

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EMPRESA

Escuela Académico Profesional de Economía

Tesis

**Efectos de la actividad económica, desigualdad
salarial y productividad energética sobre la
contaminación del aire en el Perú durante el periodo
1990-2021**

Roberto Guillermo De La Cruz Rojas
Corayma Astrid Granados Pizarro
Maria Antonieta Ramos Mendoza

Para optar el Título Profesional de
Economista

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ciencias de la Empresa
DE : Leon Rivera Mallma
 Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 29 de Abril de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Efectos de la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética sobre la contaminación del aire en el Perú durante el período 1990-2021.

Autores:

1. De La Cruz Rojas Roberto Guillermo– EAP. Economía
2. Granados Pizarro Corayma Astrid – EAP. Economía
3. Ramos Mendoza María Antonieta – EAP. Economía

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (9): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

Dedicatoria

El presente trabajo va dirigido a Dios, por otorgarnos la vida, asimismo, a cada uno de nuestros padres, por su esfuerzo y apoyo constante, de igual manera a cada uno de nuestros profesores en nuestra etapa universitaria por sus grandes enseñanzas.

Agradecimiento

Nuestra gratitud a Dios, a nuestros padres y docentes, por prepararnos y acompañarnos en nuestros estudios universitarios.

Índice de contenido

Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenido.....	vi
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
Introducción	xiv
Capítulo I. Planteamiento del problema	1
1.1 Delimitación del problema	1
1.1.1. Espacial.....	1
1.1.2. Temporal.....	1
1.1.3. Conceptual	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Formulación del problema.....	7
1.3.1. Problema general	7
1.3.2. Problemas específicos.....	7
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos	7

1.5	Justificación e importancia	8
1.5.1.	Justificación teórica	8
1.5.2.	Justificación metodológica	8
1.5.3.	Justificación práctica	9
Capítulo II.	Marco teórico	10
2.1	Antecedentes de la investigación.....	10
2.1.1.	Internacionales.....	10
2.1.2.	Nacionales.....	13
2.2	Bases teóricas.....	14
2.2.1.	La curva ambiental de Kuznets.....	14
2.3	Definición de términos básicos.....	19
2.3.1.	Actividad económica.	19
2.3.2.	Coeficiente de GINI.....	19
2.3.3.	Contaminación del aire.....	19
2.3.4.	Desigualdad salarial.....	20
2.3.5.	Dióxido de carbono (CO ₂).	20
2.3.6.	Gas metano (CH ₄).	20
2.3.7.	Productividad energética.	20
2.3.8.	Óxido nitroso (N ₂ O).....	21
Capítulo III.	Hipótesis.....	22
3.1	Hipótesis de la investigación	22
3.1.1.	Hipótesis general.	22
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	22
3.2	Identificación de variables.....	23
3.2.1.	Dependiente.	23

3.2.2. Independientes.....	23
3.3 Operacionalización de variables.....	23
Capítulo IV. Metodología.....	26
4.1 Enfoque de la investigación.....	26
4.2 Tipo de investigación.....	26
4.3 Nivel de investigación.....	27
4.4 Método de investigación.....	27
4.4.1. Método general.....	27
4.4.2. Método particular.....	27
4.5 Diseño de investigación.....	28
4.6 Población y muestra.....	28
4.6.1. Población.....	28
4.6.2. Muestra.....	28
4.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
4.7.1. Instrumento de recolección de datos.....	29
4.7.2. Técnicas econométricas de procesamiento de datos.....	30
4.7.3. Test econométricos para la comprobación de supuestos.....	33
Capítulo V. Resultados.....	36
5.1 Análisis descriptivo.....	36
5.2 Análisis correlacional.....	40
5.3 Test de Cointegración de Johansen.....	41
5.4 Test de raíz unitaria.....	42
5.5 Resultados de regresión.....	43
5.5.1. Modelo econométrico estimado por MCO.....	43
5.6 Discusión de resultados.....	50

Conclusiones.....	54
Recomendaciones	56
Referencias bibliográficas	58
Apéndice	65
Apéndice 1. Matriz de consistencia	65
Apéndice 2. Matriz de operacionalización de las variables	66
Apéndice 3. Instrumento de recolección de datos.....	67
Apéndice 4. Datos recolectados de cada variable	68
Apéndice 5. Test de cointegración de Johansen para las variables en nivel ...	69
Apéndice 6. Tabla descriptiva de variables regresionadas	69

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Escenarios hipotéticos para el resultado de $\delta P/\delta M$ para cada nivel de ingresos</i>	17
Tabla 2 <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	25
Tabla 3 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	29
Tabla 4 <i>Matriz de análisis</i>	30
Tabla 5 <i>Descripción de las variables</i>	40
Tabla 6 <i>Coefficiente de correlación y sus pruebas de significancia entre la variación de las variables</i>	41
Tabla 7 <i>Descripción de variables sobre el grado de integración</i>	43
Tabla 8 <i>Resultados de regresión</i>	44
Tabla 9 <i>Resumen de pruebas de cointegración de Johansen</i>	45
Tabla 10 <i>Test de heterocedasticidad de Breusch-Pagan-Godfrey</i>	47
Tabla 11 <i>Test de heterocedasticidad de White</i>	48
Tabla 12 <i>Test de autocorrelación serial de los residuos de estimación</i>	48
Tabla 13 <i>Método de factores de inflación de la varianza</i>	49

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Emisión de gases de efecto invernadero per cápita de los años 1990-2021, en toneladas métricas	4
<i>Figura 2.</i> Producto bruto interno per cápita de los años 1990-2021, a precios constantes del 2007 en miles de soles.....	5
<i>Figura 3.</i> Intensidad energética de los años 1990-2021, en terajulios por millón de PIB (TJP)	5
<i>Figura 4.</i> Coeficiente GINI de los años 1990-2021	6
<i>Figura 5.</i> Evolución de variables, 1990-2021	37
<i>Figura 6.</i> Histograma y descripción de los residuos de estimación	47

Resumen

La presente investigación ha pretendido responder si existe un efecto significativo de la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética sobre la contaminación del aire en Perú durante el período 1990-2021. Además, se responde sobre el efecto de cada variable independiente sobre la contaminación del aire. Para estos fines, se adoptó un modelo de regresión múltiple, con el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Los resultados muestran que la actividad económica, tuvo un efecto positivo y significativo sobre la contaminación del aire, también se encontró que la productividad energética ha tenido un efecto negativo y significativo sobre la contaminación del aire. Por otro lado, contrario a la hipótesis planteada, no se encontró que la desigualdad salarial tiene un efecto significativo sobre la contaminación del aire, complementariamente se encontró que las variables explicativas explican en un 80.94% al indicador de la contaminación del aire.

Palabras clave: contaminación del aire, desigualdad salarial, productividad energética, actividad económica.

Abstract

The present research has sought to answer whether there is a significant effect of economic activity, wage inequality and energy productivity on air pollution in Peru during the period 1990-2021. In addition, the effect of each independent variable on air pollution is answered. For these purposes, a multiple regression model was adopted, using the ordinary least squares (OLS) method. The results show that economic activity had a positive and significant effect on air pollution; it was also found that energy productivity had a negative and significant effect on air pollution. On the other hand, contrary to the hypothesis, it was not found that wage inequality has a significant effect on air pollution, and it was also found that the explanatory variables explain 80.94% of the air pollution indicator.

Keywords: air pollution, wage inequality, energy productivity, economic activity.

Introducción

La presencia de elementos perjudiciales para el medio ambiente ha tomado mucha importancia en años recientes, principalmente en países desarrollados e incluso en países como Perú (países emergentes). Esto ha tenido diversos tipos de consecuencias, como protestas que motivaron la formulación de leyes o acciones que deben limitar y controlar la contaminación en sus diversas manifestaciones.

El caso peruano no está exento de estos eventos, ya que se desarrollaron muchas protestas en los últimos años que reclamaban en contra de la presencia de componentes nocivos en el aire, como sucedió en La Oroya donde la empresa Doe Run desempeñaba labores en el Complejo Metalúrgico La Oroya y no cumplió con el PAMA (Programa de Adecuación y Manejo Ambiental).

Otros tipos de protestas se encuentran relacionados con la contaminación del agua, como sucedió en el 2011 con el movimiento ¡Conga no va!, en Cajamarca, donde sustentaban que el proyecto minero Conga perjudicaba la actividad productiva de la comunidad, debido que estas se basaban en la cantidad y calidad de agua que disponía para sus actividades agrícolas; también, se puede destacar el conflicto social en contra del proyecto Tía María, siendo el 2015 el último paro que tuvo como consecuencia la muerte de 5 personas.

Recientemente, son muy evidentes las protestas en contra de la contaminación del mar peruano en el 2022, debido al derrame de por lo menos de 11900 barriles de

petróleo, según datos del Ministerio del Ambiente (MINAM). Este evento es preocupante por las consecuencias negativas que tiene.

En tal sentido, dada la preocupación por la creciente contaminación, la presente investigación plantea responder al interrogante ¿De qué manera la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética influyen en la contaminación del aire en el Perú durante el período 1990-2021?

Para estos fines, en el capítulo I se describe el planteamiento del problema, y los objetivos de la investigación; asimismo, se da a conocer por qué la presente investigación justifica su ejecución. En el Capítulo II, se presenta el respaldo de la investigación; es decir, los antecedentes recabados a nivel internacional y nacional, consecutivamente se exponen los fundamentos bibliográficos en las bases teóricas.

En el capítulo III, se formula la hipótesis general y específica; se presenta la operacionalización de las variables comprendidas en el estudio. Por consiguiente, en el capítulo IV, se mencionan los métodos, la data muestral y los instrumentos utilizados para su recolección. Así mismo, en el capítulo V se muestran los resultados obtenidos, y la discusión de resultados, para finalmente mostrar las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron en la presente investigación.

Capítulo I. Planteamiento del problema

1.1 Delimitación del problema

1.1.1. Espacial

La presente investigación consideró información de cada una de las variables tomadas conforme a los datos obtenidos de la realidad peruana.

1.1.2. Temporal

El período que comprende la investigación corresponde a los años de 1990 al 2021.

1.1.3. Conceptual

La presente investigación tiene como alcance el análisis de los efectos de la actividad económica, desigualdad salarial y la productividad energética sobre el medio ambiente.

1.2 Planteamiento del problema

La contaminación del aire es una problemática latente en el mundo, ya que de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud ([OMS], s.f) “nueve de cada diez personas respiran aire contaminado”. La explicación de por qué se mantiene esta tendencia es discutible, ya que

muchos estudios plantean que la contaminación se encuentra relacionada con la actividad económica, el nivel de productividad energética y la desigualdad salarial que tiene un país.

Teniendo claro el problema de la contaminación como un todo que afecta en diversos niveles del medio ambiente, existiendo de esta manera contaminación del suelo, hídrica, acústica y del aire. Es necesario establecer un enfoque claro sobre la contaminación del aire como la que tiene mayor prevalencia y repercusión en la salud del hombre.

La actividad humana se sustenta sobre la base de la transformación de la energía primaria en energía secundaria; esta transformación genera la emisión de diferentes tipos de gases, como los gases fluorados, dióxido de carbono, óxido nitroso y el gas metano. La agrupación de estos gases es llamada gases de efecto invernadero (GEI).

Teniendo en cuenta que la contaminación del aire es un tipo de contaminación, autores como Pilatwska et al. (2017), Jiménez et al. (2019), Arnaut et al. (2021) plantean que existe una asociación directa entre la contaminación y la actividad económica, otros autores como Grossman et al. (1991) explican que en primera instancia una economía necesita contaminar para solventar su proceso de crecimiento económico (efecto escala), hasta el punto donde hay suficientes recursos que impulsan la mitigación de la contaminación. La mitigación se genera a partir del aumento de productividad energética, que puede ser caracterizado por la transición de economías basadas en la producción industrial a una de servicios (efecto composición), o también por el uso de tecnologías limpias (efecto tecnológico).

