

ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS ECONÓMICAS DE BOLIVIA POR LA NO EXPLOTACIÓN DEL LITIO

Nicolás Parada Salomón¹

1 Graduado de Ingeniería Económica - UPSA. nico.p.salomon@gmail.com

Resumen

El litio se ha consolidado como un recurso estratégico en la transición energética global. A pesar de poseer una de las mayores reservas mundiales, Bolivia no ha logrado convertir su potencial en una industria competitiva. El presente estudio examina el costo de oportunidad económico, no generado, por la política extractiva de modelo estatal exclusivo, consolidada desde 2010, que limitó la inversión extranjera directa y la transferencia tecnológica. Estimamos las pérdidas económicas para el periodo 2010–2023 combinando el Método de Control Sintético (SCM) y el modelo de Diferencias en Diferencias (DID), métodos cuasiexperimentales diseñados para evaluar efectos causales de políticas a nivel macro. Los resultados del SCM, utilizando una matriz de control de países productores, muestran que la política posterior a 2010 provocó una brecha creciente en el PIB per cápita, con una pérdida acumulada superior a \$2.200 USD por persona. Una simulación financiera basada en la producción potencial sintética estima una pérdida total de ingresos de más de \$1.160 millones de dólares. El análisis DID confirma que la adopción del modelo boliviano generó un efecto negativo, significativo y persistente comparado con países vecinos. Se concluye que la rigidez institucional fue la principal limitante para capturar el valor del recurso, y se requiere un modelo híbrido para capitalizar esta ventana de oportunidad.

Palabras clave: PIB, Litio, Modelo Estatal Exclusivo, Método de Control Sintético (SCM), Diferencias en Diferencias (DID), Política Extractiva.

Abstract

Lithium has become a strategic resource in the global energy transition. Despite holding one of the world's largest reserves, Bolivia has failed to transform its potential into a competitive industry. This study examines the economic opportunity cost generated by the exclusive state-based extractive policy consolidated since 2010, which restricted foreign direct investment and technological transfer. We estimate Bolivia's economic losses for the 2010–2023 period by combining the Synthetic Control Method (SCM) and the Difference-in-Differences (DID) model—two quasi-experimental approaches designed to evaluate causal policy effects at the macro level. SCM results, using a control matrix of lithium-producing countries, reveal that post-2010 policies led to a growing gap in GDP per capita, with an accumulated loss exceeding USD 2,200 per person. A financial simulation based on synthetic potential production estimates total revenue losses of more than USD 1.16 billion. The DID analysis confirms that the Bolivian model generated a negative, statistically significant, and persistent effect compared with neighboring countries. The findings conclude that institutional rigidity was the main barrier to capturing the resource's value, and that a hybrid governance model is required to capitalize on this strategic window of opportunity.

Keywords: GDP, Lithium, Exclusive State Model, Synthetic Control Method (SCM), Difference-in-Differences (DID), Extractive Policy.

1. Introducción

1.1. Contexto Global, El Litio y la Paradoja Boliviana

El litio se ha consolidado como un recurso geoestratégico fundamental para la transición energética global. Su rol como componente primario de las baterías de iones de litio (Li-ion) lo posiciona en el centro de la electromovilidad y el almacenamiento de energía renovable. Esta dinámica ha reconfigurado la geografía económica, enfocando la atención en el "Triángulo del Litio" (Chile, Argentina y Bolivia), que alberga más del 50% de las reservas mundiales certificadas (USGS, 2024).

Dentro de este triángulo, Bolivia ocupa una posición anómala. A pesar de poseer las mayores reservas certificadas en el Salar de Uyuni, certificación realizada en 2025, su participación en la producción global ha sido históricamente marginal, generando una paradoja de la abundancia sin materialización económica.

La causa de esta anomalía se rastrea en la política extractiva de Bolivia. A diferencia de sus vecinos, que adoptaron modelos flexibles de concesión o *joint ventures* con el sector privado (modelo híbrido), el Estado boliviano consolidó, a partir de la nueva Constitución de 2009 y la Ley 372 de 2010, un Modelo Estatal Exclusivo (MEE). Este modelo establece al Estado como único actor con capacidad de inversión, explotación e industrialización del recurso, con el objetivo de asegurar la soberanía total.

Sin embargo, la limitada producción efectiva y la ausencia de ingresos significativos durante el periodo 2010–2023 sugieren que esta elección institucional pudo haber generado un costo de oportunidad significativo. La pregunta de investigación central es: ¿Cuál fue el efecto causal y el costo económico de la adopción del Modelo

Estatal Exclusivo sobre el PIB, el PIB per cápita y el empleo potencial no generado, en comparación con una trayectoria contrafactual de explotación eficiente?

1.2. Objetivo, Hipótesis de Investigación y Brecha de la Literatura

El objetivo primario de este estudio es estimar el impacto causal y la magnitud de las pérdidas económicas (costo de oportunidad) generadas por la política extractiva de monopolio estatal sobre el litio durante el periodo 2010–2023.

