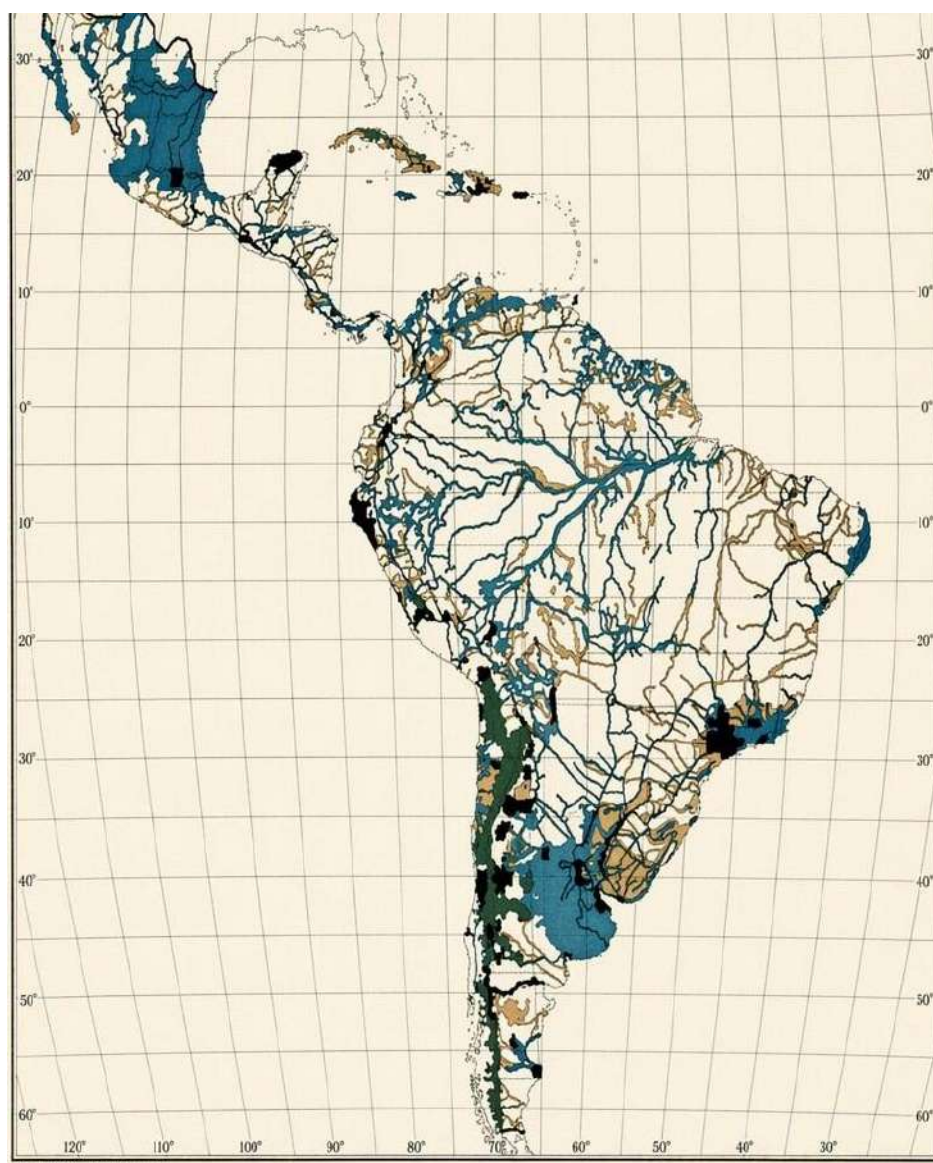


Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Volumen 8 - Número 15
Julio – Diciembre 2026
Maracaibo – Venezuela

Resiliencia energética y la paradoja ontológica en Bolivia: Un abordaje teórico para la integración regional mediante Sistemas HVDC