Por su parte, Liu et al. (2020) señala que la contaminación del aire y la desigualdad salarial son dos de los problemas globales más importantes por lo que es relevante la comprensión de su relación conjunta, otros autores como Bimonte (2002), argumenta que la contaminación ambiental se encuentra asociada al nivel de desigualdad salarial de una economía, debido que la calidad ambiental es considerado un bien de lujo, por lo que reducir

la contaminación se vuelve una tarea difícil cuando hay más desigualdad salarial; asimismo, Saravia (2002), mide la desigualdad salarial a partir del coeficiente GINI y sostiene que este tiene un efecto significativo en el deterioro de la calidad del aire; puesto que, los mayores niveles de desigualdad salarial están asociados a menores niveles de contaminación del aire.

Según los datos obtenidos sobre la contaminación del aire en el Perú muestran que el 88.1 % de la población perteneciente a los hogares urbanos consideran que el aire que se encuentra en su zona o barrio es contaminado, mientras que el 89.60 % de los hogares de la costa declaran que el aire se encuentra contaminado, seguido de la sierra con el 87,5% y la selva con el 79,1%, según el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA,2019). Por lo que se puede deducir, que existe una preocupación latente entre la población que desarrolla su vida en zonas urbanas, los mismos que notan los altos niveles de contaminación del aire.

Además, según el ranking “World Air Quality Report” del 2021 (2022), Perú es el país de la región con mala calidad de aire; en conformidad a este reporte Perú excede los niveles permisibles de concentración de materia particulada con $29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual es un claro problema para los habitantes que se encuentran expuestos a los niveles no permisibles.

En la figura 1 se muestra el comportamiento de la contaminación del aire, mediante la evolución de la emisión de GEI, se muestra en el Perú una conducta variable y ascendente desde 1990 hasta el año 2021; siendo el año 2021, el año con mayor emisión de GEI con un total de 3.31 tm por persona; por otro lado, el año 1992 fue el año con menor emisión, con un aproximado de 1.91 tm por persona; además se observa que en el año 2020 ocurrió una reducción notoria de GEI llegando hasta 2.70 tm, este registro es incluso parecido al registro de GEI para el año 2008.

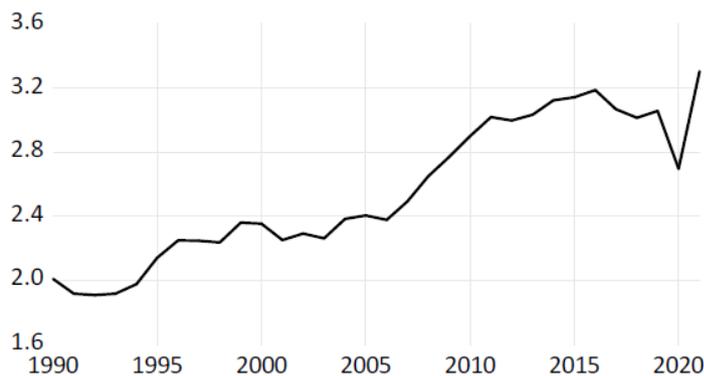


Figura 1. Emisión de gases de efecto invernadero per cápita de los años 1990-2021, en toneladas métricas

Nota. Información proveniente del Banco Mundial y MINEM.

En primer lugar, se observa que GEI tuvo un comportamiento ascendente; siendo entre 1990 y 2005, los años en los que el GEI se emite de forma no tan acelerada, creciendo un 19.82%; en cambio, entre 2006 y 2016, este se acumuló en mayor medida, porque creció en 34.15%; en dirección contraria, se observa que entre 2017 y 2019 hubo una reducción de 0.35% pero que para el año 2021 volvía a superar el registro del 2019 para GEI, en total se observa que durante el periodo 1990-2021, GEI creció en 64.66%

Como se entiende de los distintos autores mencionados anteriormente, es posible que la contaminación del aire se encuentre asociada con la actividad económica. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022), muestra que la actividad económica ha crecido de forma sostenible y alta en las tres últimas décadas, presentando períodos de mayormente de expansión. El 2020, se registró un mayor decrecimiento por factores exógenos generados por la COVID-19, que impactó en la economía peruana cuyo producto disminuyó en el 12.30% para este año, siendo una de las peores contracciones de la actividad económica; adicionalmente, en la figura 2 se observa que el PIB per cápita peruano tuvo un crecimiento de 139% desde 1990 al 2021, ya que varió de 6.85 a 16.38 miles de soles.

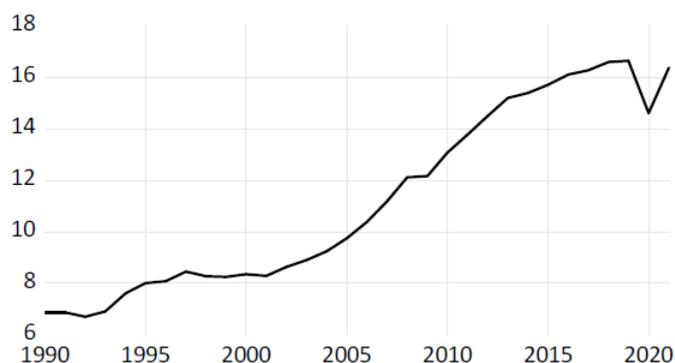


Figura 2. Producto bruto interno per cápita de los años 1990-2021, a precios constantes del 2007 en miles de soles.

Nota. Información proveniente del BCRP.

Por otra parte, es importante conocer acerca de la productividad energética debido a que distintos autores, ya mencionados, señalan que podría incidir en la contaminación del aire, se entiende que esta variable refleja el consumo de insumos energéticos que necesita un país para solventar cierto nivel de producto. En la figura 3, se observa que la intensidad energética se redujo en 31.99% entre los años 1990-2021, entonces se puede deducir que Perú viene consumiendo cada vez menos energía para solventar un millón de PIB.

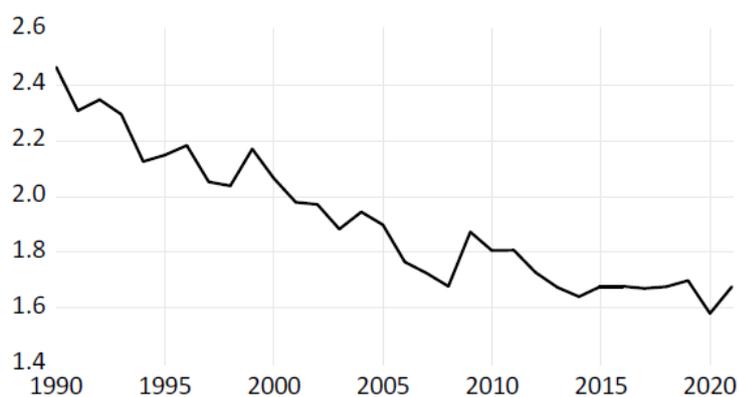


Figura 3. Intensidad energética de los años 1990-2021, en terajulios por millón de PIB (TJP)

Nota. Información proveniente del Balance Nacional de Energía 2021.

Como se viene mencionando, la desigualdad salarial también podría incidir en la contaminación del aire según distintos investigadores; para el caso peruano, en la figura 4 se observa a la desigualdad salarial medida a través del coeficiente GINI el cual se reduce en 17.04% desde 1990 al 2021; asimismo, la reducción de GINI no es considerable dentro de los años 1990-2004, porque solo se redujo en 1.96%; sin embargo, su reducción fue más considerable entre los años 2005-2021, porque GINI se reduce en 14.97%.

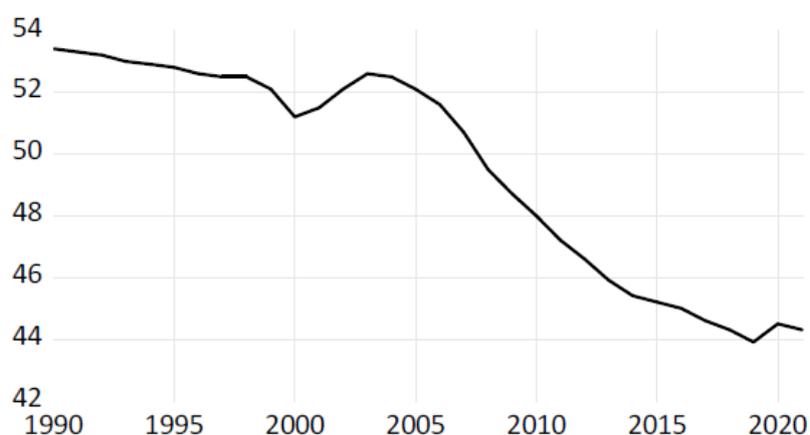


Figura 4. Coeficiente GINI de los años 1990-2021

Nota. Información proveniente de Standardized World Income Inequality Database (SWIID).

Debido a la problemática presentada, es importante determinar de qué manera la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética inciden en la contaminación del aire en el Perú. Asimismo, se requiere de esta investigación, ya que hay limitada información existente de los efectos de las variables explicativas consideradas en la investigación sobre la contaminación ambiental del aire en países subdesarrollados, como lo es Perú. Los argumentos considerados en el presente apartado motivan a responder ¿De qué manera la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética afectan a la contaminación del aire en Perú durante el período 1990-2021?

1.3 **Formulación del problema**

1.3.1. **Problema general**

¿De qué manera la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética inciden en la contaminación del aire en Perú durante el período 1990-2021?

1.3.2. **Problemas específicos**

- ¿Cuál es el efecto de la actividad económica sobre la contaminación del aire en Perú en el período 1990-2021?
- ¿Cuál es el efecto de la desigualdad salarial sobre la contaminación del aire en Perú en el período 1990-2021?
- ¿Cuál es el efecto de la productividad energética sobre la contaminación del aire en Perú en el período 1990-2021?

1.4 **Objetivos**

1.4.1. **Objetivo general**

Determinar de qué manera la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética afectan a la contaminación del aire en el Perú en el período 1990-2021.

1.4.2. **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la actividad económica sobre la contaminación del aire en el Perú en el período 1990-2021.
- Determinar el efecto de la desigualdad salarial sobre la contaminación del aire dentro del Perú en el período 1990-2021.
- Determinar el efecto de la productividad energética sobre la contaminación del aire en el Perú en el período 1990-2021.

1.5 **Justificación e importancia**

1.5.1. **Justificación teórica**

Esta investigación surgió debido a la limitada información existente de la incidencia de las variables explicativas que son consideradas en esta investigación sobre la contaminación ambiental en países emergentes como lo es Perú; dado que, no se conoce cómo podría estar afectando variables como la desigualdad salarial, productividad energética dado que la mayoría e investigación como Minaya (2018), Moreno (2018) y Litano (2012) se enfocan más en el efecto que podría tener la actividad económica sobre la contaminación del aire.

Por lo que mediante un análisis de los datos sobre las implicancias de actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética se pretende contribuir al desarrollo de la teoría empírica que propone la economía ambiental en países donde no se conocen con certeza dichos efectos, esto será de utilidad para próximas investigaciones, sirviendo de esta manera, como ítem para nuevas investigaciones en la materia.

1.5.2. **Justificación metodológica**

El método general utilizado como medio de veracidad y confiabilidad de la presente investigación fue, el método científico, cada etapa del estudio siguió esta metodología. Mediante un enfoque econométrico se pretendió cuantificar los efectos de las variables independientes sobre la dependiente; por lo que, fue necesario realizar un análisis explicativo, consistente y eficiente que permitió determinar con claridad estos efectos.

Para ello, el método econométrico considerado fue el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO); puesto que Gujarati et al. (2010), indicaron que “es el método que presenta propiedades estadísticas muy atractivas que lo han convertido en uno de los más eficaces del análisis de regresión” (p.55). Asimismo, se utilizó como instrumento de recolección de datos

la matriz de análisis, y programas como Excel y Eviews¹², los cuales permitieron determinar los objetivos de la investigación.

