



Los sectores económicos-sociales y la contaminación del aire en Perú, 1970-2020

The economic-social sectors and air pollution in Peru, 1970-2020

Os setores econômico-sociais e a poluição do ar no Peru, 1970-2020

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.199>

Marcial Guevara Mamani¹
mguevara@unap.edu.pe

Paola Huarca Flores³
paolahuarcaflores@gmail.com

Carmen Ramirez Benavides¹
clascarmen@gmail.com

Dominga Asunción Calcina Álvarez²
dcalcina@unamad.edu.pe

Omar Henry Marca Flores¹
biomarca78@hotmail.com

Rocio Ancco Torres¹
rocioanccotorres@gmail.com

¹Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

²Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Puerto Maldonado, Perú

³Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú

Artículo recibido el 30 de noviembre 2022 / Arbitrado el 21 de diciembre 2022 / Publicado el 9 de enero 2023

RESUMEN

La contaminación del suelo en el botadero de residuos sólidos es un problema que va creciendo debido a la actividad antropogénica, entre ellos metales pesados cuya acumulación en el suelo, agua y tejidos vegetales constituyen un riesgo para la salud pública. El propósito del estudio fue determinar la contaminación por metales pesados plomo y arsénico en el botadero de residuos sólidos de Mollebamba de la Municipalidad de Acobamba, Huancavelica. La investigación fue de tipo descriptivo observacional, los datos fueron procesados mediante paquete estadístico SPSS Vers. 24, con nivel de confianza del 95%; la toma de muestra se realizó mediante el sistema de sondeo manual, con profundidad de 40 cm, midiendo los parámetros de temperatura, humedad relativa, con el equipo multiparámetro (con sonda) modelo Boeco Germany, para el análisis de los metales pesados se envió al laboratorio Envirotest Environmental Testing Laboratory S.A.C acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Del total de 6 puntos de muestreo evaluadas, se obtuvieron los valores de concentración de plomo (Pb) fueron 2,50- 3,80- 4,50- 4,00- 4,30 y 4,90 mg/kg, encontrándose los valores menores al Límite Máximo Permissible (LMP) según Estándares de Calidad Ambiental - (ECA) para suelo N° 011-2017-MINAM que es 70 mg/kg. Se concluye que, el Plomo en los seis puntos de muestreo resultaron valores menores que el LMP, en cuanto al arsénico se obtuvieron en los puntos de muestreo P5 y P6, valores 20,80 % y 37,50 % respectivamente mayores que el LMP, siendo los otros puntos P1, P2, P3 y P4 menores a LMP.

Palabras clave: Metales pesados; Plomo; Arsénico; Botadero

ABSTRACT

Air pollution in these times is qualified as one of the most critical and worrying environmental problems worldwide, due to the fact that it breaks the air balance, modifying the proportion of its components or the introduction of toxic or undesirable elements into the atmosphere, which finally affects the environmental quality of the surroundings. The objective of the study is to determine the economic and social sectors that contribute to greater air pollution in Peru between 1970 and 2020. Methodologically, the approach was quantitative, analytical, descriptive and non-experimental; statistical data from the database of the National Institute of Statistics and Informatics, Central Reserve Bank of Peru and the page Datos-Macro were used, considering the econometric model of log - log type. It was determined that the economic and social sectors that influence air pollution are population density, vehicle fleet, production in the agricultural, construction and energy sectors. Specifically, the vehicle fleet, agricultural production, construction and energy sectors had a direct influence on air pollution, while population density had an indirect influence. Finally, with a 1% increase in the production of the construction, agricultural, and energy sectors and the vehicle fleet, air pollution increases by 0.29%, 0.098%, 0.24%, and 0.19%, respectively; with respect to population density, if it increases by 1%, air pollution decreases by 0.77%.

Key words: Construction; Agricultural sector; Energy; Vehicle fleet; Air pollution

RESUMO

A contaminação do solo em lixões de resíduos sólidos é um problema crescente devido à atividade antropogênica, incluindo metais pesados cuja acumulação no solo, água e tecido vegetal constitui um risco para a saúde pública. O objetivo do estudo foi determinar a contaminação por metais pesados chumbo e arsênico no depósito de resíduos sólidos de Mollebamba do município de Acobamba, Huancavelica. A pesquisa foi descritiva e observacional, os dados foram processados utilizando o pacote estatístico SPSS Vers. 24, com um nível de confiança de 95%; a amostragem foi realizada por meio do sistema de amostragem manual, com profundidade de 40 cm, medindo os parâmetros de temperatura, umidade relativa, com o equipamento multiparâmetro modelo Boeco Alemanha (com sonda), para a análise de metais pesados foi enviado ao Laboratório de Ensaaios Ambientais Envirotest S.A.C credenciado pelo Instituto Nacional de Qualidade (INACAL). Do total de 6 pontos de amostragem avaliados, os valores de concentração de chumbo (Pb) foram 2,50- 3,80- 4,50- 4,00- 4,30 e 4,90 mg/kg, encontrando valores abaixo do Limite Máximo Permitido (MPL) de acordo com as Normas de Qualidade Ambiental - (ECA) para o solo No. 011-2017-MINAM que é 70 mg/kg. Conclui-se que, o chumbo nos seis pontos de amostragem resultou em valores inferiores à MPL, como para o arsênico foram obtidos nos pontos de amostragem P5 e P6, valores 20,80% e 37,50% respectivamente superiores à MPL, sendo os outros pontos P1, P2, P3 e P4 inferiores à MPL.

Palavras-chave: Metais pesados; Chumbo; Arsênico; Aterro Sanitário

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica o contaminación del aire se presenta hoy en día como uno de los problemas ambientales más preocupantes en todo el mundo. Esta se refiere a cualquier condición que rompa el equilibrio del aire, suponiendo la modificación de la proporción de sus componentes o la introducción en la atmósfera de elementos indeseables, es decir, materias, sustancias o formas de energía que tengan un efecto nocivo para la salud humana, que causen daños en el medio ambiente o que deterioren los bienes materiales (1–10).

Además, la contaminación del aire se evidencia por la presencia de agentes contaminantes tanto químicos, físicos o biológicos que alteran la atmósfera. Destacando el consumo energético doméstico, el crecimiento del parque automotor, la quema de residuos sólidos y crecimiento de la industria como principales fuentes de contaminación atmosférica (6,11–19).