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21422381>

Gonzalo Oscar Eulate Choque*

RESUMEN

El Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Bolivia suministra electricidad a ocho departamentos del país y enfrenta una paradoja ontológica, porque el 66% de su generación depende del gas natural, recurso cuyas reservas registran una disminución sostenida. Esta condición configura una doble amenaza al suministro continuo y confiable del SIN. La primera es el riesgo de suministro de electricidad por la reducción progresiva de la generación termoeléctrica, que compromete la continuidad del suministro en el mediano y largo plazo. La segunda es de naturaleza técnica, porque la generación renovable variable no aporta inercia mecánica al SIN y compromete la estabilidad de frecuencia ante perturbaciones. El presente artículo desarrolla un abordaje teórico que articula tres categorías conceptuales, siendo estas la paradoja ontológica, la resiliencia energética como categoría onto-epistémica y la tecnología VSC-HVDC como instrumento de superación de la paradoja. Se argumenta que este tipo de enlace entre Bolivia y Brasil constituye la solución técnica factible, porque su interconexión asíncrona entre sistemas a 50 Hz y 60 Hz permite el intercambio bidireccional de energía con Brasil, resolviendo el déficit de generación, en tanto que su control muy rápido del flujo de potencia proporciona inercia sintética al SIN, resolviendo el déficit de inercia rotante. El artículo concluye que la integración regional constituye una condición de existencia del SIN boliviano en el mediano y largo plazo y propone este marco teórico como base para un modelo estratégico de integración energética regional.

PALABRAS CLAVE: Paradoja ontológica, Resiliencia energética, VSC-HVDC, Inercia sintética, Integración energética regional, Sistema Interconectado Nacional.

*Profesor de la Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2194-2420>. E-mail: goeulate@umsa.bo

Energy Resilience and the Ontological Paradox in Bolivia: A Theoretical Approach to Regional Integration through HVDC Systems

ABSTRACT

The Bolivian National Interconnected System (SIN) supplies electricity to eight departments of the country and faces an ontological paradox, because 66% of its generation depends on natural gas, a resource whose reserves show a sustained decline. This condition configures a double threat to the continuous and reliable supply of the SIN. The first is the risk to electricity supply from the progressive reduction of thermoelectric generation, which compromises the continuity of supply in the medium and long term. The second is technical in nature, since variable renewable generation does not contribute mechanical inertia to the SIN and compromises frequency stability in the face of disturbances. This article develops a theoretical approach that articulates three conceptual categories, these being the ontological paradox, energy resilience as an onto-epistemic category, and VSC-HVDC technology as an instrument for overcoming the paradox. It is argued that this type of link between Bolivia and Brazil constitutes the appropriate technical solution, because its asynchronous interconnection between systems operating at 50 Hz and 60 Hz enables bidirectional energy exchange with Brazil, resolving the generation deficit, while its very fast control of power flow provides synthetic inertia to the SIN, resolving the rotational inertia deficit. The article concludes that regional integration constitutes a condition for the existence of the Bolivian SIN in the medium and long term, and proposes this theoretical framework as the basis for a strategic model of regional energy integration.

KEYWORDS: Ontological paradox, Energy resilience, VSC-HVDC, Synthetic inertia, Regional energy integration, National Interconnected System.

Introducción

La transición energética mundial hacia fuentes de generación renovable variable plantea desafíos técnicos de primer orden para los sistemas eléctricos de potencia, dado que la sustitución de generación convencional basada en gas natural por generación solar fotovoltaica y eólica reduce la inercia rotante de los sistemas y exige nuevas soluciones tecnológicas para garantizar la estabilidad de frecuencia. La integración energética regional emerge como estrategia fundamental ante este desafío, en tanto que la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE 2024) subraya que constituye un elemento esencial para asegurar servicios confiables y aprovechar el potencial renovable de América Latina.

En el contexto latinoamericano, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Bolivia suministra electricidad a ocho departamentos del país y presenta una matriz de generación donde el 66% corresponde a generación termoeléctrica a gas natural, el 28% a generación hidroeléctrica y menos del 6% a generación renovable variable, según el Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC, 2025). La Ley de Electricidad N° 1604 establece la continuidad del suministro sin interrupciones como principio operativo del sector, condición que el SIN debe garantizar ante el incremento sostenido de la demanda proyectada por el CNDC (2026) y la disminución de las reservas de gas natural.

