

Contaminación ambiental y el comportamiento económico de Moquegua-Perú: Un análisis econométrico

Luis Francisco Laurente Blanco^{1*}

¹ Departamento de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Nacional de Moquegua, Perú.

* Autor para correspondencia: Luis Francisco Laurente Blanco, flarenteblanco@gmail.com

(Recibido: 10-11-2023. Publicado: 27-12-2023.)

DOI: 10.59427/rcli/2023/v23cs.3325-3334

Resumen

La principal actividad económica de la región Moquegua es la explotación minera. Esta actividad compone un porcentaje importante en las exportaciones del Perú. Sin embargo, se evidencia daños ambientales en la región producto de esta actividad que perjudica a la disponibilidad hídrica y a los pasivos ambientales. El objetivo del estudio fue verificar la relación entre el nivel de producción de minerales con las emisiones de CO₂. Para la estimación se utiliza modelos cuadráticos con estimación de mínimos cuadrados ordinarios (OLS). Los resultados muestran que la producción minera incrementa las emisiones de CO₂ en la región debido a la producción de cada producto minero. Luego, el cuidado del medio ambiente es necesario para garantizar el bienestar de las futuras generaciones, de no dar la atención oportuna se tendrá graves consecuencias para las futuras generaciones.

Palabras claves: Explotación minera, emisión de CO₂, deforestación, daños ambientales.

Abstract

The main economic activity of the Moquegua region is mining. This activity constitutes a significant percentage of Peru's exports. However, there is evidence of environmental damage in the region resulting from this activity, which is detrimental to water availability and environmental liabilities. The objective of the study was to verify the relationship between the level of mineral production and CO₂ emissions. For estimation, square models with estimation of ordinary squares are used (OLS). The results show that mining production increases CO₂ emissions in the region due to the production of each mining product. Then, environmental care is necessary to guarantee the well-being of future generations, if not given timely attention it will have serious consequences for future generation.

Keywords: Mining, CO₂ emission, deforestation, environmental damage.

1. Introducción

Moquegua es la región del Perú con mayor crecimiento en su PBI destacando por su actividad de explotación minera, de manufactura de procesos mineros y construcción. La región Moquegua cuenta con un total de 174,863 habitantes distribuidos en 3 provincias (Tabla 1). A pesar que el mayor porcentaje del PBI se encuentra en la región de Lima (capital del país), la región Moquegua tiene el mayor PBI per cápita del país (Figura 1) explicado por su producción minera y su reducida población. La región cuenta con importantes yacimientos de cobre y molibdeno y con una gran cantidad de reservas mineras. A finales de 2021 la inversión en minería en la región fue un total de US\$ 1,428 millones siendo la primera en el país y representando el 27 % del total nacional con un crecimiento de 1.3 % anual siendo la principal inversora la empresa Anglo Americana Quellaveco S.A. generando un total de 24.1 mil empleos formales y mejorando los ingresos familiares. Sin embargo, a pesar de la importancia que tiene la explotación minera en la economía de Moquegua, existe evidencias que en los últimos años la contaminación del medio ambiente en la región se ha visto afectada. Así uno de los casos es el río Tambo que debido a la contaminación por desechos mineros presenta un cambio en su coloración trayendo como consecuencia efectos en los cultivos agrícolas y en la salud de las personas que viven próximos. Otro problema que se viene registrando en Moquegua es la escases del agua para el consumo humano y la agricultura, debido que como es una región árida necesita del sistema de riego para los cultivos (BCRP, 2023).

Otro de los problemas que se va evidenciando es la contaminación ambiental en los ríos y el aire debido a los contaminantes por hidrocarburos que afectan a la biodiversidad. En la vulnerabilidad ambiental reporta un grado alto de la ocurrencia de inundaciones y deslizamientos relacionados a la contaminación de la cuenca y en épocas de avenidas una alta probabilidad de desbordamiento que pudiera afectar a las zonas próximas Nina & Román (2022). Asimismo, el puerto de Ilo (puerto marítimo del Pacífico Sur peruano) ubicado en la misma región se ha visto afectado debido al incremento de las exportaciones de productos provientes de la zona sur y de Bolivia. Las emisiones de contaminantes de los barcos son un potencial para contribuir a la degradación de la calidad del aire para los próximos años (Valeriano, 2021). El agua potable para consumo humano también se ve afectada por los constantes contaminantes que son vertidos en los ríos y fuentes hídricas. Al respecto el índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, Pérez (2017) utilizando el indicador ICA-NFC y con la medición de nueve parámetros indica que el río Moquegua presenta menor índice NFC posterior al vertimiento de aguas residuales, es decir que presenta una calidad de agua mala. Además señala que después de realizado el monitoreo, la calidad de agua supera los estándares con la categoría 3 en los parámetros: pH, coliformes termotolerantes, fosfatos y DBO5 por lo que es recomendable que la empresa prestadora de servicios en Moquegua realice monitoreos permanentes con la finalidad de mejorar los procesos y respetar los límites máximos en la calidad del agua. En la Tabla 2 se presenta un registro de los daños ambientales en la región entre 2015-2023.

