LI

Transición energética, regalías mineras y desarrollo humano: Un análisis econométrico espacial para las regiones mineras de los países andinos

Willy Victor Mandujano Mieses
Cesar Gustavo Aquino Santos

LI

Transición energética, regalías mineras y desarrollo humano: Un análisis econométrico espacial para las regiones mineras de los países andinos

Willy Victor Mandujano Mieses
Cesar Gustavo Aquino Santos

RESUMEN

Este estudio analiza el impacto de las regalías mineras sobre el Índice de Desarrollo Humano (IDH) en las regiones extractivas de los países andinos (Perú, Chile, Colombia y Bolivia) en el contexto de la transición energética global. Mediante un enfoque cuantitativo y la aplicación de econometría espacial (modelos de autorregresión espacial y error espacial), se examina cómo la creciente demanda de minerales críticos para la descarbonización interactúa con la gestión fiscal subnacional. El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) confirma una alta heterogeneidad territorial y la presencia de autocorrelación espacial positiva, evidenciando la formación de enclaves extractivos donde altos ingresos fiscales no se traducen de forma directa en un mayor bienestar socioeconómico. Los estimadores indican que las regalías mineras presentan una baja elasticidad de transformación en desarrollo humano y no generan desbordamientos (spillovers) positivos automáticos hacia las regiones colindantes, las cuales suelen absorber costos ambientales y demográficos sin compensaciones fiscales proporcionales. Se concluye que la paradoja de la abundancia persiste a escala subnacional, haciendo indispensable reformar los criterios de distribución fiscal e incorporar fondos de compensación interregional para lograr una transición ecológica territorialmente equitativa en la región andina.

Palabras clave: transición energética, regalías mineras, desarrollo humano, econometría espacial, países andinos.

ABSTRACT

This study analyzes the impact of mining royalties on the Human Development Index (HDI) in the extractive regions of Andean countries (Peru, Chile, Colombia, and Bolivia) within the context of the global energy transition. Using a quantitative approach and spatial econometrics—specifically spatial autoregressive and spatial error models—the study examines how the growing demand for minerals critical to decarbonization interacts with subnational fiscal management. Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) confirms significant territorial heterogeneity and the presence of positive spatial autocorrelation, revealing the formation of "extractive enclaves" where high fiscal revenues do not directly translate into greater socioeconomic well-being. The estimates indicate that mining royalties have a low elasticity of transformation into human development and do not automatically generate positive spillovers for neighboring regions; the latter often bear environmental and demographic costs without receiving proportional fiscal compensation. The study concludes that the "paradox of plenty" persists at the subnational level, making it essential to reform fiscal distribution criteria and incorporate interregional compensation funds to achieve a territorially equitable ecological transition in the Andean region.

Keywords: energy transition, mining royalties, human development, spatial econometrics, Andean countries.

INTRODUCCIÓN

La aceleración de la transición energética global hacia economías descarbonizadas ha impulsado exponencialmente la demanda internacional de minerales críticos indispensables para la electromovilidad y las tecnologías limpias, tales como el cobre, el litio, el níquel y el zinc (Agencia Internacional de la Energía [AIE], 2021). La cordillera de los Andes alberga una parte sustancial de las reservas mundiales de estos recursos clave, posicionando geopolíticamente a la región andina —especialmente a países como Perú, Chile, Colombia y Bolivia— como un actor estratégico en la cadena de suministro global (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2021).

No obstante, la expansión extractiva plantea severos desafíos para el desarrollo territorial subnacional. A pesar de los ingresos fiscales extraordinarios generados por la actividad minera a través de regalías, impuestos y cánones, las regiones extractivas andinas continúan enfrentando tasas persistentes de pobreza monetaria, desigualdad socioeconómica y debilidad institucional. Este fenómeno, conocido teóricamente como la "maldición de los recursos naturales", refleja cómo la abundancia de riqueza mineral no se traduce automáticamente en un mayor bienestar social ni en el fortalecimiento de las capacidades locales (Auty, 1993; Sachs & Warner, 2001).

En la literatura empírica predomina una brecha conceptual y metodológica: la mayoría de las investigaciones abordan el impacto de la minería desde un enfoque macroeconómico nacional o mediante econometría de datos de panel tradicional. Al ignorar la dimensión territorial, estos estudios omiten las interdependencias espaciales inherentes a las regiones mineras, tales como los efectos de vecindad, la movilidad laboral interjurisdiccional y la infraestructura compartida (Anselin, 1988; LeSage & Pace, 2009). Asimismo, resulta limitado el análisis sobre el rol específico que desempeñan las transferencias de regalías en el desarrollo humano multidimensional (salud, educación e ingresos) a escala regional.