El SIN boliviano enfrenta, así, lo que el presente artículo denomina una paradoja ontológica, pues existe una doble amenaza simultánea que el sistema no puede resolver desde su interior. La primera es el riesgo de desabastecimiento eléctrico por el declive sostenido de las reservas de gas natural, que compromete la capacidad de despacho de las centrales termoeléctricas en el mediano y largo plazo, tal como documenta Agramont y Lechín (2024) al señalar la caída de las reservas de hidrocarburos y el deterioro de las inversiones en el sector. La segunda es de naturaleza técnica, ya que la incorporación de generación renovable variable no aporta inercia mecánica al sistema, condición que Arratia Coila (2023) identifica como el factor crítico que distingue a la generación renovable de la convencional, en tanto que Gutiérrez (2021: 2) señala que una alta penetración de TGVCC, por una parte, desplaza la generación sincrónica, reduciendo la inercia del sistema debido a que los convertidores no añaden inercia de manera natural, comprometiendo la estabilidad de frecuencia ante perturbaciones.

1. La paradoja ontológica del SIN de Bolivia

1.1 Fundamento conceptual y paradoja ontológica del SIN

Todo sistema existe de una manera determinada y cuando entra en contradicción interna con las condiciones del entorno que lo sostienen enfrenta una paradoja ontológica, en tanto que la teoría de sistemas se superpone con la ontología al estudiar las propiedades comunes a todo sistema concreto, independientemente de su constitución particular (Bunge, 1979/2012, p. 27).

Holling (1973) define la resiliencia como la capacidad de los sistemas para absorber cambios en sus variables de estado y aun así persistir, principio que aplicado a los sistemas eléctricos implica que un sistema que no se adapta ante el agotamiento de su recurso

primario enfrenta una amenaza a su propia existencia como sistema confiable. Fiksel (2003) complementa esta perspectiva al señalar que los sistemas resilientes poseen características intrínsecas que mejoran su robustez ante perturbaciones inesperadas, condición que el SIN boliviano no satisface en su configuración actual, dado que fue concebido como sistema autosuficiente cuya operación descansa estructuralmente en la disponibilidad del gas natural.

Esta condición eleva al nivel de paradoja ontológica porque genera dos contradicciones interdependientes que el sistema no puede resolver desde su interior, en tanto que cada intento de resolver una profundiza de forma inevitable la otra. Sustituir generación termoeléctrica por fuentes renovables variables resuelve el problema de generación pero disminuye la inercia rotante, mientras que preservar la generación termoeléctrica para mantener la inercia incrementa la dependencia del gas en declive. La superación de esta condición exige, por consiguiente, una transformación del modo de existencia del SIN, pasando de sistema cerrado y gas dependiente a nodo activo de un sistema energético regional interconectado mediante tecnología VSC-HVDC, cuyo análisis se desarrolla en la Sección 4.

1.2 Las dos contradicciones de la paradoja ontológica

La primera contradicción se manifiesta entre la dependencia estructural del SIN del gas natural y el declive sostenido de sus reservas. Al año 2025, la matriz de generación se compone de un 66% de generación termoeléctrica a gas, un 28% de generación hidroeléctrica y menos del 6% de generación renovable variable, según el Comité Nacional de Despacho de Carga (CNDC, 2025). Agramont y Lechín (2024: 249) documenta que la caída en las reservas de gas natural, petróleo y al declive en las inversiones en el sector hidrocarburífero pone en duda la sostenibilidad de la postulación de Bolivia como potencia gasífera de la región. La criticidad reside en la ausencia de alternativas internas capaces de compensar el déficit en el horizonte temporal inmediato, en tanto que los proyectos hidroeléctricos de gran escala exceden ese período de vulnerabilidad y la generación renovable variable es insuficiente para sustituir la generación termoeléctrica en riesgo, de manera que el CNDC (2026) proyecta una diferencia creciente entre oferta y demanda en el período 2025-2035.

La segunda contradicción opera en el plano técnico y emerge de la respuesta más factible a la primera, dado que la sustitución de generación termoeléctrica por fuentes renovables reduce la inercia rotante del sistema. Las centrales termoeléctricas e hidroeléctricas aportan inercia a través de la energía cinética de sus generadores síncronos, condición que la generación solar y eólica no posee, tal como documenta Arratia Coila (20236). Gutiérrez (2021) señala que una alta penetración de TGVCC desplaza la generación sincrónica reduciendo la inercia del sistema, dado que los convertidores no añaden inercia de manera natural, de manera que la incorporación de generación solar y eólica en el SIN vuelve al sistema técnicamente más frágil ante perturbaciones.

