalance de la cadena de gas natural de Perú (2012–2023)	61
Figura 8 Evolución del índice y comportamiento de indicadores (2012–2023)	62
Figura 9 Histograma de Simulación Montecarlo del Índice de Desbalance	69
Figura 10 Histograma de probabilidades acumuladas	71
Figura 11 Proyección del índice de desbalance al 2030	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Listado de índices de Seguridad Energética	15
Tabla 2 Listado de indicadores de Seguridad Energética	18
Tabla 3 Indicadores de Seguridad Energética aplicables para la cadena de gas natural.....	21
Tabla 4 Disponibilidad histórica y fuentes de información por indicador.....	44
Tabla 5 Datos históricos para indicadores seleccionados (2012–2023)	47
Tabla 6 Matriz de valores normalizados por indicador y año (2012–2023).....	50
Tabla 7 Cargas de los indicadores en los componentes principales	53
Tabla 8 Índice compuesto no normalizado por año (2012–2023)	57
Tabla 9 Índice compuesto máximo y mínimo.....	59
Tabla 10 Índice de desbalance de la cadena de gas natural de Perú (2012–2023)	60
Tabla 11 Estadística descriptiva de simulación Monte Carlo	69
Tabla 12 Probabilidades acumuladas.....	71
Tabla 13 Índice proyectado y límites de confianza (2024–2030).....	74

Capítulo I: Generalidades

1.1 Introducción

El petróleo y gas natural son parte esencial del balance energético a nivel mundial, por ser fuentes de energía primaria. Son una de las causas directas del crecimiento económico de los países y mejora la calidad de vida de sus habitantes. Estos recursos pueden garantizar el surgimiento y sostenimiento de economías a nivel mundial, mientras que la falta de seguridad en su suministro podría generar severas crisis (BP, 2020).

En el Perú, el gas natural se ha consolidado como una fuente estratégica dentro de la matriz energética, impulsando tanto la generación eléctrica como el desarrollo industrial. Sin embargo, la cadena de valor del gas natural ha experimentado cambios significativos en la última década, influenciados por factores como la variabilidad en la producción, la infraestructura de transporte, la demanda interna y las condiciones del mercado internacional.

Ante este contexto, la presente investigación propone la construcción de un índice compuesto que permita evaluar, de manera integral, el estado de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en Perú, considerando indicadores representativos y su evolución histórica desde el 2012 hasta el 2023. Este índice busca convertirse en una herramienta analítica que facilite la identificación de tendencias y apoye la formulación de estrategias orientadas a reducir riesgos y fortalecer la resiliencia del sistema energético nacional.

1.2 Planteamiento del problema

Las fuentes energéticas son temas cruciales para el progreso económico y ocupan un lugar destacado en la agenda mundial. Recursos como el gas natural permiten la

prestación de servicios que elevan el nivel de vida de la sociedad y satisfacen necesidades como la vivienda, la alimentación, el transporte, la asistencia sanitaria y la educación. Sin embargo, existe la posibilidad de que el suministro de energía se interrumpa por diversas razones. En estas situaciones, el concepto de seguridad energética parece apoyar la evaluación continua del proceso, estableciendo un equilibrio entre las ventajas y las desventajas de los sistemas energéticos; y supervisando y desarrollando los objetivos propuestos. Aunque los planes energéticos se elaboraron algún tiempo antes, la Política Energética Nacional de Perú de 2010-2040 abordó explícitamente la seguridad energética como un tema en 2010 (Osinergmin, 2017).

La evaluación más reconocida en esta materia la desarrolla el Foro Económico Mundial (WEF) que anualmente publicaba su reporte “Global Energy Architecture Performance Index” y que desde el 2021 es denominada “Energy Transition Index”, en la que se calcula un índice de transición energética proporcionando una evaluación del desempeño del sistema energético en general de 120 países en relación con el trilema energético: (1) la capacidad de apoyar el desarrollo y el crecimiento económicos, (2) seguridad, confiabilidad y accesibilidad universal de la energía y (3) sostenibilidad ambiental en toda la cadena de valor de la energía, el cual cuantitativamente es el resultado del promedio de los sub índices “System Performance” y “Transition Readiness” (World Economic Forum, 2021).

En dicho reporte del 2025 se muestra en el ranking a Perú en el puesto 53, descendiendo 6 puestos en comparación al 2024. Este retroceso evidencia la ausencia de factores clave como una consolidación efectiva del compromiso político, una estructura regulatoria suficientemente robusta y un entorno empresarial más dinámico con incentivos sostenibles, y entre otros (World Economic Forum, 2025).

Cabe resaltar que el “Energy Transition Index” analiza el desempeño del sistema energético en general de todas las fuentes energéticas que mantiene un país; en años recientes diferentes autores propusieron análisis particulares para cada fuente de energía, en un esfuerzo para representar las necesidades tal como Cabalu & Alfonso (2009) con “Energy Security in Asia: The Case of Natural Gas” y Montoya Torres (2018) con “Análisis de la seguridad energética en Colombia desde la cadena de suministro del gas natural”; esto se debe en parte a que la seguridad energética depende mucho del contexto.

Con 1568 km de gasoductos, Perú se encuentra entre los países de la región con una de las infraestructuras de transporte de gas natural más bajas, muy por debajo de los referentes de la región, como Argentina (16000 km), Brasil (9608 km), Colombia (7460 km) y Bolivia (4167 km). Además, el panorama regulatorio debería abordar las cuestiones que darían mayor claridad a la masificación (Promigas, 2024, pág. 22).

En base al cálculo de reservas probadas de Promigas Perú, el índice de autonomía de reservas probadas (IAR) para Perú al cierre de 2023 muestra que, en caso el país mantenga su nivel de producción de gas natural del año anterior y no se incorporen nuevas reservas probadas, tendría asegurado el suministro de gas natural por quince años. Debido al aumento de la producción en 2023 respecto a 2022 y a la no incorporación de reservas probadas en este mismo periodo (Promigas, 2024, pág. 63).

En comparación con 2021, la cantidad de gas natural transportado aumentó en 235 MMPCD en 2022. Un notable incremento de 24%, principalmente por el aumento de la cantidad despachada desde Camisea a Pampa Melchorita, destinada a la exportación. El volumen despachado desde Camisea para uso doméstico ha crecido a una tasa promedio de 5% en los últimos cinco años, lo cual también es significativo por el incremento en el consumo de generadores eléctricos (Promigas, 2024, pág. 75).

A pesar de la relevancia del gas natural que se describe, no existe en el contexto peruano una herramienta integral que permita evaluar de manera cuantitativa el estado de la seguridad energética en toda la cadena de valor. Los estudios disponibles se enfocan principalmente en análisis parciales o cualitativos, lo que dificulta la identificación de vulnerabilidades y la formulación de políticas efectivas. Esta falta de indicadores compuestos impide contar con una visión holística que sintetice múltiples dimensiones en un solo valor, capaz de reflejar el nivel de equilibrio o desbalance del sistema energético.

Ante esta situación, surge la necesidad de desarrollar un índice que integre información histórica y permita evaluar el comportamiento de la seguridad energética en el sector gasífero peruano, identificando tendencias y riesgos futuros para que sirvan como insumo para la toma de decisiones estratégicas.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema general

- ¿Cuál es el estado de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en el Perú y cuál es la tendencia que se proyecta para los próximos años?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Qué indicadores son representativos para evaluar la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en el contexto peruano?
- ¿De qué manera se puede sintetizar e integrar la información histórica para construir un índice anual que refleje el estado de la seguridad energética?
- ¿Qué componentes principales explican la variabilidad en la seguridad energética dentro de la cadena de valor del gas natural?
- ¿Qué tendencias se proyectan para la seguridad energética en el sector gasífero peruano en los próximos años?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar el estado de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en el Perú mediante la construcción de un índice compuesto y analizar su tendencia proyectada para los próximos años.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Definir los indicadores representativos para evaluar la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en el contexto peruano.
- Integrar la información histórica para construir un índice anual que refleje el estado de la seguridad energética.
- Determinar los componentes principales que explican la variabilidad en la seguridad energética mediante análisis multivariado.
- Analizar la evolución del índice y proyectar su tendencia para los próximos años.

1.5 Justificación

El motivo para desarrollar el presente trabajo surge de la necesidad de aplicar estrategias adecuadas en la política energética del gas natural, en concordancia con la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040 (Ministerio de Energía y Minas, 2024), que establece acciones orientadas a impulsar la masificación de este recurso en beneficio de la población. Entre estas acciones, destaca la conformación de la Mesa Ejecutiva de Gas Natural, encargada de evaluar propuestas que permitan ampliar el acceso y uso del gas natural a nivel nacional.

Esta investigación se presenta como un aporte inicial para el desarrollo de herramientas que faciliten el seguimiento y evaluación de políticas energéticas desde la

perspectiva de la seguridad energética. Actualmente, no existe en el contexto peruano un índice integral que permita medir la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural de manera cuantitativa y objetiva. Esta ausencia limita la capacidad de identificar vulnerabilidades y anticipar riesgos, lo que dificulta la toma de decisiones estratégicas en un sector que demanda inversiones significativas en infraestructura, exploración y desarrollo de mercados.

Ante esta brecha, el presente trabajo propone la construcción de un índice compuesto basado en indicadores representativos y su evolución histórica, aplicando técnicas estadísticas como la normalización y el análisis de componentes principales (PCA). Este enfoque permite sintetizar múltiples dimensiones en un solo valor anual, ofreciendo una herramienta analítica que contribuya a la formulación de políticas públicas, la planificación estratégica y la gestión eficiente de recursos, fortaleciendo la resiliencia del sistema energético nacional frente a escenarios de incertidumbre.

1.6 Antecedentes

- Andrade (2019), propone en su estudio el análisis de seguridad energética para Colombia enfocado en su cadena de suministro de petróleo y combustibles líquidos, estructurado en cuatro dimensiones: disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad. Se recopilan definiciones clave del concepto y se analiza el balance energético nacional junto con el Plan Energético Nacional. La metodología incluye la evaluación de 32 indicadores aplicados al subsistema de petróleo y combustibles líquidos entre 2010 y 2016, además de cinco indicadores adicionales que incorporan criterios de sostenibilidad ambiental, social y política. Se emplea un modelo de dinámica de sistemas para proyectar el impacto de políticas energéticas en el sector transporte, principal consumidor

de energía. Los indicadores agregados muestran que la dimensión de disponibilidad se mantuvo alta (0.64 en 2010 y 0.72 en 2016), mientras que accesibilidad cayó drásticamente (0.93 a 0.25) por limitaciones en refinación e incremento de importaciones. Se emplea un modelo de dinámica de sistemas para proyectar el impacto de políticas energéticas en el sector transporte, principal consumidor de energía. Las simulaciones indican que, aun en escenarios optimistas, la reducción máxima en consumo de combustibles líquidos hacia 2050 sería de 13.9% frente al escenario tendencial, insuficiente para revertir el crecimiento sostenido del consumo per cápita y las emisiones. Se concluye que, para fortalecer la seguridad energética en Colombia, es necesario complementar las políticas actuales con medidas estructurales que reduzcan la dependencia de combustibles fósiles.

- Montoya (2018), analiza el estado de la seguridad energética en la cadena de suministro de gas natural en Colombia, definiéndola en cuatro dimensiones: disponibilidad, asequibilidad, accesibilidad y aceptabilidad. Se emplean ocho indicadores básicos clasificados por etapa y dimensión, con los cuales se calcula un Índice de Desbalance (I.D.) para el periodo 2010–2016. Los resultados muestran que 2012 fue el año de mayor desbalance (I.D = 0.53) por baja accesibilidad y rendimiento económico, mientras que 2013 presentó el mayor balance (I.D = 0.24) debido al aumento en consumo y demanda. En términos de dimensiones, la disponibilidad cayó de 10.0 en 2010 a 1.0 en 2016, mientras que la accesibilidad se mantuvo entre 4.5 y 6.9, la asequibilidad entre 3.9 y 7.5, y la aceptabilidad entre 4.2 y 7.3. Para proyectar la evolución futura, se desarrolla un modelo de dinámica de sistemas que simula el comportamiento del sector entre 2017 y 2050. El pronóstico del I.D indica que el mejor balance

se alcanzaría hacia 2041, seguido de un deterioro por demanda no atendida. Se concluye que el monitoreo multidimensional y el uso de modelos dinámicos son herramientas clave para anticipar riesgos y orientar decisiones estratégicas en el sector energético colombiano.

- Yao & Chang (2014), examina la seguridad energética en China mediante un enfoque combinado: cuantitativo y político. Su objetivo fue evaluar el desempeño energético del país frente a riesgos internos y externos, utilizando un índice compuesto basado en cuatro dimensiones: disponibilidad, asequibilidad, eficiencia y sostenibilidad. La metodología incluye el uso del esquema del “rombo” como representación gráfica de estas dimensiones, lo que permite visualizar el equilibrio o desbalance del sistema energético. Se aplican datos nacionales entre 1980 y 2010 (en lapsos de 5 años), complementados con un análisis político de las estrategias del gobierno chino, como la diversificación de fuentes, inversiones en infraestructura y acuerdos internacionales. Los resultados muestran que el área del rombo, indicador global de seguridad energética, varió de 68.04 unidades² en 1980 a 72.52 en 1985 (máximo histórico), descendiendo a 43.92 en 1995 (mínimo) y recuperándose parcialmente a 70.84 en 2005, para luego caer a 62.32 en 2010. Se concluye que la seguridad energética en China requiere una gestión integrada que combine planificación técnica con decisiones políticas estratégicas, orientadas a la resiliencia, sostenibilidad y diversificación del sistema energético.
- Chuang & Wen Ma (2013), evalúan la seguridad energética de Taiwán con el objetivo de identificar vulnerabilidades estructurales y proponer estrategias

para fortalecer la resiliencia energética del país, mediante un enfoque integrado que combina análisis cuantitativo y político. La metodología se basa en la construcción de un índice compuesto estructurado en cuatro categorías: dependencia, vulnerabilidad, asequibilidad y aceptabilidad, siguiendo los indicadores propuestos por Kruyt, Vuuren, & Groenenberg (2009), normalizados para permitir comparaciones temporales. Los resultados muestran que la dependencia de energía importada alcanzó el 99.3% en 2010, mientras que el valor de las importaciones de energía respecto al PIB pasó de 3.80% en 1990 a 11.74% en 2010, con un máximo histórico de 15.43% en 2008. Las importaciones per cápita crecieron de 8.323 en 1990 a 69.317 en 2010. En términos ambientales, las emisiones de CO₂ alcanzaron 250.11 Mt en 2009. La combinación energética continúa dominada por combustibles fósiles, con petróleo y carbón representando más del 80% del suministro total. Se concluye que mejorar la seguridad energética requiere no solo ajustes tecnológicos, sino también reformas institucionales que fortalezcan la capacidad de respuesta promuevan la sostenibilidad y reduzcan la vulnerabilidad del sistema frente a factores externos.

- Kruyt, Vuuren, & Groenenberg (2009), distinguen los principales enfoques para medir la seguridad energética, destacando sus cuatro dimensiones fundamentales: disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad. A través de una revisión de indicadores utilizados en la literatura, se evidencia que no existe un índice único aplicable universalmente, debido a la complejidad multidimensional del concepto y a las diferencias contextuales entre países. El estudio aplica indicadores en escenarios para Europa Occidental y muestra que el comercio internacional de energía crecería un 142% en 2050 respecto a 2008,

elevando la proporción del consumo global comercializado del 27% al 38%. Las reservas probadas de petróleo convencional se agotarían hacia 2035 en el escenario base, mientras que las de gas natural se agotarían para 2050 en ambos escenarios; en contraste, el carbón mantendría una relación reservas/producción alta, aunque disminuyendo de 167 años a 81 años en 2050. Para Europa Occidental, la dependencia de importaciones de petróleo se mantendría en torno al 65%, y la de gas aumentaría hasta el 62% en 2050. Se concluye que la evaluación de la seguridad energética debe adaptarse a cada contexto nacional, combinando indicadores cuantitativos con análisis cualitativos que permitan captar riesgos sistémicos y dinámicas de largo plazo.

- Cabalú (2008) propone en su estudio evaluar la seguridad energética en el suministro de gas natural en países asiáticos seleccionados, mediante el uso de indicadores cuantitativos que permitan comparar niveles de vulnerabilidad y dependencia. La metodología se basa en la construcción de cuatro indicadores: intensidad de gas (G1), dependencia neta de importaciones (G2), proporción de producción nacional (G3) y riesgo geopolítico (G4), combinados en un índice compuesto denominado índice de seguridad del suministro de gas (GSSI). Los resultados muestran que Japón y Corea presentan alta dependencia de importaciones (16.34% y 13.70%, respectivamente) y nula producción interna (G3 = 0%), lo que los hace más vulnerables, con GSSI de 0.707 y 0.667. Singapur y Tailandia son los más inseguros, con GSSI de 0.775 y 0.761, debido a ausencia de producción nacional y baja diversificación (G4 = 0.190 y 0). En contraste, India y China exhiben menor riesgo relativo: GSSI de 0.302 y 0.394, gracias a su mayor producción interna (74% y 77%) y baja dependencia de importaciones (2.24% y 0.20%). Taiwán ocupa una posición intermedia con

GSSI de 0.662 y dependencia de importaciones del 9.70%. Se concluye que la seguridad energética en gas natural debe abordarse mediante estrategias de diversificación de proveedores, desarrollo de infraestructura de almacenamiento y fortalecimiento de la producción nacional, adaptadas a las condiciones específicas de cada país.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Seguridad Energética

En definitiva, la seguridad energética es un término muy amplio, sobre el cual, existen acuerdos de lo que debe cubrir, más no existe un consenso para una única definición (Chester, 2010). La seguridad energética se entiende por aquel aspecto, medida, situación o estado en el cual un sistema funciona de manera óptima y sostenible en todas sus dimensiones, libre de cualquier amenaza (Azzuni & Breyer, 2018). La generalidad de esta definición permite incluir todo tipo y cantidad de dimensiones; además, se agrega la representación de todos los riesgos presentes en el sistema.

La International Energy Agency (2014) define la seguridad energética como: “la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a precios competitivos”. Por su parte el World Energy Council (2016) hace referencia a la seguridad energética como un desafío global y la define como: “La gestión eficaz del suministro energético primario proveniente de fuentes nacionales y extranjeras, la integridad de las infraestructuras energéticas y la capacidad de satisfacer la demanda actual y futura por parte de los proveedores energéticos”.

2.2 Dimensiones de Seguridad Energética

El carácter multidisciplinario de la seguridad energética se registra en la literatura desde el 2007 con el informe presentado por Asia Pacific Energy Research Centre (APEREC), en el cual se relaciona la seguridad energética en Asia con cuatro dimensiones: Disponibilidad, Asequibilidad, Accesibilidad y Aceptabilidad, conocidas como las 4 A's por sus siglas en inglés: Availability, Affordability, Acceptability and Accessibility. Las cuales tienen en cuenta las fuentes de energía y las posibles barreras para su obtención, así como, también los impactos ambientales que el uso de éstas pueda producir y los costos

asociados a la cadena productiva (Asia Pacific Energy Research Centre, 2007). Las cuales se describen como:

- Disponibilidad: Disponibilidad de recursos, como elementos relacionados a la existencia geológica de recursos.
- Accesibilidad: Accesibilidad a recursos globales, como elementos geopolíticos.
- Asequibilidad: Precio asequible de los recursos, como elementos económicos.
- Aceptabilidad: Aceptación social y ambiental, como elementos asociados al medio ambiente.

La definición de seguridad energética usada por la International Energy Agency (2001) se enmarca en las dimensiones de Disponibilidad y Aceptabilidad. Por otra parte, la Asequibilidad y la Aceptabilidad fueron incorporadas por el World Energy Council para adicionar los aspectos sociales, ambientales y económicos en la seguridad energética (World Energy Council, 2016).

Para otros autores el foco de atención se ha centrado en las vulnerabilidades que se presentan en el sistema en el corto plazo, así para Cherp & Jewell, (2014) el discurso se ha separado en tres perspectivas:

- Resiliencia: Capacidad de soportar diversas interrupciones y preparación de los sistemas energéticos ante la materialización de riesgos.
- Robustez: Suficiencia de recursos, confiabilidad de infraestructura, precios estables y asequibles.
- Soberanía: Estrategias para evitar que los sistemas críticos sean amenazados por agentes externos.

Los autores dejan claro que no hay una dimensión que destaque sobre las demás, lo que deja a las partes interesadas la decisión de cómo abordarla. En general, los puntos

de vista ayudan a enmarcar la seguridad energética en función de la aplicabilidad del concepto y del interés de la evaluación.

2.3 Índices de Seguridad Energética

Un índice se define como una cifra relativa que recoge en un único valor los cambios de una variable o un conjunto de ellas en el tiempo y/o espacio. Si bien el objetivo tanto de los índices como de los indicadores es la representación numérica de un parámetro, en este estudio se hará la distinción entre ambos: los índices se construyen a partir de un conjunto de indicadores. Así los indicadores pueden utilizarse para elaborar un índice de Seguridad Energética (Cifuentes, 2004).