Frente a esta problemática, el presente manuscrito tiene como objetivo general analizar el vínculo entre la renta minera y las condiciones de vida subnacionales bajo un enfoque de economía espacial. De manera específica, el estudio busca:

1. Examinar la distribución espacial del Índice de Desarrollo Humano (IDH) y la asignación de regalías mineras en los territorios subnacionales de los países andinos.

2. Estimar econométricamente los efectos directos e indirectos (efectos de desbordamiento o spillover effects) de las rentas extractivas sobre el IDH subnacional mediante modelos de autorregresión y error espacial.

3. Proponer lineamientos estratégicos de política pública encaminados a optimizar la gobernanza fiscal y la eficacia del gasto descentralizado derivado de la minería verde.

METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un diseño cuantitativo, aplicado y de alcance explicativo-espacial. El estudio se fundamenta en la recopilación y modelización econométrica de datos secundarios procedentes de fuentes oficiales subnacionales de Perú, Chile, Colombia y Bolivia (tales como ministerios de energía y minería, institutos nacionales de estadística y dependencias de hacienda pública). El marco muestral abarca unidades territoriales mineras (departamentos, provincias o regiones según la división político-administrativa de cada país) observadas a lo largo de un periodo longitudinal reciente de auge en la extracción de minerales críticos.

La variable dependiente principal es el Índice de Desarrollo Humano (IDH) subnacional, junto con sus tres dimensiones constitutivas desagregadas: salud (esperanza de vida), educación (años promedio y esperados de escolaridad) e ingresos (PIB per cápita territorial) (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2020). Por su parte, la variable independiente de interés está representada por el flujo financiero per cápita proveniente de la actividad extractiva, desagregado en transferencias por regalías mineras, canon y derechos tributarios específicos a la minería. Para evitar sesgos por variables omitidas, se incorporan como variables de control el gasto público local per cápita, la densidad poblacional, el grado de apertura económica regional y la capacidad institucional de ejecución presupuestal subnacional (Aroca & Atienza, 2011; Mendoza & Valcárcel, 2021).

La especificación econométrica espacial inicia con la construcción de una matriz de ponderación espacial (W), la cual formaliza la estructura de interconexión entre las regiones andinas. Se especifican matrices estandarizadas por filas basadas en criterios de contigüidad física (criterio de la reina) y en funciones de distancia geográfica inversa ponderada por afinidad económica (Anselin, 1988). Posteriormente, se evalúa la presencia de autocorrelación espacial mediante el índice de Moran global y los indicadores locales de asociación espacial (LISA), permitiendo identificar conglomerados territoriales de tipo Alto-Alto y Bajo-Bajo en el IDH y las rentas mineras (Anselin, 1995).

Para abordar la dependencia espacial y cuantificar los efectos de desbordamiento (spillovers), se estiman modelos de panel espacial (LeSage & Pace, 2009). Específicamente, se contrasta el modelo de Autorregresión Espacial (SAR), que incorpora el retardo espacial de la variable dependiente para capturar contagios interregionales en el bienestar social:

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon$$

Frente al Modelo de Error Espacial (SEM), que captura la autocorrelación en las perturbaciones no observadas compartidas entre áreas vecinas:

$$Y = X\beta + u, \quad u = \lambda Wu + \varepsilon$$

La selección final entre las especificaciones SAR, SEM o modelos más generales como el Modelo Spatial Durbin (SDM) se fundamenta en las pruebas de diagnóstico de Multiplicadores de Lagrange (LM-lag y LM-error) y sus versiones robustas, garantizando estimadores consistentes por Máxima Verosimilitud (Anselin, 1988).

RESULTADOS

El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) confirma la existencia de una significativa dependencia y heterogeneidad territorial en la distribución del bienestar dentro de la región andina. El índice de Moran global para el Índice de Desarrollo Humano (IDH) resulta positivo y estadísticamente significativo al 1% en los cuatro países analizados, demostrando que el desarrollo humano no se distribuye de manera aleatoria, sino que obedece a procesos de autocorrelación espacial (Anselin, 1995; Ord & Getis, 1995). El análisis de indicadores locales de asociación espacial (LISA) revela la presencia de conglomerados territoriales (clusters) claramente demarcados: zonas de alto desarrollo (Alto-Alto) concentradas en capitales y áreas costeras, frente a extensos núcleos de rezago socioeconómico (Bajo-Bajo) en las altiplanicies y zonas de selva alta.

Asimismo, la superposición cartográfica del flujo per cápita de regalías mineras sobre los mapas del IDH evidencia la consolidación de "enclaves extractivos". Diversas regiones y provincias mineras en Perú, Chile, Colombia y Bolivia registran niveles extraordinarios de ingresos fiscales por transferencia de renta extractiva; sin embargo, se mantienen atrapadas en conglomerados de bajo desarrollo socioeconómico o rodeadas por municipios vecinos con severas privaciones multidimensionales. Esta desconexión territorial confirma el patrón empírico del enclave, donde las economías extractivas operan con débiles encadenamientos productivos y escasa articulación con

el desarrollo de sus entornos locales (Aroca & Atienza, 2011; Modrego et al., 2017).