Una alternativa externa que podría considerarse es la importación de gas natural desde Argentina, dado que Bolivia dispone de la infraestructura de ductos existente para este propósito. Sin embargo, esta opción resulta inviable en términos sociales y económicos, porque el gas natural destinado a la generación termoeléctrica en Bolivia se encuentra subvencionado a 1.1310 USD por millar de pies cúbicos, según el CNDC (2026), mientras que el precio del gas argentino en la frontera boliviana asciende a 9.18 USD por millón de BTU (Navazo, 2024). La sustitución de esta fuente subvencionada por gas importado a precios de mercado internacional generaría un incremento tarifario estimado entre el 30% y el 40% para el consumidor final, condición que descarta esta alternativa como solución estructural al déficit proyectado.

Otras alternativas técnicas, tales como el refuerzo de compensadores síncronos o el almacenamiento mediante baterías a escala de red, no se descartan por incompatibilidad técnica, sino que resultan insuficientes ante el déficit de generación proyectado, porque ambas regulan o redistribuyen energía ya disponible en el sistema sin aportar generación adicional. Esta condición orienta la búsqueda de una solución técnica capaz de disponer de energía eléctrica externa al SIN, como se desarrolla en la Sección 4.

2. Resiliencia energética como categoría onto-epistémica

2.1 La resiliencia energética como categoría onto-epistémica

Con base en las definiciones de Holling (1973) y Fiksel (2003) presentadas en la Sección 2.1, el presente artículo define la resiliencia energética como la capacidad del sistema para garantizar la continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico ante eventos y contingencias de diversa naturaleza, desde fallas en unidades generadoras hasta la

reducción sostenida en la disponibilidad del gas natural. Esta categoría se propone como onto-epistémica, en tanto que opera simultáneamente en el plano del ser del sistema y en el plano de su verificación técnica.

En su dimensión ontológica, refiere a las condiciones que hacen posible la existencia continua del SIN como sistema confiable, siguiendo la definición de Kundur (1994) quien entiende la estabilidad como aquella propiedad de un sistema de potencia que le permite permanecer en equilibrio operativo bajo condiciones normales, y recuperar un estado aceptable de equilibrio tras una perturbación, manteniendo la integridad del sistema. En su dimensión epistémica, refiere a la forma en que esa capacidad puede ser conocida y verificada mediante indicadores técnicos precisos, en coherencia con el principio pragmático señalado Mobarec (2025: 85), quien sostiene que la presente investigación también se sustenta en el paradigma pragmático, entendido en su raíz filosófica como la postura que vincula la validez del conocimiento con su utilidad práctica, lo cual implica que la resiliencia energética del SIN no se declara, sino que se define mediante indicadores técnicos cuya verificación cuantitativa corresponde a estudios posteriores.

2.2 Dimensiones e indicadores de la resiliencia del SIN boliviano

La resiliencia energética del SIN se manifiesta en dos dimensiones interdependientes vinculadas a las contradicciones identificadas en la Sección 2.2. La dimensión de suministro, entendida como la capacidad del SIN para mantener el equilibrio entre oferta y demanda ante el declive del gas natural establecido en la Ley de Electricidad N° 1604, se operacionaliza mediante la brecha entre la oferta de generación y la demanda proyectada, cuantificable a partir de los datos del CNDC (2026) presentados en la Sección 2.2.

La dimensión técnica, entendida como la capacidad del SIN para mantener la estabilidad de frecuencia ante la disminución de inercia rotante documentada en la Sección 2.2, se operacionaliza mediante tres indicadores, siendo estos el nadir de frecuencia, el RoCoF y el tiempo de recuperación considerando la regulación primaria, criterios que Kundur (1994) establece como estándar para evaluar la estabilidad de frecuencia en sistemas de potencia. La resiliencia energética del SIN solo se alcanza cuando ambas dimensiones son satisfechas simultáneamente, condición que exige una solución técnica integrada y verificable mediante simulación en el software DIgSILENT PowerFactory.