La Hipótesis Central es que la adopción del Modelo Estatal Exclusivo en 2010 generó una brecha económica negativa y estadísticamente significativa en el PIB, PIB per cápita y en los indicadores sectoriales (producción y empleo), ya que la rigidez institucional impidió la transferencia de tecnología y de capital necesarios para superar los desafíos técnicos únicos del Salar de Uyuni (alta relación Mg/Li).

Si bien existe una amplia literatura teórica sobre la “maldición de los recursos” y la gobernanza, son escasos los estudios que aplican métodos de inferencia causal robusta, como el SCM y el DID, al caso boliviano del litio, con el propósito de cuantificar el costo de oportunidad derivado de una decisión institucional específica en un contexto de política extractiva.

1.3. Contribución Metodológica y Estructura del Documento

En el estudio buscamos dos tipos de contribuciones:

- a. **Una Contribución Empírica** que cuantifica, mediante métodos cuasiexperimentales, el costo de oportunidad de la política boliviana de litio, estimando una pérdida de USD 2.222 per cápita acumulados y más de

1.160 millones de dólares americanos en ingresos no percibidos, vinculando directamente la política estatal con la performance macroeconómica.

- b. Una contribución Metodológica** que radica en la aplicación rigurosa del Método de Control Sintético (SCM) y el modelo de Diferencias en Diferencias (DID) para evaluar políticas institucionales en economías basadas en recursos naturales, caracterizadas por series de tiempo cortas y problemas de endogeneidad. Estos enfoques permiten superar las limitaciones de los modelos de regresión tradicionales, al construir un contrafactual creíble para una política aplicada a una única unidad de análisis, como el caso boliviano con la explotación del litio.

2. Marco Teórico y Revisión de Literatura

2.1. Gobernanza de Recursos y el Desafío Institucional

El debate sobre los recursos naturales ha evolucionado desde la observación empírica de la “maldición de los recursos” (Sachs & Warner, 2001) destacando que los resultados dependen de la calidad de la gobernanza y las políticas implementadas. Diversos autores han señalado que la abundancia de recursos no constituye, por sí misma, una condena al estancamiento económico, sino que sus efectos varían según el marco institucional y la forma en que se administran las rentas extractivas. Cuando las instituciones son sólidas, transparentes y promueven la inversión productiva, los recursos naturales pueden convertirse en un motor de desarrollo. Por el contrario, cuando la gestión se concentra en el Estado sin mecanismos efectivos de control, la captura política y la ineficiencia administrativa tienden a intensificar los desequilibrios estructurales y a limitar la diversificación económica. En este sentido, la llamada “maldición de los

recursos” debe entenderse menos como un resultado inevitable y más como una consecuencia de decisiones de política y de gobernanza que determinan el uso o desaprovechamiento de la renta generada por los recursos naturales.

El litio, como recurso estratégico en la transición energética, expone este dilema institucional:

- **Modelo de Concesión/Híbrido (Argentina y Chile):** Se apoya en la IED, permitiendo que la empresa privada absorba el riesgo tecnológico y financiero. El Estado cobra la renta vía regalías e impuestos.
- **Modelo de Monopolio Estatal Exclusivo (Bolivia):** Prioriza la soberanía total y la industrialización interna, asumiendo el riesgo tecnológico, operativo y de capital. Este modelo busca evitar la fuga de capitales y el control extranjero, pero requiere una capacidad estatal (técnica y financiera) excepcional que a menudo no está disponible en economías en desarrollo.

La revisión de la literatura sobre este contraste de modelos es fundamental, ya que el MEE boliviano es, en esencia, una política de selección adversa, que excluye a la tecnología y el capital más eficiente, convirtiendo el riesgo tecnológico en un riesgo soberano.

2.2. Rigidez Institucional, Factibilidad Técnica y la Brecha Tecnológica

La viabilidad técnica de la explotación del litio boliviano es el punto donde la decisión política choca con la realidad geológica. El Salar de Uyuni presenta condiciones únicas que lo diferencian del Salar de Atacama (Chile): principalmente, una alta relación Magnesio/Litio (Mg/Li) y la presencia de impurezas como el sulfato.

El Ing. Gerardo Zamora (Ph.D.) (Zamora Echenique, 2025) es enfático al señalar que los procesos convencionales de evaporación solar (know-how tradicional chileno y argentino) son ineficientes o inviables en Uyuni. La única vía técnicamente prometedora es la Extracción Directa de Litio (DLE).

La rigidez institucional del MEE (Ley 372) se convirtió en el factor restrictivo porque:

- i. **Frenó la Transferencia Tecnológica:** La DLE es una tecnología en evolución y requiere una inversión masiva en I+D y validación a escala, algo que solo las grandes corporaciones mineras globales podían proveer. El MEE, al no permitir la participación mayoritaria, no pudo atraer estas alianzas estratégicas.
- ii. **Sobreestimó la Capacidad Estatal:** La visión de que el Estado podría desarrollar una tecnología Made in Bolivia en un plazo competitivo demostró ser irreal. El Ing. Epifanio Mamani (Mamani Alizares, 2025) criticó esta postura, señalando que el modelo "no era adecuada para el país" y, tras 18 años, "no tenemos ningún fruto".