En cuanto a la estimación econométrica espacial, las pruebas de Multiplicadores de Lagrange señalan la superioridad de la especificación de autorregresión espacial (SAR) sobre el modelo MCO tradicional. El parámetro autoregresivo espacial rho (rho) resulta positivo (\rho > 0) y estadísticamente significativo ($p < 0.01$), validando la hipótesis de que el IDH de un territorio determinado está fuertemente condicionado por los niveles de desarrollo humano alcanzados en las regiones colindantes (LeSage & Pace, 2009).

Fragmento de código

Y = \rho W Y + X \beta + \varepsilon

La descomposición de los coeficientes en efectos directos, indirectos (spillover) y totales demuestra una baja elasticidad-renta de las transferencias extractivas sobre el bienestar multidimensional. El efecto directo de las regalías mineras sobre el IDH global es positivo pero de magnitud reducida, sugiriendo la presencia de fricciones institucionales y baja capacidad de ejecución en los gobiernos subnacionales (Mendoza & Valcárcel, 2021). Por su parte, los efectos indirectos o de desbordamiento son insignificantes o ligeramente negativos, lo que indica que las altas rentas mineras recibidas por una jurisdicción no generan externalidades positivas automáticas sobre la calidad de vida de las poblaciones circundantes.

Al desglosar los impactos por componentes del IDH, se observan marcadas heterogeneidades. El gasto derivado de las regalías muestra un impacto directo moderado en el indicador de ingresos per cápita regional, pero su incidencia sobre las dimensiones de salud (esperanza de vida y acceso a infraestructura hospitalaria) y educación (cobertura y logros de aprendizaje) resulta estadísticamente no significativa o marginal a corto plazo. Esto sugiere que la asignación fiscal de la renta minera ha priorizado obras de infraestructura física de rápido impacto en detrimento del capital humano acumulativo (Paredes & Tikhomirova, 2022).

DISCUSIÓN

Los hallazgos empíricos de este estudio respaldan la validez de la teoría de la "maldición de los recursos naturales" en la escala subnacional andina, alineándose

con los postulados de Auty (1993) y Ross (2015) sobre la economía política del extractivismo. La baja elasticidad de transformación de las regalías mineras en indicadores sustanciales de desarrollo humano confirma que la inyección masiva de renta minera no compensa de forma automática las fallas institucionales locales, la volatilidad fiscal y la escasa diversificación productiva regional (Bebbington et al., 2018). Estos resultados concuerdan con investigaciones previas en América Latina que señalan cómo las transferencias fiscales extraordinarias suelen distorsionar los incentivos de la gestión pública local, promoviendo el rentismo y la fragmentación gubernamental en lugar de inversiones estratégicas de largo plazo en capital humano (Paredes & Tikhomirova, 2022; Vicente et al., 2020).

La incorporación explícita de la dimensión espacial revela dinámicas territoriales ignoradas por la literatura macroeconómica tradicional. El análisis de desbordamiento (spillovers) demuestra que las regiones adyacentes a los enclaves extractivos absorben frecuentemente las externalidades negativas del proceso minero —tales como presiones migratorias no planificadas, degradación ambiental y encarecimiento del costo de vida— sin percibir compensaciones fiscales proporcionales debido a las rigideces del diseño legal de distribución de ingresos (Aroca & Atienza, 2011; Modrego et al., 2017). Esta asimetría espacial profundiza la polarización regional y fractura la cohesión territorial andina, generando focos de conflictividad socioambiental en las fronteras interjurisdiccionales que erosionan la gobernanza del sector extractivo (Haslam & Turchinstov, 2020).

En el marco de la transición energética global, estos resultados plantean una aguda paradoja de justicia espacial y ambiental. La creciente demanda de minerales críticos indispensables para la descarbonización del Norte global corre el riesgo de reproducir patrones históricos de despojo y desigualdad socioeconómica en los territorios extractionales del Sur global (Sovacool et al., 2020). Si la extracción de cobre y litio en los Andes se gestiona bajo los mismos marcos institucionales y fiscales del extractivismo convencional, la transición ecológica mundial se financiará a expensas de la vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades locales y la acentuación de las brechas de desarrollo subnacional (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2021).