3. La Tecnología VSC-HVDC como respuesta a la paradoja ontológica

3.1 Tecnología HVDC y el asincronismo Bolivia - Brasil

La interconexión eléctrica entre Bolivia y Brasil enfrenta una condición determinante que define la tecnología de transmisión a utilizar, porque el SIN de Bolivia opera a 50 Hz en tanto que el sistema eléctrico brasileño opera a 60 Hz. Esta diferencia hace técnicamente inviable una interconexión directa en corriente alterna, porque ambos sistemas no pueden sincronizarse sin comprometer la estabilidad de ambas redes eléctricas. López (2022) y Elgueta (2008) señalan que los sistemas HVDC resuelven esta condición, dado que la conversión AC-DC-AC en las estaciones convertidoras elimina el acoplamiento de frecuencia entre ambos sistemas, permitiendo el intercambio de energía con independencia de las frecuencias de operación.

Los sistemas HVDC constituyen la solución técnica más eficiente para el transporte masivo de energía a largas distancias y para la interconexión de sistemas con distintas frecuencias. El Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE) clasifica estos sistemas en dos tecnologías principales de convertidor, cada una con características operativas que determinan su idoneidad para distintas aplicaciones (Gole, 2021, p. 1).

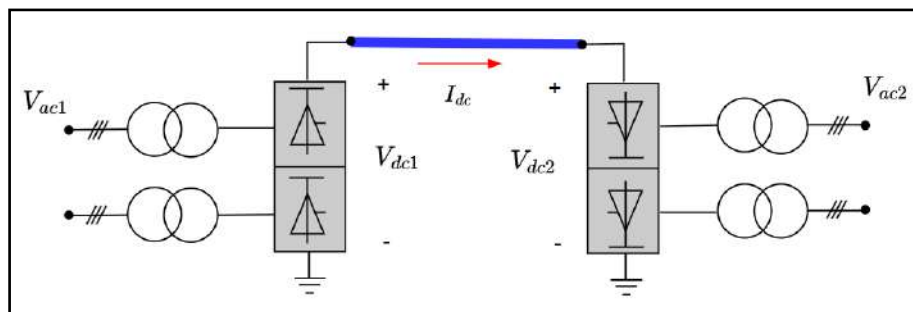


Figura 1: Configuración LCC-HVDC con válvulas de tiristores- fuente elaboración propia basada en Gole (2021).

La tecnología VSC-HVDC utiliza transistores bipolares tipo IGBT como elementos de conmutación, configuración que se ilustra en la Figura 2. Esta diferencia es operativamente determinante, porque los convertidores VSC controlan de forma independiente la potencia activa y la reactiva, no requieren una red de corriente alterna activa para funcionar, permiten el arranque en negro y habilitan la provisión de inercia sintética, según establece Gole (2021, p. 8) y Zhong y Weiss (2011).

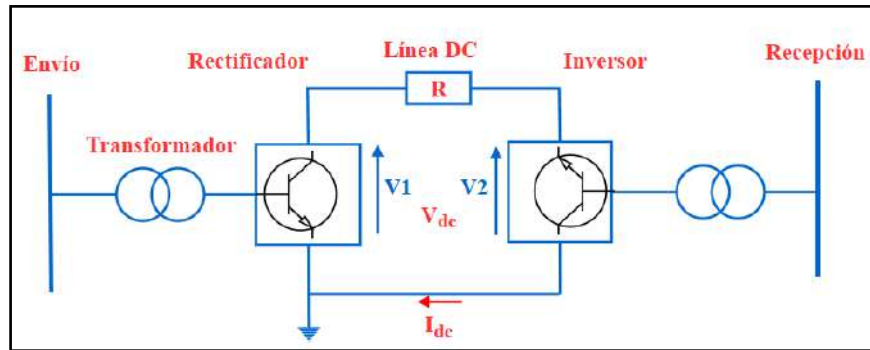


Figura 2: Configuración VSC-HVDC con transistores IGBT- fuente elaboración propia basada en Gole (2021).