A nivel mundial, los niveles de contaminación atmosférica se han incrementado por mayores emisiones de dióxido de carbono. Para el 2021, las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía se incrementaron en un 6% logrando alcanzar los 36 300 millones de toneladas, esto debido principalmente al uso del carbón como fuente de energía para impulsar el crecimiento de la economía mundial tras la crisis de COVID-19 (6,16,17,20–26).

Además, el consumo de energía es la principal fuente de emisión de CO₂ como gas de efecto invernadero, siendo responsable de un 76% del total de emisiones globales. Este sector incluye

a subsectores como el transporte, manufactura, construcción, generación de calor y electricidad y quema de combustibles. Le sigue el sector agricultura y ganadería con un 12%, el sector del cemento con 5,9%, los residuos y aguas residuales con un 3.3% y la deforestación con un 2.8% del total de emisiones (6,27–32).

En América Latina y el Caribe se registró 4 millones de toneladas emitidas anualmente de CO₂, que representa el 8% de emisiones producidas a nivel mundial. Las principales causas que originan emisiones son la generación de energía y transporte, en palabras simples el uso de energías fósiles son las principales causas del incremento de CO₂. Entre 1990–2016 incrementó en un 87% el uso de energía fósil a nivel mundial y en América Latina sólo incrementó un 5% esto debido a la disminución de la hidroenergía (5,23,31,33–39).

En Perú, la generación de dióxido de carbono (CO₂) se debe al incremento del nivel de actividad económica y al crecimiento de la población. Ya que, en 1990, generaba 20,9 miles de toneladas métricas de CO₂, no obstante, el nivel de emisiones aumentó a 56,3 mil toneladas métricas en el 2019. En el mismo año, el tamaño de la economía peruana creció 261% y el de su población en 46%, el crecimiento de las emisiones fue de 169%, por ello el crecimiento de las emisiones de esta más influenciada con la evolución del ingreso nacional que con el de la población (30,40–48).

El sector que genera la mayor cantidad de emisiones de CO₂ es el sector transporte con aproximadamente 40% de las emisiones totales correspondientes a 24,222 giga gramos a causa del deficiente parque automotor que posee, seguido por los sectores como la industria, residencial y comercial e industrias de la transformación y conversión con el 13% de cada uno. Además, es importante considerar que las emisiones por parte de la industria manufacturera y de la construcción provienen de actividades que tienen como práctica común utilizar carbón mineral como combustible, tal es el caso de las fábricas de ladrillo en la que la mayoría son informales, ya que en el año 2000 se produjeron aproximadamente 365,764,100 toneladas de cemento, en su mayoría cemento tipo Pórtland. Las emisiones debido al cemento ascienden a 1780 giga gramos de CO₂ (21,28,32,39,49–55).

El principal problema relacionado con la contaminación del aire es que ésta resulta ser una de las más dañinas para la salud, existe evidencia que la contaminación del aire provoca complicaciones asmáticas, enfermedades bronquiales e incluso la muerte prematura. Dentro de todos los contaminantes del aire, las partículas en suspensión resultan ser las más peligrosas. Cabe resaltar que los problemas de contaminación del aire se agravan principalmente en las ciudades con alta densidad poblacional (28,32,50,52,53,55–59).

Por lo cual, la investigación busca responder la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los factores que influyen en la contaminación del aire, durante

el periodo 1970-2020? En ese sentido el objetivo de la investigación es determinar los factores que influyen en la contaminación del aire, durante el periodo 1970-2020. La hipótesis a comprobar fue: los factores que influyen en la contaminación del aire, durante el periodo 1970-2020, son el crecimiento demográfico, el parque automotor y la producción de los sectores agropecuarios, minería, construcción y energía.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en todo Perú en la zona urbana y rural, considerando las 24 regionales existentes y la Provincia Constitucional del Callao, las misma que está ubicada en el medio de América del Sur, frente al océano Pacífico, entre las coordenadas de 0°2' y los 18° 21'34" de latitud sur y 68° 39'7" y los 81° 20'13" de longitud.

Se realizó un estudio documental, observacional con datos estadísticos sistematizados y/o gestionados del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), así como la página Datos-Macro, entre los periodos 1970-2020, donde las variables de análisis fueron la contaminación del aire, el crecimiento demográfico, la producción del sector construcción, la producción del sector agropecuario, la producción del sector minería, la producción del sector energía y el desarrollo del parque automotor, cuyos detalles de sus características, indicador, unidad de medida se detallan a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Operacionalización de variables de la investigación.

Variable	Indicador	Unidad de medida	Fuente de información
Variable dependiente Contaminación del aire	Emisión de CO2	Megatoneladas	Datos macro
Variables independientes Crecimiento demográfico	Densidad poblacional	Número de habitantes por km2	Datos macro
Producción del sector Construcción	PBI del sector Construcción	Millones de soles	Banco Central de Reserva del Perú
Producción del sector agropecuario	PBI del sector agropecuario	Millones de soles	
Producción del sector minería	PBI del sector extracción del petróleo y minerales	Millones de soles	
Producción del sector energía	PBI del sector electricidad	Millones de soles	
Parque automotor	Número de vehículos	Unidad	Instituto Nacional de Estadística e Informática

El estudio se desarrolló bajo el enfoque cuantitativo, de tipo analítico descriptivo y no experimental (60). Se utilizó el modelo econométrico basado en la función de regresión de tipo Log-Log, donde se especificó como los sectores económicos y sociales influyeron en la contaminación del aire, durante el periodo 1970-2020, cuya ecuación econométrica es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \log(\text{Contaminación del aire (co2)}) \\
 &= \beta_0 + \beta_1 * \log(\text{Crecimiento demográfico}) + \beta_2 \\
 & * \log(\text{Producción del sector construcción}) + \beta_3 \\
 & * \log(\text{Producción del sector agropecuario}) + \beta_4 \\
 & * \log(\text{Producción del sector minería}) + \beta_5 \\
 & * \log(\text{Producción del sector energía}) + \beta_6 * \log(\text{Parque automotor}) \\
 & + u_i
 \end{aligned}$$

Para alcanzar el objetivo de la investigación se estimó los parámetros del modelo econométrico antes detallado, utilizando el software Eviews versión 10.0.