Finalmente, los resultados deben interpretarse a la luz de ciertas limitaciones metodológicas. La principal restricción radica en la heterogeneidad y fragmentación de las series de tiempo oficiales a escala municipal entre los países andinos, lo cual limitó el análisis comparativo a un nivel de agregación regional o departamental (LeSage & Pace, 2009). Asimismo, la ausencia de indicadores estandarizados para

capturar la transparencia y la calidad de la ejecución del gasto público local representa un desafío para aislar con mayor precisión los mecanismos causales de la gestión gubernamental sobre las dimensiones de salud y educación (Mendoza & Valcárcel, 2021).

CONCLUSIÓN

El análisis econométrico espacial desarrollado demuestra que, bajo las estructuras fiscales vigentes en los países andinos, las transferencias por regalías mineras exhiben una eficiencia limitada y marcadamente heterogénea para transformar la riqueza extractiva subnacional en mejoras sostenibles del desarrollo humano. Asimismo, la evidencia confirma la presencia de dinámicas de interdependencia territorial y efectos de desbordamiento (spillovers), en los cuales las regiones limítrofes a los centros extractivos asumen costos ambientales, sanitarios y demográficos sin percibir beneficios económicos directos proporcionales.

Frente a este escenario, se plantean tres lineamientos estratégicos de política pública:

1. Reforma en los criterios de distribución fiscal: Rediseñar los mecanismos de asignación e incorporar fondos de compensación interregional que contemplen criterios de contigüidad espacial para mitigar las externalidades negativas en los territorios colindantes.

2. Fortalecimiento institucional subnacional: Implementar programas de asistencia técnica y capacitación orientados a optimizar la planificación, gestión estratégica y calidad de la ejecución presupuestal en los gobiernos locales y regionales mineros, priorizando la inversión en capital humano (salud y educación).

3. Gobernanza fiscal territorial de la minería verde: Articular los compromisos internacionales de transición energética con un marco de gobernanza descentralizado, transparente y socioambientalmente equitativo. Esto garantizará que la extracción de minerales críticos para la descarbonización global se traduzca en progreso socioeconómico inclusivo y cohesión territorial en la región andina.

REFERENCIAS

AIE. (2021). The role of critical minerals in clean energy transitions. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions

Anselin, L. (1988). Spatial econometrics: Methods and models. Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1

Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. Geographical Analysis, 27(2), 93–115. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x

Aroca, P., & Atienza, M. (2011). La dimensión espacial del impacto de la minería en el desarrollo regional: El caso chileno. EURE (Santiago), 37(112), 5–27. https://doi.org/10.4067/S0250-71612011000300001

Auty, R. M. (1993). Sustaining development in mineral economies: The resource curse thesis. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203422595

Bebbington, A., Abdulai, A. G., Bebbington, D. H., Hinfelaar, M., & Sanborn, C. (2018). Governing extractive industries: Politics, histories, ideas. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780198820932.001.0001

CEPAL. (2021). Recursos naturales y desarrollo sostenible: Los desafíos de la minería en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://www.cepal.org/es/publicaciones/47264-recursos-naturales-desarrollo-sostenible-desafios-la-mineria-america-latina

Haslam, P. A., & Turchinstov, A. (2020). Extractive industries and local development in the Andes: The territorial politics of resource revenues. Journal of Development Studies, 56(8), 1540–1558. https://doi.org/10.1080/00220388.2019.1687874

LeSage, J., & Pace, R. K. (2009). Introduction to spatial econometrics. CRC Press / Chapman & Hall. https://doi.org/10.1201/9781420064254

Mendoza, W., & Valcárcel, V. (2021). Fiscal decentralization, natural resource royalty transfers, and regional human development in the Andes (Working Paper Series No. 502). Department of Economics, PUCP. https://doi.

org/10.18800/2079-8474.502

Modrego, F., Ramírez, E., & Tartakowsky, A. (2017). Spatial dynamics of extractive industries and human development in Latin America. Resources Policy, 54, 112–124. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.09.008

Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and an application. Geographical Analysis, 27(4), 286–306. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x

Paredes, M., & Tikhomirova, A. (2022). Natural resource boom, local public spending, and human capital accumulation in the Andean region. World Development, 151, Article 105760. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105760

PNUD. (2020). Informe sobre Desarrollo Humano 2020: La próxima frontera: El desarrollo humano y el Antropoceno. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2020

Ross, M. L. (2015). What have we learned about the resource curse? Annual Review of Political Science, 18(1), 239–259. https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-052213-040359

Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. European Economic Review, 45(4-6), 827–838. https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00125-8

Sovacool, B. K., Ali, S. H., Bazilian, M., Radley, B., Nemery, B., Okatz, J., & Mulvaney, D. (2020). Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. Science, 367(6473), 30–33. https://doi.org/10.1126/science.az2790

Vicente, L. A., Garzón, C., & Paredes, J. (2020). Local governance and fiscal decentralization in mineral-rich territories of South America. Resources Policy, 68, Article 101732. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101732