La literatura económica moderna establece que las políticas que restringen la entrada de capital y tecnología en sectores técnicamente complejos son el principal factor que perpetúa la "Maldición" en lugar de resolverla, lo que justifica la necesidad de estimar el costo de la exclusividad.

2.3. Justificación de la Metodología de Inferencia Causal

La evaluación de políticas como el MEE (intervención a nivel país/unidad única) presenta desafíos serios para los métodos econométricos tradicionales:

- i. **Endogeneidad y Sesgo de Selección:** Bolivia no adoptó la política estatal al azar; fue una elección endógena. Los modelos de series de tiempo tradicionales no pueden aislar adecuadamente el efecto de la política de otros shocks macroeconómicos o tendencias no observadas.
- ii. **Unidad Única y Series de Tiempo Cortas:** Con solo una unidad tratada y un periodo post-tratamiento de 13 años (2010–2023), los modelos de panel estándar o de series de tiempo convencionales (ARMA, VAR) presentan limitaciones de identificación y baja eficiencia estadística, por lo que no resultan apropiados para este tipo de análisis causal.

La elección del Método de Control Sintético (SCM) y el modelo de Diferencias en Diferencias (DID) es, por lo tanto, la respuesta metodológica rigurosa a estos desafíos.

- **SCM:** Construye un contrafactual creíble $Y_{\text{sintético}}$ minimizando la discrepancia pre-tratamiento entre la unidad tratada (Bolivia) y una combinación ponderada de unidades de control (grupo donante), superando el problema de la falta de un control directo ideal.
- **DID:** Sirve como prueba de robustez al comparar el cambio de la política en Bolivia con un par regional clave (Argentina), asumiendo el supuesto de tendencias paralelas y aislando el efecto causal β_3 de la política.

Al combinar estos dos enfoques cuasiexperimentales, se busca una inferencia causal sólida y robusta.

3. Metodología y Fuentes de Datos

3.1. Diseño Cuasiexperimental: SCM y DID

La naturaleza del problema de investigación, la evaluación del efecto de una política de alto impacto en una única unidad de análisis (Bolivia) a lo largo del tiempo, exige el uso de métodos cuasiexperimentales para construir un contrafactual válido. Los modelos seleccionados son el Método de Control Sintético (SCM) y el modelo de Diferencias en Diferencias (DID), aplicados a datos anuales entre 2002 y 2023.

El punto de intervención T₀ se fija en el año 2010. Esta fecha sigue la promulgación de la nueva Constitución Política del Estado (CPE) en 2009, que declara los recursos evaporíticos como estratégicos y de propiedad estatal, y consolida la Ley 372 de Yacimientos del Litio Boliviano (YLB). A partir de 2010, se formaliza la política de monopolio estatal exclusivo en todas las fases de la cadena de valor, limitando el rol del sector privado únicamente a alianzas minoritarias y condicionadas en la industrialización. Este marco institucional rígido se considera el shock que interrumpió la trayectoria económica potencial de Bolivia.

El SCM es la herramienta principal ya que permite la ponderación flexible de múltiples unidades de control para minimizar el Error Cuadrático Medio de Predicción (MSPE) en el periodo pre-intervención. El DID, en cambio, se utiliza como prueba de robustez, comparando la trayectoria de Bolivia exclusivamente con un par clave del Triángulo del Litio (Argentina) para confirmar la dirección y la significancia del efecto.

3.2. Variables y Fuentes de Datos

Variables de Resultado (Dependientes)

El análisis se centra en la estimación del costo de oportunidad en cuatro dimensiones críticas para el desarrollo económico:

- **PIB (USD constante):** Refleja la capacidad productiva total del país y permite evaluar el impacto macroeconómico agregado de la política extractiva sobre la economía nacional. Su análisis cuantifica la pérdida potencial de valor agregado que Bolivia habría generado bajo una trayectoria de explotación eficiente del litio. Fuente: Banco Mundial (BM) y Fondo Monetario Internacional (FMI).
- **PIB per cápita (USD constante):** Variable macroeconómica para medir el potencial de crecimiento y bienestar que se perdió al no capitalizar el recurso. Fuente de datos primarios: Banco Mundial (BM) y Fondo Monetario Internacional (FMI).
- **Producción de Litio (Toneladas Métricas de LCE):** Mide el volumen productivo no materializado. La estandarización a Carbonato de Litio Equivalente (LCE) es crucial para la comparabilidad. Fuente: USGS y estimaciones propias basadas en informes corporativos.
- **Empleo en el Sector Litio (Personas):** Estimación de la generación de puestos de trabajo directos. Fuente: Estimaciones propias basadas en informes corporativos, modelos de regresión lineal y proyecciones de impacto socioeconómico.