Tabla 1: Superficie y población de la región Moquegua.

Provincia	Superficie (km2)	Población	%	Crecimiento promedio anual
Mariscal Nieto	8,672	85,349	48.8	1.6
General Sánchez Cerro	5,682	14,865	8.5	-5.0
Ilo	1,382	76,649	43.8	1.6
Total	15,734	174,863	100.0	0.8

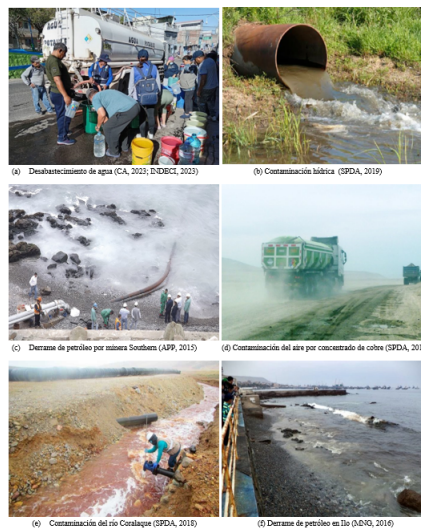


Figura 1: Imágenes de la contaminación ambiental en la región Moquegua.

Tabla 2: Registro de daños ambientales en la región Moquegua, 2015-2023.

Problema ambiental	Daño	Fecha	Fuente
Derrame de hidrocarburos al canal de Pasto Grande en distrito de Carumas.	Contaminación de las aguas del Canal de Pasto Grande del río Chilligua y a la planta de tratamiento de agua potable Chen Chen dejó sin abastecimiento de agua a la región. Se declaró en emergencia por 60 días a la provincia Mariscal Nieto dejando a 200 mil pobladores sin agua.	Mayo 2023	(CA, 2023; INDECI, 2023)
Contaminación hídrica	Contaminación de ríos por desechos mineros.	Junio 2021	(EBH, 2021)
Contaminación hídrica del río Osmore y Moquegua	Contaminación del río Osmore y Moquegua por causa de aguas residuales domésticas.	Mayo 2020	(ANA, 2020)
Contaminación hídrica	Declaran emergencia a los distritos: Chojata, Matalaque, Quinistaquillas, Coalaque, y Omate de la provincia de General Sánchez Cerro por contaminación hídrica. INDECI informó que la población de los distritos consumen sustancias tóxicas debido a la contaminación.	Diciembre 2019	(SPDA, 2019)
Contaminación del río Coralaeque	Efluentes ácidos provenientes del depósito de la minera Aruntani SAC hacia las quebradas de Margaritani y Apostoloni.	Abril 2018	(DSF,2017; SPDA, 2018)
Contaminación del aire por concentrado de cobre en Ilo	Transporte de concentrado de cobre hacia la fundición de Ilo de la minera Southern Perú contamina a la población por no contar con medidas de manejo ambiental.	Diciembre 2017	(SPDA, 2017)
Derrame de hidrocarburos en la playa de Ilo	Derrame causó la muerte de especies marinas; 1,500 pescadores paralizaron sus actividades; alimentación a 70,000 personas.	Agosto 2016	(MING, 2016)
Derrame de petróleo en el mar de Punta Tablonas de Ilo	Derrame de más de 100 galones de Diesel D2 por minera Southern Perú. Causó la muerte de especies marinas y pescadores artesanales suspendieron su trabajo.	Agosto 2015	(APP, 2015)

Respecto a investigaciones de daños ambientales, en la actualidad existen diversas técnicas que permiten estimar el comportamiento de los daños ambientales y su relación con el comportamiento de la economía. Una técnica es el avance de Kuznets (1955) que estima las relaciones del crecimiento del producto con el daño ambiental bajo la hipótesis de una forma de U-invertida. El trabajo Wang et al. (2015) estudia la curva de Kuznets para China confirmando una relación en forma de U invertida. Además demostró la posibilidad que economías con bajos ingresos mejoran la calidad ambiental sin empobrecerse (Panayotou, 2003; Stern, 2004). Akbostanci et al. (2009) estudian la relación del ingreso y la calidad del medio ambiente en Turquía. En primer lugar analiza la relación entre las emisiones de CO₂ y el ingreso per cápita mediante las técnicas de cointegración; y en segundo lugar, examina la relación entre el ingreso per cápita y la contaminación del aire usando PM10 y SO₂ mediante estimación de datos de panel por provincias. En sus resultados señala la existencia de una relación creciente entre las emisiones de CO₂ y el ingreso en el largo plazo; y para el caso de la estimación de datos de panel, los datos muestran una relación en forma de N para las emisiones de SO₂ y PM10. Luego, de ambas estimaciones no existe evidencia de la hipótesis de la curva de Kuznets que es una relación de U invertida entre las variables de degradación ambiental e ingreso para ese país. Castiglione et al. (2015) estudia las relaciones de largo plazo entre la contaminación, crecimiento económico e institución. Señala que para mejorar el desarrollo sostenible, los formuladores de políticas deben asignar recursos para monitorear el cumplimiento de las leyes ambientales en una región. Jayasooriya (2020) estudia el crecimiento económico de países asiáticos y las variables que la afectan, el mercado financiero y el efecto de la innovación en el crecimiento. Reporta que la inversión no ha contribuido al crecimiento económico mientras que las variables de reducción de costos de contaminación y capital humano afectan significativamente en el crecimiento de CO₂ per cápita. Korchagina & Korchagin (2019) estudian el crecimiento económico regional con innovación de ecosistemas para el desarrollo sostenible. Analizan teorías de crecimiento aplicados para Rusia encontrando que los modelos exógenos y endógenos de crecimiento son similares a nivel regional. Además, evalúan el impacto de la innovación de ecosistemas como determinante del crecimiento en la región. Halkos & Psarianos (2015) incluye la variable ambiental en el modelo de crecimiento neoclásico usando la teoría de control óptimo para desarrollo del crecimiento económico. Presenta dos aplicaciones: en la primera utiliza las variables del modelo de crecimiento y en la segunda añade las variables de contaminación y gasto de disminución de contaminantes en el modelo de crecimiento.