1.5.3. Justificación práctica

La contaminación del aire es un problema importante para estudiar dado que la OMS (s.f) sostiene que “A causa de la contaminación del aire se agrava la salud” por tanto estudiar cómo podría estar afectando la actividad económica, la desigualdad salarial y el nivel de productividad energética a la contaminación del aire, puede incrementar el conocimiento de este problema en la práctica. En efecto, la presente investigación pretende apoyar en la disminución de la asimetría de información que se tiene con respecto a la contaminación del aire y sus relaciones, lo cual incentivará a mejorar y proponer políticas para la reducción de las externalidades negativas que son perjudiciales para el bienestar de la sociedad.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Arnaut et al. (2021), en la investigación titulada “Environmental sustainability and economic growth in greenland: Testing the environmental kuznets curve” estudian empíricamente la existencia de la curva ambiental de Kuznets (CAK) en Groenlandia para el período 1970-2018 empleando un modelo econométrico ADRL (autorregresivo con rezagos distribuidos). Los autores utilizaron como indicador de calidad ambiental a las emisiones de dióxido de carbono, y como variables explicativas al producto bruto interno como medida del ingreso, la producción total de electricidad como medida del uso de energía y una variable que explica la urbanización del país. Los resultados muestran que un aumento del 1% sobre los ingresos representa una reducción del 18.33% de las emisiones de dióxido de carbono, también concluyen que el consumo de energía explica de forma significativa y positiva a las emisiones, y finalmente, la urbanización afecta de forma significativa y negativa a las emisiones.

Adicionalmente, concluyen que la relación entre las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico tiene la forma de U, debido que Groenlandia había experimentado

una transición de desacoplamiento (entre estas dos variables) durante una etapa temprana de desarrollo asociada con las condiciones estructurales de una economía pequeña; sin embargo, la expansión de la industria incentivó a que esta relación se revierta, motivo por el cual se generó una relación significativa y causal positiva entre las emisiones de dióxido de carbono y el producto bruto interno.

Ridzuan (2019), en su investigación titulada “Inequality and the environmental Kuznets curve” estudió la relación entre la desigualdad de ingresos y el medio ambiente en una muestra de 174 países, para este fin utilizó una especificación de la CAK de Bradford et al. (2005) y empleó una regresión de datos de panel considerando efectos fijos por mínimos cuadrados ordinarios.

El autor utilizó el dióxido de azufre como indicador de la contaminación del medio ambiente y al coeficiente GINI como indicador de desigualdad de ingresos. Resultado de las regresiones concluyó que, la desigualdad de ingresos fue nocivo para el medio ambiente; además encontró que el nivel de desigualdad de un país agrava la magnitud del efecto negativo para el medio ambiente del mismo país. El autor explica que esta relación se genera debido a que la desigualdad de ingresos conduce a una menor demanda pública de protección del medio ambiente o también es posible, que los ricos con influencia económica tienen poder para evitar regulaciones ambientales. Por medio de esta investigación se puede deducir una posible relación existente entre la desigualdad de ingresos y la demanda pública para la protección del medio ambiente.

Por otra parte, Jiménez et al. (2019) en su investigación titulada “Kuznets environmental Curve for Ecuador: An analysis of the impact of economic growth on the environment” evaluaron el impacto del crecimiento económico sobre las emisiones de dióxido de carbono, considerando como fuente teórica a la CAK. Los autores evalúan el impacto

utilizando la metodología del polinomio de Almon de tercer grado con tres rezagos; ya que, permitió determinar mejor el impacto de cierta variable en diferentes momentos del tiempo sobre la variable dependiente.

Finalmente, los autores concluyen que, para el caso ecuatoriano, existe una relación causal positiva del PIB per cápita sobre la emisión de CO₂; además, cuando el PIB no crece, la emisión de CO₂ tampoco lo hace. Este resultado fue explicado, en gran parte, porque Ecuador es un país en vías de desarrollo; en consecuencia, necesita de la explotación de recursos naturales para continuar con su desarrollo económico.

Por su parte, Pilatwska et al. (2017) en su investigación titulada “The environmental Kuznets curve in the CEE countries—the threshold cointegration approach” determinaron la relación entre las emisiones de dióxido de carbono y el crecimiento económico a largo plazo, de los países de Europa Central y Oriental; para lo cual, utilizan el modelo de corrección de error umbral y el modelo de corrección de error umbral de impulso, bajo un enfoque de cointegración no lineal.

El período de estudio que consideran los autores fue desde 1995 hasta 2012; entre los resultados más importantes se encuentran que entre las variables de emisión de dióxido de carbono y crecimiento económico existe una cointegración no lineal, para el país de Rumania; asimismo, los resultados evidencian que las relaciones entre las variables involucradas, para este país, tienen la forma de U invertida, característico de la CAK.

Este resultado se debe a que Rumania tiene políticas medioambientales efectivas, en cuanto a la reducción de emisiones de CO₂; sin embargo, para los países de Eslovenia y Estonia, la relación a largo plazo entre emisiones y crecimiento económico fue en forma de U. Este último resultado es sustentado por una falta de actividad en cuanto a la política

gubernamental o una débil regulación ambiental, a fin de reducir las emisiones de CO₂; por ende, se afirma que no se cumple la CAK, para estos últimos países.

Asimismo, los autores indicaron que, para los demás países, excepto Hungría, existe una cointegración lineal entre las emisiones y el crecimiento económico. Además, entre los países involucrados, que tienen cointegración lineal entre las variables, sólo los países de Eslovaquia y República Checa tienen una relación entre las variables involucradas en forma de U invertida.

Finalmente, los autores concluyeron que la curva ambiental de Kuznets es válida en algunos países CEE, y esto se debe a que su cumplimiento se dé en países con un consumo diversificado de energía y con regulación ambiental, a fin de conseguir y mantener la calidad ambiental.

2.1.2. Nacionales

Existen diversos artículos científicos que estudian los efectos del PIB sobre la contaminación del aire en Perú. En principio, Moreno (2018) detalló en su investigación titulada “Dinámica de sistemas y la curva medio ambiental de Kuznets en Perú (1990-2015)” que los contaminantes como: óxido de nitrógeno, dióxido de carbono y óxido de azufre y tuvieron una relación positiva con el nivel per cápita del ingreso. En efecto, se determina que Perú se ubica en el primer tramo de la curva ambiental de Kuznets (CAK), para estos gases.

Así mismo, detalla que existe una relación negativa con el monóxido de carbono, el metano y partículas contaminantes en el aire; en tal sentido, el autor aclaró que, para estos contaminantes, Perú se encuentra en el segundo tramo de la curva ambiental de Kuznets. Además, el autor realizó un análisis sistémico de la CAK, utilizando mapas o diagramas de influencias, con la motivación de utilizar escenarios en el software Stella que le permitieron corroborar las relaciones expuestas.

Así mismo, Minaya (2018) en su investigación titulada “La Curva de Kuznets Ambiental (CKA) basada en el Indicador de Consumo Material Doméstico (CDM): Perú, 1970-2015” estimó la relación entre los ingresos y el consumo doméstico de materiales, esta última variable fue un indicador de presión ambiental que hace referencia a los recursos naturales que han sido transformados en la economía para un tiempo determinado. El autor concluye finalmente, que el ingreso y el consumo doméstico de materiales han tenido una relación positiva debido a que Perú fue una economía de estructura primario-exportadora y de servicios.

Por otra parte, Litano (2012) en su investigación titulada “Estimación de la Curva Ambiental de Kuznets en la economía peruana: Producción y Medio Ambiente. Periodo: 1970-2010” midió la relación entre el PBI per cápita, las exportaciones industriales y la intensidad energética con los niveles de emisión per cápita del dióxido de carbono. Para medir esta relación, el autor, hizo tres estimaciones con el método de mínimos cuadrados ordinarios, de los cuales concluyó que en ningún caso se logra formar todos los tramos de la curva ambiental de Kuznets; en efecto, concluye que la relación producto y el daño en el medio ambiente tuvo pendiente lineal y positiva.

Finalmente, propone que el estado debe implementar medidas de política energética, para el cuidado del medio ambiente, en planes estratégicos de largo plazo orientados, principalmente, a una organización sectorial y regional de la energía.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. La curva ambiental de Kuznets.

La base teórica para la presente investigación es la que propone Andreoni et al. (2001), los autores modelan de forma simple la contaminación tomando como referencia argumentos de “La curva ambiental de Kuznets” (CAK); además, se acopla a este modelo, argumentos importantes para el análisis de la contaminación, que son propuestas por Bimonte (2002) y

Grossman et al. (1991). El modelo resume una situación donde solo hay un grupo de individuos representativos que maximizan su utilidad; el cual depende de las combinaciones de consumo (C) y contaminación del aire (P) que prefiera.

El consumo se determina por la adquisición de bienes de primera necesidad representado por “Cn”, cuyo consumo genera contaminación, y de calidad ambiental (Ca), cuyo consumo reduce la contaminación, ya que son todos los bienes y servicios consumidos que tienen un impacto negativo reducido en la calidad del aire debido que internalizan los precios de impactos negativos en el ambiente; además se supone que ambos bienes son normales. Es importante suponer que los individuos consideran que: Cn es preferible que Ca, cuando no ha satisfecho completamente sus necesidades básicas, y que Ca es preferible que Cn, cuando sus necesidades básicas ya están satisfechas.

La preferencia de Ca, “ β ”, es determinada por la desigualdad salarial (-), porque un contexto que tenga más desigualdad hace menos probable que el sector de individuos con menos ingresos salariales pueda demandar más calidad del aire, ya que están más enfocados en la satisfacción de sus necesidades primarias; por tanto, una alta desigualdad no permite evitar los efectos de la contaminación del aire; este argumento se acopla de las afirmaciones de Bimonte (2002).

En cuanto a la preferencia de Cn, “ α ”, tiene una relación con la importancia de contaminar como un problema para los individuos, cuanto menos importante es la contaminación, la preferencia de “ α ” es menor a “ β ” y viceversa. Además ($\alpha + \beta$) es conocido como la productividad energética que tiene esta economía, la cual puede ser $=, >, < a 1$; cuando ($\alpha + \beta$) es mayor a 1 significa que cada unidad adicional consumida en Cn y Ca tienen un efecto mayor sobre la utilidad de los individuos debido que tienen efecto de escala creciente.

Del individuo representativo se puede decir, que considera que debe distribuir los ingresos M , como índice de actividad económica, en “ C_n ” y “ C_a ”. Además, este individuo tiene una función de utilidad, como se muestra a continuación.

$$U = U(C, P) \quad (1)$$

De la ecuación 1, se sabe que la utilidad marginal del consumo es positiva (>0) y la utilidad marginal de la contaminación es negativa (<0). Así mismo, la contaminación “ P ” es un subproducto del consumo de “ C_n ” y puede ser combatido o reducido con el consumo de “ C_a ”. En tal sentido la contaminación “ P ” tiene las siguientes relaciones.

$$P = P(C_n(+), C_a(-)) \quad (2)$$

En la ecuación 2 se observa que un aumento de “ C_n ” implica un aumento de la contaminación, y un aumento en “ C_a ” reduce la contaminación. En consecuencia, la función de utilidad y contaminación son definidas, en su forma más simple, como:

$$U = C_n + A \cdot C_n^\alpha C_a^\beta - zP \quad (3)$$

$$P = C_n - B C_n^\alpha C_a^\beta \quad (4)$$

Se puede ver que si $z > 0$, entonces la contaminación genera desutilidad, también se puede observar que la contaminación es un subproducto del consumo de C_n y se reduce con $(B C_n^\alpha C_a^\beta)$.