Variables de Control (Predictoras)

La selección de las variables predictoras es importante en el SCM para construir un contrafactual creíble. Estas variables

buscan replicar el desempeño económico de Bolivia en el periodo preintervención (2002–2009), evitando el sesgo del shock institucional de 2010, pero manteniendo una correlación significativa con el PIB y su dinámica estructural:

- **PIB (USD constante):** Refleja el nivel agregado de producción de bienes y servicios y permite aproximar la magnitud total de la economía antes del cambio institucional.
- **PIB per cápita (USD constante):** Captura el nivel promedio de ingreso y bienestar, ajustando el tamaño poblacional para reflejar la productividad individual.
- **Población total:** Permite controlar diferencias de escala entre países y ajustar las comparaciones económicas.
- **Inversión Extranjera Directa (IED, % del PIB):** Indica la capacidad de atracción de capital externo, esencial para sectores intensivos en tecnología como el litio.
- **Formación Bruta de Capital Fijo (% del PIB):** Mide la inversión interna en infraestructura y equipamiento productivo.
- **Exportaciones de bienes y servicios (% del PIB):** Representa la apertura comercial y la dependencia del sector externo.
- **Inflación anual (%):** Evalúa la estabilidad macroeconómica y el entorno de certidumbre para la inversión.

Todas las variables macroeconómicas se obtuvieron de las bases del Banco Mundial (World Development Indicators), Fondo Monetario Internacional (FMI), Instituto Nacional de Estadística (INE) y otros organismos internacionales, complementadas con estimaciones propias para el periodo 2002–2023.

3.3. Grupo de Control (Grupo Donante)

El grupo de control se seleccionó bajo el criterio de similitud económica en el periodo pre-tratamiento (2002–2009) y relevancia sectorial (presencia de recursos de litio o estructuras extractivas comparables).

País	Justificación de Inclusión
Argentina	Pertenece al "Triángulo del Litio" y competidor directo; crucial para el DID y para replicar la estructura de salmueras.
Chile	Líder histórico en la explotación de salares; necesario para replicar la trayectoria de un país con explotación madura.
Australia	Principal productor mundial de litio (roca dura); incluido por su trayectoria en la explotación minera a gran escala.
Portugal	Productor europeo de litio con una escala económica intermedia y una trayectoria sostenida en la exportación de minerales y recursos naturales. Su inclusión permite ampliar la diversidad estructural del grupo donante.
Zimbabue	País en desarrollo con alta dependencia de recursos naturales, vulnerabilidad externa y niveles de PIB per cápita históricamente cercanos a los de Bolivia, lo que refuerza la comparabilidad estructural dentro del grupo donante.

3.4. Implementación y Ecuaciones del SCM

El SCM busca encontrar el vector de pesos óptimo W^* que minimice la diferencia entre los valores de las variables predictoras de Bolivia X_1 y su contraparte sintética X_0W en el periodo pre-intervención, ponderando la importancia de cada variable a través de la matriz V .

Función Objetivo y Minimización

La función objetivo del SCM se define como la minimización de la distancia entre los vectores de las variables pre-intervención del país tratado y el control sintético:

Ecuación 1

$$\min_w (X_1 - X_0W)'V(X_1 - X_0W)$$

Sujeto a las siguientes condiciones:

Ecuación 2

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j = 1 \quad y \quad w_j \geq 0$$

Donde:

- X_1 : Vector de las variables predictoras de Bolivia (unidad tratada) antes de 2010.
- X_0 : Matriz de las variables predictoras de los países donantes.
- W : Vector de pesos w_j asignados a cada país donante.
- V : Matriz de ponderación diagonal positiva de las variables predictoras. La selección del V óptimo se realiza internamente en el algoritmo SCM para minimizar el MSPE en el periodo pre-tratamiento T_0 .

El Efecto de Tratamiento

Una vez que se obtiene el vector de pesos W^* , la trayectoria contrafactual post-intervención ($t > T_0$) se calcula como un promedio ponderado de las trayectorias de los países donantes. El efecto causal (costo de oportunidad, τ_t se define como la brecha entre la trayectoria observada y la trayectoria sintética:

Ecuación 3

$$\tau_t = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt}$$

3.5. Modelo de Robustez: Diferencias en Diferencias (DID)

Para complementar la inferencia y validar el hallazgo, se aplica un modelo DID en un

panel reducido (Bolivia y Argentina) con un *time dummy* para el periodo 2010–2023. La especificación del modelo es:

Ecuación 4

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Bolivia_i + \beta_2 Post_t + \beta_3 (Bolivia_i \times Post_t) + \varepsilon_{it}$$

Donde:

- $Bolivia_i$: Variable *dummy* que toma el valor 1 si el país es Bolivia, y 0 si es Argentina.
- $Post_t$: Variable *dummy* que toma el valor 1 para los años $t \geq 2010$ (post-intervención), y 0 para los años $t < 2010$.
- β_3 : Es el coeficiente de interés. Representa el Efecto de Tratamiento Promedio (ATT), o el efecto diferencial de la política estatal boliviana.