Sus resultados señalan que la evolución empieza de una producción agrícola limpia y finaliza en actividades industriales que contaminan, es así que la regulación en emisiones es necesaria y que se debe incentivar políticas que reduzcan el daño ambiental ya que en el futuro, el cambio climático generará que los efectos económicos sean próximos al 5% del PBI para aquellos países que no implementan medidas y de un valor de 1% para aquellos que incorporan medidas de mitigación. Dado los puntos señalados, el objetivo del presente estudio es verificar la relación entre el nivel de producción minera con los daños ambientales representados por las emisiones de CO₂. Esta aproximación corresponde a una adaptación de la curva de Kuznetz considerando el crecimiento de la producción con los daños ambientales en Moquegua. Para el análisis de estimación se utiliza modelos cuadráticos con estimación de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) para cada producto minero de la región. El documento se organiza de la forma siguiente: después de la introducción, la segunda sección proporciona información de los datos y la descripción de la metodología econométrica propuesta, la tercer sección incluye resultados empíricos, y las dos últimas secciones discuten los resultados más importantes del presente estudio.

2. Metodología

Los materiales y métodos consisten de la información estadística recopilada, la especificación del modelo para la estimación de los daños ambientales.

2.1. Datos

El análisis corresponde a series temporales de los daños ambientales producto de la actividad minera en la región de Moquegua. La información es de frecuencia mensual y analizada en el período 2000 a 2022. Para la producción minera se considera los minerales de explotación más representativos en la región. Se obtuvo la producción de cobre en toneladas métricas finas (tm.f), la producción de molibdeno en toneladas métricas finas (tm.f), la producción de oro en gramos finos (gr.f) y la producción de plata en gramos finos (gr.f). Esta información fue obtenida de la base de datos regional del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2022) y es de acceso libre. Para la variable deforestación se utilizó la información de pérdida de bosques por hectáreas (ha) del período de estudio del Instituto Nacional de Estadística del Perú (INEI, 2022) y del Ministerio del Ambiente (MINAM). Para las emisiones de CO2 se utilizó información de OWD (2023) que presenta las emisiones para todos los países a nivel global y per cápita. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete E-views® 9. Se realizó la limpieza de la información quitando los valores atípicos, asimismo para una mejor estimación se transformaron los datos a escala logarítmica.

2.2. Metodología y especificación empírica

Método de mínimos cuadrados

El análisis de regresión lineal múltiple es el método estadístico para investigar relaciones entre variables. Para la realización de la estimación debe cumplirse los supuestos: (a) homocedasticidad de la varianza de los errores, (b) variables explicativas ortogonales a los residuos, y (c) los errores no deben guardar una relación entre sí. La regresión lineal múltiple asume que la variable de respuesta es una función lineal de los parámetros del modelo y allí son más que una variable independiente en el modelo. La forma general del modelo de regresión lineal múltiple es:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i, \quad i = 1, \dots, n \tag{1}$$

donde y_i es la variable dependiente, x_{1i}, \dots, x_{ki} son las variables independientes, β_0, \dots, β_k son los coeficientes de regresión y ϵ_i es el error estocástico.

Para diversos propósitos, incluyendo el cálculo, es conveniente escribir el modelo y las estadísticas en notación matricial, es así que la ecuación (1) se puede escribir en notación matricial como $y = X\beta + \epsilon$ que es un sistema de n ecuaciones, una para cada observación, la relación también se puede escribir como:

$$\begin{aligned} y_1 &= x'_1 \beta + \epsilon_1 \\ y_2 &= x'_2 \beta + \epsilon_2 \\ &\vdots \\ y_n &= x'_n \beta + \epsilon_n. \end{aligned}$$

Ahora se define

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ \vdots \\ x'_n \end{bmatrix}, \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

donde y y ϵ son vectores de orden $n \times 1$ y X es una matriz de orden $n \times k$. Entonces el sistema de n ecuaciones puede ser escrito en forma compacta en una sola ecuación.