La elección del VSC responde a sus prestaciones operativas específicas, en tanto que es la única configuración que satisface simultáneamente todas las condiciones operativas que la superación de la paradoja ontológica exige. El fundamento técnico de la inercia sintética se desarrolla en la Sección 4.3.

La comparación entre ambas tecnologías revela cuatro ventajas determinantes del VSC para el enlace Bolivia-Brasil, siendo estas la operación sin red de corriente alterna activa, el control independiente de potencia activa y reactiva, el arranque en negro y la provisión de inercia sintética. Ambas configuraciones resuelven el asincronismo 50/60 Hz, pero solo el VSC satisface simultáneamente todas las condiciones operativas del SIN, en tanto que su capacidad máxima de 3 GW resulta suficiente para la potencia del enlace propuesto, mientras que la mayor capacidad del LCC, de hasta 10 GW, no compensa sus restricciones operativas en redes de reducida potencia de cortocircuito.

4.2 Inercia Sintética mediante VSC-HVDC: Fundamento Técnico

La pérdida de inercia rotante descrita en la Sección 2.2 tiene su fundamento en la ecuación de oscilación, que describe la dinámica del rotor ante desequilibrios entre potencia mecánica y potencia eléctrica (Kundur, 1994):

$$J \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e$$

Donde J es el momento de inercia del conjunto turbina-generador ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$), ω es la velocidad angular del rotor (rad/s), P_m es la potencia mecánica de entrada y P_e es la potencia eléctrica entregada a la red. Expresada en valores por unidad mediante la constante de

inercia H , siendo $H = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2 \cdot S_{base}}$, Sustituyendo esta relación en la ecuación de oscilación y expresando la velocidad angular en términos de la frecuencia del sistema, mediante $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, la ecuación adopta la forma normalizada en función de la variación de frecuencia y el déficit de potencia ΔP (Kundur, 1994):

$$\frac{df}{dt} = -\frac{f_0 \cdot \Delta P}{2 \cdot H \cdot S_{base}}$$

Donde f_0 es la frecuencia nominal (Hz), ΔP es el déficit de potencia (MW) y S_{base} es la potencia base del sistema (MVA). A menor H , mayor el RoCoF y menor el tiempo disponible para que los controles actúen antes de que la frecuencia alcance el nadir.

La tecnología VSC-HVDC en arquitectura Grid Forming resuelve esta limitación mediante el algoritmo Synchronverter, que emula el comportamiento dinámico de un generador síncrono sin necesidad de masa giratoria. FutuRed (2024) y Zhong & Weiss (2011) señalan que del mismo modo, también se tiene un bloque que simula el comportamiento dinámico definido por la ecuación de oscilación de la máquina síncrona y que, por tanto, define el aporte inercial del Synchronverter. La ecuación de oscilación que define el comportamiento dinámico de este bloque toma la siguiente expresión:

$$\frac{P_{mec} - P_{elec}}{\omega_{GFM}} = 2 \cdot H \frac{d\omega_{GFM}}{dt} + K_d (\omega_{GFM} - \omega_{ref})$$

Donde ω_{GFM} es la frecuencia angular emulada por el convertidor, ω_{ref} es la frecuencia angular de referencia y K_d es la constante de amortiguamiento. A diferencia de la ecuación convencional, H y K_d no son parámetros físicos sino variables de control configurables en tiempo real, lo que permite adaptar la respuesta inercial a las condiciones operativas del SIN boliviano sin modificar los componentes físicos del convertidor.

4.3 Doble función del VSC-HVDC

El enlace VSC-HVDC Bolivia–Brasil cumple una doble función simultánea que resuelve de forma integrada las dos dimensiones de la paradoja ontológica. En su dimensión de suministro, permite el intercambio bidireccional de energía, de manera que Bolivia puede importar electricidad desde Brasil ante la falta de suministro de electricidad y exportar excedentes en períodos de sobreproducción, tal como reconoce OLADE (2024:11) subraya

que la integración del tendido eléctrico es un elemento importante para asegurar la prestación de servicios confiables.