La validez del DID se basa en el crucial Supuesto de Tendencias Paralelas, el cual asume que, en ausencia de la intervención de 2010, Bolivia y Argentina habrían seguido trayectorias paralelas. Este supuesto se verifica visualmente y mediante la inclusión de *lags* en el modelo.

3.6. Tratamiento de Datos y Homologación LCE

La rigurosidad requiere una homologación de la producción de litio. Dado que el grupo donante incluye productores de salmueras (Argentina/Chile) y productores de roca dura (Australia/Portugal/Zimbabue), la variable de Producción de Litio se estandarizó a Toneladas Métricas de Carbonato de Litio Equivalente (LCE) para garantizar la comparabilidad de contenido útil.

Para los productores de roca dura (espodumeno y petalita), se aplicaron factores de conversión estándar de la industria:

- Australia (Espodumeno):** Se utilizó un factor de 0,14845 para convertir

las toneladas de concentrado de espodumeno a LCE, basándose en un concentrado con 6% de Li_2O .

- **Portugal (Pegmatitas con espodumeno y lepidolita):** Se aplicó el mismo factor de 0,14845 para la conversión a LCE, dado que el contenido promedio de Li_2O en los concentrados portugueses es similar ($\approx 5\text{--}6\%$). Aunque su producción se destina principalmente a la industria cerámica, la homologación permite comparabilidad técnica en el análisis económico.
- **Zimbabue (Petalita):** Se aplicó un factor de 0,1063 sobre la producción de concentrado de petalita para convertirla a LCE, en función del menor contenido de litio presente en este tipo de mineral.

Esta homogeneización es para asegurar que las proyecciones de Bolivia Sintética representen una capacidad productiva real, independientemente de la fuente geológica.

4. Resultados y Análisis Econométrico

La aplicación de los modelos SCM y DID, con el punto de intervención T_0 en 2010, cuantifica el costo de oportunidad generado por la política estatal exclusiva de Bolivia en el sector del litio. El análisis se desarrolla en tres etapas: 1) Análisis Descriptivo Comparativo, 2) Estimación del Contrafactual (SCM), y 3) Pruebas de Robustez (DID y Sensibilidad).

4.1. Análisis Descriptivo Comparativo Internacional

Antes de la estimación cuasiexperimental, el análisis descriptivo contextualiza la posición económica de Bolivia respecto a su grupo de control. Los datos promedio para el periodo completo (2002–2023) muestran una clara disparidad en las variables claves.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de PIB per cápita, producción de litio y empleo en países seleccionados (2002–2023)

País	PIB per Cápita (Media USD)	Producción Litio (Media TM)	Empleo Litio (Media Personas)
Argentina	9.839,88	17.884,68	1.093,09
Australia	50.362,49	130.278,55	2.678,18
Bolivia	2.374,54	132,64	252,41
Chile	12.253,68	78.604,05	2.239,36
Zimbabue	1.249,49	3.349,97	3.445,45

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank, FRED, USGS, INE Bolivia, Eurostat y otras fuentes oficiales.

Bolivia se ubicó consistentemente en los niveles más bajos de PIB per cápita y reportó una producción promedio de litio marginal (apenas 132,64 TM), muy lejos de sus pares regionales como Chile y Argentina. Esta baja actividad productiva se correlaciona con un mínimo

impacto laboral, con un promedio de solo 252 empleos en el sector. Esta base de datos valida la necesidad de un enfoque cuasiexperimental, ya que la comparación simple con países con trayectorias más estables o un sector minero consolidado (Chile, Australia) sesgaría la estimación.

4.2. Estimación de Pérdidas Macroeconómicas: PIB per Cápita (SCM)

El Método de Control Sintético (SCM) logró un ajuste pre-intervención notable, con un Error Cuadrático Medio de Predicción (MSPE) de 4.504,57, lo que permite una inferencia robusta del contrafactual.

Composición de Bolivia Sintética

La unidad contrafactual, Bolivia Sintética, se construyó principalmente a partir de Zimbabwe y Argentina.

Tabla 2. Pesos asignados a países donantes en el modelo de Control Sintético para el PIB per cápita de Bolivia

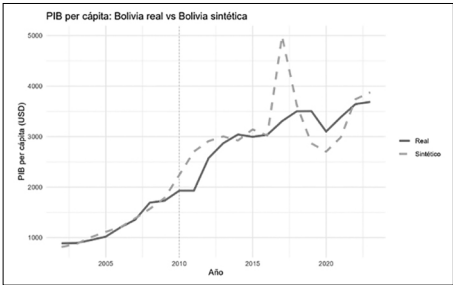
País	Peso Asignado	Justificación del Peso
Zimbabwe	0,85719	Podría ser un reflejo de la alta dependencia de las <i>commodities</i> y la inestabilidad económica pre-2010, común a la trayectoria histórica de Bolivia.
Argentina	0,14277	Podría ser un reflejo de la similitud regional y la proximidad en el desarrollo inicial de recursos evaporíticos.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del modelo SCM con base en datos de World Bank, FRED, USGS, INE Bolivia y otros organismos oficiales.