$$y = X\beta + \epsilon$$

Las sumas muestrales pueden ser escritas en notación matricial,

$$\sum_{i=1}^n x_i x'_i = X'X, \quad \sum_{i=1}^n x_i y_i = X'y$$

de este modo el estimador de mínimos cuadrados es $\hat{\beta} = (\sum_{i=1}^n x_i x'_i)^{-1} (\sum_{i=1}^n y_i x'_i)$ o en término de matrices

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y}$$

El vector residual es dado por $\hat{\epsilon} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} = \mathbf{y} - \mathbf{X}\hat{\beta}$ y la varianza del error muestral dado por la expresión $\hat{\sigma}^2 = \hat{\epsilon}'\hat{\epsilon}/n$. alguna de las propiedades de este estimador es la insesgadez, esta indica que la media del estimador es igual a su valor poblacional, i.e. $\mathbb{E}(\hat{\beta}) = \beta$, donde el valor de $\hat{\beta}$ indica el valor de los parámetros estimados dado como un argumento que minimiza la suma de cuadrados de los residuos, esto es

$$\hat{\beta} = \operatorname{argmin}_{b \in \mathbb{R}} pS(b) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i \mathbf{x}_i' \right)^{-1} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{x}_i y_i$$

Para evaluar el ajuste de los datos al modelo se utiliza el estadístico

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{SSR}{TSS}$$

El valor del estadístico se encuentra entre los valores $0 \leq R^2 \leq 1$ indicando que valores próximos a la unidad corresponden a un mejor ajuste de la información. El valor SSR y TSS indica la suma total de los residuos al cuadrado y la suma de cuadrados totales de la estimación.

La especificación econométrica para las variables de producción de minerales y el daño ambiental señala una relación cuadrática de los daños ambientales y las variables evaluadas, así esta relación corresponde a las ecuaciones en niveles y en logaritmos dado a continuación:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 X_t^2 + \beta_3 t + \epsilon_t$$

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln X_t + \beta_2 (\ln X_t)^2 + \beta_3 + \epsilon_t$$

donde Y_t es la variable dependiente en el período t . Esta variable representa a la deforestación o a las emisiones de dióxido de carbono CO_2 ; X es la variable independiente que representa la producción de alguno de los minerales considerados en el período t . La expresión cuadrática de la variable independiente X_t^2 representa la relación cuadrática que tiene la variable con la variable de estudio; t es el tiempo que puede considerarse como el progreso tecnológico o alguna variación; ϵ_t es el término estocástico en el período t . La elasticidad del ingreso respecto a las emisiones de CO_2 se define como

$$\Phi = \frac{\Delta \ln Y}{\Delta \ln X} = \beta_1 + 2\beta_2 \ln X$$

La elasticidad Φ mide la variación en términos porcentuales del daño ambiental respecto a la variable analizada X después de realizar la estimación del modelo.

3. Resultados y discusión

Esta sección presenta los resultados de la estimación de la producción minera y su efecto sobre el daño ambiental en la región de Moquegua.

(a) Contaminación del mar de Ilo por barcos y mineras

Ilo es “el puerto más limpio”, sin embargo, si nos referimos al estado de su medio marítimo costero, este se encuentra deteriorado por las diferentes actividades antrópicas, como la minera, pesca y transporte marítimo. Algunos estudios realizados en la zona dan a conocer que existe contaminación en esta bahía sureña, según (Cárdenas et al., 2015) se ha encontrado trazas de cobre en algunas especies como caracol negro, lapa, chanque y choro lo cuales sobrepasan límites establecidos por la FAO, todo ello a causa de los vertimientos mineros en la zona ocasionando que algunas especies absorban estos metales en sus organismos presentando un potencial riesgo en la salud de las personas, ya que este producto hidrobiológico es consumido por la población de la provincia.

Por otro lado, (Condori et al, 2022) da a conocer que, en un muestreo realizado en distintas estaciones aplicando el protocolo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), ubicando 3 puntos principales a lo largo de la costa peruana en el puerto de Ilo, la presencia de plomo, aceites y grasas superan los límites indicados en la normativa especialmente en las temporadas de primavera y verano, además pone en alerta pública que el cobre en los puntos muestreados está próximo a sobrepasar los límites convirtiéndose en un potencial contaminante del medio ambiente de la provincia de Ilo. De acuerdo con informes emitidos por IMARPE en la provincia de Ilo se

determina el nivel de contaminación existente en la bahía, según (Sánchez et al., 2010) se realizaron monitoreos a lo largo de la costa peruana con el fin de conocer la calidad del ambiente marino y el estado de la flora y fauna de este ecosistema, dentro del informe considera al puerto de Ilo con pasivos mineros destacándolo por la existencia de la planta concentradora y refinería de otros minerales además del cobre. Señala además que con los años la presencia de cobre en el ecosistema marino costero ha tenido un alza significativa.