Si se supone que la desutilidad marginal de la contaminación es 1, entonces la utilidad está definida por la siguiente función, donde D es igual a B más una constante.

$$U = D \cdot C_n^\alpha C_a^\beta \quad (5)$$

La solución producto de un proceso de maximización es:

$$C_n^* = (\alpha / (\alpha + \beta)) * M \quad (6)$$

$$Ca^* = (\beta / (\alpha + \beta)) * M \quad (7)$$

En tal sentido la contaminación óptima es:

$$P^* = (\alpha / (\alpha + \beta)) * M - (\alpha / (\alpha + \beta))^\alpha * (\beta / (\alpha + \beta))^\beta * M^{\alpha + \beta} \quad (8)$$

El cambio de la contaminación “P” frente a cambios en “M” y es:

$$\delta P^* / \delta M = \alpha / (\alpha + \beta) - (\alpha + \beta) * (\alpha / (\alpha + \beta))^\alpha * (\beta / (\alpha + \beta))^\beta * M^{\alpha + \beta - 1} \quad (9)$$

Los resultados de la ecuación 9 dependen de los valores que tenga α y β ; para una explicación más clara y simplificada de los posibles resultados de la ecuación 9, se presenta en la tabla 1 un resumen de casos hipotéticos.

Tabla 1

Escenarios hipotéticos para el resultado de $\delta P / \delta M$ para cada nivel de ingresos

		Ingreso						
		10	11	12	13	14	15	16
a=0.7 y b=0.3								
	Cuando a>b, a+b=1	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157
a=0.3 y b=0.7								
	Cuando a<b, a+b=1	-0.243	-0.243	-0.243	-0.243	-0.243	-0.243	-0.243
a=0.6 y b=0.3								
$\delta P / \delta M$	Cuando a>b, a+b<1	0.264	0.267	0.271	0.274	0.277	0.280	0.282
a=0.3 y b=0.6								
	Cuando a<b, a+b<1	-0.070	-0.066	-0.063	-0.059	-0.056	-0.054	-0.051
a=0.7 y b=0.4								
	Cuando a>b, a+b>1	-0.037	-0.043	-0.049	-0.055	-0.060	-0.065	-0.069
a=0.4 y b=0.7								
	Cuando a<b, a+b>1	-0.310	-0.316	-0.322	-0.328	-0.333	-0.338	-0.342

La tabla 1, resume escenarios hipotéticos para el resultado de $\delta P / \delta M$ para cada nivel de ingresos, donde $(\alpha + \beta)$ es $=, >, < a 1$. De estos escenarios se puede decir que $\delta P / \delta M$ es negativa siempre que $\alpha < \beta$; en cambio, $\delta P / \delta M$, es positiva siempre que $\alpha > \beta$, excepto cuando $(\alpha + \beta) > 1$.

Por consiguiente, la única forma para que $\delta P/\delta M$ sea negativa es cuando $\alpha < \beta$ o que $(\alpha + \beta) > 1$, entonces para que una economía reduzca la contaminación es necesario que “Ca” sea preferible que “Cn” o que el consumo de “Ca” y “Cn” tengan rendimientos a escala creciente.

En tal sentido, P es generada por M, pero este efecto va en conjunto con las características que tenga la economía, como es el caso de la preferencia de “Ca” sobre “Cn”, el cual es determinado por la desigualdad salarial, como lo menciona Bimonte (2002).

Además, se observa que el efecto de M sobre P también depende de $(\alpha + \beta)$; en consecuencia, M no es suficiente para explicar P; ya que, la productividad del consumo de “Cn” y “Ca” tiene efectos sobre P. Esta productividad del consumo hace referencia al efecto composición y tecnológico mencionado por Grossman et al. (1991).

Dado el marco teórico presentado, se espera que para el caso peruano la actividad económica, que representa a M (debido a que puede ser medida por el PIB a través del método de ingresos), la productividad energética y la desigualdad salarial tengan un efecto positivo, negativo y positivo, respectivamente, sobre la contaminación (P); además, estos efectos se espera que sean significativos. Es importante detallar que para la presente investigación el tipo de contaminación, como objeto de estudio, está limitada a ser la contaminación del aire, medido por la emisión de GEI.

Conforme a lo ya mencionado, lo que se busca sustentar es que al ser Perú un país con alta desigualdad, aclarado por el “Diario oficial del Bicentenario El Peruano” (2021), esto no permite que “Ca” sea preferible que “Cn”; por lo tanto, esta alta desigualdad no es favorable para mitigar la contaminación. Adicionalmente, según Loayza (2016) considera que Perú tiene niveles bajos de productividad, pero a lo largo de los años se observó según lo mencionado anteriormente una reducción del crecimiento del consumo de energía por unidad de

producción; en consecuencia, se espera que haya una incidencia negativa de la productividad energética sobre la contaminación del aire.

Finalmente, se espera que el efecto de la actividad económica sobre la contaminación del aire sea positivo; debido que, Perú ha tenido un alto crecimiento económico en las últimas tres décadas, y esto implica que sostener el producto genera muchos residuos, mayor cantidad de emisiones y en consecuencia más contaminación del aire.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1. Actividad económica.

Se define como aquel conjunto de acciones o procesos, por medio del cual las personas generan bienes y brindan servicios para poder satisfacer las necesidades de personas externas por un pago o retribución. BCR (2017)

2.3.2. Coeficiente de GINI.

Según el IPE (2022), es aquel indicador que mide la desigualdad en el ingreso, entre 0 y 100, donde “0” representa una igualdad perfecta en la asignación del ingreso, y “100” una desigualdad perfecta.

2.3.3. Contaminación del aire.

Según National Geographic (2017), se define a aquella composición de partículas y gases que pueden llegar a generar concentraciones perjudiciales tanto a un nivel interno como externo. Su impacto puede incluir un aumento del riesgo de enfermedades y de temperaturas.

2.3.4. Desigualdad salarial.

Campos et al. (2019), mencionan que es la diferencia existente entre la distribución de ingresos salariales entre la población en una economía. El indicador principal que mide esta desigualdad es el coeficiente de Gini.

2.3.5. Dióxido de carbono (CO₂).

Es el gas que se libera como resultado de las acciones humanas y se encuentra naturalmente en la atmósfera como parte del ciclo del carbono de la Tierra. El ciclo del carbono es alterado muchas veces por las actividades humanas; dado que, emiten más CO₂ a la atmósfera y así perturban la capacidad de los disipadores naturales para eliminar el CO₂ de la atmósfera y la capacidad de las tierras para acumular carbono. (EPA, 2021).

2.3.6. Gas metano (CH₄).

Es un gas de efecto invernadero (GEI) muy peligroso, cuya emisión agrava cada día más la crisis climática, afectando negativamente la calidad del aire y la salud humana. Con un potencial de calentamiento global 86 veces mayor que el dióxido de carbono (CO₂). Las emisiones de metano son responsables de casi el 25% del calentamiento global. (MINAM, 2021)

2.3.7. Productividad energética.

Calvet (2022) lo define como el indicador que representa la cantidad de recursos energéticos que necesita un país (o un sector) para producir bienes y servicios. (p. 97). De esta forma el cociente entre el consumo final y el valor añadido bruto (PIB) es interpretado como las unidades de energía necesarias para reducir la riqueza.

2.3.8. Óxido nitroso (N₂O)

Es el gas producto de la agricultura e industrias, la quema de combustibles, y el manejo de aguas residuales generadas por algunas de las actividades humanas. Asimismo, el ciclo del nitrógeno de la Tierra produce óxido nitroso naturalmente en la atmósfera. (EPA,2022).

Capítulo III. Hipótesis

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1. Hipótesis general.

La actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética afectan significativamente a la contaminación del aire en Perú dentro de los años 1990-2021.

3.1.2. Hipótesis específicas.

- Existe un efecto positivo de la actividad económica sobre la contaminación del aire en Perú durante el período 1990-2021.
- Existe un efecto positivo de la desigualdad salarial sobre la contaminación del aire en Perú durante el período 1990-2021.
- Existe un efecto negativo de la productividad energética sobre la contaminación del aire en Perú durante el periodo 1990-2021.

3.2 Identificación de variables

Para este apartado se eligieron las variables basadas en las distintas teorías presentadas anteriormente, así como en el marco teórico y aspectos empíricos. A continuación, se detallan las variables empleadas en el modelo econométrico.

3.2.1. Dependiente.

- Contaminación del aire

3.2.2. Independientes.

- Actividad económica
- Desigualdad salarial
- Productividad energética

3.3 Operacionalización de variables

La contaminación del aire, siendo una variable dependiente para la presente investigación utiliza como indicador, la emisión de gases de efecto invernadero per cápita. Los gases de efecto invernadero (GEI) considerados son, el dióxido de carbono (CO₂), el gas metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), y los gases fluorados (hidrofluorocarbonos-HFC, perfluorocarbonos-PFC y hexafluoruro de azufre-SF₆). Es importante detallar que las emisiones de GEI totales están medidas en valores equivalentes al dióxido de carbono, por lo que fue necesario tomar en cuenta los valores equivalentes al carbono de cada gas considerado y como unidad de medida las toneladas métricas.

Por otra parte, se considera como indicador de la actividad económica al producto bruto interno real, porque se quiere aislar el efecto que tiene la inflación en la medida del producto bruto interno, medido en miles de soles a precios constantes del 2007. De otro lado, se

consideró como indicador de desigualdad salarial al coeficiente Gini disponible después del pago de impuestos, esto permite que la disparidad salarial esté más enfocada a lo que finalmente tiene el individuo después de pagar impuestos.

Finalmente, el indicador de productividad energética, que es la intensidad energética, está compuesto por la división del consumo energético de todos los sectores económicos y el producto bruto interno nominal.; este indicador se interpreta como el consumo energético en terajulios por millón de producto bruto interno nominal en soles.

Tabla 2*Matriz de operacionalización de variables*

Variables	Tipo de variable	Dimensión	Subdimensión	Indicadores	Unidad de medida
Variable Dependiente					
Contaminación del aire.	Cuantitativa continua.	Emisiones generadas por la transformación de energía primaria en secundaria.	Emisión de dióxido de carbono	Emisión de gases de efecto invernadero per cápita (GEI).	Toneladas métricas.
			Emisión de gas metano		
			Emisión de Óxido nitroso		
			Emisión de gases fluorados		
Variables Independientes					
Actividad económica.	Cuantitativa continua.	Producción de bienes y servicios.	Valor de la producción de bienes y servicios finales.	Producto bruto interno per cápita real (PIB).	Miles de soles, a precios constantes de 2007.
Desigualdad Salarial.	Cuantitativa continua.	Desigualdad de ingresos salariales.	Desigualdad de ingresos salariales disponibles después de impuestos.	Coficiente Gini disponible, después de impuestos (GINI).	Máxima igualdad salarial (0) y máxima desigualdad salarial (100).
Productividad energética.	Cuantitativa continua.	Consumo de insumos energéticos.	Consumo de insumos energéticos por unidad de producto.	Intensidad energética (IE).	Terajulios por millón de producto bruto interno en soles.

Capítulo IV. Metodología

4.1 Enfoque de la investigación

Para el presente trabajo de investigación se hizo uso de enfoque cuantitativo; ya que Hernández (2018), afirma que dicho enfoque es secuencial y probatorio, dado que parte de una idea que va limitándose, y una vez definida se procede a la formulación de objetivos y preguntas, y la revisión de la literatura para finalmente crear una perspectiva o marco teórico. Se crean hipótesis y variables a partir de las preguntas; se crea un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un contexto específico; se utilizan métodos estadísticos para analizar las mediciones obtenidas y se extraen una serie de conclusiones sobre la o las hipótesis. (p.6).

4.2 Tipo de investigación

En este trabajo de investigación se utilizó el tipo de investigación básica, según Hernández et al. (2018), es aquella que genera conocimientos y teorías mejoradas y nuevas; siendo así, la más adecuada para planteamientos de problemas cuantitativos. En tal sentido, la investigación surgió desde las teorías de la contaminación del aire con la

finalidad de orientar los resultados para diseñar políticas de protección del medio ambiente en el Perú.

4.3 Nivel de investigación

Con la presente investigación se busca determinar la incidencia de la actividad económica desigualdad salarial y productividad sobre la contaminación del aire en Perú.