Brecha Macroeconómica Post-2010

A partir de 2010, la trayectoria real de Bolivia diverge significativamente de la trayectoria del país sintético, que representa el crecimiento potencial que se habría alcanzado con una política de explotación eficiente.

Gráfico 1. Comparación entre el PIB per cápita real y el PIB per cápita sintético de Bolivia (2002–2023)



Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones del modelo de Control Sintético. Datos obtenidos de World Bank, INE Bolivia, FRED, USGS, Eurostat y otras fuentes oficiales.

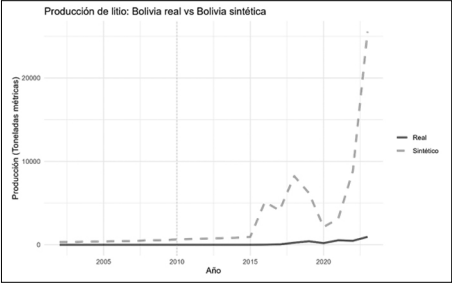
La diferencia acumulada en el PIB per cápita para el periodo 2010–2023 es de 2.222,05 USD por persona. Este resultado es la manifestación macroeconómica directa del costo de la inacción y la rigidez institucional en el sector estratégico del litio.

4.3. Estimación de Pérdidas Sectoriales (SCM y Simulación)

Producción de Litio (TM de LCE)

El SCM para la producción de litio, con un alto peso de Zimbabwe (96,091%), mostró una divergencia aún más acentuada que la variable macroeconómica. La brecha acumulada de producción entre 2010 y 2023 se estima en -65.120,19 toneladas métricas de LCE.

Gráfico 2. Producción de litio: Bolivia real vs Bolivia sintética (2002–2023)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank, USGS, INE Bolivia, Eurostat y otras fuentes oficiales.

Cuantificación de Pérdidas de Ingresos

Utilizando la producción sintética estimada y los precios históricos del litio, se realizó una simulación para cuantificar la pérdida económica total. La pérdida se calcula como la diferencia entre el ingreso neto simulado y el ingreso neto real observado para cada año y escenario.

Tabla 3. Pérdidas económicas acumuladas por la no explotación del litio en Bolivia (2010–2023) bajo distintos escenarios

Escenario de Capacidad Potencial No Explotada	Pérdida Económica Total Acumulada (USD)	Porcentaje de la Pérdida Acumulada respecto al PIB de Bolivia en 2023
25%	235.475.213,90	0,52
50%	545.223.604,80	1,21
75%	854.971.995,70	1,89
100%	1.164.720.387,00	2,58

Fuente: Elaboración propia con base en datos de World Bank, FRED, USGS, Bolsa de Rosario, Eurostat, INE Bolivia y otras fuentes oficiales y portales económicos.

La pérdida de ingresos supera los 1.160 millones de dólares en el escenario de explotación plena, lo que equivale a 2,58% del PIB de Bolivia de 2023.

Empleo en el Sector Litio

La brecha en el empleo acumulada para el periodo 2010–2023 es de -13.102 empleos (empleo-años). Esta pérdida refleja el fracaso del modelo en generar empleo formal especializado, una oportunidad crucial para regiones con alta dependencia de la minería como Potosí.

4.4. Pruebas de Robustez y Análisis de Sensibilidad

La solidez de los resultados del SCM se refuerza mediante el análisis de sensibilidad (excluyendo países dominantes) y el modelo DID.

Análisis de Sensibilidad del SCM

Se realizaron pruebas excluyendo a los países con mayor peso en la construcción de la Bolivia Sintética (Zimbabue para PIB y Producción; Argentina para Empleo).

- **Exclusión de Zimbabue (PIB per Cápita):** Al excluir a Zimbabue, Argentina asume el 100% del peso. El MSPE aumenta, pero la gráfica de la brecha sigue mostrando una tendencia negativa significativa, lo que confirma que la conclusión no depende de un único donante.
- **Exclusión de Argentina (Empleo):** Al excluir a Argentina, el modelo pierde capacidad predictiva, lo que subraya el rol clave de Argentina como el par estructuralmente más comparable a Bolivia en términos de dinámica de empleo minero.

Modelo de Diferencias en Diferencias (DID)

El DID, comparando a Bolivia (tratado) con Argentina (control), valida los hallazgos del SCM. Los resultados confirman el efecto diferencial de la política.