Gonzales et al. (2022) expone acerca de la problemática ambiental existente con TRAMARSA, una empresa portuaria la cual deposita en la bahía los efluentes generados en su puerto marítimo, la contaminación continúa realizada en esta zona del litoral representa la contaminación de la flora y fauna del lugar, perjudicando la calidad de algunos productos hidrobiológicos como lenguado, pejerrey y corvina los cuales son consumidos y expuestos en los mercados de abastecimiento ante el público. Por su parte, Marroquín (2021) explica sobre la problemática existente a raíz de la minería la cual se relaciona con el transporte marítimo, el derrame de 140 galones de petróleo ocasionado en el 2015 por el terminal multiboya, Punta Tablones el cual pertenece a la empresa SPCC, el cual desató una investigación por contaminación de las aguas marítimas de la zona que impactó negativamente en la especies que habitaban en el lugar.

(b) Contaminación de los ríos de Moquegua producto de la contaminación minera

Con el pasar de los años los ríos de la región Moquegua experimentan distintos tipos de contaminación, ya sea por parte de la actividad humana, las industrias y la minería, estas acciones trajeron consecuencias para la población, debido que al encontrarse contaminadas ocasionan problemas en el desarrollo de la vida humana, la agricultura y la actividad ganadera que se desarrolla en la zona y que se ve beneficiada por este recurso hídrico. Desde el 2016 según (COER, 2021) los ríos Coralaque y Tambo muestran evidencias de contaminación por la minería, lo cual se aprecia en el cambio de color de determinados cuerpos de agua, que es resultado de la presencia de concentración de metales pesados que superan los límites máximos permisibles. Esta problemática ambiental trae efectos en los terrenos agrícolas y en el ganado vacuno, que son actividades que se desarrollan en Moquegua, causando de la misma forma enfermedades en los pobladores de la zona que utilizan este recurso hídrico para sus actividades diarias y su consumo.

Asimismo se evidencia la presencia de contaminantes como metales pesados como el arsénico, cobre, hierro y zinc según un informe realizado por la OEFA en los años 2016 y 2017, el cual es el principal motivo para la acidificación de estas aguas (ENERGIMINAS, 2021). La presencia de los metales pesados se evidencia en al menos 13 fuentes contaminantes provenientes de proyectos mineros, trayendo consecuencias para distintos ríos y la vida silvestre en la región. Debido a este problema ambiental ha surgido la necesidad de tomar acciones que puedan mitigar los daños generados en los recursos hídricos, para ello las autoridades de Moquegua manifestaron su rechazo a la gestión del Gobierno Central relacionado con las acciones que afectan el medio ambiente de la región Moquegua, con énfasis en la contaminación del río Coralaque. La Comisión de Energía y Minas como parte de una audiencia pública en Moquegua, va trabajando en generar soluciones a estos conflictos que perjudican a la población y a las actividades extractivas mineras (Rivera, 2022), concluyendo así la necesidad de la inversión en minería con principios de responsabilidad. Otro caso de contaminación ocurrió en el río Torata debido a un discurrimiento de una solución verdosa de la empresa minera Southern Copper. Frente a esto, la OEFA tomó acciones con la necesidad de determinar la causa de la emergencia ambiental (SPDA, 2018).

Para contribuir en la mejora de la problemática ambiental en la región Moquegua es necesario darle una atención integral que incluya la participación del MINEM y GORE Moquegua. La región Moquegua requiere acciones inmediatas de atenuación y estudios de mitigación que ayuden a reducir la problemática ambiental generada por la minería, la misma que tiene una influencia negativa en la salud de todos los seres vivos, de esta manera se podrá atender este problema y buscar soluciones que mejoren la calidad de vida de las personas (Cruz, 2023).

(c) Contaminación del mar de Ilo por hidrocarburos

Actualmente, uno de los mayores problemas a nivel mundial en cuanto a contaminación es el vertimiento de petróleo en los ecosistemas marinos, en particular en las zonas costeras (Botello et al., 2014). Cuando ocurre un derrame de petróleo, este se mezcla con agua y forma gotas emulsionadas debido a las olas y las corrientes de marea. Esta mezcla obtenida afecta el desarrollo temprano de peces, mamíferos marinos y crustáceos que habitan en los ecosistemas marinos (Engelhardt, 1983). Los derrames de petróleo tienen un impacto negativo en los peces, alterando su comportamiento alimenticio, migratorio, reproductivo y de crecimiento. El efecto varía según la etapa de desarrollo del pez, siendo más perjudicial en las etapas tempranas. La contaminación por petróleo es tóxica para los embriones de peces, lo que retrasa su desarrollo y afecta su capacidad de eclosión. Además, reduce sus funciones fisiológicas y provoca la muerte. Los derrames tienen un efecto negativo en la área y operaciones de pesca. Los peces adultos huyen de las zonas para evitar la contaminación, lo que resulta en la destrucción de los lugares de pesca y una disminución en la cantidad de capturas (Wu et al., 2012).

En el puerto de Ilo (ubicado en la costa de Moquegua), la pesca y la extracción de recursos hidrobiológicos son fuentes importantes de ingresos económicos. Sin embargo, estas actividades económicas generan una gran cantidad de contaminantes que alteran el equilibrio de los ecosistemas y afectan a las distintas especies que habitan en ellos. Esto resulta en la reducción de hábitats y la muerte de muchas especies, además de la introducción de agentes cancerígenos en los recursos hidrobiológicos que se utilizan como alimento para los seres humanos (de Moura et al., 2016).