Según Ang & Choong (2015), un índice de seguridad energética puede ser calculado de acuerdo con la siguiente secuencia de pasos:

- Seleccionar indicadores apropiados.
- Enmarcar la Seguridad Energetica de acuerdo con las áreas de enfoque específicas o dimensiones seleccionadas.
- Recolección de datos.

En la Tabla 1 se encuentra el listado de los índices de seguridad energética encontrados en la literatura y se indica para cada uno la fórmula o método de cálculo utilizado. La importancia de estos índices es que se han utilizado para hacer un ranking del estado de seguridad energética de un grupo de países o de un país en particular y así definir las metas de seguridad energética particulares o conjuntas. Aunque los índices se han utilizado para hacer la clasificación de los países de acuerdo con el grado obtenido, la principal aplicabilidad es la identificación de las vulnerabilidades de los sistemas para posteriormente enfocar acciones de continuidad o de cambio para favorecer el estado de la seguridad energética.

Tabla 1*Listado de índices de Seguridad Energética*

Índice (Fuente)	Descripción	Usos propuestos	Fórmula de cálculo del índice	Caso de aplicación
Índice de Trilema Energético (World Energy Council, 2016)	Conformado por tres dimensiones: Seguridad energética (SE), Equidad energética (EE) y Sostenibilidad energética (SOSE), además se tiene en cuenta el contexto del país (CP). A menor índice, mayor es el rango alcanzado por el país.	Evaluar el rendimiento energético de los países en todo el mundo y proporcionar un marco para monitorear el progreso	$\text{Índice} = 0.3*EE + 0.3*SE + 0.3*SOSE + 0.1*CP$ (ver detalle de siglas en la columna “Descripción”)	120 países de forma individual Ranking Mundial
Índice de Transición Energética (ETI) (World Energy Council, 2023)	Calculado a partir de dos dimensiones: Desempeño del sistema energético (DSE) y el entorno propicio para la transición energética (ETE). Cada una de estas dimensiones tiene igual prioridad sobre el índice. Escala del ETI es de 0-100, donde 100 es el valor deseado.	Valorar la utilidad de la transición energética de los países hacia sistemas de energía más sostenibles, asequible y segura.	$ETI = (DSE + ETE) / 2$ (ver detalle de siglas en la columna “Descripción”)	120 países de forma individual Ranking Mundial

Índice de Desbalance (Yao & Chang, 2014))	Los indicadores se agrupan en dimensiones: Disponibilidad (D1), Asequibilidad (D2), Aplicabilidad (D3) y Aceptabilidad (D4). A su vez éstas se usan para calcular áreas para determinar el grado de desbalance al compararse con la situación ideal de todas las dimensiones Escala 0 a 1: Un índice cercano a 1 indica desbalance.	Identificar anualmente las dimensiones en las cuales hay mayor desbalance en S.E.	Área del Rombo = $0.5 \cdot (D1 - D2) \cdot (D3 - D4)$ (ver detalle de siglas en la columna “Descripción”) La Área del rombo ideal se obtiene considerando los valores máximos alcanzados por cada dimensión durante el período de análisis. Índice = $1 - (\text{Área rombo por año} / \text{Área rombo ideal})$	China
--	---	---	---	-------

Fuente: World Energy Council (2016) y (2023); Yao & Chang (2014).

2.4 Cadena de valor

La cadena de valor es una red de organizaciones que involucra, por medio de enlaces “Upstream” y “Downstream”, a los procesos y actividades que producen valor en la producción de bienes y servicios en las manos del último consumidor (Christopher M., 1992). Y entre conceptos se encuentra el de Felea & Albastroiu (2013, pág. 3) que afirman que “la cadena de suministro o valor considera cualquier producto comercializado en el mercado de bienes de consumo, en su evolución desde materia prima hasta productos terminados, que sufre una serie de transacciones sucesivas sobre el mercado de empresa a empresa e incluye al fabricante, proveedores, transportistas, almacenistas, usos mayoristas, minoristas, otros intermediarios e incluso los propios clientes”.

2.5 Cadena de valor de gas natural en el Perú

El gas natural se utiliza como fuente de energía en los sectores industrial,

comercial, doméstico y generación de electricidad. Destaca por su combustión limpia y bajas emisiones de CO₂. Cinco fases componen la cadena de valor del gas natural en el Perú: exploración, producción, procesamiento, transporte y distribución (Aguirre & Paúcar, 2021). En las actividades de exploración, se descubren nuevos yacimientos, para así conformar las reservas una vez anticipada su recuperación comercial. Indica Promigas (2024), que el país tendría un suministro de gas natural asegurado para 15 años. La producción ocurre, principalmente, en los lotes 88 y 56, a cargo de Pluspetrol en Cusco, y 57, a cargo de Repsol y constituyen el 95% de la producción fiscalizada total (Promigas, 2024). En la fase de procesamiento, la mezcla de hidrocarburos extraída de los lotes es separada en: gas natural (GN), y líquido de gas natural (LGN). El gas natural es transportado hacia centrales térmicas, plantas de licuefacción, y hacia su uso en viviendas o el parque automotor; mientras que los líquidos de gas natural son transportados hacia plantas de fraccionamiento para la producción de otros combustibles como el gas licuado de petróleo (GLP), gasolina y diésel. Cabe señalar, que la producción de lotes 56 y 57 está destinada actualmente para la exportación. El transporte se da por ductos para el gas natural y transporte terrestre para el gas natural comprimido (GNC) o para gas natural licuado (GNL) que emplea camiones acondicionados al transporte de gas natural comprimido o tanques de gas natural licuado. Perú cuenta con seis concesiones de distribución de gas natural centradas en la costa peruana (Aguirre & Paúcar, 2021).

2.6 Indicadores de Seguridad Energética

Bibliográficamente se utilizan diversos enfoques para evaluar la seguridad energética a nivel cuantitativo y cualitativo. En general, se ha descubierto que los indicadores son un instrumento frecuentemente empleado para lograr este objetivo. Cuando se combinan, pueden crear un índice, que es un método simplificado de explicar una colección de indicadores.

Algunos indicadores extraídos de bibliografía se muestran en la Tabla 2, señalando el índice relacionado y las dimensiones consideradas.

Tabla 2

Listado de indicadores de Seguridad Energética

Referencia	Dimensiones	N° de Indicadores	Indicadores	Índice
(Kruyt, Vuuren, & Groenenberg, 2009)	Asequibilidad	6	1. Coeficiente de elasticidad de la negociación o liquidez del mercado. 2. Criterio de media varianza. 3. Gasto en energía o petróleo. 4. Intensidad de energía o petróleo. 5. Concentración del mercado. 6. Precio del Petróleo.	- Trilema Energético. - RESI (Renewable Energy Security Index). - NCI (Nelson Complexity Index)
	Disponibilidad	5	1. Porcentaje de importación de productos refinados. 2. Reservas de carbón. 3. Reservas de gas. 4. Reservas de petróleo. 5. Tasas de reservas a producción.	
	Aceptabilidad	3	1. Contenido de carbono. 2. Porcentaje de fuentes de energía con cero emisiones. 3. Porcentaje sector transporte depende de petróleo o gas.	
	Accesibilidad	5	1. Porcentaje de importación de productos refinados. 2. Reservas de carbón. 3. Reservas de gas. 4. Reservas de petróleo. 5. Tasas de reservas a producción.	

	Asequibilidad y Disponibilidad	1	1. Liquidez del mercado.	
	Accesibilidad y Asequibilidad	1	1. Diversidad de proveedores.	
(Chuang & Hwong, 2013)	Vulnerabilidad	2	1. Concentración de oferta de energía. 2. Intensidad energética.	- RESI (Renewable Energy Security Index). - EAPI (Energy Architecture Performance Index)
	Dependencia	1	1. Dependencia de importación de energía.	
	Aceptabilidad	1	1. Emisiones de CO ₂ por unidad de energía consumida.	
	Asequibilidad	2	1. Importación de energía per cápita. 2. Valor de importación de energía por unidad del PIB.	
(Yao & Chang, 2014)	Disponibilidad	5	1. Reserva de carbón a producción. 2. Relación de dependencia de las importaciones de petróleo. 3. Ratio reservas a consumo de gas natural. 4. Factor de disponibilidad de electricidad térmica convencional. 5. Factor de disponibilidad de electricidad no térmica	- RESI (Renewable Energy Security Index). - EAPI (Energy Architecture Performance Index) - ETI (Energy

Asequibilidad	5	1. Tasa de crecimiento del índice de precios en fábrica para el carbón. 2. Tasa de crecimiento del índice de precios en fábrica para el petróleo. 3. Tasa de crecimiento del índice de precios en fábrica para electricidad. 4. Volatilidad de los precios del carbón. 5. Consumo de energía per cápita: uso no productivo.	Transition Index)
Aplicabilidad	5	1. Intensidad energética, consumo total de energía primaria por dólar del PBI. 2. Eficiencia de generación bruta de plantas de energía alimentadas con combustibles fósiles. 3. Capacidad de destilación de petróleo crudo (MBPD) 4. Patentes de propiedad estatal en las industrias de minería y procesamiento de carbón y extracción de petróleo y gas natural. 5. Actualización técnica y transformación de la industria energética, inversión en activos fijos de unidades estatales.	
Aceptabilidad	5	1. Participación de emisiones de CO ₂ y SO ₂ . 2. Emisiones de SO ₂ . 3. Volumen de emisiones de hollín. 4. Proporción de energía renovable en la generación total de electricidad. 5. Participación de la energía nuclear en la generación total de electricidad.	

Fuente: Kruyt, Vuuren, & Groenenberg (2009); Chuang & Hwong (2013); Yao & Chang (2014)

2.7 Indicadores de Seguridad Energética aplicados a sistemas de gas natural

La medición de la seguridad energética requiere la selección de indicadores que reflejen las dimensiones críticas del sistema energético. La elección de estos indicadores se fundamenta en criterios de relevancia para la cadena de valor, disponibilidad de datos históricos y capacidad para representar riesgos o fortalezas del sistema (Ang & Choong, 2015).

Montoya Torres (2018) presenta un listado de 32 indicadores de Seguridad Energética para la cadena de suministro de gas natural y derivados, definidos por expertos en asuntos energéticos. A este conjunto se suman cinco indicadores adicionales propuestos Sovacoll y Brown (2010). En total, la revisión bibliográfica reúne 37 indicadores, cuyas descripciones y unidades se presentan en la Tabla 3. Este compendio constituye la base conceptual para la selección de métricas relevantes en estudios de sistemas de gas natural.

Tabla 3

Indicadores de Seguridad Energética aplicables para la cadena de gas natural

Nº	Indicador	Descripción	Unidades
1	Capacidad de generación de centrales térmicas que usan Gas	Capacidad instalada nominal de termoeléctricas que operan con gas natural.	MW
2	Eficiencia de termoeléctricas que usan gas	Capacidad de las centrales térmicas para convertir el gas natural a energía eléctrica	TJ
3	Consumo de combustibles líquidos de centrales térmicos	Uso de combustibles líquidos en centrales térmicas de ciclo simple y combinado	MBTU (toe)
4	Niveles de almacenamiento de GNL	Volumen de GNL que puede ser almacenado para atender las interrupciones de suministro	MMPCD
5	Días de almacenamiento de GNL	Días de consumo de gas natural que pueden ser suplidos por las reservas de almacenamiento de GNL	días

6	Capacidad interrumpible de contratos de gas	Cantidad de gas natural que se comercializa sin compromiso, es decir que el servicio puede ser suspendido por cualquiera de las dos partes en cualquier momento, bajo cualquier circunstancia con previo aviso	GBTUD
7	Demanda promedio en mes pico	Demanda promedio de gas natural en mes pico	MBTU
8	Producción acumulada mensual máxima por año	Producción máxima mensual de gas natural (productores e importadores)	MMPCD
9	Diversidad de proveedores de gas natural	Medida de variedad y balance de proveedores de gas natural (productores e importadores)	Adimensional
10	Diversidad de modos de transporte de gas natural	Medida de variedad y balance entre diferentes modos de transporte de gas natural	Adimensional
11	Diversidad de producción de gas natural por campo	Medida de variedad y balance de producción de gas natural por campos a nivel nacional	Adimensional
12	Diversidad de fuentes de generación de energía eléctrica	Medida de variedad y balance entre las diferentes fuentes de generación de electricidad	Adimensional
13	Producción de gas natural	Se calcula la producción diaria de gas natural para consumo en cada campo del país	MMPCD
14	Reservas de gas natural	Hace referencia a las reservas recuperables (probadas, probables y posibles) de gas natural para el consumo	GPC
15	Tasa de reservas a producción de gas natural	Determina la cantidad de años con los que el país cuenta con suministro de gas natural de acuerdo con las reservas probadas y a su producción	Años
16	Tasa de reservas a consumo de gas natural	Determinar la cantidad de gas natural que se encuentra en los yacimientos con respecto al consumo diario del país	Años
17	Margen de abastecimiento de gas	Permite calcular la diferencia entre la oferta y la demanda máximas de gas natural	MMPCD

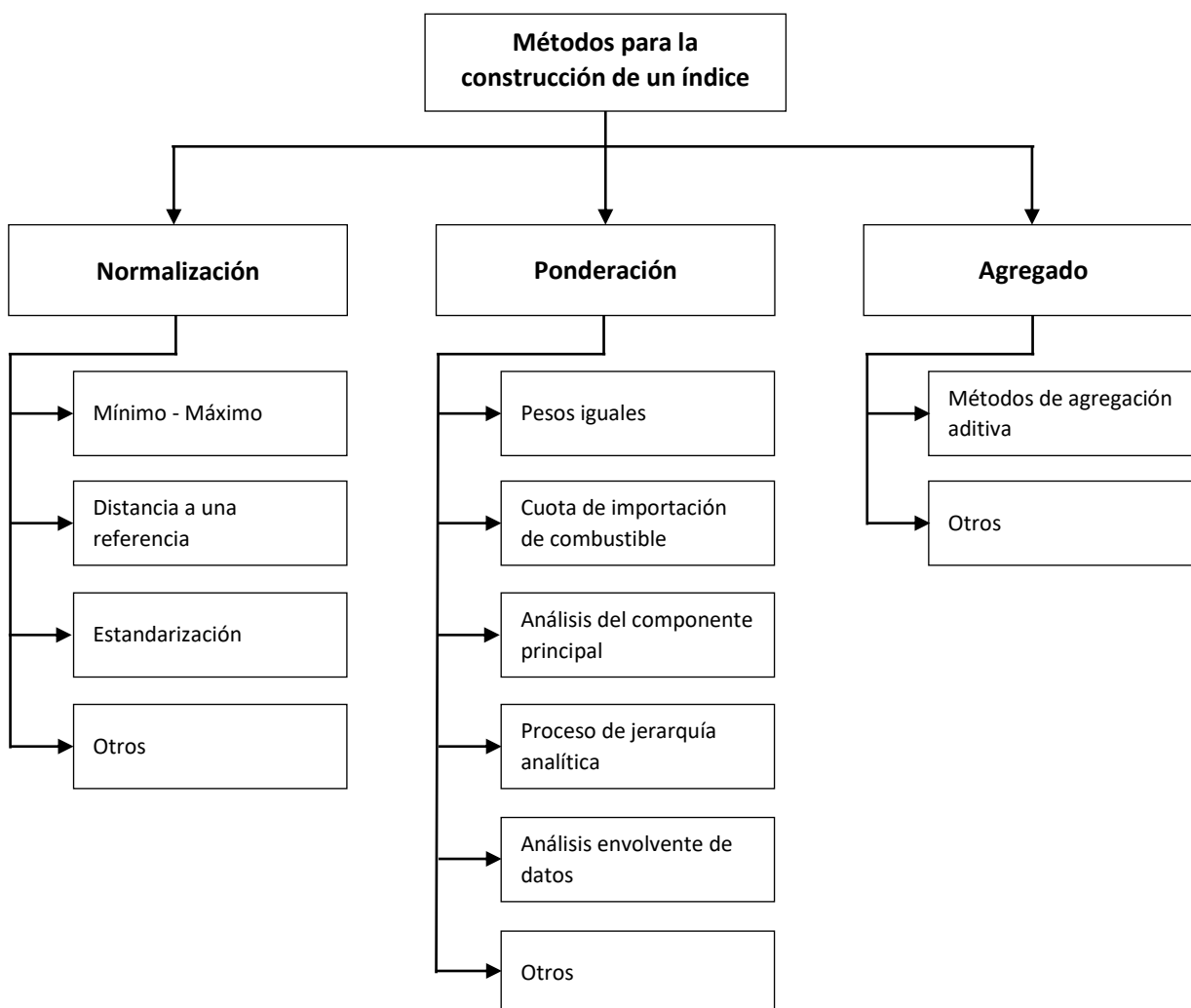
18	Porcentaje de uso de gasoductos	Determina el porcentaje de uso de los gasoductos con respecto a su capacidad	%
19	Contratos a largo plazo de importaciones de gas	Cantidad de contratos en firme pactados para suministrar gas natural al mercado interno, el cual se hará efectivo en un periodo de tiempo	# Contratos
20	Capacidad de importación de la red nacional de gasoductos	Calcular la capacidad volumétrica de los gasoductos para la importación de gas natural	MMPCD
21	Infraestructura de interconexión	Infraestructura de conexión del sistema nacional de gasoductos	km
22	Infraestructura de GNL	Permite calcular la capacidad del sistema de GN y determina la cantidad de GN disponible para el consumo	MMPCD
23	Facturación de importaciones netas de gas	Facturación de importaciones netas de gas	\$
24	Precios promedio de gas natural	Compara los precios del gas y su volatilidad en diferentes periodos de tiempo	\$/MBTU
25	Exportaciones netas de gas natural	Definir el porcentaje de exportaciones respecto a la demanda interna total de gas natural	MMPCD
26	Importaciones de gas natural	Calcular el volumen de gas natural importado, respecto a la oferta del energético para consumo interno	%
27	Intensidad energética consumo de gas natural per cápita - PBI	Es la relación entre consumo energético y el volumen de la actividad económica. Se calcula como el cociente entre el consumo del gas y PIB (valido tanto para moneda corriente como para constante)	m ³ /\$
28	Intensidad energética consumo de gas natural per cápita - Población	Es la relación entre consumo de gas natural y el número de habitantes del país	m ³ /hab
29	Consumo de gas por sector	Se calcula y reconoce el consumo de gas natural de cada sector	%
30	Gas usado por el sector energético	Se mide el consumo de gas natural en un sector específico	%

31	Gas para usos diferentes al sector energético	Calcular el uso del gas natural en sectores diferentes al sector energético	%
32	Emisiones CO ₂ asociadas al gas natural	Calcular y reconocer las emisiones de CO ₂ asociadas al consumo nacional de gas natural	Mt
33	Pozos exploratorios perforados	Se calcula y reconocer la cantidad de pozos exploratorios en todo el territorio nacional	Adimensional
34	Capacidad de transporte red gasoductos	Se calcula la capacidad en volumen de transportar gas natural	m ³ /d
35	Tarifa cobrada al usuario final	Se calcula considerando el precio establecido por las empresas concesionarias de entregar el servicio al usuario	\$/MBTU
36	Proporción de gas natural en la matriz energética	Se calcula considerando el porcentaje de participación en la matriz energética del país	%
37	Número de usuarios conectados a la red de gas natural	Se calcula considerando el número de usuarios conectados a la red de gas natural en el territorio nacional	Adimensional

Fuente: Sovacool & Brown (2010); Montoya Torres (2018)

2.8 Métodos de construcción de un índice

Una vez seleccionado los indicadores apropiados y recopilado los datos necesarios, se necesitan tres pasos adicionales para llegar a un índice compuesto de seguridad energética. Primero, normalizar los indicadores, segundo, ponderar los indicadores normalizados y tercero agregar los indicadores normalizados. Dependiendo del método elegido, estos tres pasos pueden implicar una serie de cálculos, durante los cuales se pueden realizar ajustes en el marco de construcción del índice (Ang & Choong, 2015). Los métodos que se pueden aplicar en cada paso se resumen en la Figura 1.

Figura 1*Métodos para la construcción de un índice***Fuente:** (Ang & Choong, 2015)

2.9 Normalización de datos

La normalización es un procedimiento estadístico que permite convertir indicadores con diferentes unidades y escalas en valores comparables. Este paso es esencial en la construcción de índices compuestos, ya que evita que variables con magnitudes mayores dominen el análisis (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2008). Entre los métodos más utilizados se encuentran:

- **Escalamiento min-max**, que transforma los valores a un rango definido

(por ejemplo, 0–1).

- **Estandarización mediante Z-score**, que ajusta cada indicador en función de su media y desviación estándar, generando valores adimensionales con distribución centrada en cero.