En tal sentido, el presente trabajo de investigación fue de nivel explicativo, porque según Hernández et al. (2018) mencionan que es dar respuesta al porqué de sucesos físicos y sociales; es decir, pretende explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué situaciones se manifiesta o se relaciona con dos o más variables” (p.117).

4.4 Método de investigación

4.4.1. Método general.

El presente trabajo, contempló como método universal al “método científico”; mientras que, como método general se utilizó el “método hipotético - deductivo”; el cual, se inicia de la teoría del funcionamiento de ciertas cosas para posteriormente formular hipótesis que puedan ser comprobables, serán comprobados mediante la compilación de datos y su análisis, y los resultados respaldarán o negarán la teoría. Debido a que se parte de principios generales, suposiciones e ideas para proponer afirmaciones más específicas sobre la apariencia y el funcionamiento del mundo, se puede decir que es una forma de razonamiento deductivo.

4.4.2. Método particular.

Para esta investigación se empleó el método estadístico, dado que, según Rodríguez & Pérez (2017) para poder verificar sus hipótesis; es decir, afirmar o refutar los supuestos planteados en el trabajo de investigación, las investigaciones de estilo teóricas o empíricas

se apoyan en este método. Además, como método econométrico se utilizó el modelo mínimos cuadrados ordinarios (MCO); puesto que, se ha utilizado un conjunto de datos que tiene información con respecto a una dimensión de tiempo y una dimensión de unidad.

4.5 **Diseño de investigación**

En la investigación se hizo uso del diseño no experimental-longitudinal; ya que este diseño es el adecuado según Hernández et al. (2018), son estudios que recolectan datos en espacios de tiempo, y así poder realizar inferencias acerca del comportamiento del problema a investigar, detallando las causas que lo generan y que efectos conlleva. (p.180)

4.6 **Población y muestra**

4.6.1. Población.

La presente investigación consideró como población al conjunto de datos disponibles anuales de Perú, correspondiente a los indicadores de cada variable independiente y dependiente propuestos en la presente investigación.

4.6.2. Muestra.

El tamaño de la muestra fue de 32 observaciones, correspondientes a los datos anuales de Perú tomados en el período 1990-2021 de cada una de las variables propuestas.

4.7 **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Los datos de cada año y de cada variable, mostrados en el apéndice 4, se obtienen a partir de la recolección de información histórica encontrados en diferentes portales de importantes instituciones como: Banco Mundial (BM), Banco Central de Reservas del

Perú (BCRP), Standardized World Income Inequality Database (SWIID), Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y Ministerio del Ambiente (MINAM).

Tabla 3

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Indicador	Técnica	Instrumento	Fuente
Emisión de gases de efecto invernadero per cápita (GEI).	Análisis documental.	Matriz de análisis de datos.	Banco Mundial (BM) y Ministerio de Energía y Minas (MINEM)
Producto bruto interno per cápita real (PIB).	Análisis documental.	Matriz de análisis de datos.	Banco Central de Reservas del Perú (BCRP).
Coficiente Gini disponible, después de impuestos (GINI).	Análisis documental.	Matriz de análisis de datos.	Standardized World Income Inequality Database (SWIID).
Intensidad energética (IE).	Análisis documental.	Matriz de análisis de datos.	Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

4.7.1. Instrumento de recolección de datos.

La matriz de análisis es un instrumento facilitador en la extracción de información, porque lo hace de forma ordenada y permite, al investigador, analizar la información con mayor profundidad; en tal sentido la recolección se dio de acuerdo con el tipo de variable, indicador, unidad de medida y la fuente donde se acudió, tal como se muestra en la tabla 4.

Cabe resaltar que el indicador GEI tiene datos disponibles en el BM para los años de 1990-2020 y que el dato del año 2021 se generó a partir de que el MINEM registre un crecimiento de la emisión de gases de efecto invernadero de 24.02%, entre 2020-2021. Además, para los indicadores que necesiten una transformación per cápita, se consideró el registro de la población total del Perú para el periodo de estudio.

Tabla 4*Matriz de análisis*

Variable	Tipo de Variable	Indicador	Unidad de medida	Fuente
Contaminación del aire.	Cuantitativa continua.	Emisión de gases de efecto invernadero per cápita (GEI).	Toneladas métricas.	Banco Mundial (BM) y Ministerio de Energía y Minas (MINEM)
Actividad económica.	Cuantitativa continua.	Producto bruto interno per cápita real (PIB).	Miles de soles, a precios constantes de 2007.	Banco Central de Reservas del Perú (BCRP).
Desigualdad Salarial.	Cuantitativa continua.	Coefficiente Gini disponible, después de impuestos (GINI).	Máxima igualdad salarial (0) y máxima desigualdad salarial (100).	Standardized World Income Inequality Database (SWIID)
Productividad energética.	Cuantitativa continua.	Intensidad energética (IE).	Terajulios por millón de producto bruto interno en soles.	Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

4.7.2. Técnicas econométricas de procesamiento de datos.

El método utilizado para el procesamiento de datos fue el método de estimación de parámetros de mínimos cuadrados ordinarios (MCO); ya que, “el método de mínimos cuadrados presenta propiedades estadísticas muy atractivas que lo han convertido en uno de los más eficaces y populares del análisis de regresión” (Gujarati y Porter, 2010, p.55).

Para obtener la estimación por MCO, se parte de definir la regresión muestral en su forma matricial como.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & X_{31} & \cdots & X_{k1} \\ 1 & X_{22} & X_{32} & \cdots & X_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{2n} & X_{3n} & \cdots & X_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \\ \vdots \\ \hat{u}_n \end{bmatrix} \\
 \mathbf{y} &= \mathbf{X} \hat{\boldsymbol{\beta}} + \hat{\mathbf{u}} \\
 n \times 1 & \quad n \times k \quad k \times 1 \quad n \times 1
 \end{aligned} \tag{10}$$

Donde $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ es el vector columna de los estimadores correspondientes a los regresores, representados por X , de Y (que representa al vector variables regresadas de 1 hasta \hat{u}). Además, n es el vector columna de los residuos de regresión desde 1 hasta k .

El método MCO, consiste en minimizar la suma de los cuadrados del residuo de estimación, el cual se representa así.

$$(11) \quad \hat{\mathbf{u}}' \hat{\mathbf{u}} = [\hat{u}_1 \quad \hat{u}_2 \quad \cdots \quad \hat{u}_n] \begin{bmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \\ \vdots \\ \hat{u}_n \end{bmatrix} = \hat{u}_1^2 + \hat{u}_2^2 + \cdots + \hat{u}_n^2 = \sum \hat{u}_i^2$$

Despejando $\hat{\mathbf{u}}$, de la ecuación, y reemplazando en 11 se tiene.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{u}}' \hat{\mathbf{u}} &= (\mathbf{y} - \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}})'(\mathbf{y} - \mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}}) \\ &= \mathbf{y}'\mathbf{y} - 2\hat{\boldsymbol{\beta}}'\mathbf{X}'\mathbf{y} + \hat{\boldsymbol{\beta}}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\hat{\boldsymbol{\beta}} \end{aligned} \quad (12)$$

Tras un proceso de diferenciación de la ecuación 12, se tiene como resultado.

$$(\mathbf{X}'\mathbf{X})\hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (13)$$

Si se premultiplica la inversa de $(\mathbf{X}'\mathbf{X})$, a ambos lados de la ecuación, entonces se forma una matriz identidad en el lado izquierdo de la ecuación; en consecuencia, la expresión para definir a los estimadores es:

$$(14) \quad \begin{array}{ccccc} \hat{\boldsymbol{\beta}} & = & (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} & \mathbf{X}' & \mathbf{y} \\ k \times 1 & & k \times k & (k \times n) & (n \times 1) \end{array}$$

Para más detalle algebraico necesario para entender el método MCO, se puede consultar el apéndice C.3 de Gujarati et al. (2010).

La estimación con el método MCO debe seguir ciertos supuestos importantes para obtener una interpretación aceptable de los valores estimados de la regresión; en efecto, se presentan los supuestos extraídos, que según Gujarati et al. (2010) son importantes al momento de estimar por MCO.

1. El modelo de regresión es lineal en los parámetros
2. Los valores de los regresores son aleatorios.

3. El valor medio de la perturbación es igual a cero y se distribuye con normalidad, esto implica que los factores incorporados en el residuo no afectan sistemáticamente a la media de la variable dependiente.
4. Existe homocedasticidad o varianza constante de la perturbación, esto implica que los estimados sean insesgados, por lo que son más fiables para las pruebas de hipótesis.
5. No hay autocorrelación entre las perturbaciones, esto garantiza estimadores eficientes y evita el error de especificación.
6. El número de observaciones fue mayor que el número de parámetros por estimar, esto garantiza que sea posible estimar el modelo de regresión.
7. Los regresores no deben tener valores atípicos, esto evita que los resultados de regresión se vean dominados por eventos atípicos; es por ello, que para la estimación se eliminan los datos atípicos.
8. No hay multicolinealidad exacta entre regresores, esto facilita que los estimadores por MCO no presenten varianzas y covarianzas grandes que impidan su precisión.
9. El modelo de regresión está correctamente especificado.

El cumplimiento de estos supuestos garantiza que los estimadores de mínimos cuadrados sean estimadores insesgados (MEI) y consistentes; por ende, los estimadores insesgados poseen varianza mínima y convergen hacia sus reales valores poblacionales. Gujarati et al. (2010, p.101).

Antes de la estimación por MCO se verificó que las variables regresionadas sean estacionarias y cointegren, por ello se hizo uso del test de raíz unitaria de Dickey-Fuller Aumentado el cual estima un modelo y el test de cointegración de Johansen

4.7.3. Test econométricos para la comprobación de supuestos.

Todos los test empleados para validar los supuestos del método de estimación de parámetros MCO se desarrollaron según se detalla en IHS Global, Inc. (2020), antes de ello se establece cómo se regresionan las variables tomando en cuenta los resultados del test de cointegración de Johansen y el test de raíz unitaria de Dickey-Fuller aumentado.

4.7.3.1 Test de cointegración de Johansen

El test de cointegración de Johansen son pruebas estadísticas que evalúan la presencia y cantidad de relaciones en el largo plazo de múltiples series temporales, matemáticamente se desarrolla de la siguiente forma considerando inicialmente un modelo VAR de $Y(t)$:

$$Y(t) = A1.Y(t - 1) + A2.Y(t - 2) + \dots + An.Y(t - n) + v(t) \quad (15)$$

La ecuación 15 puede ser escrito también de la siguiente forma:

$$\Delta Y(t) = C + v(t) + \Pi Y(t - 1) + \sum_{i=1}^{n-1} \Gamma_i Y(t - n) \quad (16)$$

$$\text{Donde } \Pi = \sum_{i=1}^{n-1} A_i - I \text{ y } \Gamma_i = -\sum_{j=i+1}^n A_j$$

Las pruebas de la traza consisten en testear la hipótesis nula de r (rango de Π) vectores cointegrantes frente a la hipótesis alterna del número de vectores de cointegración, por su parte, la prueba del valor propio comprueba la hipótesis nula de r vectores de cointegrantes frente a la hipótesis alterna de $r + 1$ vectores de cointegración.

4.7.3.2 Test de raíz unitaria de Dickey-Fuller aumentado.

$$\Delta y(t) = x'\delta + \alpha.y(t - 1) + \beta_1.\Delta y(t - 1) + \beta_2.\Delta y(t - 2) + \dots + \beta_n.\Delta y(t - n) + v(t) \quad (17)$$

Donde la variación de $y(t)$ es igual a un componente exógeno " x " que es una constante, tendencia o ambos, sumado al primer rezago de " y " y la suma total de las variaciones de " y " desde $(t - 1)$ hasta $(t - n)$.

De este modelo se sabe que si el valor absoluto del coeficiente " α " fue mayor 1 y significativo entonces $\Delta y(t)$ no estacionario.