(d) Estimación de la producción minera y daño ambiental

Para conocer el efecto de la producción minera sobre el daño ambiental se utiliza la estimación de la ecuación (1) para cada producto minero sobre las emisiones de CO₂ y la deforestación. La Figura 2 muestra la relación de las emisiones de CO₂ con la producción de los minerales y la producción con la deforestación. La figura muestra una relación positiva de la producción de oro con las emisiones de CO₂, la producción de plata y de molibdeno guardan la misma relación con las emisiones de CO₂. Para el caso de la deforestación la relación es similar, la producción de los minerales tiene efecto positivo sobre el daño ambiental. Esta relación es de esperarse debido a los múltiples procesos químicos que se desarrolla en la extracción de los minerales.

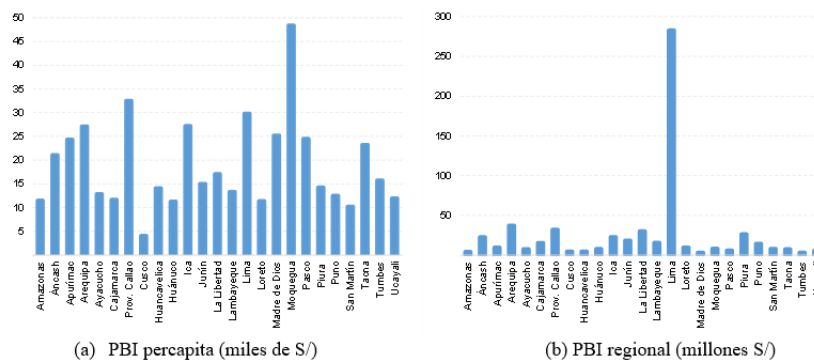


Figura 2: Producción minera y daño ambiental en Moquegua, 2000-2023.

Las estimaciones de la ecuación (1) se presenta en la Tabla 3. Para verificar la relación se utilizó un modelo lineal y un modelo cuadrático, el modelo lineal no presentó mejor ajuste que el modelo cuadrático. En la Tabla 3 se muestra la estimación de un modelo cuadrático para las emisiones de CO₂ para la producción de cada producto minero. La producción de oro incrementa las emisiones en 0.4%; mientras que la producción de plata, cobre y molibdeno incrementan las emisiones en un valor alrededor de 0.3%. En su comportamiento se observa que no presenta una forma de U-invertida sino una forma lineal que se presentó en la Figura 2. La estimación para la deforestación se muestra en la parte inferior de la tabla donde se observa que la producción de los minerales tiene un efecto de cerca de 0.5% sobre el daño ambiental. La producción de oro tiene un efecto lineal sobre el daño ambiental. La producción de plata, cobre y molibdeno tienen un ajuste cuadrático con el daño ambiental situándose en un valor cercano a 0.04% en el daño ambiental. En la región Moquegua, con el fin de contrarrestar el daño ambiental se plantea reforestar con plántones de quenual que retienen hasta 20 litros de agua al día y que ayuda a la siembra y cosecha y de cuidado del medio ambiente y que contribuyen al cambio climático.

Tabla 3: Producción minera y daño ambiental en Moquegua.

	CO ₂			
	Oro	Plata	Cobre	Molibdeno
Intercepto	23.10331**	60.81351**	109.2874**	35.20336**
Mineral	-1.10862**	-9.955259**	-18.96448*	-6.320372**
Mineral ²	0.049229**	0.565249**	0.974473*	0.548685**
Tiempo	0.004431**	0.003861**	0.003859**	0.003928**
R ²	0.839940	0.840806	0.813372	0.831184
N. Obs.	190	190	202	202
Deforestación				
Intercepto	10.03769**	63.56787**	-132.4217**	18.66917**
Mineral	0.084043**	-11.64974**	30.27007**	-2.711523**
Mineral ²		0.647066**	-1.594269*	0.243687**
Tiempo	0.005039**	0.004517**	0.004093**	0.004567**
R ²	0.789438	0.774144	0.775303	0.774320
N. Obs.	179	179	179	179
Estimaciones en logaritmos				
Valores de significancia: *>0.90; **>0.99.				