En este estudio se emplea el método Z-score, dado que permite conservar la dispersión relativa de los datos y es ampliamente recomendado en análisis multivariantes (Cabello, Matt, & Nitzl, 2019). La fórmula que representa este método es:

$$Z_{i;t} = \frac{(x_{i;t} - \bar{x}_i)}{(s_i)} \quad (1)$$

Donde

- Z_{it} = valor normalizado del indicador i en el año t
- x_{it} = valor original del indicador i en el año t
- $\bar{x}_i$ = media aritmética del indicador i en el periodo analizado
- s_i = desviación estándar del indicador i en el periodo analizado

2.10 Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales (PCA) es una técnica estadística que reduce la dimensionalidad de los datos, transformando un conjunto de variables correlacionadas en componentes ortogonales que explican la mayor parte de la varianza (Jolliffe, 2022). Cada componente se obtiene como una combinación lineal de los indicadores originales, ponderada por sus cargas factoriales.

La importancia de cada componente se determina mediante sus eigenvalores, que

reflejan la proporción de varianza explicada. Para decidir cuántos componentes retener, se aplican criterios como:

- **Scree Plot:** Identificar el punto de inflexión donde la varianza adicional se vuelve marginal.
- **Porcentaje acumulado de varianza:** Asegurar que los componentes retenidos expliquen una proporción significativa (generalmente >70%).

En estudios energéticos, el PCA permite sintetizar indicadores heterogéneos en dimensiones latentes, reduciendo la complejidad y evitando problemas de multicolinealidad.

Esta técnica es ampliamente utilizada en estudios multivariados, ya que permite identificar patrones subyacentes y agrupar indicadores correlacionados en componentes que representan dimensiones latentes del fenómeno analizado (Yue, Pilon, & Cavadias, 2022).

2.11 Agregación Ponderada y Escalamiento del Índice

Una vez obtenidos los componentes principales, se procede a la construcción del índice compuesto. El índice se calcula mediante una agregación ponderada de los valores normalizados, utilizando como pesos la proporción de varianza explicada por cada componente (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2008):

$$I_t = \sum w_k \cdot \bar{Z}_{PC_k,t} \quad (2)$$

Donde

- I_t es el índice en el año t .

- w_k es el peso del componente PC_k .
- $\bar{Z}_{PC_k,t}$ el promedio de los indicadores asociados a dicho componente en el año t .

Posteriormente, los índices se normalizan en el rango $[0,1]$ mediante el método min–max invertido, para que 0 represente mayor balance y 1 mayor desbalance:

$$ID_t = \frac{I_{\max} - I_t}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (3)$$

Donde:

- ID_t =índice de desbalance para el año t (normalizado).
- I_t = índice no normalizado para el año t .
- $I_{\max}$ = valor máximo del índice calculado en la serie histórica.
- $I_{\min}$ = valor mínimo del índice calculado en la serie histórica.

Este procedimiento permite comparar la evolución temporal del sistema en una escala estandarizada y facilita la comunicación de resultados.

2.12 Prueba de Mann – Kendall

La prueba de Mann–Kendall es un método estadístico no paramétrico utilizado para identificar si existe una tendencia monotónica (creciente o decreciente) en una serie temporal de datos de distribución normal o no normal. Se considera apropiada cuando los datos no cumplen supuestos de normalidad o cuando se busca evaluar la dirección del cambio sin asumir una forma específica (lineal, exponencial, etc.) (Yue, Pilon, & Cavadias, 2022).

El objetivo de la prueba es determinar si existe una tendencia monotónica

(creciente o decreciente) en el tiempo. Para ello, se compara cada par de observaciones y se asigna un signo según la diferencia:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & \text{si } x > 0; \\ 0, & \text{si } x = 0; \\ -1, & \text{si } x < 0. \end{cases} \quad (4)$$

La suma de estos signos genera el estadístico S :

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(X_j - X_i), \quad (5)$$

Donde N es el número de observaciones.

Si $S > 0$, la tendencia es creciente.

Si $S < 0$, la tendencia es decreciente.

Si $S = 0$, no hay tendencia aparente.

Para evaluar la significancia, se calcula la varianza $V(S)$ y se transforma en un estadístico Z que sigue una distribución normal estándar:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{V(S)}}, & S > 0; \\ 0, & S = 0; \\ \frac{S + 1}{\sqrt{V(S)}}, & S < 0. \end{cases} \quad (6)$$

El coeficiente de Kendall (τ) mide la fuerza de la tendencia:

$$\tau = \frac{S}{\frac{1}{2}N(N-1)}, \tau \in [-1,1]. \quad (7)$$

La hipótesis nula (H_0) establece que no hay tendencia; se rechaza si $|Z|$ supera el

valor crítico $z_{1-\alpha/2}$ para el nivel de significancia α .

2.13 Simulación Monte Carlo

El método de Monte Carlo es un método estadístico (no determinístico) que proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos, haciendo factible la realización de experimentos con muestreos de números pseudoaleatorios en una computadora. (Villalobos Sánchez, 2007)

El algoritmo de simulación Monte Carlo, basado en la generación de números aleatorios, utiliza distribuciones acumuladas de frecuencia y sigue los siguientes pasos:

- o Determinar la o las variables aleatorias y sus funciones de distribución de probabilidad.
- o Generar un número aleatorio uniformemente distribuido en (0,1).
- o Determinar el valor de la variable aleatoria para el número aleatorio evaluado.
- o Iterar los dos pasos anteriores tantas veces como muestras necesitamos.
- o Calcular la media, desviación estándar, error y realizar el histograma.
- o Analizar resultados para distintos tamaños de muestra.

En el caso de contar con datos históricos se simula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Valor simulado} = \text{NORM.INV}(\text{ALEATORIO}(), \mu, \sigma) \quad (8)$$

Donde:

- μ es la media histórica del indicador.

- σ es la desviación estándar histórica del indicador.
- ALEATORIO() genera un número aleatorio entre 0 y 1

2.14 Estimación de Escenarios Futuros mediante Series Temporales

La proyección de tendencias busca estimar la evolución futura bajo el supuesto de continuidad de las condiciones actuales. Para ello se emplean métodos de análisis de series temporales, como la regresión lineal o el suavizamiento exponencial, disponibles en herramientas como Excel Forecast (Makridakis, Spiliotis, & Assimakopoulos, 2019).

Es importante destacar que estas proyecciones no constituyen predicciones determinísticas, sino escenarios tendenciales que reflejan la prolongación de patrones históricos. Excel determina los parámetros de suavizamiento mediante un proceso de optimización que busca minimizar el error global en la serie histórica. Los parámetros que se obtienen son α , que controla el peso del último valor frente al histórico; β que ajusta la tendencia; y γ que indica ausencia de estacionalidad. Con estos parámetros, el modelo calcula dos componentes principales: el nivel suavizado (l_t) y la tendencia (b_t), que se actualizan año a año según las fórmulas del método ETS.

Una vez ajustados estos componentes, Excel proyecta los valores futuros aplicando la relación:

$$\hat{I}_{t+h} = l_t + h \cdot b_t \quad (9)$$

donde h es el número de períodos hacia adelante. Sin embargo, el algoritmo interno no se limita a esta fórmula básica: realiza ajustes adicionales para reflejar la tendencia global observada en toda la serie y reducir el error acumulado (Makridakis, Spiliotis, & Assimakopoulos, 2019).

Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la Investigación

Este capítulo presenta la metodología aplicada para la construcción de un índice compuesto de seguridad energética denominado índice de desbalance orientado a evaluar el desbalance en la cadena de valor del gas natural en Perú durante el periodo 2012–2023 y proyectar su comportamiento hasta el año 2030.

La presente investigación adopta un enfoque mixto, combinando elementos cuantitativos y cualitativos, tal como lo señalan Hernández y Mendoza (2018). Desde la perspectiva cuantitativa, se construyó un índice compuesto a partir de diez indicadores anuales correspondientes al periodo 2012–2023, aplicando procesos de estandarización mediante la técnica de normalización z-score, análisis de componentes principales (PCA) y agregación ponderada para sintetizar la información en un único valor anual. Por su parte, el enfoque cualitativo se refleja en la validación conceptual de la selección de indicadores, así como en la interpretación conceptual de las dimensiones obtenidas a través del PCA y su relación con la cadena de valor del gas natural en el Perú, y la determinación de su sentido de influencia, es decir, si el crecimiento de valores de un indicador contribuye a mejorar o deteriorar la seguridad energética.

3.1.1 Diseño de la investigación

Diseño no experimental, longitudinal, y descriptivo–correlacional. Se observa el comportamiento de los indicadores de seguridad energética en el tiempo (2012–2023) sin manipularlas, analizando relaciones y tendencias mediante técnicas estadísticas.

3.1.2 Nivel de la investigación

La investigación se ubica en el nivel descriptivo y explicativo. Es descriptiva

porque caracteriza el estado de la seguridad energética mediante el índice de desbalance, y explicativa porque identifica los factores que contribuyen a su evolución y deterioro.

3.1.3 Tipo de investigación

Se trata de una investigación aplicada, orientada a generar conocimiento útil para la toma de decisiones estratégicas en el sector energético peruano.

3.1.4 Población

La población de referencia está constituida por la cadena de valor del gas natural en Perú durante el periodo 2012–2023, considerando exploración, producción, procesamiento, y distribución.

3.1.5 Muestreo

El muestreo es intencional, ya que se seleccionaron diez indicadores representativos de la seguridad energética del gas natural en función de su relevancia técnica, disponibilidad de información y respaldo en fuentes oficiales como el Ministerio de Energía y Minas, Osinergmin, COES, entre otros.

3.1.6 Variables

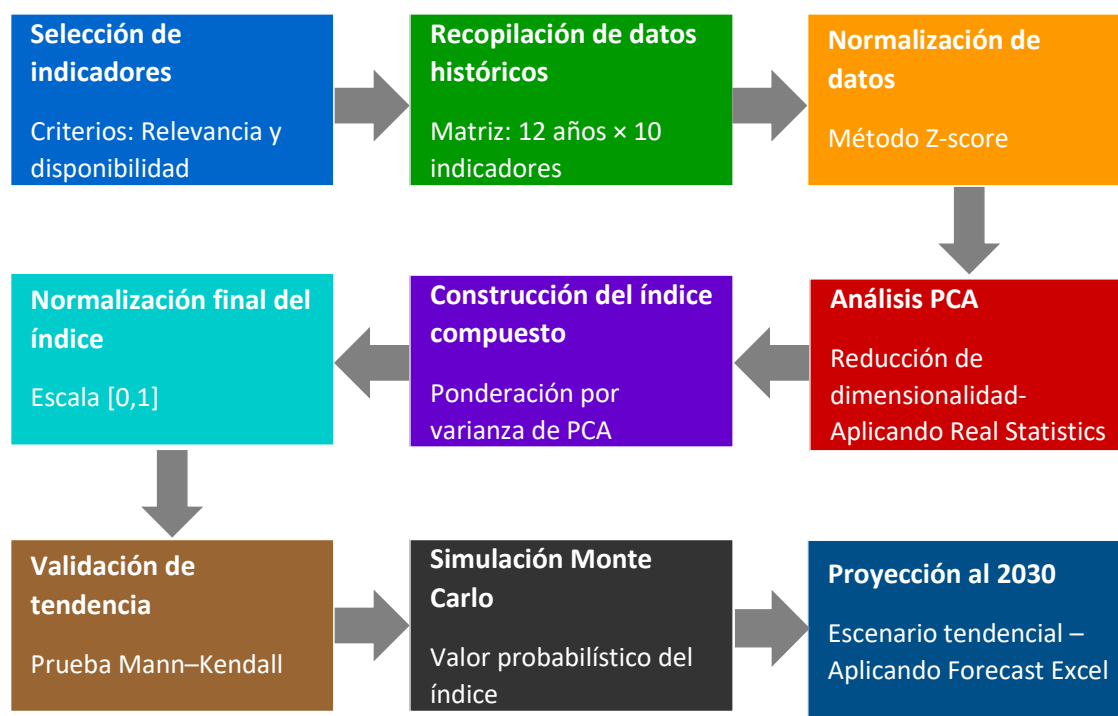
- o **Variable independiente:** El tiempo, dimensionado por el periodo de análisis (2012-2023), cuya unidad de medición corresponde a los años calendario.
- o **Variables dependientes:** Los 10 indicadores de seguridad energética del gas seleccionados.
 - Tasa de reservas a producción de gas natural.
 - Pozos exploratorios perforados.
 - Margen de abastecimiento de gas.
 - Proporción de gas natural en la matriz energética.

- Número de usuarios conectados a la red de gas natural.
- Precios promedio de gas natural.
- Tarifa cobrada al usuario final (residencial).
- Capacidad de generación de centrales térmicas que usan gas.
- Consumo de combustibles líquidos de centrales térmicas.
- Emisiones CO₂ asociadas al gas natural.

El índice de desbalance se desarrolla como una herramienta analítica que permite sintetizar múltiples indicadores en una sola métrica anual, facilitando la identificación de los años más críticos y anticipando riesgos futuros que permita determinar si la seguridad energética del gas natural ha mejorado o deteriorado en el periodo analizado y cuál es la tendencia esperada en los próximos años. El flujo metodológico seguido se resume en la Figura 2, que ilustra las etapas de desarrollo desde la selección de indicadores hasta la proyección tendencial.

Figura 2

Diagrama del desarrollo del proyecto de investigación



3.2 Métodos

- **Objetivo específico N°1: Definición de indicadores**

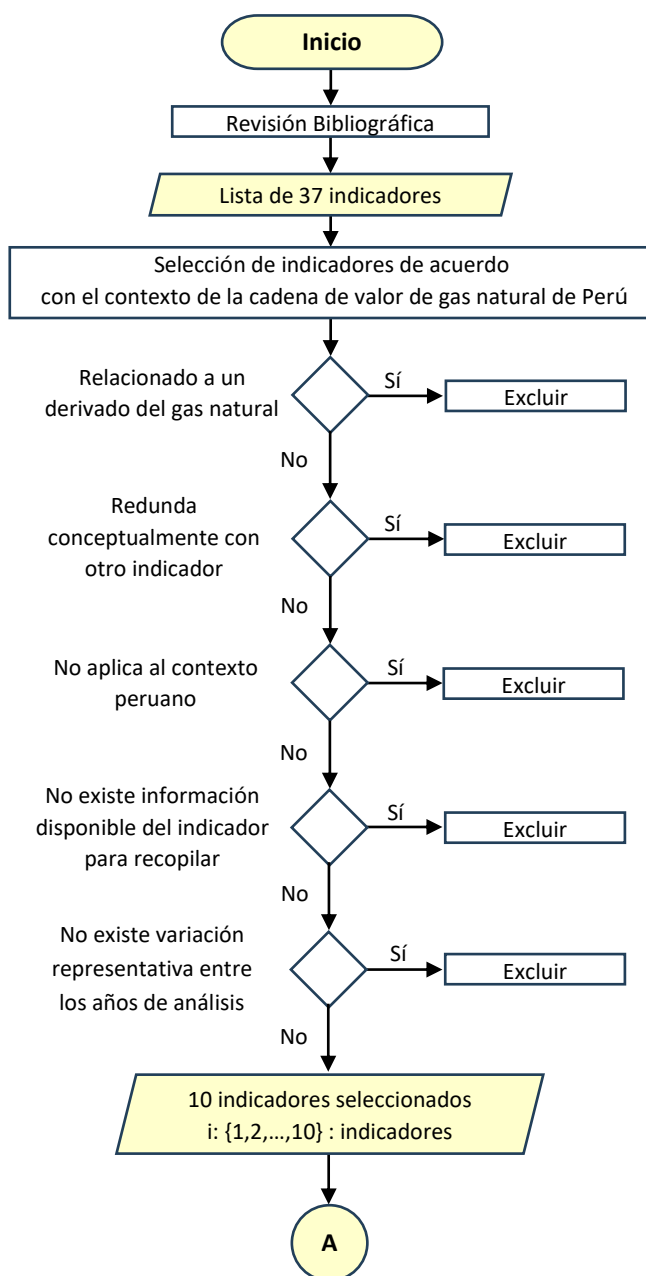
Para definir los indicadores representativos para evaluar la seguridad energética en la cadena de valor de gas natural en el contexto peruano se realizó una revisión bibliografía exhaustiva. Partiendo del listado bibliográfico de 37 indicadores recopilados en la literatura especializada que se muestra en la Tabla 3, se aplicó un proceso de selección para determinar cuáles son pertinentes para la cadena de valor del gas natural en el contexto peruano. Este análisis consideró los siguientes cinco criterios y se describe en la Figura 3:

- o **Alcance del estudio:** Se excluyeron indicadores asociados a derivados como el gas natural licuado (GNL), por tratarse de un combustible secundario fuera del alcance del análisis del sistema de gas natural per se.
- o **Redundancia conceptual:** Se eliminaron indicadores que duplicaban información o que eran proporciones derivadas de otros, priorizando métricas primarias alineadas con fuentes oficiales nacionales.
- o **Pertinencia metodológica:** Se descartaron indicadores cuya variación no refleja decisiones en el contexto peruano, como las importaciones (inexistentes) y las exportaciones, reguladas por contratos fijos con fechas de duración fijas.
- o **Disponibilidad de datos:** Se excluyeron indicadores sin información pública, actualizada o trazable para garantizar comparabilidad y transparencia.

- o **Relevancia analítica:** Se omitieron indicadores que, tras su cálculo preliminar, mostraron baja representatividad o escasa sensibilidad, como los asociados a diversidad e intensidad energética.

Figura 3

Flujograma de Selección de Indicadores

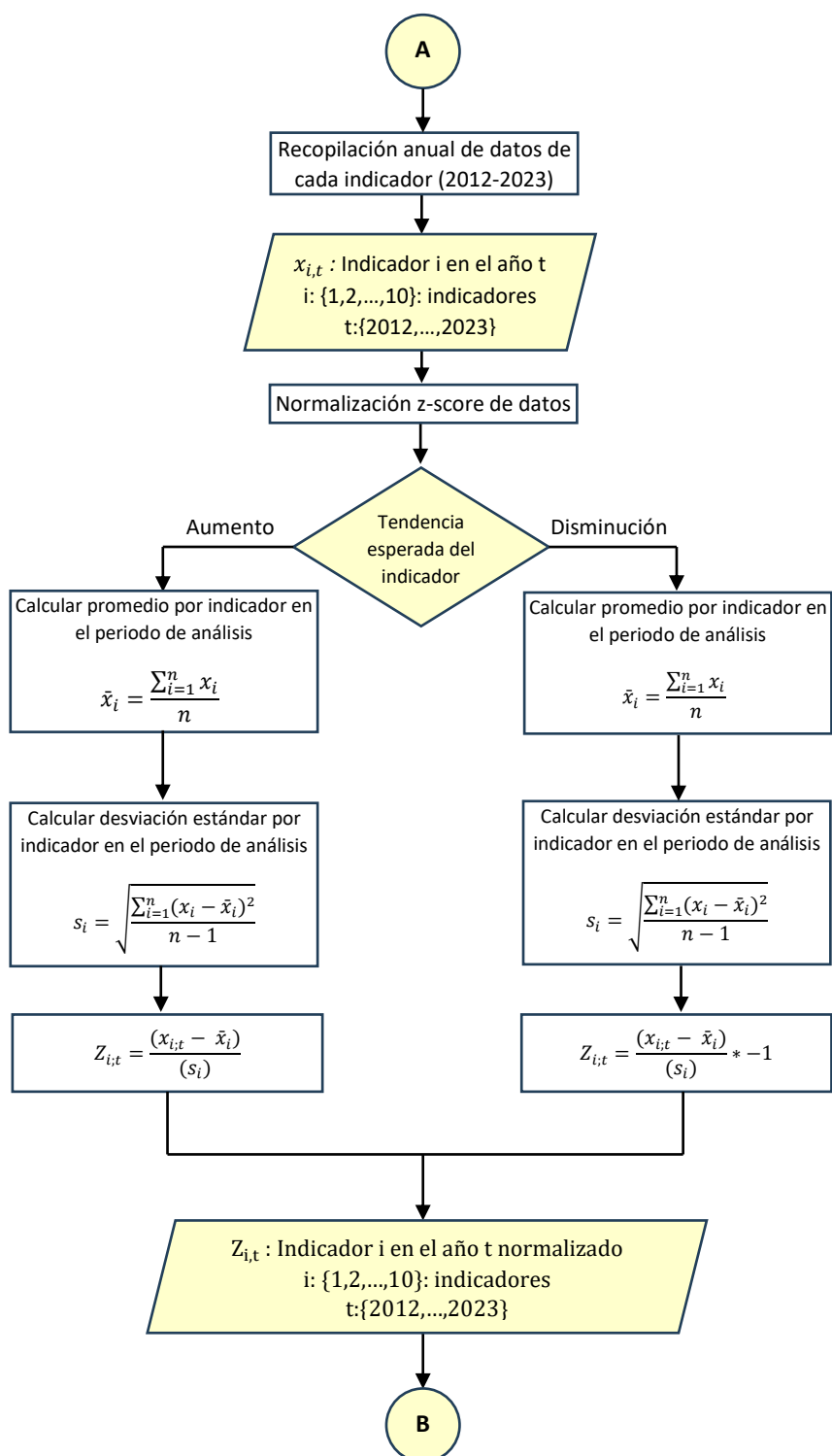


- **Objetivo específico N°2: Integración de información histórica de indicadores**