En su dimensión técnica, el algoritmo Synchronverter implementado en el inversor VSC (arquitectura Grid Forming) proporciona inercia sintética al SIN, elevando el Nadir de frecuencia y reduciendo el RoCoF ante contingencias, en coherencia con Zhu (2012) y Álvarez (2020).

4. Marco analítico para la integración regional Bolivia–Brasil

El marco analítico se fundamenta en el paradigma pragmático, según el cual el valor del conocimiento científico reside en su capacidad para transformar condiciones reales verificables. Mobarec (2025) señala que el paradigma pragmático establece que el valor del conocimiento científico reside en su capacidad para producir transformaciones verificables en la práctica, principio que implica que el modelo VSC-HVDC propuesto se valida por la mejora medible de tres indicadores de resiliencia del SIN boliviano en el horizonte 2025-2035, siendo estos el nadir de frecuencia, el RoCoF y la brecha oferta-demanda presentada en la Sección 2.2.

La materialización del modelo enfrenta dos barreras estructurales identificadas mediante análisis MICMAC: la ausencia de un marco normativo binacional que habilite el intercambio comercial de energía entre Bolivia y Brasil, y la brecha de capacidad técnica local en electrónica de potencia avanzada para la operación de sistemas VSC-HVDC.

La paradoja ontológica del SIN boliviano encuentra su superación en la transformación del modo de existencia del sistema, pasando de unidad aislada y gas dependiente a nodo activo de un sistema energético regional interconectado. Esta transformación no es una opción de política energética entre varias alternativas sino una condición de existencia del SIN en el mediano y largo plazo, cuya factibilidad técnica se verifica mediante simulaciones en el software DIgSILENT PowerFactory.

5. Discusión

El abordaje teórico propuesto en este artículo se diferencia de los antecedentes disponibles en la literatura en que ninguno de estos articula simultáneamente las tres categorías conceptuales desarrolladas, siendo estas la paradoja ontológica, la resiliencia energética como categoría onto-epistémica y la tecnología VSC-HVDC en arquitectura Grid

Forming, aplicadas al contexto específico del asincronismo Bolivia–Brasil. Estudios previos sobre integración eléctrica regional latinoamericana, centrados en la dimensión técnica del enlace HVDC, no articulan este componente con el marco conceptual de la paradoja ontológica ni con la operacionalización de la resiliencia energética mediante indicadores medibles.

La principal limitación del presente trabajo reside en su carácter teórico, porque la validación cuantitativa del modelo mediante simulaciones en el software PowerFactory DIgSILENT bajo escenarios de reducción de generación termoeléctrica y alta penetración renovable constituye la fase analítica de la investigación doctoral en curso, cuyos resultados exceden el alcance de este artículo.

Las líneas de investigación futura que se derivan del marco teórico propuesto se orientan en tres direcciones. La primera es la validación técnica mediante simulación en software especializado del enlace VSC-HVDC Bolivia–Brasil, cuantificando su impacto sobre el Nadir de frecuencia y el RoCoF del SIN boliviano bajo distintos escenarios de penetración renovable. La segunda es el desarrollo de un marco normativo binacional que habilite el intercambio comercial de energía y la remuneración de servicios auxiliares, incluyendo la inercia sintética provista por el enlace. La tercera es el análisis de la incorporación progresiva de sistemas BESS en el SIN boliviano como respaldo complementario al enlace VSC-HVDC, considerando su factibilidad económica y regulatoria en el contexto nacional.

Conclusiones

El presente artículo ha mostrado que la condición estructural del SIN boliviano exige un marco teórico capaz de vincular su fundamento ontológico con una solución técnica verificable. La paradoja ontológica descrita en la Sección 2 demuestra que el SIN no puede resolver desde su interior la doble amenaza que enfrenta, porque sustituir generación termoeléctrica por fuentes de generación con base en las energías renovables variables, resuelve el problema de suministro pero profundiza la disminución de inercia, mientras que preservar la generación termoeléctrica para sostener la inercia profundiza la dependencia del gas en declive.