RESULTADOS

Al analizar el comportamiento de las variables en análisis, se evidencia una tendencia creciente de la contaminación del aire (Figura 1), debido a su mayor actividad económica, desde 1970 al 1990 Perú generó 20.9 MT de contaminación de aire, en el 2000 al 2019 se incrementó de manera apresurada las emisiones de 28 a 57.5 MT, para el 2019 a 2020 se redujeron de 57.5 a 46.5 MT debido al COVID-19, emitiendo un promedio de contaminación del aire de 30 MT, un máximo de 55.6 MT y un mínimo de 17.4 MT por año (Tabla 2).

La evolución de la producción del sector construcción fue creciente durante el periodo de análisis (Figura 1), ya que desde el año 1970 al 2020 tuvo un crecimiento de 30 millones de soles, sin embargo, la más profunda caída luego de un crecimiento sostenido de este

sector fue en el 2001, en las que el PBI del sector construcción alcanzó a caer hasta un 3.9 millones de soles debido a que se suspendieron muchas obras de construcción a causa de las restricciones del estado peruano por contener el COVID-19. La producción del sector construcción alcanzó a crecer en promedio 12.9 millones y un mínimo de 3.9 millones de soles (Tabla 2).

La trayectoria de la variable producción del sector agropecuario en Perú tuvo un fuerte

crecimiento desde el año 1970 al 2020 (Figura 1), en vista que alcanzó un crecimiento de 31.5 millones de soles, con un crecimiento promedio por año de 14.8 millones de soles, además de que durante el año 2020 continuó creciendo, llegando a alcanzar el punto más alto durante el periodo de análisis con 32.4 millones de soles, ya que a pesar del confinamiento las necesidades de consumo de alimentos se siguen manteniendo ya que es una necesidad básica del ser humano (Tabla 2).

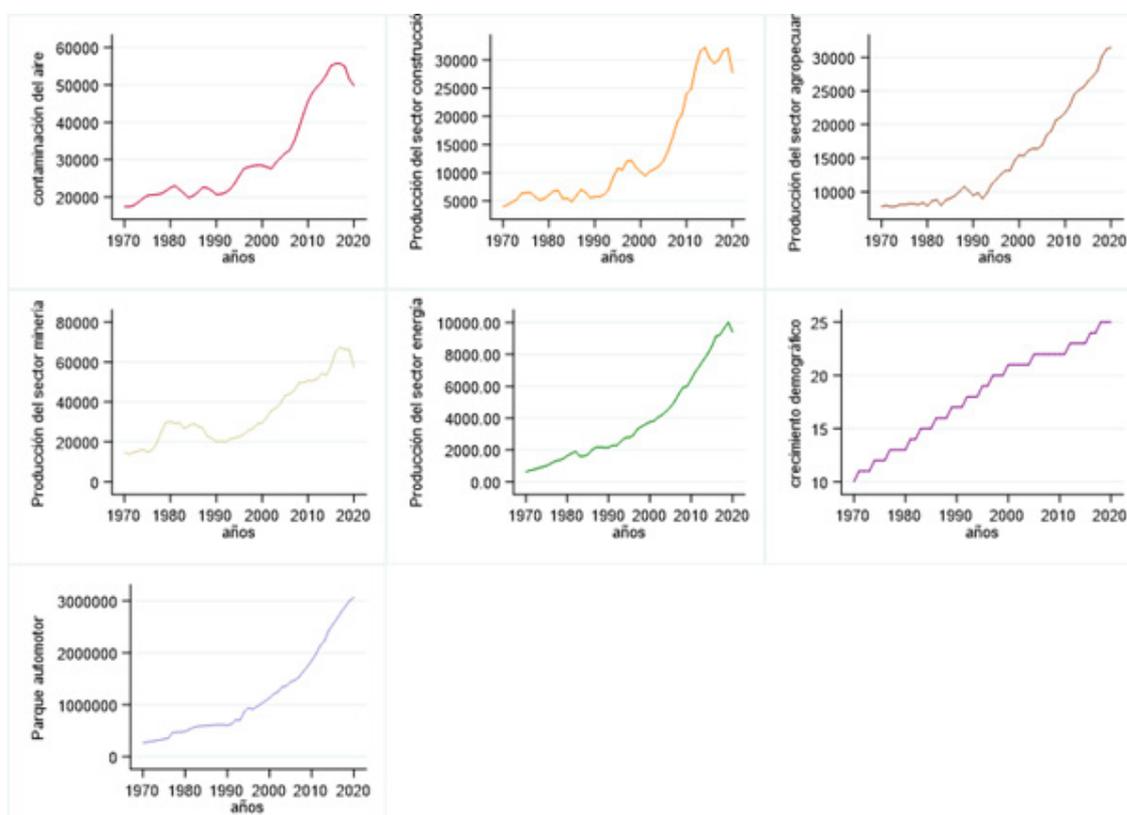


Figura 1. Comportamiento de las variables en análisis.

La producción del sector minería desde el año 1970 al 2020 ha experimentado un crecimiento de los 67 millones de soles (Figura 1), al igual que otros sectores de la economía este también se vio afectado por la pandemia, en

el 2020 se redujo a 57304 millones de soles, con un crecimiento promedio por año de 40 millones, alcanzando un máximo en el año 2017 con 67439 millones de soles y un mínimo de 13.9 millones de soles (Tabla 2).

En el caso de la producción del sector energía, presentó una tendencia relativamente creciente, con un incremento en promedio de 3.9 millones de soles desde el año 1970 al 2020 (Figura 1), alcanzando un máximo y mínimo de 10011 y 636 millones de soles. Luego la tendencia fue creciente y acelerada con leves disminuciones de crecimiento durante los años 1992, 2009 y 2017. Finalmente, para el año 2020 se puede observar una caída abrupta de este sector, alcanzando únicamente un PBI de 9396 millones de soles, 614 millones de soles menos que el año anterior, esto por las limitaciones que se presentaron durante la pandemia del COVID-19 (Tabla 2).