El desarrollo de este objetivo comienza con la recopilación de información histórica de los diez indicadores seleccionados, correspondiente al periodo 2012–2023. Cada dato se obtiene de fuentes oficiales y se organiza en una matriz estructurada de 120 observaciones (12 años $\times$ 10 indicadores), lo que asegura la trazabilidad y consistencia de la información. Una vez conformada la matriz, se procede a la normalización de los valores mediante el método Z-score, con el fin de homogeneizar las escalas y permitir la comparabilidad entre variables de distinta naturaleza. Este paso constituye el puente metodológico que garantiza que todos los indicadores puedan ser integrados en un mismo análisis. Con la matriz estandarizada, se avanza hacia la síntesis de la información en un índice compuesto, que se calcula a partir de la agregación ponderada de las dimensiones obtenidas en el análisis multivariado que se explica en el método del objetivo 3. El proceso del método del objetivo 2 se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Flujograma de recopilación y normalización de datos



- **Objetivo específico N°3: Determinación de componentes principales**

Para determinar los componentes principales que explican la variabilidad en la seguridad energética se utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA), una técnica estadística que ayuda a simplificar en variables principales la información cuando se tienen muchas variables. Lo que hace el PCA es identificar patrones y agrupar los indicadores en un número menor de factores, llamados componentes principales, que concentran la mayor parte de la variación de los datos. El procedimiento consistió en trabajar con la matriz de datos ya normalizada, y usando el complemento de Excel Real Statistics calcular los valores de los eigenvectores, es decir las relaciones entre los indicadores y extraer los componentes que aportan más información. Cada componente se interpreta en función de los indicadores que lo forman, de acuerdo al componente en que se encuentra la mayor varianza de cada indicador en valor absoluto (loading), de modo que se le puede dar un nombre o sentido conceptual que lo represente como una dimensión de la seguridad energética. Finalmente, estos componentes se usaron como base para construir el índice de desbalance. Para ello, se asignó un peso a cada componente según el porcentaje acumulado de varianza de cada componente que explica el análisis del PCA y se multiplicó con el promedio de los valores normalizados de los indicadores correspondientes a ese componente. De esta manera, el PCA permitió transformar un conjunto amplio de datos en un índice único, que refleja de manera integral el estado de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural, permitiendo observar su evolución en el tiempo y facilitar la interpretación de tendencias. Este proceso se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Flujograma de Análisis de Componentes Principales y Cálculo del Índice de Desbalance

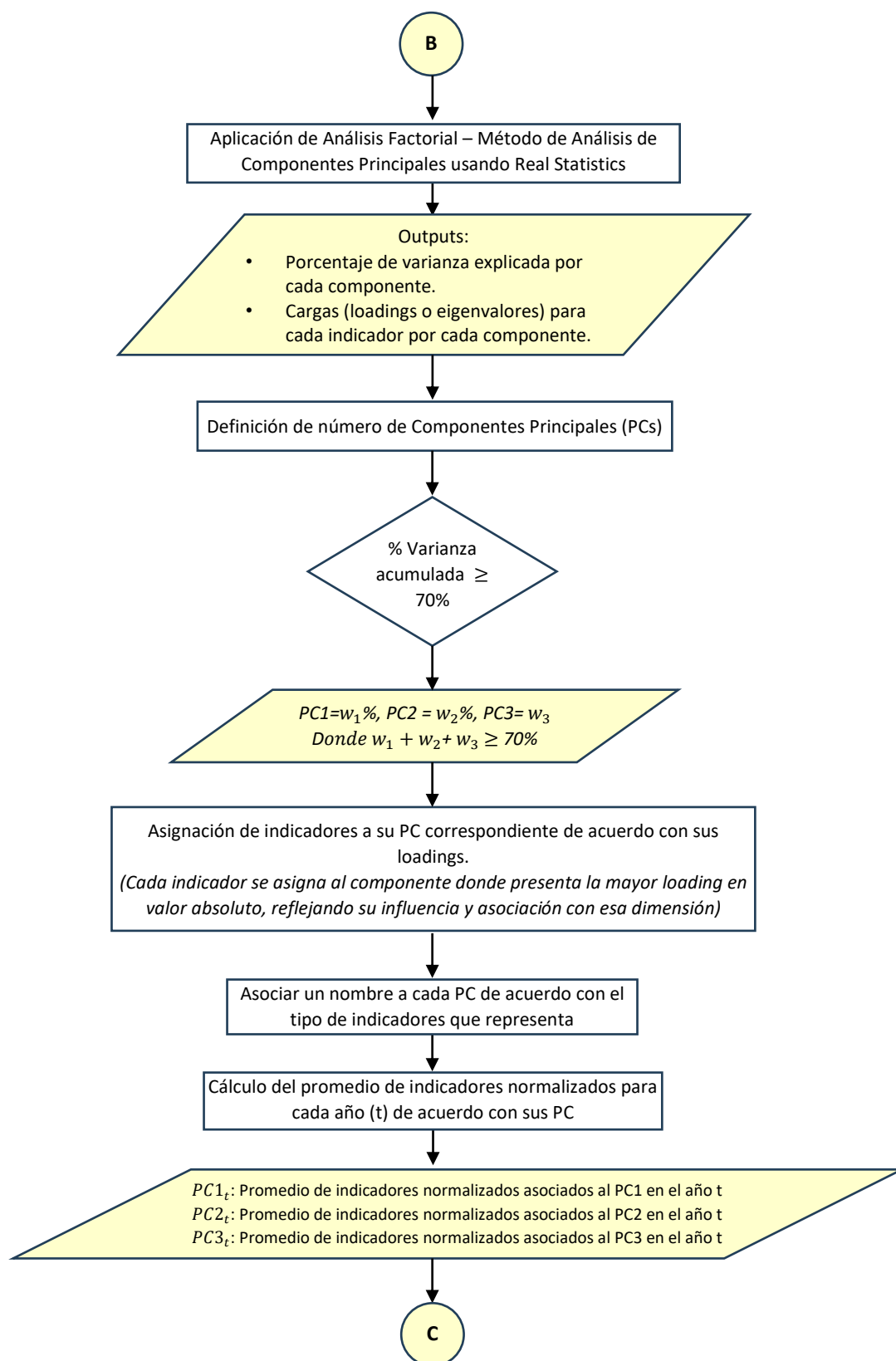
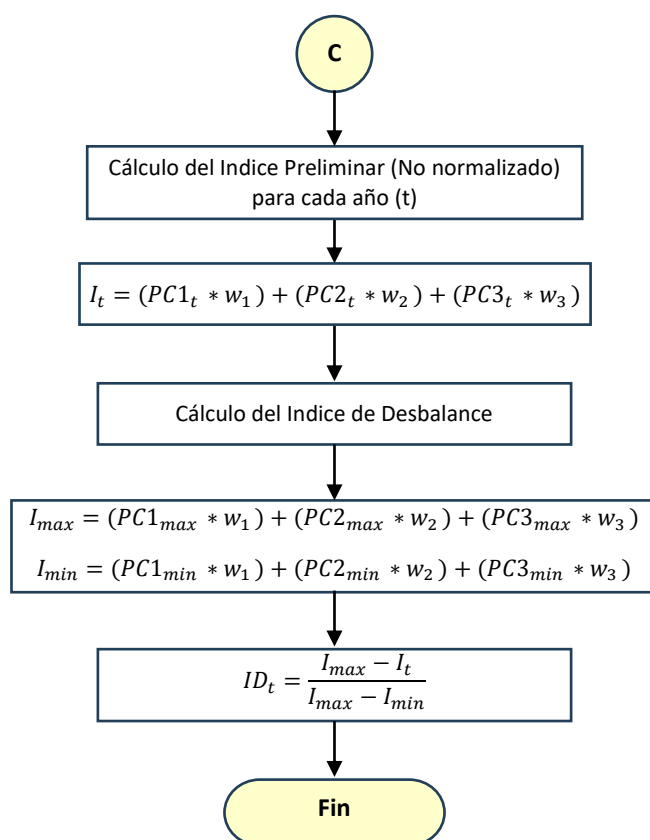


Figura 6 (continuación)

Flujograma de Análisis de Componentes Principales y Cálculo del Índice de Desbalance



- **Objetivo específico N°4: Análisis y proyección del índice de desbalance**

Una vez construido el índice anual, se procedió a analizar su comportamiento en el periodo 2012–2023, identificando tanto los años más críticos como aquellos de mayor estabilidad. Este análisis permitió reconocer patrones de variación y episodios que reflejan vulnerabilidades en la seguridad energética.

Para validar la existencia de una tendencia estadísticamente significativa, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Kendall, la cual permitió confirmar la dirección del cambio y se realizó una simulación de Monte Carlo para estimar la distribución probabilística del Índice de Desbalance y determinar rangos de confianza que permitan

evaluar la incertidumbre y la probabilidad de escenarios extremos.

Posteriormente, se desarrolló una proyección al año 2030 utilizando el complemento de Excel Forecast, que proyectó bajo escenarios tendenciales utilizando los valores históricos como base para estimar la evolución futura del índice. Este procedimiento permitió calcular un posible valor esperado del desbalance al 2030 y, al mismo tiempo, identificar el rango de incertidumbre asociado a la proyección.

La interpretación de estos resultados se orientó a evaluar los riesgos potenciales que enfrenta la seguridad energética del gas natural en el Perú, destacando las implicancias estratégicas para la planificación del sector.

Capítulo IV: Resultados y Discusiones

4.1 Definición de indicadores de seguridad energética de la cadena de valor del gas natural del Perú

Tal como se expuso en la sección de Metodología, el proceso de identificación y selección de indicadores representativos de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en el Perú se realizó siguiendo cinco criterios previamente establecidos en la Figura 3. Como resultado de este procedimiento, se definió un conjunto de diez indicadores que reflejan dimensiones clave de la seguridad energética, abarcando aspectos de disponibilidad de recursos, infraestructura, condiciones económicas y sostenibilidad ambiental.

En esta sección se presenta la aplicación práctica de dicha selección, detallando las fuentes históricas de recopilación y la conformación de la base de datos utilizada para cada indicador. El detalle completo de los 37 indicadores inicialmente analizados, junto con su descripción, unidad de medida y sustento de exclusión de acuerdo con los criterios definidos, se encuentra en el Anexo 1. Tras aplicar los filtros metodológicos, se seleccionaron diez indicadores considerados los más representativos para evaluar la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural y su tendencia esperada, aspecto fundamental para la interpretación del índice único.

Para garantizar la consistencia del análisis, se verificó la disponibilidad de datos públicos para cada indicador en el periodo 2012–2023, identificando las fuentes oficiales y los años desde los cuales existe información trazable. La Tabla 4 resume esta verificación además de la tendencia esperada de cada indicador.

Tabla 4*Disponibilidad histórica y fuentes de información por indicador*

i	Indicador (unidad)	Periodo disponible de recopilación	Fuente principal	Observaciones	Tendencia esperada
1	Tasa de reservas a producción de gas natural (años)	2004–2023	Libro Anual de Recursos de Hidrocarburos (Ministerio de Energía y Minas, 2024)	Reporte detallado desde 2013, cálculo posible desde 2004	Aumento
2	Pozos exploratorios perforados (sin unidad)	2004–2023	Libro Anual de Recursos de Hidrocarburos (Ministerio de Energía y Minas, 2024)	Reporte detallado desde 2013, cálculo posible desde 2004	Aumento
3	Margen de abastecimiento de gas (%)	2009–2023	Portal Corporativo – Balance de gas (Perúpetro, 2024)	Consolidado desde 2009	Disminución
4	Proporción de gas natural en la matriz energética (%)	2012–2023	Balance Nacional de Energía (Ministerio de Energía y Minas, 2024)	Reporte anual desde 2012	Aumento
5	Usuarios conectados a la red de gas natural (sin unidad)	2012–2023	Reportes de concesionarias como Informe del Sector Gas Natural (Promigas, 2024)	Datos desde 2012 en anuarios de concesionarias y de manera integrada desde 2015	Aumento
6	Precios promedio de gas natural (\$/MBTU)	1997-2024	Página web del Energy Information Administration (2025).	Disponible hasta 2024	Disminución

7	Tarifa cobrada al usuario final (\$/MBTU)	2012–2023	Reportes de concesionarias como Informe del Sector Gas Natural (Promigas, 2024)	Datos mensuales desde 2011, y de manera integrada desde 2015	Disminución
8	Capacidad de generación térmica a gas (MW)	2012–2023	Estadísticas anuales (COES, 2024)	Disponible desde 2010	Aumento
9	Consumo de combustibles líquidos (m³)	2012–2023	Estadísticas anuales (COES, 2024)	Disponible desde 2010	Disminución
10	Emisiones CO ₂ asociadas al gas natural (Mt)	2000–2023	Reporte de Emisiones Totales (International Energy Agency, 2024)	Actualizado hasta 2023	Disminución

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2024), Perúpetro (2024), Promigas (2024), Energy Information Administration (2025) y (2024), y Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (2024).

Es importante precisar que, a la fecha, los reportes integrados como el Balance Nacional de Energía y los informes de concesionarias aún no han publicado información correspondiente al año 2024. Por ello, el análisis considera únicamente datos verificados hasta el 2023, garantizando la confiabilidad de la información utilizada.

La interpretación de la tendencia esperada responde al enfoque adoptado en esta investigación: la perspectiva del usuario final como beneficiario del sistema energético. En términos generales, un aumento en los indicadores se asocia con una mayor seguridad energética. Sin embargo, existen casos en los que una disminución resulta positiva, como en los casos de precios, tarifas, emisiones y consumo de combustibles líquidos, pues reflejan mayor eficiencia, menor impacto ambiental y mejor asequibilidad para los usuarios, esta definición es muy importante para la normalización de la matriz de datos.

4.2 Integración de la información histórica de los indicadores de seguridad energética de la cadena de valor del gas natural del Perú

Una vez confirmada la disponibilidad histórica de cada indicador y sus fuentes oficiales, se procedió a recopilar la información correspondiente al periodo 2012–2023. La integración de los datos permitió conformar una matriz de 120 datos (12 años $\times$ 10 indicadores), que constituye la base para la aplicación de las técnicas estadísticas descritas en las siguientes secciones. La Tabla 5 presenta los valores recopilados.

Tabla 5*Datos históricos para indicadores seleccionados (2012–2023)*

Año (t)	Tasa de reservas a producción (años)	Pozos exploratorios perforados	Margen de abastecimiento de gas (MMPCD)	Proporción de gas natural en la matriz energética (%)	Usuarios conectados a la red de gas natural	Precio promedio de gas natural (\$/MBTU)	Tarifa cobrada al usuario final (\$/MBTU)	Capacidad de generación térmica a gas (MW)	Consumo de combustibles líquidos (m³)	Emisiones CO ₂ asociadas al gas natural (Mt)
2012	36.73	9	276.660	26.4	104891	2.75	8.1	3211.5	115886.2	15.6
2013	34.97	7	549.870	26.2	172053	3.73	9.2	3296.8	76958.8	14.6
2014	32.06	12	497.210	26.2	283567	4.37	10.3	3973.8	26987.4	18.3
2015	31.95	4	411.350	27.8	382109	2.62	9.5	3967.2	60888.4	18.0
2016	33.00	0	327.150	26.9	477969	2.52	9.3	4079.1	174981.5	18.9
2017	25.00	4	399.880	22.0	623879	2.99	10.4	4104.2	260100.9	16.6
2018	20.00	5	395.190	25.9	848844	3.15	10.8	4196.5	40053.0	16.9
2019	21.10	3	372.850	25.7	1113926	2.56	12.5	4107.4	26208.4	17.8
2020	21.50	1	450.370	26.4	1244177	2.03	11.3	4111.8	15795.9	14.9
2021	19.40	1	519.330	26.0	1554956	3.89	12.8	4108.4	10629.5	17.8
2022	16.70	0	292.330	29.0	1860018	6.45	12.0	4228.5	85400.7	20.2
2023	15.20	0	249.780	29.3	2148275	2.53	12.4	4269.0	240682.8	21.1

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2024), Perúpetro (2024), Promigas (2024), Energy Information Administration (2025) y (2024), y Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (2024).

A partir de la información presentada en la Tabla 5, se pueden identificar variaciones significativas en los indicadores a lo largo del periodo analizado. Por ejemplo, se observa una disminución sostenida en la tasa de reservas a producción y en el número de pozos exploratorios, mientras que el número de usuarios conectados a la red de gas natural muestra un incremento constante. Asimismo, los precios y tarifas presentan fluctuaciones importantes, y las emisiones de CO₂ tienden a aumentar en los últimos años. Estas tendencias preliminares anticipan posibles riesgos en la seguridad energética, que serán analizados en detalle y sistemáticamente en las siguientes secciones.

4.2.1 Normalización de datos

Dado que los indicadores seleccionados presentan diferentes unidades de medida y rangos de variación, fue necesario aplicar un proceso de normalización que permitiera su comparabilidad en un mismo plano analítico. Para ello, se utilizó el método Z-score, ampliamente empleado en estudios estadísticos y construcción de índices compuestos, por su capacidad para estandarizar valores en función de la media y la desviación estándar de cada variable. Para lo cual se aplica la ecuación 1.

$$Z_{i,t} = \frac{(x_{i,t} - \bar{x}_i)}{(s_i)}$$

Donde

- Z_{it} = valor normalizado del indicador i en el año t
- x_{it} = valor original del indicador i en el año t
- $\bar{x}_i$ = media aritmética del indicador i en el periodo analizado (2012-2023)
- s_i = desviación estándar del indicador i en el periodo analizado (2012-2023)

Para los indicadores que una disminución representa una mejora en la seguridad energética, para mantener la coherencia en la interpretación del índice, se aplicó un ajuste de signo, multiplicando por -1 los valores normalizados de aquellos indicadores cuya tendencia deseada es decreciente, como se explicó en el flujograma de la Figura 4. De esta forma, valores positivos siempre reflejan condiciones favorables y valores negativos condiciones desfavorables.

Para ilustrar el proceso, como ejemplo de cálculo se toma el indicador $i = 1$ (Tasa de reservas a producción de gas natural) en el año $t = 2012$:

- Valor original ($x_{1,2012}$): 36.73
- Media ($\bar{x}_1$): $x_{1,2012} + x_{1,2013} + \dots + x_{1,2023} = 25.63$
- Desviación estándar (s_1): $\sqrt{\frac{\sum (x_{1,2012} - \bar{x}_1)^2}{12-1}} = 7.32$

Aplicando la fórmula:

$$Z_{1,2012} = \frac{36.73 - 25.63}{7.32} = \frac{11.10}{7.32} = 1.52$$

Este resultado indica que en 2012 la tasa de reservas a producción estuvo 1.52 desviaciones estándar por encima de la media del periodo analizado.

La aplicación del método Z-score generó una matriz normalizada de 12×10 , cuyos valores se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6*Matriz de valores normalizados por indicador y año (2012–2023)*

Año (t)	Tasa de reservas a producción	Pozos exploratorio s perforados	Margen de abastecimiento de gas	Proporción de gas natural en la matriz energética	Usuarios conectados a la red de gas natural	Precio promedio de gas natural	Tarifa cobrada al usuario final	Capacidad de generación térmica a gas	Consumo de combustibles líquidos	Emisiones CO₂ asociadas al gas natural
2012	1.52	1.39	-1.27	-0.02	-1.22	0.48	1.81	-2.29	-0.26	1.05
2013	1.28	0.85	1.66	-0.17	-1.11	-0.37	1.03	-2.03	0.21	1.54
2014	0.88	2.20	1.10	-0.17	-0.94	-0.93	0.28	0.01	0.81	-0.41
2015	0.86	0.04	0.17	0.73	-0.79	0.59	0.84	-0.01	0.41	-0.21
2016	1.01	-1.03	-0.73	0.25	-0.65	0.68	0.98	0.32	-0.97	-0.70
2017	-0.09	0.04	0.05	-2.55	-0.42	0.27	0.22	0.40	-1.99	0.49
2018	-0.77	0.31	0.00	-0.31	-0.08	0.13	-0.06	0.68	0.66	0.34
2019	-0.62	-0.22	-0.24	-0.43	0.32	0.64	-1.23	0.41	0.82	-0.13
2020	-0.56	-0.76	0.59	-0.06	0.52	1.10	-0.40	0.42	0.95	1.41
2021	-0.85	-0.76	1.33	-0.26	1.00	-0.51	-1.44	0.41	1.01	-0.12
2022	-1.22	-1.03	-1.10	1.44	1.46	-2.74	-0.88	0.77	0.11	-1.40
2023	-1.43	-1.03	-1.56	1.57	1.91	0.67	-1.16	0.90	-1.76	-1.86

4.3 Análisis de Componentes Principales

Una vez normalizados los indicadores, se aplicó el Análisis de Componentes Principales (PCA) con el objetivo de reducir la dimensionalidad del conjunto de datos y sintetizar la información en un número menor de variables que expliquen la mayor parte de la variabilidad observada.