**Tabla 4. Estimaciones del efecto diferencial de políticas sobre el sector del litio:
Resultados del modelo DID Bolivia vs Argentina**

Variable	Estimación	Error Estándar	Valor-p	Límite Inferior (LI)	Límite Superior (LS)
PIB per cápita (USD)	-4.735,78	815,97	1,12E-05	-6.335,09	-3.136,47
Producción de litio (TM)	-17.752,11	4.912,09	0,001731262	-27.379,80	-8.124,41
Empleo en litio (personas)	-1.114,04	322,72	0,002519603	-1.746,56	-481,51

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos econométricos realizados en R, utilizando datos de World Bank, USGS, FRED, INE Bolivia y otras fuentes oficiales.

Todos los coeficientes son negativos y altamente significativos ($p < 0,01$). Esto significa que, después de 2010, el desempeño de Bolivia en las tres dimensiones fue estadísticamente peor que el de Argentina, un país con recursos geológicos similares pero que adoptó un modelo de gobernanza más flexible. Esto cierra el argumento de que el fracaso no fue un accidente, sino una consecuencia de la elección de la política.

5. Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Discusión: Del Costo de Oportunidad a la Rigidez Institucional

La evidencia econométrica presentada, que demuestra una brecha acumulada de -2.222 USD per cápita y una pérdida de ingresos potencial superior a \$1.160 millones de dólares, establece el costo de oportunidad del Modelo Estatal Exclusivo en Bolivia durante 2010–2023. La convergencia de los resultados del SCM (construcción del contrafactual) y el DID (prueba de causalidad diferencial) indica que esta pérdida no es un accidente o una falla geológica, sino una consecuencia directa y significativa de la elección institucional.

5.1.1. El Desajuste entre Política y Tecnología

El argumento central de esta discusión es que el Modelo Estatal Exclusivo, consagrado en el marco normativo desde 2010, generó un desajuste fundamental con los requerimientos tecnológicos del Salar de Uyuni. La política boliviana de retener el 100% de la cadena de valor ignoró dos realidades críticas del recurso:

- i. **Complejidad Geoquímica:** El alto contenido de Magnesio (Mg) y la baja concentración de litio en la salmuera boliviana hacen ineficaces y antieconómicos los métodos de evaporación convencionales utilizados históricamente en Chile. La literatura técnica y los expertos (Zamora Echenique, 2025) coinciden en que la única vía viable y eficiente es la Extracción Directa de Litio (DLE).
- ii. **Barrera Tecnológica y Financiera:** La tecnología DLE no estaba, ni está aun completamente, industrializada a escala comercial por una sola nación. La exclusión de la Inversión Extranjera Directa (IED) y la restricción a *joint ventures* minoritarias limitó severamente la capacidad del Estado boliviano para: a) validar tecnologías DLE a escala; b) absorber el riesgo de inversión asociado a esta tecnología pionera; y c) garantizar la transferencia de *know-how* industrial crítico.

Como lo expresó el Ing. Epifanio Mamani (Mamani Alizares, 2025) en 18 años de política estatal, "no tenemos ningún fruto para poder estar en el contexto de la producción de litio" porque el modelo "no era adecuado para el país". El costo de oportunidad, por lo tanto, es el precio de haber antepuesto el concepto de soberanía absoluta a la eficiencia y la viabilidad técnica en un mercado global altamente competitivo.

5.1.2. Implicaciones de la Robustez (DID)

El hecho de que el modelo DID (Tabla 4.) arroje un coeficiente negativo y significativo al comparar Bolivia con Argentina es particularmente contundente. Argentina, al adoptar un modelo de concesión y alianzas estratégicas, logró sortear la barrera tecnológica y escalar su producción, evitando la brecha de - 4.735 USD per cápita observada en el *shock* diferencial con Bolivia. Este hallazgo refuerza la conclusión de que la causa de la pérdida económica es endógena (institucional), y no exógena (precio internacional o *shock* regional).

5.2. Conclusiones

Las conclusiones de esta investigación se basan en la inferencia causal robusta de los modelos SCM y DID, y en la evidencia técnica proveniente de entrevistas especializadas.

- i. **Confirmación del Alto Costo Institucional:** El Modelo Estatal Exclusivo generó un costo de oportunidad estimado en 1.164 millones de dólares en ingresos no percibidos y una pérdida de 2.222 USD en PIB per cápita potencial. La rigidez de la Ley 372 y del Artículo 298 de la CPE se identifican como los principales factores causales que impidieron la atracción de inversión, la incorporación tecnológica y el

escalamiento productivo durante el periodo 2010–2023.

- ii. **Fallo en la Captura y Redistribución de la Renta:** El estudio demuestra el fracaso de la política en su objetivo de asegurar la captura de la renta por parte del Estado. Al no alcanzar una producción comercial sostenible (solo 132,64 TM de media anual), Bolivia perdió la oportunidad de generar ingresos fiscales significativos durante el super ciclo de precios del litio (2021–2022). Además, la falta de una estrategia clara para la redistribución de la renta minera impidió canalizar los excedentes hacia sectores sostenibles como el turismo, la innovación tecnológica o las industrias verdes, que podrían haber contribuido a diversificar la economía y reducir la dependencia extractiva.
- iii. **La Urgencia de la Ventana de Oportunidad:** La ventana de oportunidad para el litio boliviano es temporal. El avance de tecnologías alternativas de almacenamiento (como las baterías de sodio-ion) y la expansión de nuevos proyectos en países competidores (como los salares de Maricunga, Chile) incrementan el riesgo de pérdida de competitividad. La demora institucional podría tornar obsoleta la ventaja geológica de Uyuni en el mediano plazo, profundizando el costo de oportunidad.