Sobre el crecimiento demográfico representado por la densidad poblacional en

habitantes por km² en el periodo de análisis, esta tuvo un comportamiento de crecimiento progresivo en todos los años (Figura 1), la misma que tuvo en promedio el valor poblacional por km² de 18 personas, con un valor máximo de 25 y un valor mínimo de 10 habitantes por km² (Tabla 2).

En el caso parque automotor expresado en número de vehículos, presentó un crecimiento creciente y acelerado (Figura 1), pasando a tener un total de 267 '178 vehículos motorizados en el año 1970 ha un total 3' 070 '704 en el 2020, de esta manera tuvo como un máximo de número de vehículos de 267178 y un mínimo de 13897 (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de las estadísticas descriptivas de las variables socioeconómicas y ambientales.

Variable	Promedio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Contaminación del aire	30414.9	12479.2	17399	55659
Producción del sector construcción	12964.42	9411.894	3989	32210.01
Producción del sector agropecuario	14845.53	7366.367	7784	31485.13
Producción del sector minería	33943.06	15783.03	13897	67439
Producción del sector energía	3853.215	2786.401	636	10011.51
Parque automotor	1165722	822759.8	267178	3070704
Crecimiento demográfico	18.21569	4.428606	10	25

Complementariamente, al realizar el análisis de la relación de la contaminación del aire y los sectores económicos y sociales determinantes, se muestra que la relación entre la contaminación del aire con la producción del sector construcción, se puede observar la existencia de una relación directa (Figura 2), la misma que se complementa por la matriz de correlación de estas variables, donde se evidencia una correlación

positiva alta (valor ρ de Pearson = 0.991), por lo que un incremento de la producción del sector construcción contribuye al incremento de la contaminación del aire (Tabla 3).

En el caso de la relación entre la contaminación del aire con la producción del sector agropecuario, se puede observar la existencia de una relación directa (Figura 2), la cual se complementa por la matriz de correlación de estas variables, donde se

evidencia una correlación positiva alta (valor ρ de Pearson = 0.974), de esta manera un incremento de la producción del sector agropecuario contribuye al incremento de la contaminación del aire (Tabla 3).

Respecto a la relación entre la contaminación del aire con la producción del sector minería, se puede observar la existencia de una relación directa (Figura 2), la misma que se complementa por la matriz de correlación de estas variables, donde se evidencia una correlación positiva alta (valor ρ de Pearson = 0.953), de esta manera un incremento de la producción del sector minería contribuye al incremento la contaminación del aire (Tabla 3).

Al analizar la relación entre la contaminación del aire con la producción del sector energía, se puede observar la existencia de una relación directa (Figura 2), la misma que se complementa por la matriz de correlación de estas variables, donde se evidencia una correlación positiva alta (valor ρ de Pearson = 0.981), de esta manera un

incremento de la producción del sector energía contribuye al incremento la contaminación del aire. En el caso de la relación entre la contaminación del aire con el parque automotor, se puede observar la existencia de una relación directa, la cual se complementa por la matriz de correlación de estas variables, donde se evidencia una correlación positiva alta (valor ρ de Pearson = 0.974), de esta manera ante un incremento del parque automotor, la contaminación del aire aumentará (Tabla 3).

Finalmente, al analizar la relación entre la contaminación del aire con el crecimiento demográfico, se puede observar la existencia de una relación directa (Figura 2), la misma que se complementa por la matriz de correlación de estas variables, donde se evidencia una correlación positiva alta (valor ρ de Pearson = 0.849), del cual, a un incremento del crecimiento demográfico contribuye al incremento de la contaminación del aire (Tabla 3).

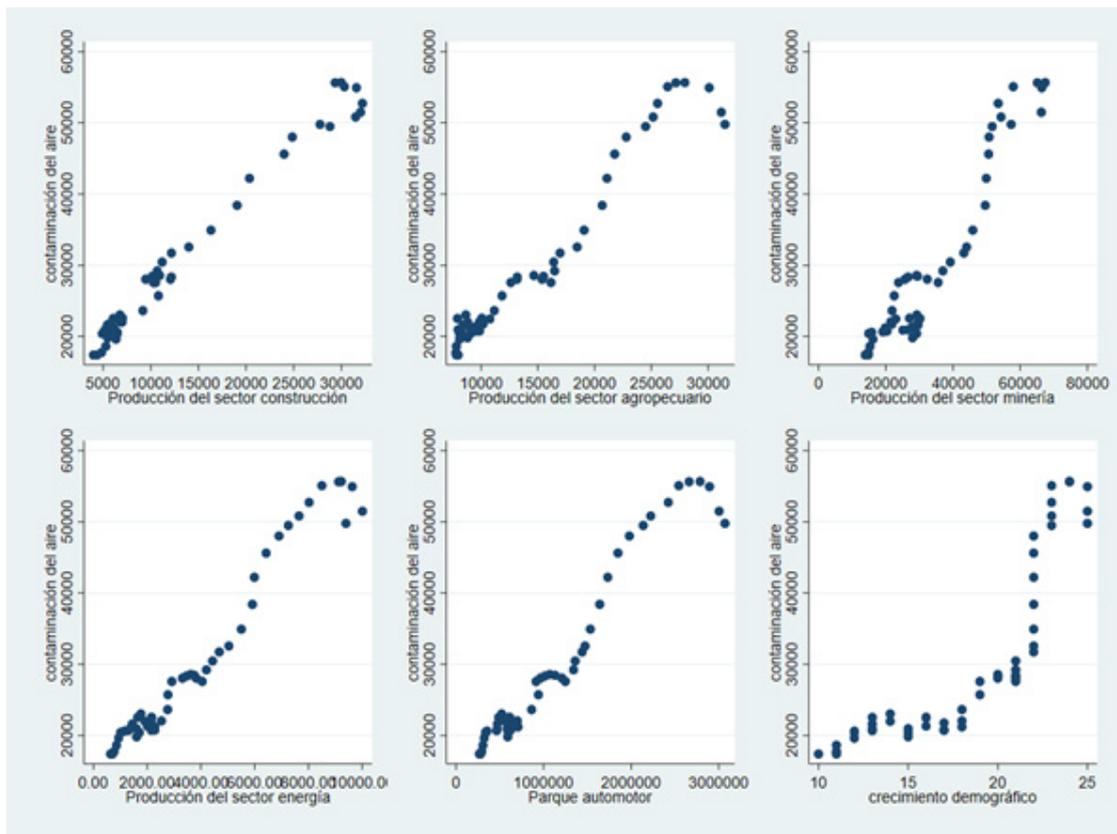


Figura 2. Relación de la contaminación del aire con sus determinantes.