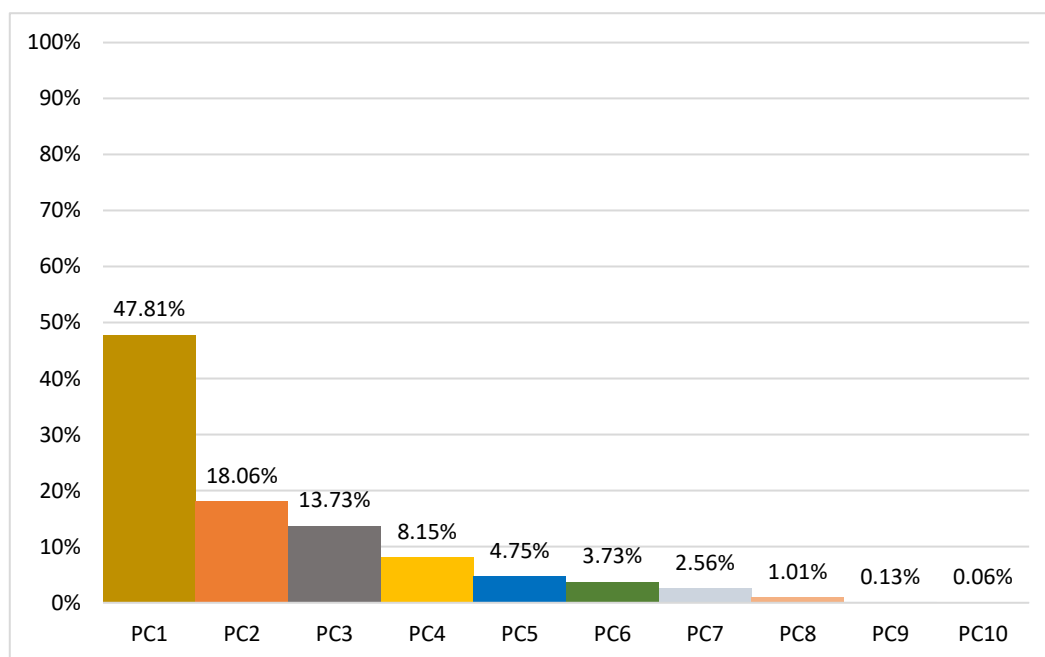
El PCA se realizó sobre la matriz normalizada de 12 años $\times$ 10 indicadores, utilizando la herramienta Real Statistics en Excel, que permite ejecutar el análisis mediante la descomposición de la matriz de covarianzas y obtener las cargas (loadings), eigenvalores y porcentaje de varianza explicada por cada componente. El criterio de retención de componentes se basó en:

- **Porcentaje acumulado de varianza explicada** (mínimo 70% recomendado).
- **Gráfico de sedimentación**, que mostró un punto de inflexión después del tercer componente.

Se retuvieron tres componentes principales (PCs) que explican en conjunto el 79.60% de la varianza total y que se observa en la Figura 6.

Figura 7

Porcentaje de varianza explicada por cada componente principal



Como se observa en la Figura 6, los tres componentes principales retienen el 79.60% de la varianza total, lo que indica que la mayor parte de la información contenida en los 10 indicadores originales se concentra en estos tres componentes. El primer componente (PC1) explica por sí solo el 47.81%, el segundo componente (PC2) aporta un 18.06%, mientras que el tercero (PC3) contribuye con un 13.73%. Este nivel de varianza acumulada es adecuado para garantizar la representatividad del índice compuesto.

El análisis de componentes principales (PCA) genera una matriz de cargas factoriales que indica el grado de correlación entre cada indicador y los componentes principales definidos. Estas cargas permiten identificar qué indicadores contribuyen más a cada componente, revelando las dimensiones latentes que explican la variabilidad en el conjunto de datos.

En la Tabla 7 se presentan las cargas obtenidas para los tres componentes principales (PC1, PC2 y PC3), junto con el porcentaje de varianza explicada por cada uno. Las cargas más altas en valor absoluto determinan la asignación de los indicadores a cada componente, lo que facilita la interpretación conceptual de las dimensiones representadas.

Tabla 7

Cargas de los indicadores en los componentes principales

i	Indicador	PC1	PC2	PC3
1	Tasa de reservas a producción de gas natural	0.90	-0.26	-0.19
2	Pozos exploratorios perforados	0.77	0.12	-0.28
3	Margen de abastecimiento de gas	0.43	0.79	0.10
4	Proporción de gas natural en la matriz energética	-0.47	-0.22	-0.68
5	Número de usuarios conectados a la red de gas natural	-0.95	0.10	0.02
6	Precios promedio de gas natural	0.24	-0.29	0.70
7	Tarifa cobrada al usuario final	0.84	-0.45	-0.14
8	Capacidad de generación de centrales térmicas que usan Gas	-0.82	0.15	0.26
9	Consumo de combustibles líquidos de centrales térmicas	0.15	0.80	-0.32
10	Emisiones CO ₂ asociadas al Gas Natural	0.76	0.32	0.33

El primer componente (PC1) refleja la importancia de la disponibilidad de recursos y la expansión del uso del gas natural. El segundo componente (PC2) asociado a la tensión en el abastecimiento y la dependencia de líquidos, mientras que el tercero (PC3) vinculado

al entorno de precios y la penetración del gas en la matriz energética.

La denominación de cada componente principal (PC) se realizó en función de los indicadores con mayores cargas factoriales (valores absolutos más altos) en cada PC. Estas cargas reflejan la correlación entre los indicadores y el componente, permitiendo identificar la dimensión que mejor representa el conjunto de variables agrupadas. De esta manera, el título asignado a cada PC sintetiza la lógica de los indicadores que lo conforman y facilita su interpretación como dimensiones del índice de desbalance de la cadena de valor de gas natural del Perú.

La asignación de indicadores a cada componente se realizó en función de las cargas más altas (valores absolutos) en cada PC, lo que indica la correlación entre el indicador y la dimensión representada por el componente y que se detalla a continuación:

- **PC1 – “Upstream vs Despliegue/uso” (47.81%):** Presenta cargas elevadas en indicadores relacionados con la disponibilidad de recursos y expansión del consumo:
 - o $i = 1$: Tasa de reservas a producción (0.90).
 - o $i = 2$: Pozos exploratorios perforados (0.77).
 - o $i = 5$: Número de usuarios conectados a la red (0.95).
 - o $i = 7$: Tarifa cobrada al usuario final (0.84).
 - o $i = 8$: Capacidad de generación de centrales térmicas que usan gas (0.82).
 - o $i = 10$: Emisiones de CO₂ asociadas al gas natural (0.76).

- **PC2 – “Tensión de abastecimiento y dependencia de líquidos” (18.06%):**

Agrupar variables con cargas altas que evidencian riesgos en la continuidad del suministro:

- o $i = 3$: Margen de abastecimiento de gas (0.79).
- o $i = 9$: Consumo de combustibles líquidos en centrales térmicas (0.80).

- **PC3 – “Entorno de precios y penetración del gas en la matriz” (13.73%):**

Incluye indicadores vinculados a la dimensión económica y de integración:

- o $i = 6$: Precios promedio de gas natural (0.70).
- o $i = 4$: Proporción de gas en la matriz energética (0.68).

4.3.1 Construcción del índice compuesto

Una vez obtenidos los tres componentes principales mediante el PCA, se procedió a la construcción del índice compuesto anual no normalizado, cuyo objetivo es sintetizar en una sola medida el estado de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural para cada año del periodo analizado.

Mediante la metodología de construcción de índices (apartado 2.10) el procedimiento seguido fue el siguiente:

- ***Agrupación por componente***

Para cada año t , se promedió los indicadores normalizados correspondientes a cada PC, de acuerdo con lo ya explicado, que presentaron las mayores cargas en cada PC. Esto permitió obtener tres valores representativos por cada año (t):

- o $PC1_t$: Promedio de indicadores normalizados asociados a la dimensión

Upstream vs Despliegue/uso.

- o $PC2_t$: Promedio de indicadores normalizados asociados a la dimensión Tensión de abastecimiento y dependencia de líquidos.
- o $PC3_t$: Promedio de indicadores normalizados asociados a la dimensión Entorno de precios y penetración del gas en la matriz.

- **Ponderación por varianza explicada**

Cada componente se ponderó por su peso relativo en la varianza total, de acuerdo con los resultados del PCA:

- o $w_1 = 0.4781$, correspondiente al PC1.
- o $w_2 = 0.1806$, correspondiente al PC2.
- o $w_3 = 0.1373$, correspondiente al PC3.

- **Construcción del índice preliminar**

El índice compuesto para cada año se obtuvo mediante la siguiente fórmula (adaptada de la ecuación 2):

$$I_t = (PC1_t \times w_1) + (PC2_t \times w_2) + (PC3_t \times w_3) \quad (8)$$

Para ilustrar el procedimiento, aplicando al año 2012 se obtuvieron los siguientes valores promedio por componente:

$$PC1_{2012} = \frac{(Z_{1,2012} + Z_{2,2012} + Z_{5,2012} + Z_{7,2012} + Z_{8,2012} + Z_{10,2012})}{6} = 0.38$$

$$PC2_{2012} = \frac{(Z_{3,2012} + Z_{9,2012})}{2} = -0.77$$

$$PC3_{2012} = \frac{(Z_{6,2012} + Z_{4,2012})}{2} = 0.23$$

Aplicando la fórmula:

$$I_{2012} = (0.38 \times 0.4781) + (-0.77 \times 0.1806) + (0.23 \times 0.1373)$$

$$I_{2012} = 0.181 - 0.138 + 0.031 = 0.074$$

Este valor representa el índice preliminar para el año 2012, antes de la normalización final.

La aplicación de este procedimiento generó una serie de 12 valores anuales (2012–2023), que reflejan la evolución del estado de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural. Estos resultados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Índice compuesto no normalizado por año (2012–2023)

Año (t)	PC1	PC2	PC3	Índice No Normalizado (I_t)
2012	0.181	-0.138	0.031	0.074
2013	0.124	0.169	-0.038	0.256
2014	0.160	0.173	-0.076	0.257
2015	0.059	0.052	0.090	0.202
2016	-0.005	-0.154	0.063	-0.096
2017	0.051	-0.176	-0.156	-0.281
2018	0.034	0.059	-0.012	0.081
2019	-0.117	0.053	0.014	-0.050
2020	0.050	0.139	0.072	0.261
2021	-0.140	0.212	-0.053	0.019
2022	-0.183	-0.090	-0.090	-0.362
2023	-0.213	-0.300	0.153	-0.360

4.3.2 Cálculo del Índice de Desbalance

El índice compuesto calculado en la sección anterior presenta valores en una escala relativa que depende de las ponderaciones y promedios obtenidos. Para facilitar su interpretación y permitir la comparación entre años, se aplicó una normalización min–max, que transforma los valores del índice preliminar a una escala estándar entre 0 y 1, donde:

- **0** representa la condición más favorable (mayor seguridad energética).
- **1** representa la condición más desfavorable (mayor desbalance en la cadena de valor).

Los valores extremos ($I_{\min}$ e $I_{\max}$) se calcularon considerando los valores máximos y mínimos por componente principal (PC1, PC2 y PC3) en el periodo 2012–2023. Con estos extremos se construyó un índice no normalizado mínimo y máximo teórico, aplicando la misma fórmula de agregación ponderada (adaptada de la ecuación 2):

$$I_{\max} = (PC1_{\max} \times w_1) + (PC2_{\max} \times w_2) + (PC3_{\max} \times w_3) \quad (9)$$

$$I_{\min} = (PC1_{\min} \times w_1) + (PC2_{\min} \times w_2) + (PC3_{\min} \times w_3) \quad (10)$$

donde w_1, w_2, w_3 son las ponderaciones asociadas a la varianza explicada por cada componente ($w_1 = 0.4781, w_2 = 0.1806, w_3 = 0.1373$). Los resultados se ven en la siguiente tabla:

Tabla 9*Índice compuesto máximo y mínimo*

	PC1	PC2	PC3	Índice No Normalizado
Máximo	0.181	0.212	0.153	$I_{\max} = 0.546$
Mínimo	-0.213	-0.300	-0.156	$I_{\min} = -0.670$

Este procedimiento asegura que la normalización se realice sobre un rango consistente con la estructura del índice, evitando sesgos por valores atípicos en la serie histórica.

Dado que 1 indica desbalance y 0 balance, la fórmula utilizada es la fórmula de normalización invertida, este ajuste invierte la escala para que los valores más altos del índice preliminar (mejor balance) se transformen en 0, y los más bajos (mayor desbalance) en 1.

$$ID_t = \frac{I_{\max} - I_t}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (11)$$

Donde:

- ID_t = índice de desbalance para el año t .
- I_t = índice no normalizado para el año t .
- $I_{\max}$ = valor máximo teórico (condición más favorable).
- $I_{\min}$ = valor mínimo teórico (condición menos desfavorable).

Como ejemplo de cálculo, se aplica para el 2012:

$$I_{2012} = 0.074, \quad I_{\min} = -0.670, \quad I_{\max} = 0.546,$$

entonces:

$$ID_{2012} = \frac{0.546 - 0.074}{0.546 - (-0.670)} = \frac{0.472}{1.216} = 0.389$$

Este resultado indica que el año 2012 se ubica en una posición intermedia dentro del rango teórico, más cercana a la condición favorable que a la desfavorable.

La aplicación de esta normalización generó una serie de 12 valores del Índice de Desbalance entre 0 y 1 para los años 2012–2023, que se presentan en la Tabla 10 y se ilustran en la Figura 7. En la figura se observa que los años 2022 y 2023 alcanzan los valores más altos (cercanos a 1), lo que evidencia un deterioro significativo en la seguridad energética, mientras que los primeros años del periodo muestran condiciones más equilibradas.

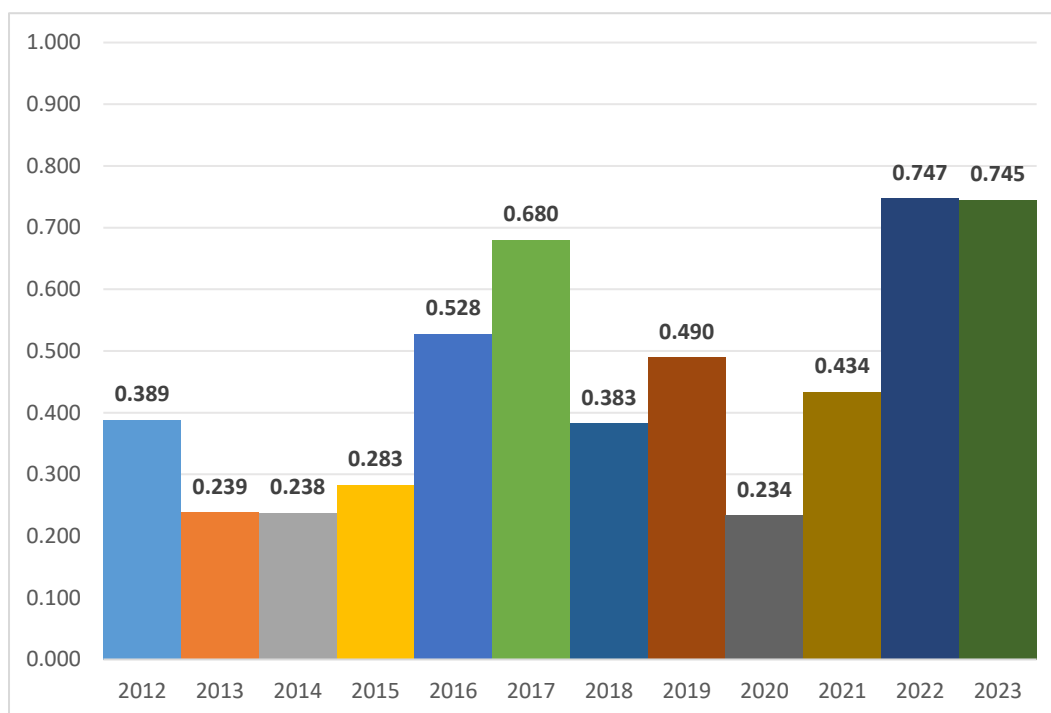
Tabla 10

Índice de desbalance de la cadena de gas natural de Perú (2012–2023)

Año	Índice No Normalizado	Índice de Desbalance (Normalizado)
2012	0.074	0.389
2013	0.256	0.239
2014	0.257	0.238
2015	0.202	0.283
2016	-0.096	0.528
2017	-0.281	0.680
2018	0.081	0.383
2019	-0.050	0.490
2020	0.261	0.234
2021	0.019	0.434
2022	-0.362	0.747
2023	-0.360	0.745

Figura 8

Evolución del índice de desbalance de la cadena de gas natural de Perú (2012–2023)



Como parte de la discusión de resultados, se busca caracterizar la evolución temporal del índice, identificar los años críticos y los relativamente equilibrados, explicar los cambios a partir de las dimensiones definidas por los componentes principales (PC1, PC2, PC3).

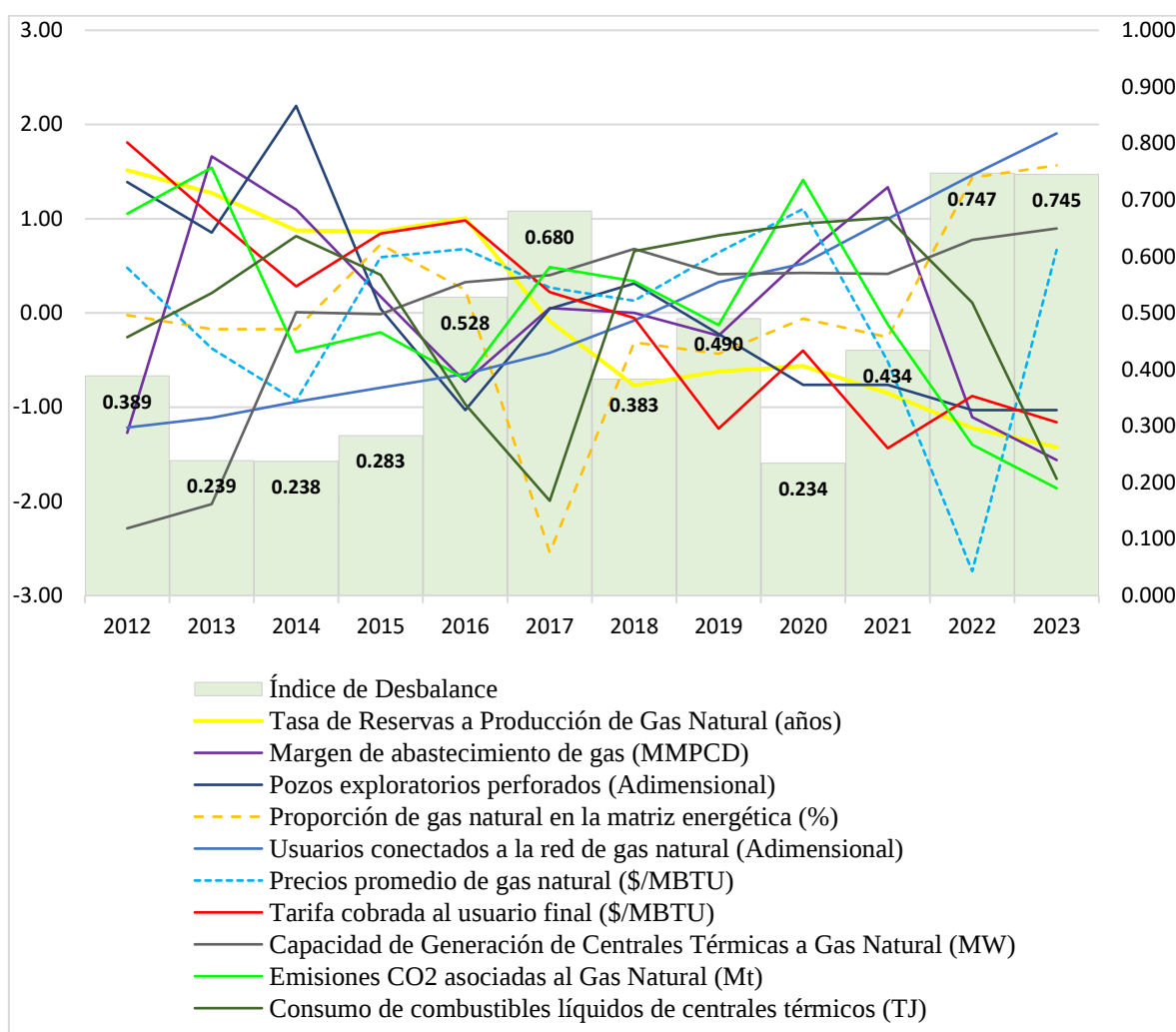
Para ello, se definieron rangos del Índice de Desbalance siguiendo principios de clasificación ordinal aplicados en análisis de riesgo (Estandar Internacional ISO 31000 Segunda Edición 02- 2018, 2018) y estudios de seguridad energética (Kononov & Kononov, 2023). Se establecieron cuatro categorías: Bajo (0.0–0.3), Moderado (0.3–0.6), Alto (0.6–0.8) y Crítico (0.8–1). Las dos primeras abarcan rangos más amplios porque representan condiciones relativamente estables, mientras que las últimas dos son más estrechas para reflejar la mayor sensibilidad y gravedad del desbalance en niveles altos, donde pequeñas variaciones implican riesgos significativos. Esta lógica se fundamenta en

la no linealidad del impacto y en prácticas internacionales que priorizan sensibilidad en escenarios críticos.