En el presente siglo, el cuidado del medio ambiente se ha convertido en una variable indispensable para cualquier decisión de inversión. La contaminación del agua, del aire y la tierra podría generar graves enfermedades a la población y con un efecto irreversible. Por esto, las investigaciones que generen iniciativas de conservación y alerta son de importancia y sirven de guía para las decisiones de inversión a nivel regional y nacional. En los últimos años la región Moquegua tuvo un crecimiento importante en su PBI especialmente por la producción minera y agropecuaria. Sin embargo, los daños ambientales se incrementan producto de esta actividad (tabla 1). Al identificar el deterioro de las variables emisiones de CO₂ y deforestación mediante estimaciones econométricas, se observa que la producción minera contribuye en 2000-2022 al deterioro del medio ambiente en la región cercano a un 0.4% por período lo que se agrava aún más si se consideran los constantes accidentes y vertimientos de hidrocarburos que amenazan las fuentes de agua potable de abastecimiento a la población. En esta línea, Valeriano (2021) señala que el puerto de Ilo ubicado en la misma región se ha visto afectado debido al incremento de las exportaciones de productos provenientes de la zona sur y del vecino país de Bolivia. Las emisiones de contaminantes de las embarcaciones es otro de los peligros potenciales que contribuyen en la degradación de la calidad del aire para los próximos años. Por otro lado, también se muestra con lo realizado por Pérez (2017) que la calidad de agua para consumo humano en Moquegua supera los estándares en los parámetros: pH, coliformes termotolerantes, fosfatos y DBO₅. Si bien el crecimiento en una economía y la minería son importantes, no se debe olvidar que la importancia del cuidado del medio ambiente tiene una importancia mayor debido que al degradarlo se estaría afectando a las futuras generaciones y aunque las políticas económicas en el mundo muy a menudo ignoran el cuidado del medio ambiente y los esfuerzos de conservación son limitados. La calidad ambiental se ve afectado en especial en los países pobres debido principalmente por una débil reforma institucional y legislación ambiental (Arrow et al., 1995). Es así que las regulaciones ambientales juegan un papel importante en reducir la curva y que esfuerzos para restaurar el medio ambiente corresponde a un beneficio importante en el largo plazo. Además políticas ambientales y el progreso tecnológico pueden hacer que economías de bajos ingresos mejoren la calidad ambiental sin empobrecerse. Por otro lado, sugiere que la relación entre calidad ambiental y nivel de ingresos sólo son sugerentes y que no estaría definidos ya que estos pueden evolucionar en una cierta región (Wang et al., 2015).

4. Conclusiones

Los resultados de las estimaciones muestran que la producción de oro incrementa las emisiones en 0.4%; la producción de plata, cobre y molibdeno incrementan las emisiones en un valor alrededor de 0.3%. El comportamiento de la producción con el daño ambiental no presenta una forma de U-invertida sino una forma lineal. La estimación para la deforestación muestra que la producción de oro tiene un efecto lineal sobre el daño ambiental alrededor de 0.5%. La producción de plata, cobre y molibdeno tienen un ajuste cuadrático con el daño ambiental situándose en un valor cercano a 0.4%. Para el caso de las emisiones de CO₂, la producción de oro incrementa las emisiones en 0.4%; mientras que la producción de plata, cobre y molibdeno incrementan las emisiones en un valor alrededor de 0.3%. En su comportamiento se observa que no presenta una forma de U-invertida sino una forma lineal. En el presente siglo, el cuidado del medio ambiente se ha convertido en una variable indispensable para cualquier decisión de inversión. La contaminación del agua, del aire y la tierra podría generar graves enfermedades a la población y con un efecto irreversible. Por esto, las investigaciones que generen iniciativas de conservación y alerta son de importancia y sirven de guía para las decisiones de inversión a nivel regional y nacional. Si bien el crecimiento en una economía y la minería son importantes, no se debe olvidar que la importancia del cuidado del medio ambiente tiene una importancia mayor debido que al degradarlo se estaría afectando a las futuras generaciones y aunque las políticas económicas en el mundo muy a menudo ignoran el cuidado del medio ambiente y los esfuerzos de conservación son limitados, la calidad ambiental se ve afectado en especial en los países pobres debido principalmente por una débil reforma institucional y legislación ambiental (Arrow et al., 1995). En este sentido las regulaciones ambientales juegan un papel importante en reducir la contaminación y esfuerzos para restaurar el medio ambiente corresponde a un beneficio importante en el largo plazo. Además, está demostrado en investigaciones que las políticas ambientales y el progreso tecnológico pueden hacer que economías de bajos ingresos mejoren la calidad ambiental sin empobrecerse. Finalmente, la relación entre calidad ambiental y nivel de ingresos sólo son sugerentes y no están totalmente definidos ya que estos pueden evolucionar en una cierta región (Wang et al., 2015). En la actualidad, los encargados de política de la región van coordinando con los encargados de fiscalizar los daños ambientales, con las empresas prestadoras de agua potable y demás involucrados para mejorar el problema de la disponibilidad hídrica y la contaminación. Es así que se viene trabajando proyectos de inversión con el fin de contrarrestar los daños ambientales y recuperar los pasivos que se vieron afectados en décadas pasadas por causa de la minería. Un ejemplo de esto son los proyectos de reforestación que se viene desarrollando con los plantones de quenual que retienen hasta 20 litros de agua al día y que ayuda a la siembra, a la cosecha y al cuidado del medio ambiente. Asimismo, las instituciones responsables de la fiscalización y control del cuidado del medio ambiente van sumando esfuerzos para mejorar su trabajo de coordinación para hacer cumplir las leyes a los responsables de la contaminación. Finalmente, se plantea futuras investigaciones para el estudio de las causas de los contaminantes como son debido a múltiples accidentes de camiones cisternas con contenido de hidrocarburos y la contaminación del mar de Ilo. El análisis de suelos también se debe estudiar y cuánto afecta a la calidad de agua para el consumo humano.

5. Agradecimientos

El autor agradece a la Universidad Nacional de Moquegua (UNAM) por el financiamiento del presente estudio.