4.7.3.3 *Test de heterocedasticidad de Breusch-Pagan-Godfrey.*

El presente test consiste en estimar a los residuos al cuadrado de una regresión respecto de los mismos regresores empleados en la regresión inicial, que en la ecuación 16 son: x_1, x_2, \dots, x_n .

$$\hat{\epsilon}_i^2 = \delta_0 + \delta_1 \cdot x_1 + \delta_2 \cdot x_2 + \dots \delta_n \cdot x_n + u \quad (18)$$

Para probar homocedasticidad fue necesario demostrar la insignificancia de los regresores sobre la variable regresionada $\hat{\epsilon}_i^2$.

4.7.3.4 *Test de heterocedasticidad de White.*

El presente test consistió en estimar a los residuos al cuadrado de una regresión respecto de los mismos regresores empleados en la regresión inicial, el producto de estos y el cuadrado de cada uno, como se muestra en la ecuación 17.

$$\hat{\epsilon}_i^2 = \delta_0 + \delta_1 \cdot x_1 + \delta_2 \cdot x_2 + \delta_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + \delta_4 \cdot x_1^2 + \delta_5 \cdot x_2^2 + u \quad (19)$$

La homocedasticidad de los residuos se cumple cuando no hay significancia estadística en conjunto de los regresores para explicar a los residuos al cuadrado de la ecuación 17, que es un planteamiento para 2 regresores.

4.7.3.5 *Test de autocorrelación serial de los residuos de estimación de Breusch-Godfrey.*

El presente test consistió en estimar a los residuos al cuadrado de una regresión respecto de los mismos regresores empleados en la regresión inicial y los rezagos de los residuos, como se muestra en la ecuación 18.

$$\hat{\varepsilon}_T^2 = \delta_0 + \delta_1 \cdot x_1 + \delta_2 \cdot x_2 + \dots + \delta_n \cdot x_n + \beta_1 \cdot \hat{\varepsilon}_{T-1} + \beta_2 \cdot \hat{\varepsilon}_{T-2} + \dots + \beta_3 \cdot \hat{\varepsilon}_{T-j} \quad (20)$$

La no autocorrelación serial de los residuos consistió en probar que estadísticamente los regresores de la ecuación 18, no son significativos para explicar $\hat{\varepsilon}_T^2$.

4.7.3.6 *Factor de inflación de la varianza (VIF).*

$$VIF = \frac{1}{1-R_K^2} \quad (21)$$

El VIF es un indicador de multicolinealidad y se define como la división entre uno y la diferencia de con el coeficiente de determinación R_K^2 de regresar la variable independiente y_k . Si el VIF toma valores mayores a 5, se considera comúnmente, que existe una colinealidad preocupante entre los regresores de y_k .

4.7.3.7 *Test de Jarque-Bera (JB).*

$$JB = \frac{N}{6} \cdot (S^2 + 0,5 \cdot (K - 3)^2) \quad (22)$$

El test de JB consistió en un cálculo considerando el número de observaciones "N", la asimetría de la data muestral "S²" y la curtosis "K", como se observa en la ecuación 22. El valor que se obtiene del estadístico tiene que ser menor al valor crítico tabulado, ya que de esta forma no se rechaza estadísticamente la hipótesis de distribución normal en la serie.

Capítulo V. Resultados

En el capítulo V, se presenta el análisis estadístico descriptivo, correlacional, inferencial y econométrico de las variables dependientes e independientes; adicionalmente se presentan los resultados de regresión.

5.1 Análisis descriptivo

La figura 5, muestra el comportamiento de las variables cuantitativas continuas dependientes e independientes entre los años 1990 y 2021. En primer lugar, se observa que GEI tuvo un comportamiento ascendente; siendo entre 1990 y 2005, los años en los que el GEI se emite de forma no tan acelerada, creciendo un 19.82%; en cambio, entre 2006 y 2016, este se acumuló en mayor medida, porque creció en 34.15%; en dirección contraria, se observa que entre 2017 y 2019 hubo una reducción de 0.35% pero que para el año 2021 volvió a superar el registro del 2019.

La actividad económica, medida por el PIB, registra a partir de 1990 niveles de crecimiento alto, debido que este año es el año en el que comenzó el camino hacia la estabilidad económica, a partir de ello la economía peruana ha experimentado un

crecimiento de forma sostenible y alta hasta el 2021 que según los datos creció en 139.08%

Por otra parte, el coeficiente GINI se ha reducido entre 1990 y 2021; sin embargo, entre 1990 y 2004 esta reducción no fue considerable; ya que, solo se redujo en 1.69%; en cambio, a partir de 2005 la reducción fue en mayor cuantía debido que GINI decreció en 14.97% hasta el año 2021.

En cuanto a la intensidad energética (IE), que mide la inversa de la productividad energética de una economía, se redujo en 31.99% entre los años 1990 y 2021, esto significa que la productividad ha mejorado en las últimas tres décadas, pero en comparación de las demás variables, este fue más volátil a lo largo del período de estudio.

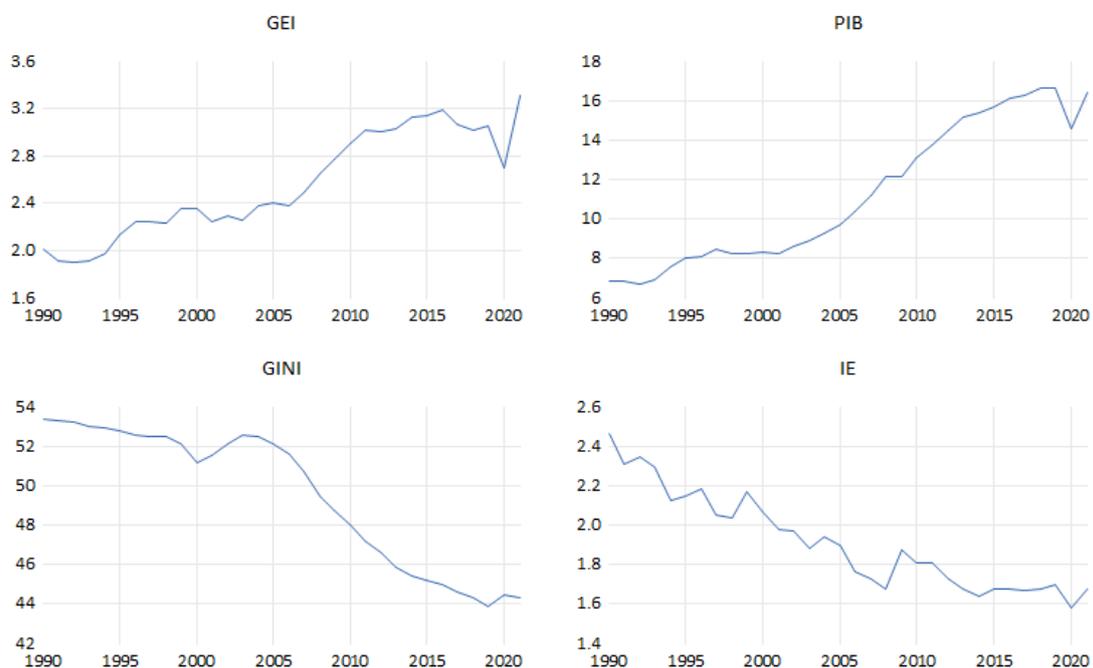


Figura 5. Evolución de variables, 1990-2021

Continuando con la descripción de las variables, esta vez utilizando medidas de tendencia central y dispersión, se tiene lo siguiente.

Se puede observar en la tabla 5, que GEI fue en promedio 2.55 tm; además, se observa que la mediana fue de 2.39 tm y se aproximó bastante a la media. También se observa que, el máximo GEI fue de 3.31 tm y el mínimo fue 1.91 tm; en cuanto a la desviación estándar típica, se observa que la variación promedio con respecto a la media de los datos fue de 0.44 tm; este se aproximó a 0 y se puede decir que hubo una baja dispersión de la distribución de los datos.

Del mismo modo, la asimetría o sesgo (Skewness) y curtosis de GEI son 0.14 y 1.65, respectivamente; estos valores se aproximan de forma moderada a una distribución normal; ya que, la asimetría fue próxima a 0 y la curtosis a 3. En cuanto a la hipótesis de existencia de distribución normal de los datos del GEI, evaluada con el test Jarque-Bera, tuvo una probabilidad de aceptarse de 28.42%; en tal sentido, al 5% de error, se aceptó esta hipótesis.

Por otra parte, el producto bruto interno per cápita (PIB) fue en promedio 11.22 miles de soles, además se observa que la mediana fue de 10.01 miles y se aproximó bastante a la media, también se observa que el PIB máximo fue de 16.65 miles y el mínimo fue 6.68 miles. En cuanto a su desviación estándar típica, la variación promedio con respecto a la media de los datos fue de 3.57 miles de soles.

Del mismo modo, la asimetría o sesgo (Skewness) y curtosis de PIB per cápita son 0.29 y 1.49, respectivamente; estos valores se aproximaron de forma baja a una distribución normal, ya que la asimetría fue próxima a 0 y la curtosis a 3. En cuanto a la hipótesis de existencia de distribución normal de los datos del PIB, evaluada con el test Jarque-Bera, tuvo una probabilidad de aceptarse de 17.48%; en tal sentido, al 5% de error, se aceptó esta hipótesis.

Para el coeficiente GINI, se tuvo que fue en promedio 49.55, además se observa que la mediana fue de 51.35 y se aproximó regularmente a la media; también se sabe que el GINI máximo fue de 53.40 y el mínimo fue 43.9; en cuanto a su desviación estándar típica, se observa que la variación promedio con respecto a la media de los datos fue 3.49.

Del mismo modo, la asimetría o sesgo (Skewness) y curtosis del coeficiente GINI son -0.45 y 1.51, respectivamente; estos valores se aproximan de forma regular a una distribución normal; ya que, la asimetría fue próxima a 0 y la curtosis a 3. En cuanto a la hipótesis de existencia de distribución normal de los datos de GINI, evaluada con el test Jarque-Bera, tuvo una probabilidad de aceptarse de 13.25%; en tal sentido, al 5% de error, se aceptó esta hipótesis.

Para IE se tiene que fue en promedio 1.91 terajulios por millón de PIB(TJP), además se observa que la mediana es de 1.88 TJP y se aproxima regularmente a la media. También se muestra que, el IE máximo fue 2.46 y el mínimo fue 1.58 ambos en TJP. En cuanto a su desviación estándar típica, se observa que la variación promedio con respecto a la media de los datos es 0.24 TJP, este se aproximó a 0, por lo que se puede decir que hubo una baja dispersión de la distribución de los datos.

Del mismo modo, la asimetría o sesgo (Skewness) y curtosis de IE son 0.57 y 2.21, respectivamente; estos valores se aproximan de forma moderada a una distribución normal; ya que, la asimetría y curtosis se aproximan moderadamente a 0 y 3, respectivamente. En cuanto a la hipótesis de existencia de distribución normal de los datos de IE, evaluada con el test Jarque-Bera, tuvo una probabilidad de aceptarse de 27.42%; en tal sentido, al 5% de error, se aceptó esta hipótesis.

Tabla 5*Descripción de las variables*

	GEI	PIB	GINI	IE
Mean	2.554629	11.22130	49.55313	1.912958
Median	2.394623	10.05678	51.35000	1.877486
Maximum	3.305688	16.65216	53.40000	2.463925
Minimum	1.906297	6.682663	43.90000	1.580199
Std. Dev.	0.438526	3.565231	3.486100	0.243689
Skewness	0.144288	0.292349	-0.453333	0.573611
Kurtosis	1.656847	1.491848	1.513347	2.209588
Jarque-Bera	2.516447	3.488525	4.042907	2.587827
Probability	0.284158	0.174774	0.132463	0.274196
Sum	81.74812	359.0817	1585.700	61.21466
Sum Sq. Dev.	5.961454	394.0369	376.7397	1.840911
Observations	32	32	32	32

5.2 Análisis correlacional

La tabla 6, presenta la correlación entre las diferentes variables consideradas en la presente investigación, tomando en cuenta la variación logarítmica de cada variable, ya que fueron estacionarias en primer orden, según se detalla en la tabla 7. Este análisis de correlación muestra, inicialmente, cuán relacionados se encuentran dos variables de forma lineal.