En la Figura 8 se muestra el gráfico integrado de indicadores normalizados y en barras el índice de desbalance

Figura 9

Evolución del índice y comportamiento de indicadores (2012–2023)



La Figura 8 muestra las barras verdes correspondientes al índice de desbalance (escala [0,1]), donde 0 indica mayor balance y 1 mayor desbalance.

Se observa un deterioro gradual del balance a lo largo del periodo, con dos episodios de empeoramiento: 2016–2017 y 2022–2023. Según la clasificación adoptada,

los años más equilibrados corresponden al rango bajo (0.00–0.30), como 2013, 2014 y 2020, con valores cercanos a 0.24. En contraste, los años más críticos se ubican en el rango alto (0.60–0.80), específicamente 2022 y 2023, con valores próximos a 0.75. El primer salto significativo ocurre en 2016–2017, cuando el índice pasa de 0.528 (moderado) a 0.680 (alto), y el segundo en 2022–2023, alcanzando el nivel más alto de toda la serie.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) retuvo tres componentes que explican 79.60% de la varianza. Estas dimensiones permiten explicar por qué el índice sube o baja en determinados años. En particular, de la Tabla 8, se observa que el deterioro 2022–2023 está fuertemente asociado a una caída del PC1 “Upstream vs Despliegue/uso” y del PC2 “Tensión de abastecimiento y dependencia de líquidos” por señales de tensión en el abastecimiento, pese a que la penetración del gas y algunos elementos de PC3 “Entorno de precios y penetración del gas en la matriz” muestran mejoras puntuales.

La evolución del índice de desbalance y de los indicadores entre 2012 y 2023 evidencia dos episodios preocupantes en conceptos de seguridad energética y algunos años relativamente equilibrados, tal como se observa en la Figura 8. El primer episodio ocurre entre 2016 y 2017, cuando el índice pasa de 0.528 (moderado) a 0.680 (alto), reflejando un incremento significativo del desbalance. Este comportamiento se explica por la caída en la tasa de reservas a producción, que disminuye de 33 años en 2016 a 25 años en 2017, y por la virtual paralización de la exploración, con 0 pozos perforados en 2016 y 4 en 2017. Paralelamente, el consumo de combustibles líquidos aumenta de 174,981 m³ en 2016 a 260,100 m³ en 2017, señal de tensión en el abastecimiento. Aunque el número de usuarios conectados crece de 477,969 a 623,879 y la capacidad térmica a gas se mantiene en torno a 4,100 MW, estos factores no compensan la debilidad del upstream y la poca participación en la matriz energética. Los precios y tarifas se

mantienen relativamente estables (2.52–2.99 \$/MBTU y 9.3–10.4 \$/MBTU), pero la tendencia general es de deterioro.

El segundo episodio y máximo histórico se presenta en 2022 y 2023, con valores del índice de 0.747 y 0.745, ambos dentro del rango alto (0.60–0.80) y muy próximos al umbral crítico (≥ 0.80). En estos años, la tasa de reservas a producción cae a 16.70 años en 2022 y 15.20 años en 2023, mientras la exploración permanece nula (0 pozos perforados). El margen de abastecimiento se reduce a 292.33 MMPCD en 2022 y 249.78 MMPCD en 2023, y el consumo de líquidos se dispara a 85,400 m³ en 2022 y 240,682 m³ en 2023, lo que confirma la dependencia creciente de combustibles alternos. En paralelo, el precio promedio del gas alcanza un pico de 6.45 \$/MBTU en 2022, antes de caer a 2.53 \$/MBTU en 2023, mientras las tarifas al usuario final se mantienen elevadas (12.0–12.4 \$/MBTU). Aunque la proporción del gas en la matriz energética mejora (29.0%–29.3%) y los usuarios conectados superan los 2 millones, estos avances no logran revertir el deterioro estructural. Las emisiones de CO₂ también aumentan, pasando de 20.2 Mt en 2022 a 21.1 Mt en 2023, lo que refuerza la lectura de ineficiencia y mayor impacto ambiental.

Por otro lado, se identifican años relativamente equilibrados, clasificados en el rango bajo (0.00–0.30), como 2013 y 2014, cuando el índice se ubica en torno a 0.239–0.238. En estos años, la tasa de reservas a producción se mantenía alta (34.97–32.06 años), la exploración fue activa (7–12 pozos perforados) aunque el margen de abastecimiento es decir el volumen de reinyección alcanza sus valores más altos (549.87 MMPCD en 2013 y 497.21 MMPCD en 2014). Los precios y tarifas son moderados (3.73–4.37 \$/MBTU y 9.2–10.3 \$/MBTU), y aunque el número de usuarios conectados era incipiente (172,053–283,567), la relación entre upstream y uso se encontraba más compensada. Además el 2020 también se ubica en un rango bajo aunque este está más justificado por las

particularidades del sistema en el contexto de la pandemia del COVID-19.

En síntesis, los años clasificados en el rango alto (2017 y 2022–2023) se explican por debilidades estructurales en el upstream, reducción sostenida de reservas y paralización de la exploración, y por señales de tensión en el abastecimiento que incrementan la dependencia de combustibles líquidos. Estas condiciones contrastan con los años en rango bajo (2013–2014), donde la relación entre reservas, exploración y consumo se mantenía más equilibrada, reflejando mayor estabilidad en la seguridad energética.

La expansión del uso y la penetración del gas en la matriz, aunque positiva, avanza separadamente de la reposición de recursos, lo que agrava el desbalance. De mantenerse esta tendencia, el índice podría alcanzar el rango crítico (≥ 0.80), lo que implica un riesgo significativo y la necesidad de medidas urgentes orientadas a fortalecer la exploración, la reposición de reservas y la estabilidad del abastecimiento.

4.4 Evolución y Proyección del Índice de Desbalance

4.4.1 Validación de la tendencia mediante prueba de Mann Kendall

Para verificar si el índice normalizado presenta una tendencia significativa en el periodo 2012–2023, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Kendall sobre la serie anual de los resultados del índice de desbalance.

La prueba de Mann–Kendall se implementó en Excel con el complemento Real Statistics siguiendo estos pasos:

- **Serie analizada:**

$$ID_t = [0.389, 0.239, 0.238, 0.283, 0.528, 0.680, 0.383, 0.490, 0.234, 0.434, 0.747, 0.745]$$

- **Comparación par-a-par:**

Se construyó una matriz donde cada elemento indica si el valor en la fila es mayor (+1), igual (0) o menor (-1) que el valor en la columna de acuerdo con la ecuación 4.

Ejemplo: Si $ID'_1 > ID'_2$, se asigna +1; si $ID'_1 < ID'_2$, se asigna -1.

- **Cálculo del estadístico S:**

Se sumaron todos los signos de la matriz de acuerdo con la ecuación 5, obteniendo:

$$S = \sum \text{sgn}(I'_j - I'_i) = 24$$

- **Varianza $V(S)$:**

Para $N = 12$ años:

$$V(S) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18} = \frac{12 \cdot 11 \cdot 29}{18} = 212.67$$

- **Estadístico Z:**

Como $S > 0$, de acuerdo con la ecuación 6:

$$Z = \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} = \frac{24-1}{\sqrt{212.67}} = 1.577$$

- **Coefficiente τ :**

De acuerdo con la ecuación 7:

$$\tau = \frac{S}{\frac{1}{2}N(N-1)} = \frac{24}{66} = 0.364$$

- **Resultados y verificación:**

$$S = 24, V(S) = 212.67, Z = 1.577, \tau = 0.364$$

- o Regla: $|Z| < 1.645 \Rightarrow$ no se rechaza la H_0 , es decir si hay tendencia significativa.
- o Coeficiente $\tau = 0.364$ (al ser positivo no cercano al 0 indica tendencia creciente del índice de desbalance).

- **Interpretación:**

El signo positivo de S y el valor de τ indican una tendencia creciente en el índice, lo que sugiere un aumento del desbalance en la cadena de valor del gas natural en los últimos años. El estadístico calculado fue $S = 24$, con una varianza $V(S) = 212.67$, lo que arroja un valor $Z = 1.577$ y un coeficiente $\tau = 0.364$. Este resultado es consistente con el comportamiento reciente, donde el índice alcanza sus máximos históricos.

4.4.2 Simulación de Monte Carlo

Se aplicó el análisis de Montecarlo para incorporar la incertidumbre en la proyección del Índice de Desbalance y evaluar la probabilidad de escenarios críticos en la seguridad energética del gas natural. Dado que el índice depende de múltiples indicadores, cada una con comportamiento incierto a futuro, la simulación de Monte Carlo permite generar miles de combinaciones posibles y estimar cómo varía el índice bajo diferentes condiciones.

Para ello, se realizó una simulación Montecarlo con 10000 iteraciones para cada indicador, considerando sus valores históricos (ver Tabla 5). Cada iteración se generó utilizando la fórmula:

$$\text{Valor simulado} = \text{NORM.INV}(\text{ALEATORIO}(), \mu, \sigma)$$

Donde:

- μ es la media histórica del indicador.
- σ es la desviación estándar histórica del indicador.
- ALEATORIO() genera un número aleatorio

Con esta fórmula se generaron 10000 valores simulados para cada indicador, es decir una matriz de 10 x 10000 (10 indicadores por 10000 valores), los cuales fueron integrados mediante el mismo cálculo del índice de desbalance ya descrito anteriormente.

Como resultado, se obtuvieron 10000 valores del Índice de Desbalance y se muestra un extracto de los resultados en el Anexo 2.

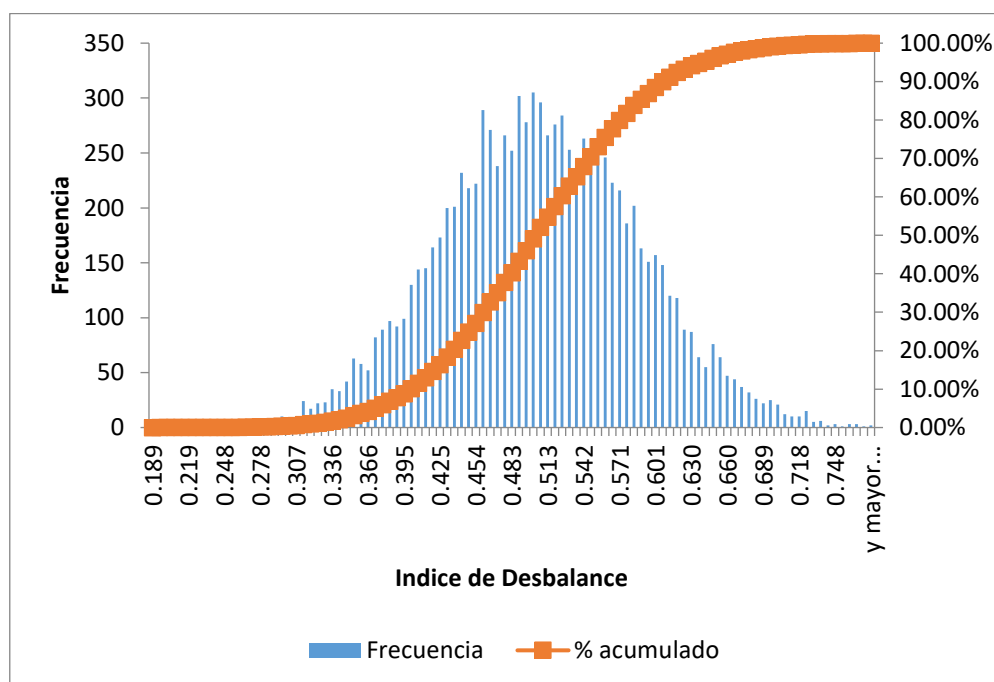
Posteriormente, usando la función de Análisis de Datos de Excel se aplicó la función de Estadística Descriptiva para obtener el análisis de los 10000 valores simulados del índice de desbalance, obteniendo la información que se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11*Estadística descriptiva de simulación Monte Carlo*

Estadística Descriptiva	Valores
Media	0.5037
Mediana	0.5027
Desviación estándar	0.0807
Varianza de la muestra	0.0065
Rango	0.5877
Mínimo	0.1895
Máximo	0.7772
Cuenta	10000

El análisis de los 10000 valores simulados del Índice de Desbalance muestra una media de 0.5037, una mediana de 0.5027 y una desviación estándar de 0.0807, con un rango entre 0.1895 y 0.7772.

Usando la función de Análisis de Datos de Excel, se aplicó la función de Histograma, de los 10000 valores simulados, obteniendo la siguiente figura.

Figura 10*Histograma de Simulación Montecarlo del Indice de Desbalance*

El histograma de la simulación Montecarlo (Figura 9) evidencia que la distribución del Índice de Desbalance es aproximadamente normal, con valores comprendidos entre 0.18 y 0.75.

Para determinar el valor del índice con un nivel de confianza del 95%, se utilizó la función Buscar Objetivo en Excel sobre la distribución normal del índice (media = 0.5037, desviación estándar = 0.0807). El procedimiento consistió en ajustar el valor del índice hasta que la probabilidad acumulada alcanzara el 95%.

Para encontrar el valor del índice con un nivel de confianza del 95%, se utilizó la ecuación del valor Z (nivel de confianza):

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (12)$$

Donde:

- X = valor buscado del índice.
- μ = media del índice (0.5037).
- σ = desviación estándar (0.0807).

El valor de nivel de confianza Z se relaciona con la probabilidad acumulada de la distribución normal. Con la herramienta Buscar Objetivo en Excel, se ajustó X hasta que alcanzara el 95%. El resultado fue:

$$X = 0.5803$$

Volviendo a aplicar la función de Histograma considerando rango de clases se obtiene la información mostrada en la Figura 10 y Tabla 12 que muestra en escala los valores del

índice de desbalance, la frecuencia y las probabilidades acumuladas.

Figura 11

Histograma de probabilidades acumuladas

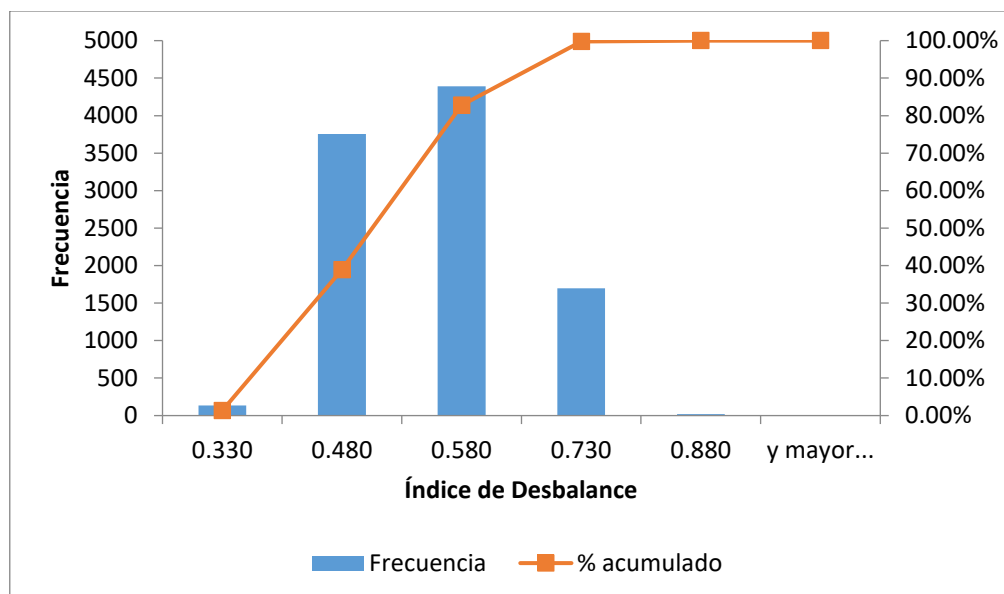


Tabla 12

Probabilidades acumuladas

Rango	Frecuencia	% Acumulado
0.3303	135	1.35%
0.4803	3,756	38.91%
0.5803	4,389	82.80%
0.7303	1,699	99.79%
0.8803	21	100.00%

De la Tabla 12 se puede interpretar que:

- Para un valor del índice de 0.4803, el 38% de las simulaciones son menores y el 62% son mayores.
- Para un valor del índice de 0.5803, el 83% son menores y el 17% son mayores, lo que confirma que este valor está cerca del límite superior esperado con alta confianza.

- Para valores del índice superiores a 0.73 prácticamente no ocurren (0% de probabilidad).
- La mayor concentración se encuentra entre 0.48 y 0.58, acumulando más del 80% de los casos.
- La curva acumulada alcanza el 100% antes de 0.73, lo que indica que los escenarios extremos son muy poco probables.

El análisis de Montecarlo y la estimación con 95% de confianza permiten concluir que el índice de desbalance se concentra en torno al 0.58, reflejando un escenario de desbalance de rango moderado. La probabilidad de tener el rango máximo (0.73) evidenciaría choques simultáneos en variables clave que podrían incrementar el desbalance, por lo que se recomienda fortalecer la reposición de reservas, reducir la dependencia de combustibles líquidos y mantener políticas que estabilicen los precios del gas natural.

4.4.3 Proyección tendencial al 2030

Para proyectar el Índice de Desbalance ID_t de la cadena de gas natural en Perú, se empleó la herramienta de Forecast de Microsoft Excel, que utiliza el método de Suavizamiento Exponencial Triple (ETS). Este método es ampliamente usado en análisis de series temporales porque permite estimar valores futuros considerando la tendencia histórica y la variabilidad de los datos. El modelo aplicado corresponde a la forma ETS (A, A, A), donde el error, la tendencia y la estacionalidad son aditivos. En este caso, la estacionalidad no es significativa, por lo que el parámetro asociado a ella es prácticamente cero.

Excel determina los parámetros de suavizamiento mediante un proceso de

optimización que busca minimizar el error global en la serie histórica (2012–2023). Los parámetros obtenidos fueron: $\alpha = 0.25$, que controla el peso del último valor frente al histórico; $\beta = 0.001$, que ajusta la tendencia; y $\gamma \approx 0$, que indica ausencia de estacionalidad. Con estos parámetros, el modelo calcula dos componentes principales: el nivel suavizado (l_t) y la tendencia (b_t), que se actualizan año a año según las fórmulas del método ETS.

Una vez ajustados estos componentes, Excel proyecta los valores futuros aplicando la relación (ecuación 9):

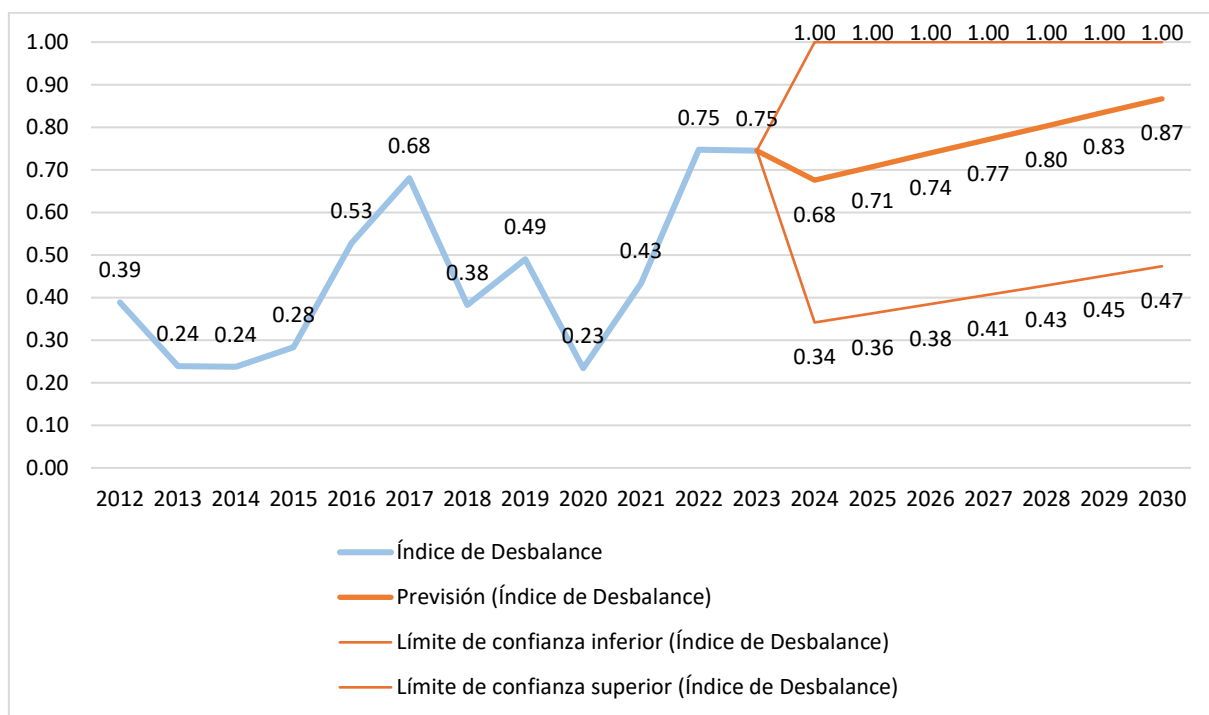
$$\hat{l}_{t+h} = l_t + h \cdot b_t$$

donde h es el número de períodos hacia adelante. Sin embargo, el algoritmo interno no se limita a esta fórmula básica: realiza ajustes adicionales para reflejar la tendencia global observada en toda la serie y reducir el error acumulado. Esto explica por qué el valor proyectado para 2024 (0.6758) es superior al cálculo manual (0.543), ya que el modelo reconoce una tendencia general creciente en los últimos años.