6. Referencias bibliográficas

- Akbostanci, E., Türüt-Aşık, S., & Tunç, G. I. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve? *Energy Policy*, 37(3), 861–867.
- ANA. (2020). Ministerio de Agricultura recogió muestras de ríos Osmore y Moquegua para evaluar presunta contaminación por aguas servidas.
- APP. (2015). Contaminación del mar de Ilo por minera Southern Perú.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C., & Jansson, B. (1995). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 15(1), 91–95.
- BCRP. (2022). Estadística regional del Banco Central de Reserva del Perú.
- BCRP. (2023). Caracterización del departamento de Moquegua.
- CA. (2023). Moquegua: derrame de petróleo afecta abastecimiento de agua potable.
- Cárdenas, F., Pastor Cuba, R., Baldarrago, D., Castañeda, V., & Romucho, Y. (2015). Trazas de metales en agua, sedimento y organismos bentónicos en bancos naturales de las Regiones Tacna y Moquegua.
- Castiglione, C., Infante, D., & Smirnova, J. (2015). Environment and economic growth: is the rule of law the go-between? The case of high-income countries. *Energy, Sustainability and Society*, 5(1), 1–7.
- COER. (2021). Contaminación de los ríos Coralaque y Tambo en el departamento de Moquegua. COER Moquegua.
- Cruz, E. (2023). MINEM y GORE Moquegua articulan atención a problemática del río Coralaque. *Rumbo Minero Internacional*.
- de Moura, J., Moraes, E., Laine, R., Siciliano, S., & Rodrigues, P. (2016). Marine environmental and public health. *Intech*, 11(tourism), 13.
- DSF. (2017). Moquegua: Estudio determina contaminación del río Coralaque.
- EBH. (2021). Ríos de Arequipa, Puno y Moquegua en emergencia por contaminación minera.
- ENERGIMINAS. (2021). Las heridas que deja la mina de Aruntani en Moquegua.
- Engelhardt, F. (1983). Petroleum effects on marine mammals. *Aquatic Toxicology*, 4(3), 199–217.
- Gonzales, G., Mendez, S., & Condori, R. (2022). Determination of the concentration of heavy metals and oils in seawater in the port of Ilo, Peru. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 16(1), 28–36.
- Halkos, G., & Psarianos, I. (2015). The effect of including the environment in the neoclassical growth model (68050; MPRA Paper No., Issue 68050).
- INDECI. (2023). Derrame de hidrocarburos en distrito de Carumas, Moquegua. 22-05-2023.
- INEI. (2022). Perú: Anuario de estadísticas ambientales 2022. INEI. (2023). Producto Bruto Interno por departamentos del Perú.
- Jayasooriya, S. (2020). Nexus of Financial Development, Innovation for Green Growth in ASEAN countries (98212; Munich Personal RePEc Archive, Issue 98212).
- Korchagina, I., & Korchagin, R. (2019). Modeling regional economic growth with the formation of innovative ecosystems of technological entrepreneurship as a factor of sustainable development. *International Conference on Sustainable Development of Cross-Border Regions*, 6–11.

- Kuznets. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1–28.
- Marroquín, Á. M. (2021). Los gobiernos locales como titulares de la reparación civil en los procesos penales por los delitos ambientales. *Justicia Ambiental*, 1(1), 47–70.
- MNG. (2016). Derrame de petróleo ocasiona daños ambientales en Moquegua-Perú.
- Nina, N., & Román, C. (2022). Zonas de vulnerabilidad y peligros ambientales en la cuenca del río Moquegua. *Ingeniería Investiga*, 4, 1–19.
- OWD. (2023). CO2 Country Profile - Our World in Data.
- Pérez, J. (2017). Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales - Omo, durante el período 2014-2015. Universidad José Carlos Mariátegui.
- Rivera, L. (2022). Moquegua: contaminación de río Coralaque en agenda. *La República*.
- Sánchez, G., Luna, N., & Fernández, G. (2010). Informe nacional sobre el estado del ambiente marino del Perú. In *Instituto del Mar del Perú*.
- SPDA. (2017). Traslado de concentrado de cobre de la minera Southern Perú afecta salud de la población en Ilo.
- SPDA. (2018). Moquegua: ordenan cerrar depósito de minera Aruntani por contaminación del río Coralaque.
- SPDA. (2019). Declaran en emergencia en 5 distritos por contaminación hídrica en Moquegua.
- Valeriano, J. A. (2021). Relación de las variables meteorológicas en la dispersión espacio temporal de los contaminantes atmosféricos (PM2.5, PM10, SO2, NO2, O3) del distrito de Pacocha, Moquegua, 2019-2020. *Universidad Continental*.
- Wang, L., Zhou, D., Wang, Y., & Zha, D. (2015). An empirical study of the environmental Kuznets curve for environmental quality in Gansu province. *Ecological Indicators*, 56, 96–105.
- Wu, W. J., Qin, N., He, W., He, Q. S., Ouyang, H. L., & Xu, F. L. (2012). Levels, distribution, and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in four freshwater edible fish species from the Beijing market. *The Scientific World Journal*, 2012, 1–12.