Tabla 6

Coefficiente de correlación y sus pruebas de significancia entre la variación de las variables

Correlation Probability	LGEI	LPIB	LIE	LGINI
LGEI	1.000000 ----			
LPIB	0.708531 0.0000	1.000000 ----		
LIE	0.557270 0.0011	0.005687 0.9758	1.000000 ----	
LGINI	-0.363028 0.0447	-0.447454 0.0116	-0.165265 0.3743	1.000000 ----

Inicialmente se ve, en la tabla 6, que LGEI tuvo una correlación positiva y moderada con LPIB y LIE de 70.85% y 55.73%, respectivamente. Estas correlaciones, fueron significativas al 1%, 5% y 10%, y refleja que el crecimiento de GEI estaba asociado positivamente con los crecimientos de PIB y DIE durante el periodo de estudio.

En cambio, LGEI tuvo una correlación negativa y moderada con LGINI de -48.74%; además, esta correlación fue significativa al 1%, 5% y 10%. En base a esto se puede decir que el crecimiento de GEI estuvo asociado negativamente con el crecimiento de GINI durante el periodo de estudio.

5.3 Test de Cointegración de Johansen

La existencia de cointegración o una relación de equilibrio a largo plazo es importante al momento de analizar variables de series de tiempo, ya que si las variables cointegraran, Engle et. al (1987) menciona que la combinación lineal entre variables no estacionarias puede ser estacionarias, es por ello por lo que en el Apéndice 5 se muestra según los resultados del test de cointegración de Johansen, que los estadísticos de traza y valores propios máximos, que prueban la existencia de cointegración, no coinciden en

que exista alguna ecuación de cointegración dado que el test de la traza lo acepta, pero el de los valores propios máximos no. Es importante mencionar que la prueba de cointegración se ejecutó considerando un rezago de las series en niveles y la presencia de intercepto en una serie con tendencia lineal determinística.

5.4 Test de raíz unitaria

Dado lo anterior es importante determinar en qué grado las series temporales de cada variable en nivel son estacionarias, debido que en nivel no presentan cointegración, como se observa en el Apéndice 5, por lo que se podría generar una regresión espuria producto de la combinación lineal entre estos.

Para la correspondiente regresión de una serie de tiempo se tomó en cuenta que las variables sean estacionarias para evitar tener regresiones espurias, ya que Gujarati et al. (2010), indican que “la regresión de una serie de tiempo no estacionaria sobre otra no estacionaria puede causar una regresión espuria” (p.762).

En efecto, se hizo la prueba de raíz unitaria con el test de Dickey-Fuller aumentado para cada variable, la probabilidad de aceptar la existencia de raíz unitaria para cada variable en primera diferencia logarítmica, mostrada en la tabla 6, fue menor al 5% y 10%. Por tanto, las variables de interés se encuentran integradas en orden 1; entonces, las variables de serie de tiempo en primera diferencia logarítmica son estacionarias y cualquier combinación lineal entre estos no generan resultados espurios.

Para la respectiva prueba de raíz unitaria se formuló una regresión de cada variable con una constante y tendencia u opcionalmente se siguieron criterios gráficos para determinar la existencia de tendencia e intercepto, para cada variable en diferencia logarítmica mostrada en la tabla 7.

Tabla 7*Descripción de variables sobre el grado de integración*

Variable	Constante	Tendencia	P-value del test Dickey Fuller Aumentado	Grado de integración
GEI	No	No	0.00000	I(1)
PIB	Sí	No	0.00030	I(1)
GINI	No	No	0.02650	I(1)
IE	No	No	0.00000	I(1)

5.5 Resultados de regresión

El modelo de regresión, con el método de estimación de parámetros de mínimos cuadrados ordinarios, de acuerdo con la variable dependiente y las variables independientes, propuestas en anteriores apartados, tuvo la siguiente estructura.

$$LGEI_t = \delta * LPIB_t + \emptyset * LGINI_t + \epsilon * LDIE_t + \epsilon_t \quad (23)$$

Donde $LGEI_t$, representa a la variación de la emisión de gases de efecto invernadero per cápita en tm; $LPIB_t$ representa a la variación del producto bruto interno per cápita en miles de soles; $LGINI_t$, representa la variación de la desigualdad de ingresos de las familias; LIE_t , representa la intensidad energética en TJP.

Es importante detallar que, el subíndice "t" representa, en todos los casos, el dato de la variable en cuestión en el año "t" de la economía peruana. Así mismo, cada una de estas variables independientes tuvo sus coeficientes estimados al lado izquierdo; además, se observa que los residuos de la estimación, de cada año, están representados por ϵ_t .

5.5.1. Modelo econométrico estimado por MCO

El modelo econométrico que se presenta en la tabla 8, es una combinación lineal entre variables que presentan relaciones de cointegración, esto implica que hay relaciones

estables a largo plazo entre las variables. Para probar este resultado se presenta en la tabla 9, el resultado de la prueba de cointegración de Johansen para el grupo de variables regresionadas; este resultado muestra que existe al menos 4 ecuaciones de cointegración, al 0.05 de nivel de error según el test de traza y según el test de valores máximos propios indicó que hay una ecuación de cointegración, considerando la no presencia de intercepto y tendencia para ambos test.

En base a esto, se puede decir de este resultado que las variables regresionadas están vinculadas de manera estable a lo largo del tiempo, la combinación entre estas variables no es espurias y dado la existencia de cointegración las estimaciones de parámetros que se obtuvieron son más eficientes y consistentes.

Aclarado la existencia de cointegración entre las variables regresionadas, se presenta a continuación el modelo econométrico en la tabla 8; donde se observa que las variables regresionadas se encuentran integradas en orden 1 y no se considera al intercepto dado que se trata de un modelo en primeras diferencias logarítmicas.

Tabla 8

Resultados de regresión.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LPIB	0.880696	0.106499	8.269488	0.0000
LIE	0.683005	0.099223	6.883514	0.0000
LGINI	0.252128	0.522208	0.482812	0.6330
R-squared	0.809440	Mean dependent var		0.016087
Adjusted R-squared	0.795828	S.D. dependent var		0.053046
S.E. of regression	0.023969	Akaike info criterion		-4.532357
Sum squared resid	0.016086	Schwarz criterion		-4.393584
Log likelihood	73.25153	Hannan-Quinn criter.		-4.487120
Durbin-Watson stat	1.176870			

Tabla 9

Resumen de pruebas de cointegración de Johansen.

Trend assumption: No deterministic trend

Series: LGEI LGINI LIE LPIB

Lags interval (in first differences): No lags

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.753284	72.12591	40.17493	0.0000
At most 1 *	0.408117	30.14033	24.27596	0.0082
At most 2 *	0.280928	14.40694	12.32090	0.0221
At most 3 *	0.139669	4.513142	4.129906	0.0399

Trace test indicates 4 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.753284	41.98557	24.15921	0.0001
At most 1	0.408117	15.73340	17.79730	0.0995
At most 2	0.280928	9.893797	11.22480	0.0849
At most 3 *	0.139669	4.513142	4.129906	0.0399

Max-eigenvalue test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

La tabla 8, muestra el resultado del modelo de regresión propuesto; este modelo refleja que el crecimiento del PIB tuvo un efecto positivo y significativo al 5% sobre la variación de GEI, y fue acorde con los argumentos de Grossman et al. (1991), quienes anuncian que en primera instancia las economías necesitan contaminar para sostener el producto de su país.

Así mismo, se observa que el efecto causal de LGINI sobre la variación sobre el crecimiento de GEI no fue significativo al 1%,5% y 10% de error; este efecto no está contemplado en los argumentos de Bimonte (2002), quien sostiene que la calidad ambiental es un bien de lujo y que la desigualdad de ingresos no facilita la reducción de

contaminación, por lo que según el autor es una variable una variable importante para explicar a la contaminación.

Por su parte, el crecimiento de IE tuvo un efecto causal positivo y significativo al 5%, con el crecimiento de GEI. Este efecto fue acorde con los argumentos de Grossman et al. (1991), porque declaran que una vez alcanzado un nivel alto de recursos económicos se impulsa la mitigación de la contaminación a través de la transición de economías basada en la producción industrial de servicios y el uso de tecnologías limpias.

Para el caso peruano se tiene en cuenta que aún no ha alcanzado un nivel alto de recursos económicos; ya que, aún no es un país desarrollado y que el impulso para mitigar la contaminación del aire va por el lado de la productividad energética, que se ha vuelto más eficiente a lo largo de los años.

Complementariamente, del modelo de la tabla 8 se puede decir que tuvo un R-cuadrado de 80.94% y un R-cuadrado ajustado de 79.58%; este estadístico, a diferencia del R-cuadrado, penaliza la inclusión de regresores que no contribuyen en la explicación de LGEI. Adicionalmente, se observa que los R-cuadrados del modelo no fueron del 100%; esto indica que aún hay variables no consideradas en la presente investigación, que aún explican la variación logarítmica de GEI.

Por su parte, la desviación estándar de la regresión fue de 0.024, este valor fue bastante próximo a cero e indica que la distancia media a la que los valores observados se alejan de la línea de regresión fue próxima a 0. Finalmente se observan los criterios de información de Akaike, Schwarz y Hannan-Quinn que miden la capacidad explicativa de un modelo penalizado por su nivel de complejidad; en líneas generales, el valor de estos tres criterios son los menores posibles, dentro de los posibles modelos de estimación con

las variables involucradas en la presente investigación; en tal sentido, el modelo presentado tuvo la mejor bondad de ajuste y es el de menor complejidad.

En cuando al cumplimiento de supuestos del método de estimación de mínimos cuadrados ordinarios se observa en la figura 6, que la probabilidad de aceptar la hipótesis nula del test de Jarque-Bera, al 5% de error fue de 56.09%; en consecuencia, los residuos pertenecen a una distribución normal.

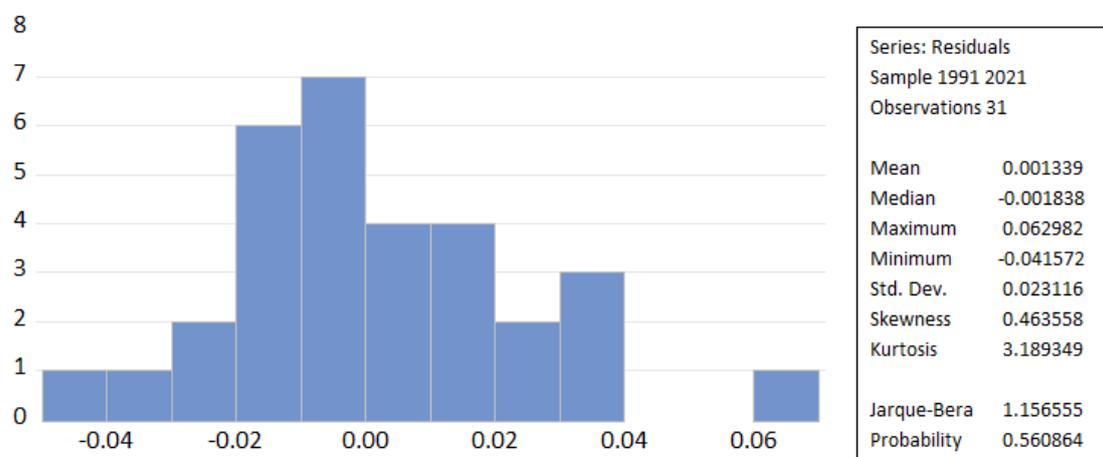


Figura 6. Histograma y descripción de los residuos de estimación

Por otra parte, los errores de estimación fueron homocedásticos; es decir, la varianza condicional de los residuos con las variables explicativas fue constante; ya que, según el test de Breusch-Pagan-Godfrey y White la probabilidad F de aceptar H0 (errores homocedásticos) fueron mayores al 5% (21.96% y 9.11% respectivamente).