Tabla 3. Matriz de correlación de variables.

Variable	Contaminación del aire	Producción del sector construcción	Producción del sector agropecuario	Producción del sector minería	Producción del sector energía	Parque automotor	Crecimiento demográfico
Contaminación del aire	1	0.9912	0.9744	0.953	0.9807	0.9744	0.8497
Producción del sector construcción	0.9912	1	0.9671	0.9281	0.9701	0.9647	0.824
Producción del sector agropecuario	0.9744	0.9671	1	0.9515	0.9941	0.9942	0.8948
Producción del sector minería	0.953	0.9281	0.9515	1	0.9627	0.9571	0.8506
Producción del sector energía	0.9807	0.9701	0.9941	0.9627	1	0.9968	0.9077
Parque automotor	0.9744	0.9647	0.9942	0.9571	0.9968	1	0.8987
Crecimiento demográfico	0.8497	0.824	0.8948	0.8506	0.9077	0.8987	1

Finalmente, al realizar el análisis de los factores que influyen en la contaminación del aire, para encontrar los factores que influyen en la contaminación del aire en Perú durante el periodo 1970-2020, se buscó contrastar la hipótesis de la investigación que fue la siguiente:

Ha: los factores que influyen en la contaminación del aire en Perú durante

el periodo 1970-2020, son el crecimiento demográfico, el parque automotor y la producción de los sectores agropecuarios, minería, construcción y energía. Por lo cual se aplicó la regresión econométrica del modelo log-log, ya que posee mejores propiedades estadísticas y cuyos resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 4. Estimación de modelo log-log.

Variable	Coefficiente	Error estándar	T-Estadístico	Probabilidad
Logaritmo de crecimiento demográfico	-0.770397	0.1060074	-7.27	-7.27
Logaritmo de la producción del sector construcción	0.2934983	0.0362096	8.11	8.11
Logaritmo de la producción del sector agropecuario	0.0981143	0.0651671	1.51	1.51
Logaritmo de la producción del sector energía	0.243672	0.0744876	3.27	3.27
Logaritmo de parque automotor	0.1879941	0.0821548	2.29	2.29
Constante	4.292048	0.4230095	10.15	10.15
Número de observaciones	51	R-cuadrado		0.9923
F(5, 45)	1156.29	R-cuadrado ajustado		0.9914
Prob > F	0.000	Root MSE		0.03454

Al realizar el análisis estadístico para la prueba de hipótesis, se evidencia que el R-cuadrado ajustado es igual a 0.9914, lo que muestra que la variable crecimiento demográfico medido mediante la densidad poblacional, el parque automotor, la producción de los sectores agropecuario, construcción y energía explican en 99.14%, resultando ser un modelo eficiente (Tabla 4).

En el caso de la prueba de significancia individual, se puede ver que el t-estadístico obtenido de la variable crecimiento demográfico representado por la densidad poblacional [-7.27],

producción del sector construcción [8.11], producción del sector energía [3.27], parque automotor [2.29] son mayores a 2; concluyendo que, si tienen significancia individual, es decir si influyen de manera individual en la contaminación del aire. Por lo contrario, la producción del sector agropecuario tiene un t-estadístico de 1.51 y es menor a 2, lo que muestra que tiene una probabilidad de 0.139 y es mayor a 0.05, determinando que esta variable no influye en la contaminación del aire en Perú al 95% del nivel de confianza, pero si al 0.15 de nivel de significancia. No obstante, la

variable producción del sector minería tenía un t-estadístico de 1.11 que es menor a 2, lo que muestra que tiene una probabilidad de 0.271 y es mayor a 0.05, es decir no es significativa ni al 25% del nivel de confianza, además causa que la variable del parque automotor no sea significativa al 95% del nivel de confianza, por ello se retiró esta variable del modelo econométrico (Tabla 4).

Por lo tanto, se concluye rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa, estableciendo que en Perú durante el período de 1970 al 2020, los factores que influyeron en la contaminación del aire son el crecimiento demográfico, la producción de los sectores construcción, agropecuario, energía y el parque automotor.

Por lo cual, identificando los coeficientes de las variables independientes, se puede ver claramente que las variables como la producción de los sectores construcción, agropecuario, energía y el parque automotor tienen signo positivo, es decir, influyen de manera directa sobre la contaminación del aire. Además, el coeficiente de la densidad poblacional tiene signo negativo, por lo que se determina que influyen de manera negativa en la contaminación del aire en Perú (Tabla 4).

En este entender, analizando los coeficientes se puede establecer que ante un incremento de la crecimiento demográfico representado por la densidad poblacional, si este incrementa en 1%, el valor de la contaminación del aire disminuirá en 0.77%; si incrementa la producción del sector construcción en 1%, el valor de la contaminación

del aire incrementará en 0.29%; si aumenta la producción del sector agropecuario en 1%, el valor de la contaminación del aire aumentará en 0.098%; ante el incremento del 1% en la producción del sector energía, el valor de la contaminación del aire aumentará en 0.24%; si aumenta el parque automotor en 1%, el valor de la contaminación del aire incrementará en 0.19% (Tabla 4).

DISCUSIÓN

De esta manera, los resultados encontrados en esta investigación son coherentes con investigaciones previas como las de Zegarra et al., (26), quienes al investigar la contaminación del aire por emisión de gases de efecto invernadero generados por el parque automotor en Lima Metropolitana, llegaron a identificar que el consumo de combustibles fósiles líquidos es la principal causa de contaminación atmosférica. Justamente, los resultados de la regresión realizada indican que existe una relación de causalidad significativa entre el parque automotor y las emisiones de CO₂, así como una correlación positiva y alta entre ambas variables.

Los resultados obtenidos también guardan relación con la investigación de Ziegler-Rodriguez et al., (61) quienes identificaron el impacto de la producción de cemento en Perú, como parte principal del sector construcción, en los niveles de emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂. Encontrando que las emisiones totales de GEI pueden aumentar hasta en un 12 % por unidad de masa de cemento producido. Para la presente

investigación, el sector construcción tiene un impacto directo y significativo en las emisiones de CO₂ que contaminan el aire, siendo que para un incremento de 1% en el PBI del sector construcción, las emisiones de CO₂ se elevan en 0.29%.