La operacionalización de la resiliencia energética mediante tres indicadores medibles, siendo estos el nadir de frecuencia, el RoCoF y la brecha oferta-demanda, permite trasladar esta categoría onto-epistémica del plano conceptual al plano de la verificación técnica, en coherencia con el principio pragmático que orienta el marco analítico propuesto en la Sección 5. La tecnología VSC-HVDC satisface simultáneamente ambas dimensiones de la resiliencia, dado que su arquitectura Grid Forming provee inercia sintética mediante el algoritmo Synchronverter, mientras que su capacidad de control independiente de potencia activa y reactiva habilita el intercambio energético bidireccional con Brasil.

Por tanto, la integración regional Bolivia-Brasil mediante VSC-HVDC no constituye una opción entre varias alternativas de política energética sino una condición de existencia del SIN boliviano en el mediano y largo plazo, en tanto que es la única solución identificada que transforma simultáneamente el modo de existencia del sistema, pasando de unidad aislada y gas dependiente a nodo activo de un sistema energético regional interconectado. Este marco teórico constituye la base conceptual del modelo estratégico de integración binacional que se desarrolla en la investigación doctoral en curso, cuya validación cuantitativa mediante simulación constituirá la siguiente fase de esta línea de investigación.

Referencias

Agramont-Lechín, D. (Coord.). (2024). Geopolítica de la transición energética: Perspectivas del Sur Global y el caso de Bolivia. Friedrich-Ebert-Stiftung.

Álvarez Romero, G. (2020). Modelado de redes eléctricas modernas con enlaces VSC-HVDC para estudios de control automático de frecuencia [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].

Arratia Coila, L. F. (2023). Análisis económico y regulatorio para la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos operando en el SIN [Tesis de maestría, Universidad Mayor de San Andrés].

Bunge, M. (2012). *Tratado de filosofía, Volumen 4: Ontología II: Un mundo de sistemas* (R. González del Solar, Trad.). Gedisa. (Obra original publicada en 1979).

Comité Nacional de Despacho de Carga. (2025). Informe de programación. CNDC.

Comité Nacional de Despacho de Carga. (2026). Informe de Programación de Mediano Plazo mayo 2026-abril 2030. CNDC.

Elgueta Jaque, F. A. (2008). Control de sistemas HVDC [Memoria de título, Ingeniero Civil Electricista, Universidad de Chile].

Fiksel, J. (2003). Designing resilient, sustainable systems. *Environmental Science & Technology*, 37(23), 5330-5339. <https://doi.org/10.1021/es0344819>

FutuRed, Plataforma Española de Redes Eléctricas. (2024). Grupo de trabajo grid forming.

Gole, A. M. (Ed.). (2021). Modeling and simulation of HVDC transmission. The Institution of Engineering and Technology.

Gutiérrez Arriagada, P. I. (2021). Estudio de estabilidad en las interconexiones eléctricas internacionales en Latinoamérica [Tesis de magíster, Universidad de Chile].

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

Kundur, P. (1994). Power system stability and control. McGraw-Hill.

López, R. S. (2022). Transmisión HVDC: Fundamentos y aplicaciones. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

Mobarec, H. A. (2025). Estrategia prospectiva de exploración para la producción de proteína texturizada por extrusión de la combinación de semillas de quinua y soya [Tesis doctoral, Universidad Mayor de San Andrés].

Navazo, C. (2024, 27 de noviembre). TotalEnergies cerró un acuerdo con Bolivia para exportar gas de Vaca Muerta a Brasil. *Más Energía - LM Neuquén*. <https://mase.lmneuquen.com/vaca-muerta/totalenergies-cerro-un-acuerdo-bolivia-exportar-gas-vaca-muerta-brasil-n1158122>.

Organización Latinoamericana de Energía. (2024). Informe de energía de América Latina y el Caribe. OLADE.

Zhong, Q. C., & Weiss, G. (2011). Synchronverters, inverters that mimic synchronous generators. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(4), 1259-1267. <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2048839>

Zhu, J., Booth, C. D., Adam, G. P., Roscoe, A. J., & Bright, C. G. (2012). Inertia emulation control strategy for VSC-HVDC transmission systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(2), 1277-1287. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2213101>.

Conflicto de interés

El autor de este manuscrito declara no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

El autor declara que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La **Revista Latinoamericana de Difusión Científica** declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia CreativeCommons

Esta obra está bajo una Licencia CreativeCommons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