5.3. Recomendaciones de Política

Para mitigar el costo de oportunidad futuro y capitalizar el recurso antes del cierre de la ventana de demanda, se proponen las siguientes líneas de acción estratégicas:

- i. **Reforma Regulatoria y Gobernanza Participativa:** El Estado debe reformar el marco normativo (Ley 535 y legislación del litio) para permitir un Modelo Híbrido de gestión, donde la Inversión Extranjera Directa (IED) pueda operar bajo esquemas

de concesión o *joint ventures* con participación privada mayoritaria, garantizando al mismo tiempo regalías justas y control público. Asimismo, la nueva gobernanza del litio debe promover mecanismos de participación efectiva de los actores locales, gobiernos subnacionales, comunidades, universidades y sociedad civil, en la planificación y fiscalización de los proyectos, asegurando transparencia, equidad en la distribución de beneficios y responsabilidad socioambiental.

ii. Para fortalecer la confianza institucional, se recomienda integrar a Bolivia en la Iniciativa para la Transparencia en las Industrias Extractivas (EITI) u otros marcos internacionales similares, que promueven la publicación abierta de contratos, ingresos, regalías y flujos financieros del sector. Esta adhesión permitiría aumentar la credibilidad ante inversionistas y organismos multilaterales, garantizando el uso eficiente y transparente de los recursos generados por el litio.

iii. **Priorización de la Tecnología DLE a Gran Escala:** Se deben impulsar alianzas estratégicas para la validación inmediata y a gran escala de tecnologías de Extracción Directa de Litio (DLE), enfocando los esfuerzos en la superación de la barrera Mg/Li. El Estado debe pasar de ser productor a regulador, fiscalizador y socio estratégico, priorizando la eficiencia tecnológica y ambiental.

iv. **Atracción de Inversiones a lo Largo de la Cadena de Valor:** La estrategia de industrialización debe evolucionar hacia un modelo integral que promueva la participación de capitales nacionales y extranjeros en todas las fases de la cadena de valor del litio: desde la extracción y refinación hasta la fabricación de materiales catódicos, baterías y aplicaciones tecnológicas. Se requiere un entorno regulatorio y de

inversión que incentive la transferencia tecnológica, el empleo especializado y el desarrollo de capacidades locales, fomentando alianzas público-privadas en investigación, manufactura e innovación.

v. **Reinversión Estratégica y Diversificación Económica:** Los ingresos derivados del litio deben administrarse mediante mecanismo de inversión pública transparente, orientado a financiar proyectos sostenibles de alto impacto, como el turismo sostenible, la transición energética, la agroindustria sostenible, el emprendimiento tecnológico y la innovación ambiental. De esta manera, la renta del litio impulsará el crecimiento económico de base ancha, servirá como palanca para diversificar la matriz productiva, generar empleo de calidad y fortalecer la resiliencia económica del país en el largo plazo.

6. Bibliografía

- Abadie, A. (2005). Semiparametric Difference-in-Differences Estimators. *The Review of Economic Studies*, 72, 1–19. doi:<https://doi.org/10.1111/0034-6527.00321>
- Abadie, A., & Gardeazabal, J. (2003). The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country. *American Economic Review*, 93(1), 113–132. doi:<https://doi.org/10.1257/00028280321455188>
- Mamani Alizares, E. (17 de mayo de 2025). *Análisis y desafíos de los recursos evaporíticos en el triángulo del litio*. Obtenido de Cumbre Energética Bolivia 2025: <https://www.facebook.com/share/v/1XJT5iiGWE/>
- Parada Salomon, N. (2025). *Estimación de las pérdidas económicas de Bolivia por la no explotación del litio*. Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra (UPSA), Facultad de Ciencias Empresariales. Santa Cruz de la Sierra:

Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra (UPSA).

Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). Natural Resources and Economic Development. *European Economic Review*, 12. Obtenido de Natural resources and economic development: The curse of natural resources: <https://www.earth.columbia.edu/sitefiles/file/about/director/pubs/EuroEconReview2001.pdf>

USGS. (2024). *Mineral Commodity Summaries 2024*. Obtenido de <https://>

pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-lithium.pdf

Wooldridge, J. (2012). *Introductory Econometrics* (6 ed.). Estados Unidos .

Zamora Echenique, G. (17 de Mayo de 2025). *Análisis de la situación actual y proyecciones de la explotación de Recursos Evaporíticos en Bolivia mediante DLE*. Obtenido de Cumbre Energética Bolivia 2025: <https://www.facebook.com/share/v/1XjT5iiGWE/>