En la investigación de Elías et al., (62) se considera que para los próximos 20 a 30 años, la tendencia de uso de vehículos hará que incremente el uso de combustible en un 55% aumentando las emisiones de CO₂. En los resultados obtenidos de la presente investigación, se observa una tendencia creciente del parque automotor, por lo que por cada 1% de incremento en el número de vehículos en el país al año, las emisiones de CO₂ se elevan en 0.18%.

En el estudio que realizó Al-Asel (10) se identificó que el consumo energético basado en fuentes tradicionales como los combustibles fósiles genera emisiones de contaminantes atmosféricos. Respecto a ello, la presente investigación demuestra empíricamente la relación positiva y significativa entre el PBI del sector electricidad y las emisiones de CO₂, demostrando que frente a un incremento en 1% del PBI de este sector, las emisiones anuales de CO₂ se elevan en 0.24%.

Finalmente, los resultados estimados tienen relación con lo que plantea Ren y Matsumoto (18) quienes, en su investigación, bajo un modelo de retardo espacial de efectos fijos mostraron que tanto los factores socioeconómicos como los naturales eran estadísticamente significativos para las emisiones de contaminantes atmosféricos, aunque el grado difería según el

tipo de contaminante. La población, la tasa de urbanización, el valor de la industria secundaria y los grados día de calefacción y refrigeración afectaron positivamente las emisiones, mientras que la densidad de la población, el producto regional bruto per cápita, la precipitación y la humedad relativa afectaron negativamente las emisiones. Justamente, esta investigación guarda relación con la presente investigación, puesto que se evidenció que la densidad de la población tiene un efecto negativo en las emisiones de CO₂, sin embargo, las demás variables tomadas no se usaron en nuestra investigación por lo que su impacto no es conocido.

CONCLUSIONES

Se concluye que los factores que influyen en la contaminación del aire en Perú durante el periodo 1970-2020, son la densidad poblacional, el parque automotor, la producción de los sectores agropecuario, construcción y energía que explican en 99.14% a la contaminación del aire. Además, el parque automotor, la producción de los sectores agropecuario, construcción y energía influyen de manera directa en la contaminación del aire, mientras que la densidad poblacional influye de manera indirecta.

Por lo tanto ante un incremento en la producción del sector construcción en 1%, el valor de la contaminación del aire incrementará en 0.29%; con respecto a la producción del sector agropecuario si este aumenta en 1%, el valor de la contaminación del aire aumentará en 0.098%; en el caso de la producción del sector energía si incrementa en 1%, el valor de la contaminación

del aire aumentará en 0.24%; mientras que en el caso del parque automotor si aumenta en 1%, el valor de la contaminación del aire incrementará en 0.19%; por último con respecto a la densidad poblacional si este incrementa en 1%, el valor de la contaminación del aire disminuirá en 0.77%.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Conticini E, Frediani B, Caro D. Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy? *Environ Pollut*. 2020 Jun 1;261.
- Coi A, Minichilli F, Bustaffa E, Carone S, Santoro M, Bianchi F, et al. Risk perception and access to environmental information in four areas in Italy affected by natural or anthropogenic pollution. *Environ Int* [Internet]. 2016 Oct 1 [cited 2021 Mar 16];95:8–15. Available from: <http://ambiente-salute.it/wp-content/uploads/Coi-et-al-Risk-perception-in-SEpiAs-areas.pdf>
- Chakraborty S, Tiedemann A V., Teng PS. Climate change: Potential impact on plant diseases. *Environ Pollut* [Internet]. 2000 [cited 2021 Sep 10];108(3):317–26. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15092926/>
- Candi Ashanti D-M, Humberto B-Á, Rodolfo S-E. Prevención, minimización y control de la contaminación ambiental en un ingenio azucarero de México. *Ing Investig y Tecnol* [Internet]. 2014 Oct 1 [cited 2021 Mar 3];15(4):549–60. Available from: <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v15n4/v15n4a6.pdf>
- Rojas FJ, Pacsi S, Sánchez-Ccoyllo OR, Perales MM. Forecast of Reduction of Emissions, Patients, Associated Expenses using Emission Factors and considering Natural Gas within the Energy Matrix in Peru. *Inf Tecnol* [Internet]. 2019;30(3):117–26. Available from: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n3/0718-0764-infotec-30-03-00117.pdf>
- Venter ZS, Anan K, Chowdhury S, Lelieveld J. COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 2020;117(32):18984–90. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.10.20060673v1>
- Saavedra Vargas JD. Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular [Internet]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2014 [cited 2021 Feb 15]. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1872>
- Xu F, Yang ZF, Zhao YW, Chen B. Effects of water recharge on ecosystem health in Baiyangdian Lake, China. *Procedia Environ Sci* [Internet]. 2010 [cited 2023 Feb 11]; 2:349–58. Available from: <https://n9.cl/1dahj>
- Vázquez-Rowe I, Ziegler-Rodríguez K, Laso J, Quispe I, Aldaco R, Kahhat R. Production of cement in Peru: Understanding carbon-related environmental impacts and their policy implications. *Resour Conserv Recycl* [Internet]. 2019 Mar 1 [cited 2023 Feb 11]; 142:283–92. Available from: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900152261>
- Al-Asel (Ace) M. The Effects of Energy Consumption and Carbon Emissions on Turkey's Initiatives in Promoting Sustainable Environmental and Economic Development. *Sustain Futur* [Internet]. 2022;4(June):100089. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100089>
- Rosenson AS, Mintz A, Ali A, Fordham EW. Unsuspected finding on a gastric emptying study. *Clin Nucl Med* [Internet]. 1991;16(10):780–1. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223214848008>
- Cazau Pablo. Introducción a la investigación en Ciencias Sociales [Internet]. Buenos Aires; 2006. Available from: http://www.academia.edu/download/37844523/cazau_-_metodologia.pdf