Además, Excel calcula intervalos de confianza para cada pronóstico, estimando la desviación estándar del error histórico y aplicando un nivel de confianza del 95%. Así, para 2024 el intervalo es 0.34 – 1.00, y para 2030 es 0.47 - 1.26, reflejando la mayor incertidumbre en horizontes más lejanos.

Tabla 13*Índice proyectado y límites de confianza (2024–2030)*

Año	Previsión	Límite inferior	Límite superior
2024	0.676	0.342	1.00
2025	0.708	0.363	1.00
2026	0.739	0.385	1.00
2027	0.771	0.407	1.00
2028	0.803	0.429	1.00
2029	0.835	0.451	1.00
2030	0.867	0.473	1.00

Figura 12*Proyección del índice de desbalance al 2030*

Con el fin de anticipar riesgos futuros, se realizó una proyección tendencial al año 2030 utilizando el método de Suavizamiento Exponencial Triple (ETS) implementado en Microsoft Excel y cuyo resultado se graficó en la Figura 11. y considerando el rango de incertidumbre los resultados indican que considerando los intervalos de confianza el

índice de desbalance se ubicaría al 2030 entre 0.47 a 1.00.

Los intervalos de confianza al 95% inferior y superior se amplían en el horizonte, reflejando mayor incertidumbre, pero en todos los escenarios la tendencia es ascendente. Este resultado implica que la vulnerabilidad del sistema se incrementará en el mediano plazo, principalmente por la falta de reposición de reservas, la ausencia de exploración y la creciente dependencia de combustibles líquidos.

Sin embargo, los intervalos de confianza son amplios:

- El límite inferior se mantiene por debajo de 0.50, lo que representa un escenario optimista donde el desbalance podría reducirse significativamente.
- El límite superior alcanza 1, reflejando un escenario pesimista con fuerte deterioro, alcanzando el máximo nivel de desbalance del índice.

Este comportamiento implica que, aunque la tendencia central apunta a un empeoramiento sostenido, existe incertidumbre considerable y margen para mejorar si se implementan medidas correctivas. El hecho de que la proyección se ubique por debajo del límite superior y cerca del rango medio indica que el modelo reconoce cierta estabilidad relativa, pero advierte que el riesgo seguirá creciendo si no se interviene. El escenario optimista muestra que es posible revertir la tendencia mediante políticas que fortalezcan la exploración, la reposición de reservas y la gestión eficiente del abastecimiento.

4.5 Discusión de resultados

4.5.1 Comparación de resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran una tendencia creciente en el índice de desbalance energético de la cadena de valor del gas natural en Perú durante

el periodo 2012–2023, confirmada estadísticamente mediante la prueba de Mann–Kendall. Este comportamiento refleja un deterioro progresivo de la seguridad energética, con episodios críticos en 2016–2017 y 2022–2023, donde el índice alcanzó valores cercanos a 0.75. La proyección al 2030, con un valor estimado de 0.867, sugiere que el sistema enfrenta un riesgo estructural si no se implementan medidas correctivas.

El deterioro del índice se explica principalmente por la caída en la tasa reservas/producción, la paralización de la exploración y el incremento del consumo de combustibles líquidos en centrales térmicas, factores que reflejan vulnerabilidad en el abastecimiento y una creciente dependencia de fuentes menos eficientes y más contaminantes.

En comparación con estudios previos, se observa que los resultados para Perú guardan similitudes con los diagnósticos realizados en Colombia. Andrade (2019) identificó una caída drástica en la accesibilidad energética por limitaciones en refinación e incremento de importaciones de combustibles líquidos, mientras que Montoya (2018) reportó un deterioro en la disponibilidad del gas natural y episodios de desbalance asociados a baja accesibilidad y rendimiento económico. Estos hallazgos coinciden con la situación peruana, donde la falta de reposición de reservas y la dependencia de líquidos comprometen la seguridad energética.

En el caso de China, Yao & Chang (2014) mostraron oscilaciones en el índice de desequilibrio vinculadas a políticas de diversificación y acuerdos internacionales. En relación a ello, Perú presenta una tendencia sostenida al deterioro, lo que evidencia la ausencia de políticas correctivas de impacto estructural. Por su parte, en el análisis de Taiwán que hizo Chuang & Wen Ma (2013) exhibe una vulnerabilidad extrema por su dependencia de importaciones (99,3%), situación distinta a la peruana, aunque ambos

casos comparten una matriz energética dominada por combustibles fósiles.

Los estudios de Cabalú (2008) en países asiáticos resaltan que la dependencia de importaciones y la falta de producción interna incrementan la vulnerabilidad. Aunque Perú cuenta con producción nacional, la paralización de la exploración y la falta de diversificación de proveedores generan riesgos similares. Finalmente, Kruyt, Vuuren, & Groenenberg (2009), advierten que las reservas de gas natural podrían agotarse hacia 2050 en Europa Occidental, hallazgo que guarda paralelismo con la proyección peruana al 2030, subrayando que la seguridad energética del gas natural constituye un desafío global.

En conjunto, los antecedentes muestran que la dependencia de combustibles fósiles y la insuficiente reposición de reservas son factores recurrentes de vulnerabilidad en distintos contextos. El aporte de esta investigación radica en haber construido un índice de desbalance adaptado al caso peruano, que sintetiza múltiples dimensiones en una métrica única y permite anticipar riesgos en el corto y mediano plazo. A diferencia de estudios previos, el índice peruano revela una tendencia ascendente sostenida, sin ciclos de recuperación parcial, lo que sugiere que la situación nacional es más crítica y requiere acciones inmediatas para fortalecer la exploración, garantizar la reposición de reservas y reducir la dependencia de combustibles líquidos.

4.5.2 Implicaciones estratégicas

- Los antecedentes muestran que, independientemente del contexto (Colombia, China, Taiwán, Asia, Europa), la dependencia de fósiles y la insuficiente reposición de reservas son factores recurrentes de vulnerabilidad.
- Esta investigación brinda un valor agregado al enfocarse en la cadena de valor del gas natural en Perú, evidenciando que incluso países con recursos internos

abundantes pueden enfrentar riesgos si no se garantiza la exploración y reposición de reservas.

- La construcción del índice de desbalance ofrece una herramienta comparable a las utilizadas en otros países, pero adaptada al contexto peruano, lo que fortalece la capacidad de monitoreo y prospectiva nacional.

4.5.3 Diferencias y aportes

- A diferencia de Andrade (2019), y Montoya (2018), esta investigación incorpora un análisis prospectivo al 2030 con base en tendencias estadísticas, lo que permite anticipar riesgos en el corto plazo.
- Frente a enfoques más políticos (Yao & Chang (2014); Chuang & Wen Ma (2013)), este estudio se centra en un tratamiento técnico-estadístico, aportando precisión cuantitativa.
- El índice peruano muestra una tendencia ascendente sostenida, mientras que en otros países se observan ciclos de recuperación.

CONCLUSIONES

- Se evaluó el estado de la seguridad energética en la cadena de valor del gas natural en Perú mediante la construcción de un índice compuesto, denominado índice de desbalance, basado en diez indicadores clave y técnicas estadísticas como Z-score y PCA. El análisis evidenció una tendencia creciente del desbalance, confirmada por la prueba de Mann–Kendall, con proyecciones al 2030 que estiman valores cercanos a 0.867, lo que implica un riesgo significativo si no se adoptan medidas correctivas. En este contexto, se presentan a continuación las conclusiones correspondientes a los objetivos específicos.
- Se definieron diez indicadores que reflejan las dimensiones críticas de la seguridad energética: tasa de reservas a producción, pozos exploratorios perforados, margen de abastecimiento, proporción del gas en la matriz energética, número de usuarios conectados, precios promedio del gas, tarifas al usuario final, capacidad de generación térmica a gas, consumo de combustibles líquidos en centrales térmicas y emisiones de CO₂ asociadas al gas natural.
- Se integró la información histórica de los diez indicadores provenientes de fuentes oficiales para el periodo 2012–2023 y se aplicó el proceso de normalización a la matriz de datos, lo que aseguró la consistencia y comparabilidad necesarias para realizar el análisis de componentes principales.
- Se determinaron tres componentes principales mediante la técnica PCA, que explican el 79.60% de la variabilidad en la seguridad energética: PC1 (47.81%) relacionado con reservas, exploración y consumo; PC2 (18.06%) vinculado al abastecimiento y dependencia de líquidos; y PC3 (13.73%) asociado a precios y participación en la matriz energética.

- Se analizó la evolución del índice, evidenciando una tendencia creciente del desbalance con máximos en 2022 y 2023, confirmada por la prueba de Mann–Kendall. La proyección al 2030 indica que, de mantenerse las condiciones actuales, el desbalance alcanzará valores cercanos a 0.867. El análisis Monte Carlo muestra que el índice se concentra entre 0.50 y 0.58 con un 95% de confianza.

RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar una plataforma digital institucional que permita el cálculo automatizado y anual del Índice de Desbalance de Seguridad Energética del Gas Natural. Esta herramienta debe integrar las bases de datos oficiales necesarias, facilitar la actualización de indicadores, y generar visualizaciones claras que apoyen el análisis técnico. Su implementación contribuiría a sistematizar el monitoreo del equilibrio energético, mejorar la trazabilidad de los resultados, y fortalecer la capacidad de planificación de entidades como la Dirección General de Eficiencia Energética del Ministerio de Energía y Minas o el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico de Perú (CEPLAN). Además, permitiría replicar el índice en otros sectores energéticos y ámbitos territoriales, promoviendo su adopción como instrumento estratégico para el diseño y evaluación de políticas públicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de la Energía. (2025). *Sistema Energético por País*. Obtenido de [iea.org: https://www.iea.org/countries/](https://www.iea.org/countries/)
- Agencia Nacional de Petróleo, G. N. (2025). *Anuario estadístico Brasileño de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles 2025*. Obtenido de [gov.br: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2025#Se%C3%A7%C3%A3o%20](https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2025#Se%C3%A7%C3%A3o%20)
- Aguirre, J., & Paúcar, M. (2021). *Masificación del Gas Natural: retos y oportunidades*. Obtenido de <https://ciup.up.edu.pe/analisis/masificacion-del-gas-natural-retos-y-oportunidades/#:~:text=Cinco%20fases%20componen%20la%20cadena,vez%20anticipada%20su%20recuperaci%C3%B3n%20comercial>.
- Alhajii, A. (2007). *¿Que es la seguridad energetica? Supervivencia economia en Oriente Medio*.
- Andrade Rendón, D. (2019). *Análisis de la Seguridad Energética en la Cadena de suministro del Petróleo y los Combustibles Líquidos en Colombia*. Medellín.
- Ang, B., & Choong, W. (2015). *Energy security: Definitions, dimensions and indexes. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.064>
- Arboleda Castro, M. (2021). *Breve introducción a los conceptos de oferta, demanda y mercado*. Obtenido de <https://www.icesi.edu.co/departamentos/images/departamentos/FCAE/economia/apuntesEconomia/breve-introduccion-conceptos-oferta-demanda-mercado.pdf>
- Asia Pacific Energy Research Centre. (2007). *A quest for energy security in the 21st century*. Thailand.
- Azzuni, A., & Breyer, C. (2018). *Definitions and dimensions of energy security: a literature*. doi:<https://doi.org/10.1002/wene.268>
- BP. (2020). *Statistical Review of World Energy 2020*.
- Cabalu, H. (2008). *Indicators of Security of Natural Gas Supply in Asia*. Western.
- Cabalu, H., & Alfonso, C. (2009). *Energy Security in Asia: The Case of Natural Gas*. Western. doi:10.1007/978-3-642-30601-3_2
- Cabello, J. F., Matt, H., & Nitzl, C. (2019). *Evaluación de la calidad del modelo de medición en PLS-SEM mediante análisis compuesto confirmatorio*. Alabama. doi:10.1016/j.jbusres.2019.11.069
- Calidda & TGP & Pluspetrol. (2024). *Aporte del Gas Natural a la Mejora de la Calidad de Aire, la Salud Pública y la Mitigación del Cambio Climático*. Lima: Libelula. Obtenido de https://camisea20.pe/wp-content/uploads/2024/06/20.02.2024-Informe-Final-Aportes-del-GN-_Calidda-TGP-Pluspetrol.pdf

- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2024). *Guía de Políticas Nacionales*. Lima. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7077561/6088033-ceplan-guia-de-politicas-nacionales-actualizada-2024.pdf?v=1736180875>
- Cherp, A., & Jewell, J. (2011). *Measuring energy security: from universal indicators to contextualized frameworks*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/236672490>
- Cherp, A., & Jewell, J. (2014). The concept of energy security: Beyond the four As. *ScienceDirect*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005>
- Chester, L. (2010). *Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.039>
- Chih Chuang, M., & Hwong, W. (2013). *An Assessment of Taiwan's energy policy using multi-dimensional energy security indicators*. Taiwan.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply chain management: strategy, planning, and operation*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Christopher M. (1992). *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing*.
- Chuang, M., & Hwong, W. (2013). *An assessment of Taiwan's energy policy using multi-dimensional energy security indicators*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.034>
- Cifuentes, A. (2004). *Número Indices. Apuntes de Economía*.
- COES. (2024). *Estadísticas anuales- Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional*. Obtenido de Estadísticas anuales - Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional: <https://www.coes.org.pe/Portal/publicaciones/estadisticas/estadistica?anio=2023>
- Data Commons. (2025). *Indicadores Economicos de Perú - País de América del Sur*. Obtenido de https://datacommons.org/place/country/PER?utm_medium=explore&mprop=count&popt=Person&hl=es
- Dirección General de Eficiencia Energética. (2024). *Avances desde el Ejecutivo y Política Energética Nacional 2050*. Lima: Congreso "Rumbo Energético: Transición Energética".
- El Peruano. (2021). *Mediante Resolución Suprema N° 108-2021-PCM y publicada en el Diario Oficial*.
- Energy Information Administration. (2025). *Precio Spot del Gas Natural*. Obtenido de Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdm.htm>
- Estado Plurinacional de Bolivia - Agencia Nacional de Hidrocarburos. (2025). *Precios finales al consumidor*. Obtenido de <https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=13>

- Estado Plurinacional de Bolivia - Instituto Nacional de Estadística. (2025). *Cuadros Estadísticos Mensuales y Anuales*. La Paz. Obtenido de https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/servicios-basicos-cuadros-estadisticos/?utm_source=
- Estado Plurinacional de Bolivia - Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2023). *Memoria Institucional 2022*. La Paz. Obtenido de https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Documentos/Documentos_Id-629-180911-0859-0.pdf
- Estado Plurinacional de Bolivia - Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (2024). *Balance Energético Nacional 2019-2023*. La Paz. Obtenido de <https://www.mhe.gob.bo/wp-content/uploads/2024/07/Revista-Resumen-Ejecutivo-9-web.pdf>
- Felea, M., & Albastroiu, I. (2013). *Defining the Concept of Supply Chain Management and its Relevance to Romanian Academics and Practitioners*. Bucharest.
- Hernandez - Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de Mexico, Mexico: Editorial Mc Graw Hill Education.
- Instituto para las Estrategias Ambientales Globales - IPCC. (2006). *Directrices del IPC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Hayama.
- Internacional Energy Agency. (2001). *World Energy Outlook*. France.
- International Energy Agency. (2014). *Energy Supply Security: The Emergency Response of IEA*.
- International Energy Agency. (2024). *Emisiones totales de CO2 procedentes de la energía - Perú*. Obtenido de Emisiones totales de CO2 procedentes de la energía - Perú: <https://www.iea.org/countries/peru/emissions>
- Jolliffe, I. (2022). *Principal Component Analysis*. Springer Science & Business Media.
- Kononov, Y., & Kononov, D. (2023). *Thresholds of energy security metrics: their purpose and assessment techniques*. Irkutsk.
doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202347001046>
- Kruyt, B., Vuuren, V., & Groenenberg, H. (2009). *Indicators for energy security*. Amsterdam.
- Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2019). *The M4 Competition: 100,000 time series and 61 forecasting methods*. Nicosia.
doi:10.1016/j.ijforecast.2019.04.014
- MINEM. (2014). *Plan Energético Nacional*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2007). *Definición y clasificación de reservas "Petroleum Resources Management System"*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2015). *Plan Energético Nacional 2014-2025*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4821287-plan-energetico-nacional-2014-2025>

- Ministerio de Energía y Minas. (2015). *Reglamento de las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Balance Nacional de Energía*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Balance Nacional de Energía 2018*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Balance Nacional de Energía*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Libro Anual de Recursos de Hidrocarburos 2023*. Lima. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7308007/6243424-larh-2023-resumen-ejecutivo.pdf?v=1732916187>
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Política Energética Nacional del Perú 2010 - 2040 - Reporte de Cumplimiento 2023*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2007). *Petroleum Resources Management System*.
- Ministerio de Energía y Minas: Dirección General de Hidrocarburos. (2024). *Libro Anual de Recursos de Hidrocarburos*.
- Montoya Torres, M. (2018). *Análisis de la seguridad energética en Colombia desde la cadena de suministro del gas natural*. Medellín.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2005). *OECD Handbook on constructing composite indicators*. OECD Statistics Working Papers. doi:<http://doi.org/10.1787/533411815016>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators and User Guide*. European Commission. doi:10.1787/533411815016
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018). *Estandar Internacional ISO 31000 Segunda Edición 02- 2018*.
- Organización Latinoamericana de Energía. (2016). *Política Energética*. Obtenido de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0358.pdf>
- Osinermin. (2017). *Análisis sobre seguridad energética: El caso peruano*. Lima.
- Osinermin. (2021). *Boletín Estadístico: Procesamiento, Producción y Transporte de Gas Natural*. Obtenido de <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Osinergmin-boletin-estadistico-gas-natural-2021-I.pdf>
- Osinermin. (2022). *Osinermin N° 079-022 - OS/CD Resolución de Consejo Directivo - Resolución que fija las Tarifas Únicas de Distribución de gas natural por red de ductos de la concesión de Lima y Callao para el periodo 2022-2026*. Lima. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2063825-1>

- Osinermin. (2025). *Regulación tarifaria -Pliegos tarifarios - Gas Natural*. Obtenido de <https://www.osinermin.gob.pe/seccion/institucional/regulacion-tarifaria/pliegos-tarifarios/gas-natural/precios-finales>
- Perúpetro. (2024). *Portal Corporativo - Balance de gas*. Obtenido de Portal Corporativo - Balance de gas: https://www.perupetro.com.pe/wps/portal/corporativo/PerupetroSite/estadisticas/balance%20de%20gas!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zi_YxcTTw8TAy93AN8LQwCTUJcvEKADI9AA_3g1GL9gmXHRQC4P1oT/
- Perupetro. (2025). *Estadística Petrolera*. Obtenido de https://www.perupetro.com.pe/wps/portal/corporativo/PerupetroSite/estadisticas/estad%20petrolera!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8zi_YxcTTw8TAy93AN8LQwCTUJcvEKADEMfE_3g1GL9gmXHRQBrrTDG/
- Pla, L. (2006). *Biodiversidad: interferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza*. Caracas.
- Plataforma del Estado Peruano. (2024). *Metodología de Cálculo del Producto Bruto Interno Anual*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/metodologias/pbi02.pdf>
- Promigas. (2024). *Informe del Sector Gas Natural Cifras 2023*. Lima.
- Promigas. (2024). *Informe del Sector Gas Natural Perú Cifras 2023*. Lima.
- Rodriguez Padilla, V. (2018). *Seguridad Energética: Análisis y evaluación del caso de México*. Mexico: CEPAL. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/7b0b428a-070e-49cb-815d-baf161c92a0f/content>
- saass. (s.f.). *kkk*. Obtenido de lk nlk.
- Satter, A., & Iqbal, G. M. (2016). *Reservoir Engineering The Fundamentals, Simulation, and Management of Conventional and Unconventional Recoveries*.
- Sovacool, B., & Brown, M. (2010). *Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective*.
- Universitat Oberta de Catalunya. (2020). *Fonts d'Informació i Indicadors per a Estudis Internacionals*. Catalunya. Obtenido de https://www.jordimas.cat/courses/fiiei_cat/
- Villalobos Sánchez, A. (2007). *Métodos Monte Carlo, Casos de Estudio*. Ciudad de Mexico: UNAM.
- W. Creswell, J., & Plano Clark, V. (2017). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*.
- Wang, K., Li, H., Wang, J., Jiang, B., Bu, C., Zhang, Q., & Luo, W. (2017). Predicting production and estimated ultimate recoveries for shale gas wells: *Applied Energy*, 1.
- World Economic Forum. (2021). *Fostering Effective Energy Transition*. Cologny.