- 13.** Ni K, Carter E, Schauer JJ, Ezzati M, Zhang Y, Niu H, et al. Seasonal variation in outdoor, indoor, and personal air pollution exposures of women using wood stoves in the Tibetan Plateau: Baseline assessment for an energy intervention study. *Environ Int* [Internet]. 2016 Sep 1 [cited 2023 Feb 11]; 94:449–57. Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163307999>
- 14.** Jiang Y, Luo H, Yang F. Influences of migrant construction workers' environmental risk perception on their physical and mental health: Evidence from china. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2020 Oct 2 [cited 2021 Mar 16];17(20):1–17. Available from: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/20/7424>
- 15.** Bambarén C. Impacto ambiental de un hospital público en la ciudad de Lima, Perú [Internet]. Repositorio Institucional Pirhua. Universidad de Piura; 2014. Available from: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v31n4/a15v31n4.pdf>
- 16.** Serra-Majem L. Nutrición comunitaria y sostenibilidad: concepto y evidencias. *Rev Española Nutr Comunitaria* [Internet]. 2010 Jan 1 [cited 2022 Jan 26];16(1):35–40. Available from: https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC_2010_1-9_Serra-Majem.pdf
- 17.** CCarta F, De Philippis M. The Impact of the COVID-19 Shock on Labour Income Inequality: Evidence from Italy. *SSRN Electron J* [Internet]. 2021 Feb 12 [cited 2021 Dec 3]; Available from: <https://papers.ssrn.com/abstract=3828129>
- 18.** Ren L, Matsumoto K. Effects of socioeconomic and natural factors on air pollution in China: A spatial panel data analysis. *Sci Total Environ* [Internet]. 2020 Oct 20 [cited 2023 Feb 11]; 740:140155. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32569914/>
- 19.** Carrillo J, Lu C-Y, Méndez B, Robles M. La Pandemia del Coronavirus (COVID-19) y su impacto geopolítico, económico y de salud a nivel mundial. *Alianza Investig científica* [Internet]. 2020;21. Available from: <http://aliincis.com/wp-content/uploads/2020/04/La-Pandemia-del-Coronavirus-y-su-impacto-político-en-salud.-EDITADO.pdf>
- 20.** Suárez L, Castillo L, Marín M, Carrillo G, Rímac L, Pomalaya J, et al. Estudio de la variación estacional de ozono troposférico y aerosoles del Perú relacionado a las quemadas de vegetación en la Amazonía. *Mosaico Científico* [Internet]. 2006 [cited 2021 Feb 15];3(3):36–41. Available from: <https://n9.cl/5smvj>
- 21.** Boon RG j., Alexaki A, Becerra EH. The Ilo Clean Air Project: A Local Response to Industrial Pollution Control in Peru. *Environ Urban* [Internet]. 2001;13(2):215–32. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/095624780101300217>
- 22.** Herrera Santos CM. El sector empresarial y la contaminación urbana en Colombia. *Rev Ing* [Internet]. 2009;(30):151–60. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n30/n30a17.pdf>
- 23.** Rodríguez-Guerra A, Cuví N. Contaminación del Aire y Justicia Ambiental en Quito, Ecuador. *Fronteiras* [Internet]. 2019;8(3):13–46. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/0bc6/cf2c1ca14d3a1cd09771fe96667554843226.pdf>
- 24.** Valencia A, Suárez Castaño, Rodrigo; Sánchez A, Cardozo E, Bonilla M, Buitrago C. Gestión de la contaminación ambiental: cuestión de corresponsabilidad Management of Environmental Pollution: a matter of co-responsibility. 2016;90–9. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n30/n30a12.pdf>
- 25.** Pereira Moreira R. Transporte y medio ambiente. Políticas para reducir la contaminación del aire. 2002;(April). Available from: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/reducir.pdf>
- 26.** Zegarra Tello IJ, Cabrera Carranza CF, Moore Torres R. Tendencias y escenarios de la contaminación del aire por origen automotriz en Lima Metropolitana. *Rev del Inst Investig la Fac minas, Metal y ciencias geográficas* [Internet]. 2021;24(47):211–9. Available from: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/20640>

- 27.** Sánchez J, Urrego J, Zakzuk J, Bornacelly A, Castro I, Caraballo L. Niveles de Contaminantes en el aire de Cartagena, Colombia. *Rev la Univ Ind Santander* [Internet]. 2013;45(3):35–44. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/suis/v45n3/v45n3a04.pdf>
- 28.** Testino MG, Cáceres RB. Recursos naturales, medio ambiente y desarrollo: Perú 1970-2010 [Internet]. Vol. 21. 2020. 1–9 p. Available from: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- 29.** Russi D, Martinez-Alier J. Los pasivos ambientales. 2002;(15):123–31. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/509/50901513.pdf>
- 30.** Vázquez Maguirre M, Portales L, Velásquez Bellido I. Indigenous Social Enterprises as Drivers of Sustainable Development: Insights from Mexico and Peru. <https://n9.cl/wxhy3>
- 31.** Parks-Yancy R, DiTomaso N, Post C. How does tie strength affect access to social capital resources for the careers of working and middle class African-Americans? *Crit Sociol* [Internet]. 2009 Jul [cited 2023 Feb 11];35(4):541–63. Available from: <https://n9.cl/k0ln9>
- 32.** Velayarce D, Bustos Q, García MP, Timaná C, Carbajal R, Salvatierra N, et al. Air Quality Analysis in Lima, Peru Using the NO₂ Levels during the COVID-19 Pandemic Lockdown. *Atmosphere (Basel)* [Internet]. 2022;13(3):1–16. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/3/373>
- 33.** Pérez Calderón J. La política ambiental en México: gestión e instrumentos económicos. *El Cotid* [Internet]. 2010;(162):91–7. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32513882011%5CnCmo>
- 34.** Sanhueza JE, Antonissen M. REDD+ en América Latina. Estado actual de las estrategias de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal [Internet]. 2014. Available from: <https://n9.cl/x2zr7>
- 35.** Vinocur P, Halperin L. Pobreza y políticas sociales [Internet]. 2004 [cited 2020 Dec 14]. Available from: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6074>
- 36.** Cepal. Panorama social de America Latina 2021 [Internet]. *Mídias sociais no Brasil emergente*. Santiago, Chile; 2022. Available from: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctv550d07.6>
- 37.** CEPAL N. Pactos políticos y sociales para la igualdad y el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe en la recuperación pos-COVID-19 [Internet]. 2020 [cited 2020 Dec 5]. Available from: <https://n9.cl/m6jsq>
- 38.** Filgueira F, Galindo LM, Giambruno C, Blofield M. América Latina ante la crisis del COVID-19: vulnerabilidad socioeconómica y respuesta social. 2020 Dec 10 [cited 2021 Dec 7]; Available from: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46484>
- 39.** Tolmos RA. Desafíos y propuestas para la implementación más efectiva de instrumentos económicos en la gestión ambiental de América Latina y el Caribe: el caso de Perú División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos [Internet]. 2004. Available from: <https://n9.cl/r0xam>
- 40.** Chirinos R. ¿Cuánto contamina el Perú y qué se hace al respecto? *Moneda* [Internet]. 2021;60–4. Available from: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-188/moneda-188-12.pdf>
- 41.** Lust J. Social Struggle and the Political Economy of Natural Resource Extraction in Peru. *Crit Sociol* [Internet]. 2016 Mar 1 [cited 2023 Feb 11];42(2):195–210. Available from: <https://n9.cl/kuzsr>
- 42.** Orta-Martínez M, Napolitano DA, MacLennan GJ, O’Callaghan C, Ciborowski S, Fabregas X. Impacts of petroleum activities for the Achuar people of the Peruvian Amazon: Summary of existing evidence and research gaps. *Environ Res Lett* [Internet]. 2007;2(4). Available from: <https://researchonline.lshtm.ac.uk/id/eprint/6664/>
- 43.** Alva LGP. El Perú Frente al Cambio Climático y los Tributos Verdes [Internet]. Vol. [1] L. G. 2019. Available from: <https://www.proquest.com/openview/37b26b8715d4fda38df18dd7d66ab92b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

- 44.** Bertha Magdalena GG, María del Socorro GG, Néstor Raúl SV, Teodora Margarita GG. Environmental impact and its link to social, biological and physical factors in Peru. *Rev Ciencias Soc* [Internet]. 2021;27(ESPECIAL 3):281–92. Available from: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/rcs/index>
- 45.** Chung B. Control of Chemical Pollutants IN Peru Simposio: SALUD Ambiental. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* [Internet]. 2008;25(4):413–413. Available from: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n4/a12v25n4.pdf>
- 46.** Krois J, Schulte A. GIS-based multi-criteria evaluation to identify potential sites for soil and water conservation techniques in the Ronquillo watershed, northern Peru. *Appl Geogr* [Internet]. 2014 [cited 2023 Feb 11]; 51:131–42. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622814000769>
- 47.** Bebbington AJ, Bury JT. Institutional challenges for mining and sustainability in Peru. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 2009;106(41):17296–301. Available from: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.0906057106>
- 48.** Bernales Muñoz M del C. Development of an air pollutant emission control system for the Fishmeal Industry in Peru. 2020;(September). Available from: http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/179081/1/2019-20_Bernales_Milagros_written_Final_MFP.pdf
- 49.** Glave MA, Kuramoto J. Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en Perú. In 2002. p. 529–91. Available from: <http://www.grade.org.pe/upload/publicaciones/archivo/download/pubs/JK-MG-Minerª, Minerales y Desarrollo Sustentable en Per£.pdf>
- 50.** Díaz DB, Follegatti JLL, Hordijk M. Innovative urban environmental management in Ilo, Peru. *Environ Urban* [Internet]. 1996;8(1):21–34. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/095624789600800102>
- 51.** Mougenot B, Durand Santa María RP, Koc Olcese CL. Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis: An Empirical Study for Peru. *Int J Energy Econ Policy* [Internet]. 2022;12(1):193–9. Available from: http://www.zbw.eu/econis-archiv/bitstream/11159/8502/1/179763030X_0.pdf
- 52.** Castro M, Sánchez-Triana E, Loayza F, Albarracin-Jordan J, Lima AL. Environmental impact assessment reform in Peru. *IAIA14 Conf Proc* [Internet]. 2014;(April 2014):6. Available from: <https://n9.cl/odcxz>
- 53.** Cordova CH, Portocarrero MNL, Salas R, Torres R, Rodríguez PC, López-Gonzales JL. Air quality assessment and pollution forecasting using artificial neural network in Metropolitan Lima-Peru. *Sci Rep* [Internet]. 2021;11(1):1–19. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03650-9>
- 54.** Velásquez Chacón E, Molina Pinto EJ. Natural energy resources and their impact on environmental pollution in the transport sector in Perú. *Illustro* [Internet]. 2021;12(1):103–19. Available from: <https://revistas.ucsp.edu.pe/index.php/illustro/article/view/1383>
- 55.** Bustíos C, Martina M, Arroyo R. Deterioro de la calidad ambiental y la salud en el Perú actual. *Rev Peru Epidemiol* [Internet]. 2013;17(1):10. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/2031/203128542001.pdf>
- 56.** Tinoco O. Los Impactos del Turismo en el Perú. *Ind Data* [Internet]. 2003;6(1):47–60. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81606106.pdf>
- 57.** Eda LEH, Chen W. Integrated water resources management in Peru. *Procedia Environ Sci* [Internet]. 2010 [cited 2023 Feb 11]; 2:340–8. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029610000721>
- 58.** Charpentier S, Hidalgo J. Las Políticas Ambientales En El Perú [Internet]. 1999. Available from: <https://n9.cl/97yov>
- 59.** Córdova-mendoza P. Primera caracterización de emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú. 2021;33(1):138–53. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212021000100138
- 60.** Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio P. Metodología de la investigación. 2010 [cited 2020 May 26]; Available from: <https://n9.cl/pazld>

61. Ziegler-Rodriguez K, Margallo M, Aldaco R, Vázquez-Rowe I, Kahhat R. Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective. *J Clean Prod* [Internet]. 2019 Aug 20 [cited 2021 May 18]; 229:989–1003. Available from: <https://n9.cl/jwg1r>

62. Elías G-H, Humberto B-Á, Rodolfo S-E, Xicoténcatl L-A, Claudia G-L, Pablo S-Á. Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015 a 2030. *Ing Investig y Tecnol* [Internet]. 2015;16(4):503–13. Available from: <http://revistas.unam.mx/index.php/ingenieria/article/view/52529>