- World Economic Forum. (2025). *Fostering Effective Energy Transition*. Cologny.
- World Energy Council. (2016). *The New Energy Security Paradigm, The Energy Vision Update*.
- World Energy Council. (2023). *World Energy Trilemma Framework*. Obtenido de <https://www.weforum.org/publications/fostering-effective-energy-transition-2021/in-full/appendix-methodology/>
- World Energy Council. (2025). *trilemma.worldenergy.org*. Obtenido de [trilemma.worldenergy.org](https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=Peru&year=2023): <https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=Peru&year=2023>
- World Energy Council. (2025). *trilemma.worldenergy.org*. Obtenido de [trilemma.worldenergy.org](https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=Brazil&year=2023): <https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=Brazil&year=2023>
- World Energy Council. (2025). *trilemma.worldenergy.org*. Obtenido de [trilemma.worldenergy.org](https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=Bolivia&year=2023): <https://trilemma.worldenergy.org/#!/country-profile?country=Bolivia&year=2023>
- Yao, L., & Chang, Y. (2014). *Energy security in China: A quantitative analysis and policy implications*. Singapur.
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2022). *Power of the Mann-Kendall and Spearmans rho tests for detecting monotonic in hydrological series*. Journal of Hydrology. doi:10.1016/S0022-1694(01)00594-7

ANEXOS

Anexo 1. Justificación de exclusión de indicadores del índice de desbalance

Nº	Indicador	Descripción	Unidades	Estatus para el trabajo	Comentario
1	Capacidad de generación de centrales térmicas que usan Gas	Capacidad instalada nominal de termoeléctricas que operan con gas natural	MW	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
2	Eficiencia de termoeléctricas que usan gas	Capacidad de las centrales térmicas para convertir el gas natural a energía eléctrica	TJ	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 1 "Capacidad de generación de centrales térmicas que usan Gas" permite un cálculo más preciso, además de que no existe información exacta y anual disponible.
3	Consumo de combustibles líquidos de centrales térmicos	Uso de combustibles líquidos en centrales térmicas de ciclo simple y combinado	m³	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
4	Niveles de almacenamiento de GNL	Volumen de GNL que puede ser almacenado para atender las interrupciones de suministro	MMPCD	Criterio 1: Derivados (GNL)	No se considera combustibles secundarios en el análisis.
5	Días de almacenamiento de GNL	Días de consumo de gas natural que pueden ser suplidos por las reservas de almacenamiento de GNL	días	Criterio 1: Derivados (GNL)	No se considera combustibles secundarios en el análisis.
6	Capacidad interrumpible de contratos de gas	Cantidad de gas natural que se comercializa sin compromiso, es decir que el servicio puede ser suspendido por cualquiera de las dos partes en cualquier momento, bajo cualquier circunstancia con previo aviso	GBTUD	Criterio 4: No hay información disponible	La información disponible es limitada, dispersa y no se publica de forma individual ni consolidada por cada empresa proveedora de gas natural, lo que impide su uso en el análisis.
7	Demanda promedio en mes pico	Demanda promedio de gas natural en mes pico	MBTU	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 15 "Tasa de reservas a producción de gas natural" permite un cálculo más preciso, ya que la producción está determinada por la demanda.
8	Producción acumulada mensual máxima por año	Producción máxima mensual de gas natural (productores e importadores)	MMPCD	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 15 "Tasa de reservas a producción de gas natural" permite un cálculo más preciso y analizable.

9	Diversidad de proveedores de gas natural	Medida de variedad y balance de proveedores de gas natural (productores e importadores)	Adimensional	Criterio 5: Al calcular no relevante	Se identificó que no es un indicador relevante, ya que su cálculo mediante la ecuación del índice de Shannon genera valores muy decimales que, al ser normalizados, pierden efectividad. Además, el número limitado de proveedores reduce su representatividad.
10	Diversidad de modos de transporte de gas natural	Medida de variedad y balance entre diferentes modos de transporte de gas natural	Adimensional	Criterio 4: No hay información disponible	La información disponible es limitada, dispersa y no se publica de forma individual ni consolidada por cada empresa proveedora de gas natural, lo que impide su uso en el análisis.
11	Diversidad de producción de gas natural por campo	Medida de variedad y balance de producción de gas natural por campos a nivel nacional	Adimensional	Criterio 5: Al calcular no relevante	Se identificó que no es un indicador relevante, ya que su cálculo mediante la ecuación del índice de Shannon genera valores muy decimales que, al ser normalizados, pierden efectividad. Además, el analizar por campos reduce su representatividad.
12	Diversidad de fuentes de generación de energía eléctrica	Medida de variedad y balance entre las diferentes fuentes de generación de electricidad	Adimensional	Criterio 2: Calculado en otro	La generación de energía se está viendo en los indicadores 1 y 3, además el cálculo del índice de Shannon genera valores muy decimales que, al ser normalizados, pierden efectividad.
13	Producción de gas natural	Se calcula la producción diaria de gas natural para consumo en cada campo del país	MMPCD	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 15 "Tasa de reservas a producción de gas natural" permite un cálculo más preciso.
14	Reservas de gas natural	Hace referencia a las reservas recuperables (probadas, probables y posibles) de gas natural para el consumo	GPC	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 15 "Tasa de reservas a producción de gas natural" permite un cálculo más preciso.
15	Tasa de reservas a producción de gas natural	Determina la cantidad de años con los que el país cuenta con suministro de gas natural de acuerdo con las reservas probadas y a su producción	Años	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
16	Tasa de reservas a consumo de gas natural	Determinar la cantidad de gas natural que se encuentra en los yacimientos con respecto al consumo diario del país	Años	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 15 "Tasa de reservas a producción de gas natural" permite un cálculo más preciso, además el consumo es similar a la demanda, y la demanda determina la producción.
17	Margen de abastecimiento de gas	Permite calcular la diferencia entre la oferta y la demanda máximas de gas natural en porcentaje	MMPCD	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance

18	Porcentaje de uso de gasoductos	Determina el porcentaje de uso de los gasoductos con respecto a su capacidad	%	Criterio 4: No hay información disponible	La información disponible es limitada, lo que impide su análisis.
19	Contratos a largo plazo de importaciones de gas	Cantidad de contratos en firme pactados para suministrar gas natural al mercado interno, el cual se hará efectivo en un periodo de tiempo	#Contratos	Criterio 3: Contextual	Las importaciones de Gas Natural son inexistentes en el contexto peruano.
20	Capacidad de importación de la red nacional de gasoductos	Calcular la capacidad volumétrica de los gasoductos para la importación de gas natural	MMPCD	Criterio 3: Contextual	Las importaciones de Gas Natural son inexistentes en el contexto peruano.
21	Infraestructura de interconexión	Infraestructura de conexión del sistema nacional de gasoductos	km	Criterio 4: No hay información disponible	La información disponible es limitada, dispersa y no se publica de forma individual ni consolidada por cada empresa proveedora de gas natural, lo que impide su uso en el análisis.
22	Infraestructura de GNL	Permite calcular la capacidad del sistema de GN y determina la cantidad de GN disponible para el consumo	MMPCD	Criterio 1: Derivados (GNL)	No se considera combustibles secundarios en el análisis.
23	Facturación de importaciones netas de gas	Facturación de importaciones netas de gas	\$	Criterio 3: Contextual	Las importaciones de Gas Natural son inexistentes en el contexto peruano.
24	Precios promedio de gas natural	Compara los precios del gas y su volatilidad en diferentes periodos de tiempo	\$/MBTU	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
25	Exportaciones netas de gas natural	Definir el porcentaje de exportaciones respecto a la demanda interna total de petróleo	MMPCD	Criterio 3: Contextual	Dado que en el contexto peruano la asignación de lotes destinados a la exportación se encuentra regulada por contrato, la evaluación de este indicador podría no resultar pertinente.
26	Importaciones de gas natural	Calcular el volumen de gas natural importado, respecto a la oferta del energético para consumo interno	%	Criterio 3: Contextual	Las importaciones de Gas Natural son inexistentes en el contexto peruano.
27	Intensidad energética Gas Natural consumo de Gas Natural per cápita - PBI	Es la relación entre consumo energético y el volumen de la actividad económica. Se calcula como el cociente entre el consumo del gas y PIB (valido tanto para moneda corriente como para constante)	m ³ /\$	Criterio 5: Al calcular no relevante	Se identificó que no es un indicador relevante, ya que su cálculo, al considerar el PBI, distorsiona el valor real del consumo de gas natural y afecta su consistencia.

28	Intensidad energética Gas Natural consumo de Gas Natural per cápita - población	Es la relación entre consumo de gas natural y el número de habitantes del país	m ³ /hab	Criterio 5: Al calcular no relevante	Se identificó que no es un indicador relevante, ya que su cálculo, al considerar la población, distorsiona el valor real del consumo de gas natural y afecta su consistencia.
29	Consumo de gas por sector	Se calcula y reconoce el consumo de gas natural de cada sector	%	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 36 "Proporción de gas natural en la matriz energética" permite un cálculo más preciso. El análisis por sector presenta limitaciones, ya que no permite focalizarse en un único sector de manera efectiva.
30	Gas usado por el sector energético	Se mide el consumo de gas natural en un sector específico	%	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 36 "Proporción de gas natural en la matriz energética" permite un cálculo más preciso.
31	Gas para usos diferentes al sector energético	Calcular el uso del gas natural en sectores diferentes al sector energético	%	Criterio 2: Calculado en otro	El indicador 36 "Proporción de gas natural en la matriz energética" permite un cálculo más preciso.
32	Emisiones CO ₂ asociadas al Gas Natural	Calcular y reconocer las emisiones de CO ₂ asociadas al consumo nacional de gas natural	Mt	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
33	Pozos exploratorios perforados	Se calcula y reconocer la cantidad de pozos exploratorios en todo el territorio nacional	Adimensional	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
34	Capacidad de transporte red gasoductos	Se calcula la capacidad en volumen de transportar gas natural	m ³ /d	Criterio 4: No hay información disponible	La información disponible es limitada, dispersa y no se publica de forma individual ni consolidada por cada empresa proveedora de gas natural, lo que impide su uso en el análisis.
35	Tarifa cobrada al usuario final	Se calcula considerando el precio establecido por las empresas concesionarias de entregar el servicio al usuario	\$/MBTU	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
36	Proporción de gas natural en la matriz energética	Se calcula considerando el porcentaje de participación en la matriz energética del país	%	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance
37	Usuarios conectados a la red de gas natural	Se calcula considerando el número de usuarios conectados a la red de gas natural en el territorio nacional	Adimensional	Indicador seleccionado	Aplica para el cálculo del Índice de Desbalance

Anexo 2. Extracto de iteraciones de Simulación de Monte Carlo (500 de 10000)

Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado
1	0.39615912	26	0.45663549	51	0.40328116	76	0.55773168	101	0.51727472
2	0.65809794	27	0.68278734	52	0.5614191	77	0.54520073	102	0.37700158
3	0.64348995	28	0.65397731	53	0.62606569	78	0.45294094	103	0.46394052
4	0.65675736	29	0.58954119	54	0.66307635	79	0.31530623	104	0.53361499
5	0.45908439	30	0.48944133	55	0.4366153	80	0.6290578	105	0.44108209
6	0.7221215	31	0.50834672	56	0.57123476	81	0.43524174	106	0.5050251
7	0.42093923	32	0.45176082	57	0.51957576	82	0.44596106	107	0.43482298
8	0.61627384	33	0.62872074	58	0.35614342	83	0.46636285	108	0.55679818
9	0.62318273	34	0.39106783	59	0.59728613	84	0.46706828	109	0.41856057
10	0.42080888	35	0.56209594	60	0.5904141	85	0.49945559	110	0.54413365
11	0.56340957	36	0.575003	61	0.39357776	86	0.63672713	111	0.59770859
12	0.44842043	37	0.4664831	62	0.50869341	87	0.64395221	112	0.51679678
13	0.40575924	38	0.39733096	63	0.39446409	88	0.51743192	113	0.58797922
14	0.57850767	39	0.51820526	64	0.63545076	89	0.55205393	114	0.50812809
15	0.69592182	40	0.50853242	65	0.60716378	90	0.44914547	115	0.4080572
16	0.38342524	41	0.56367279	66	0.54415165	91	0.57698904	116	0.40143821
17	0.64052184	42	0.54496542	67	0.49559018	92	0.45085452	117	0.49712661
18	0.4234767	43	0.55942391	68	0.692265	93	0.54417288	118	0.48947922
19	0.51472552	44	0.46247397	69	0.48981056	94	0.47131943	119	0.44799457
20	0.55971112	45	0.54810155	70	0.43064958	95	0.62460449	120	0.66921991
21	0.52128326	46	0.38389677	71	0.52204056	96	0.35910325	121	0.50444076
22	0.3469478	47	0.36533388	72	0.44373402	97	0.61906486	122	0.39615974
23	0.49334125	48	0.40545587	73	0.71861223	98	0.56688133	123	0.48214496
24	0.51153949	49	0.56458286	74	0.3881373	99	0.36609791	124	0.55667278
25	0.52983979	50	0.57602022	75	0.45800599	100	0.53143459	125	0.53050455

Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado
126	0.46859455	151	0.49454422	176	0.4775101	201	0.49061822	226	0.53373949
127	0.43261981	152	0.56187185	177	0.47737524	202	0.42195159	227	0.57976556
128	0.58984831	153	0.52851097	178	0.46914304	203	0.51130283	228	0.50494771
129	0.45722965	154	0.35376171	179	0.44886392	204	0.63528112	229	0.46364427
130	0.58255138	155	0.41219965	180	0.41818744	205	0.33381116	230	0.56548774
131	0.34849151	156	0.44155365	181	0.61533108	206	0.50111713	231	0.53891215
132	0.41199667	157	0.43772814	182	0.5484765	207	0.52160195	232	0.31020845
133	0.50990687	158	0.50487831	183	0.51421924	208	0.55095516	233	0.47177515
134	0.60440035	159	0.52159107	184	0.52430494	209	0.52396036	234	0.43797237
135	0.4802995	160	0.51346129	185	0.41934043	210	0.45179586	235	0.50093117
136	0.59009771	161	0.40045751	186	0.40541119	211	0.42308149	236	0.54672879
137	0.45318586	162	0.50654891	187	0.44247521	212	0.43011366	237	0.4784435
138	0.52793534	163	0.52608454	188	0.44008225	213	0.57982239	238	0.57294349
139	0.54847888	164	0.58158259	189	0.53033246	214	0.52500276	239	0.47689079
140	0.56727548	165	0.44650919	190	0.5637836	215	0.52614735	240	0.50774105
141	0.439235	166	0.45503661	191	0.48104314	216	0.44394602	241	0.40066112
142	0.530154	167	0.48601203	192	0.55290044	217	0.53811453	242	0.45196656
143	0.61473935	168	0.52766411	193	0.49796145	218	0.53536402	243	0.44294672
144	0.57009169	169	0.56359768	194	0.48477097	219	0.57846551	244	0.50259914
145	0.47279624	170	0.68546467	195	0.48897734	220	0.51121633	245	0.51189642
146	0.51229945	171	0.41690668	196	0.49060463	221	0.49734715	246	0.43145657
147	0.55725135	172	0.51394947	197	0.55804843	222	0.61307817	247	0.38529798
148	0.46475186	173	0.55573328	198	0.58217262	223	0.46675673	248	0.47920579
149	0.49758289	174	0.51035487	199	0.6502412	224	0.4479137	249	0.66036131
150	0.52491312	175	0.45937946	200	0.63973463	225	0.71206807	250	0.55131508

Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado
251	0.48652087	276	0.44021384	301	0.45463994	326	0.4458006	351	0.52874771
252	0.49367232	277	0.62522919	302	0.54074105	327	0.58631386	352	0.34683112
253	0.52235331	278	0.57875498	303	0.50042536	328	0.50111842	353	0.27085079
254	0.48627757	279	0.5596024	304	0.52126087	329	0.37857404	354	0.54874822
255	0.58955668	280	0.53270692	305	0.34561131	330	0.39511738	355	0.40056448
256	0.53633154	281	0.47270064	306	0.71797915	331	0.46934717	356	0.43066289
257	0.52407085	282	0.66535657	307	0.58464028	332	0.37147594	357	0.40164457
258	0.4289916	283	0.38642805	308	0.59410092	333	0.61206534	358	0.44655501
259	0.4767485	284	0.69583493	309	0.33389998	334	0.48516539	359	0.58120931
260	0.6625758	285	0.55341387	310	0.57972136	335	0.4506565	360	0.64439316
261	0.50967473	286	0.49636683	311	0.53271997	336	0.58275339	361	0.60317668
262	0.41477871	287	0.41006697	312	0.46411606	337	0.38870219	362	0.50866926
263	0.66469709	288	0.45633385	313	0.62249139	338	0.55110916	363	0.61489416
264	0.43945472	289	0.55030971	314	0.45871241	339	0.5222388	364	0.60067128
265	0.40475356	290	0.59621983	315	0.45932022	340	0.37967512	365	0.51013949
266	0.58596948	291	0.5122039	316	0.67113168	341	0.48106317	366	0.5095455
267	0.64258652	292	0.36926794	317	0.49133362	342	0.54715581	367	0.44289538
268	0.54899434	293	0.68882345	318	0.38205895	343	0.40474896	368	0.50811869
269	0.48489805	294	0.59963549	319	0.44828264	344	0.45878212	369	0.54376052
270	0.61966069	295	0.40297557	320	0.42936307	345	0.47528808	370	0.49943953
271	0.4793278	296	0.54584362	321	0.53685819	346	0.46106594	371	0.53193435
272	0.44748064	297	0.4976279	322	0.52583538	347	0.59745561	372	0.38993786
273	0.43610839	298	0.43533562	323	0.47632263	348	0.59296763	373	0.49970299
274	0.61406188	299	0.59882601	324	0.55574043	349	0.50476091	374	0.49963325
275	0.45956757	300	0.4462249	325	0.48556336	350	0.39842497	375	0.58848238

Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado	Iteración	Indice Normalizado
376	0.46890184	401	0.54505225	426	0.44295321	451	0.32774383	476	0.5577265
377	0.51875394	402	0.60401338	427	0.43846835	452	0.55956805	477	0.60679788
378	0.52019437	403	0.56897272	428	0.55735911	453	0.42825083	478	0.51301204
379	0.3295861	404	0.30957387	429	0.45924131	454	0.52800898	479	0.66289529
380	0.46749694	405	0.52070083	430	0.55063635	455	0.44066914	480	0.45955727
381	0.32927141	406	0.41006912	431	0.44093565	456	0.58744989	481	0.45452889
382	0.43221844	407	0.42627617	432	0.37123499	457	0.58212683	482	0.4794485
383	0.54480073	408	0.55463232	433	0.51080199	458	0.54947556	483	0.56218155
384	0.38690639	409	0.45387832	434	0.49487964	459	0.5103586	484	0.46689279
385	0.42686197	410	0.39395082	435	0.51289906	460	0.48623069	485	0.45615283
386	0.54178313	411	0.66935184	436	0.53862762	461	0.58008785	486	0.45953436
387	0.62498425	412	0.58489382	437	0.60434937	462	0.53911858	487	0.44002824
388	0.33622131	413	0.59622977	438	0.48688706	463	0.44856559	488	0.45520101
389	0.49084886	414	0.58600528	439	0.40817452	464	0.47801387	489	0.57747086
390	0.47558699	415	0.480103	440	0.43333286	465	0.45715835	490	0.5414178
391	0.40830369	416	0.48787634	441	0.60777628	466	0.46373853	491	0.52180669
392	0.51712688	417	0.48664788	442	0.4570561	467	0.51893387	492	0.47289531
393	0.58817844	418	0.60045763	443	0.56598356	468	0.49485231	493	0.50462026
394	0.56125223	419	0.56492012	444	0.42787374	469	0.47795941	494	0.54716608
395	0.45252659	420	0.54595762	445	0.51062771	470	0.47100455	495	0.47005717
396	0.60951349	421	0.43101071	446	0.56994714	471	0.36657022	496	0.46479379
397	0.48470998	422	0.52346786	447	0.5103129	472	0.48162894	497	0.52957683
398	0.50070006	423	0.5350263	448	0.4607727	473	0.47471492	498	0.3846885
399	0.67252798	424	0.51677318	449	0.54098874	474	0.43258026	499	0.55967285
400	0.55264858	425	0.64673207	450	0.6978457	475	0.44316004	500	0.56185392