Tabla 10

Test de heterocedasticidad de Breusch-Pagan-Godfrey

F-statistic	1.569826	Prob. F(3,27)	0.2196
Obs*R-squared	4.604107	Prob. Chi-Square(3)	0.2032
Scaled explained SS	4.312885	Prob. Chi-Square(3)	0.2296

Tabla 11*Test de heterocedasticidad de White*

F-statistic	2.386339	Prob. F(3,27)	0.0911
Obs*R-squared	6.496952	Prob. Chi-Square(3)	0.0898
Scaled explained SS	6.086003	Prob. Chi-Square(3)	0.1075

En cuanto a la autocorrelación serial de los residuos se obtuvo, según la tabla 11, que los residuos de estimación en “t” no fueron explicadas por los rezagos de este; por tanto, no fueron estadísticamente significativas al 5%; además la probabilidad F y chi-cuadrada de aceptar la no autocorrelación serial de los residuos, considerando 4 rezagos de los residuos, fueron del 18.00% y 14.73%, respectivamente.

Tabla 12*Test de autocorrelación serial de los residuos de estimación*

F-statistic	1.832739	Prob. F(2,26)	0.1800
Obs*R-squared	3.830373	Prob. Chi-Square(2)	0.1473

Por otra parte, no hay dependencia lineal de las variables explicativas o multicolinealidad; ya que, no se encuentra evidencia de que hay correlación alta entre las variables explicativas. Como se observa en la tabla 6, la única correlación significativa, entre variables independientes, fue entre LPIB y LGINI, pero estos apenas tuvieron una correlación moderada de -44.75%, dado esto no se presentaron indicios claros de multicolinealidad generado por una alta correlación.

Como soporte de lo anterior se muestra el método de factores de inflación de la varianza. Este método mide el nivel de colinealidad entre los regresores mostrando qué parte de la varianza de la estimación de un coeficiente de un regresor se ha inflado debido a la colinealidad con los demás.

Tabla 13

Método de factores de inflación de la varianza

Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF
LPIB	0.011342	1.661912
LIE	0.009845	1.028356
LGINI	0.272702	1.627222

La tabla 13, muestra que el factor de inflación de la varianza (VIF) no centrada fue menor a 5 para todas las variables. Tradicionalmente los valores de VIF superiores a 5 indican que el modelo de regresión presenta un grado de multicolinealidad preocupante; en consecuencia, no se encontraron evidencias de multicolinealidad preocupante entre los regresores.

Resuelto el cumplimiento de todos los supuestos del método de estimación de parámetros de MCO se presenta a continuación el modelo y su respectiva interpretación.

$$LGEI_t = 0.880696 * LPIB_t + 0.683005 * LIE + 0.252128 * LGINI + \epsilon_t \quad (24)$$

Para una mejor interpretación de los resultados se usa continuamente aproximaciones de los valores correspondientes al promedio de cada indicador detallado en el apéndice 6.

El modelo de regresión expresado en la ecuación 24, muestra que LPIB afecta positivamente a LGEI, complementariamente el crecimiento aproximado promedio del PIB durante el periodo de estudio de 3% anual ha representado un crecimiento de 2.64% en GEI en el periodo de estudio, suponiendo *ceteris paribus*.

Por otra parte, el crecimiento de la intensidad energética a afectado positivamente al crecimiento en la emisión de GEI, complementariamente la reducción aproximada promedio de LIE en 1%, durante el periodo de estudio, ha representado un decrecimiento

de LGEI en -0.68%, suponiendo *ceteris paribus*. En líneas generales este resultado refleja que el continuo aumento de la productividad energética ha generado en Perú una reducción significativa de GEI.

De GINI se puede aseverar con evidencia estadística que su crecimiento no afecta significativamente al crecimiento de GEI, en base a esto se descarta una eventual interpretación de su coeficiente dado que no cumpliría con algún propósito y se podría incurrir en algún error. Por tanto, dado este resultado solo se puede decir que la desigualdad salarial no ha sido una variable importante para mitigar o aumentar la emisión de GEI durante el periodo de estudio.

Finalmente, se puede decir en base a la ecuación 24 que en base a los crecimientos promedios de PIB e IE mostrados, en conjunto han significado un crecimiento anual promedio de GEI en 1.96%, y que es necesario que IE se reduzca en aproximadamente más de 3.87% para que este efecto conjunto comience a representar reducciones en la LGEI, considerando un LPIB igual a 3%.

5.6 **Discusión de resultados**

En esta sección se comparan las hipótesis planteadas con los resultados obtenidos de la regresión; además, se contraponen los resultados de la presente investigación con los antecedentes nacionales e internacionales presentados anteriormente.

De la hipótesis general se puede decir que, sí existe un efecto significativo al 1% y 5% de los indicadores de la actividad económica, productividad energética para explicar a la contaminación del aire, por parte del indicador de la desigualdad salarial este no fue significativo al 1%, 5% y 10% de error para explicar la contaminación del aire.

En ese mismo contexto, se observa que el crecimiento de PIB afectó de forma positiva, según la tabla 8, a LGEI; en consecuencia, se acepta la hipótesis específica de que la actividad económica afecta de forma positiva a la contaminación del aire en el Perú, en el período 1990-2021.

Así mismo, se muestra en la tabla 8, que el crecimiento de GINI no afectó de forma significativa a LGEI; en consecuencia, no se puede aceptar la hipótesis específica de que la desigualdad salarial afecta de forma positiva a la contaminación del aire en el Perú, en el período 1990-2021.

En cuanto a la variación de IE se observa, en la tabla 8, que este afectó de forma significativa y positiva a la variación de GEI; en consecuencia, se acepta la hipótesis específica de que existe un efecto negativo de la productividad energética sobre la contaminación del aire en el Perú, en el período 1990-2021.

En contraste con los resultados obtenidos por Moreno (2018) se encuentra una similitud en que el PIB es importante para explicar a los contaminantes del aire; ya que, este autor encuentra que PIB es significativa al 1% para explicar a las emisiones de monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, gas metano y dióxido de carbono. Conforme con ello, el autor detalla que la relación del PIB es negativa con el monóxido de carbono y positiva con los demás gases. Adicionalmente, encuentra que PIB también fue significativo al 5% y 10%, pero tuvo una relación negativa con las partículas contaminantes en el aire y con el óxido de azufre.

Si bien es cierto, queda claro que PIB es importante para explicar la contaminación; sin embargo, Moreno (2018) no ofrece mecanismos claros para determinar cuál es el efecto final sobre los contaminantes; ya que, este autor utiliza diferentes gases para medirlo y en alguno de ellos le resulta un efecto negativo. Por ello,

fue importante considerar un indicador general de todos los gases, como lo hace la presente investigación al considerar la emisión de gases de efecto invernadero total.

En cuanto a GINI, Moreno (2018) encuentra que esta variable no es significativa al 5% y 10% para explicar a los diferentes contaminantes que considera en su investigación, y en contraste con los resultados de la presente investigación se obtiene el mismo resultado; ya que, se encontró que LGINI no afecta significativamente al 1%, 5% y 10% de error a LGEI.

Del mismo modo, Litano (2012) encuentra que el PIB afecta de forma positiva a la contaminación del aire y al igual que la presente investigación se encuentra que la intensidad energética también afectó de forma positiva en la contaminación del aire, el cual Litano lo mide con la emisión de dióxido de carbono.

A diferencia de Litano, la presente investigación consideró variables importantes para países emergentes, los cuales son determinantes para el análisis; ya que, la realidad peruana está expuesta a esta condición y además se utilizó un indicador más completo para medir la contaminación del aire el cual engloba no solo al dióxido de carbono.

Por otro lado, Minaya (2018) encuentra que la relación entre PIB y las variables que miden la contaminación son positivas, y adicionalmente concluye que para el caso peruano no hay una visión clara que muestre el cambio de pendiente de esta relación. En contraste, la presente investigación encontró que, de igual forma, el PIB está relacionado de forma positiva con la contaminación del aire; sin embargo, la presente investigación también encontró que el PIB, por sí solo, no es suficiente para explicar la contaminación. En tal sentido, fue importante no solo enfocar las relaciones entre estas variables, sino también los efectos causales que puedan existir.

Por otra parte, Ridzuan (2019), encuentra que la desigualdad de ingresos es perjudicial para el medio ambiente, este argumento no es similar a los resultados obtenidos en la presente investigación, pues los resultados muestran que el crecimiento de GINI no es una variable que explica significativamente al indicador de la contaminación del aire

En cuanto a Arnaut et al. (2021), señalan que los ingresos de una economía afectan de forma positiva a la calidad ambiental, este resultado es similar a lo encontrado en la presente investigación; ya que, en Perú la mayor acumulación de ingresos ha generado más contaminación del aire, cabe resaltar que la calidad del aire es parte de la calidad ambiental, a favor del resultado encontrado se puede decir que los autores explican estas relaciones en un país que experimenta un proceso de industrialización alto, el cuál motiva este tipo de relaciones.

Finalmente, Jimenez et al. (2019), encuentran que en Ecuador el efecto de PIB sobre la contaminación, medido por la emisión de dióxido de carbono es positivo; este resultado va en dirección a lo que se ha obtenido en la presente investigación. Relacionado a esto es importante aclarar, que Ecuador es un país emergente al igual que Perú por lo que se encontraría en un proceso de acumulación de contaminación.

Conclusiones

El objetivo general de la investigación fue determinar de qué manera incide la actividad económica, desigualdad salarial y la productividad energética sobre la contaminación del aire en el Perú en el período 1990-2021. Por consiguiente, para determinar con los objetivos específicos primero se responderá a continuación con el objetivo general.

En cuanto al objetivo general, se concluye que la actividad económica y la productividad energética son variables importantes para explicar la contaminación del aire en el Perú, en el periodo 1990-2021, pero que la desigualdad salarial no es una variable importante para explicar a la contaminación del aire en conjunto con las demás variables.

Del primer objetivo específico, se concluye que el efecto de la actividad económica sobre la contaminación del aire fue positiva en el Perú, en el periodo 1990-2021; en tal sentido, el crecimiento alto de las tres últimas décadas del producto bruto interno peruano trajo consigo consecuencias negativas sobre la calidad del aire.

Para el segundo objetivo específico, no se concluye que la desigualdad salarial tuvo una incidencia negativa sobre la contaminación del aire en el Perú, debido que no se encuentra evidencia estadística suficiente para afirmar que esta variable afecta significativamente a la contaminación del aire, en conjunto con las demás variables, en el periodo 1990-2021.

Finalmente, del tercer objetivo específico, se concluye que la productividad energética incide en forma negativa a la contaminación del aire; ya que, los resultados reflejan que el crecimiento de la productividad energética de la economía peruana entre 1990 y 2021 tuvo un efecto mitigador de la contaminación del aire.

Recomendaciones

Desde el punto de vista metodológico, se recomienda que se empleen metodologías relacionadas con los datos de panel considerando cada región del Perú; ya que puede aportar más al conocimiento de la contaminación del aire en Perú, al considerar en el estudio a regiones con diferentes condiciones de desarrollo social.

Así mismo, desde un enfoque académico, se recomienda incentivar las investigaciones relacionadas con la economía ambiental; ya que, un mayor conocimiento puede fortalecer medidas de prevención que motiven el cuidado ambiental, el cual especialmente en países emergentes no es una prioridad, a pesar de que este tenga efectos negativos en el bienestar de las familias.

Complementario a ello, se recomienda continuar con el fortalecimiento de las instituciones encargadas de registrar acontecimientos medioambientales del Perú; del mismo modo, se recomienda continuar con la recaudación de datos relacionados con medio ambiente para facilitar su conocimiento.

Desde el enfoque práctico, se recomienda incrementar el crecimiento de la productividad energética de la economía peruana, porque se tiene en cuenta que Perú es un país emergente que está en pleno crecimiento económico, y esto implica más contaminación del aire en los años siguientes, como se concluye anteriormente, dado esto se debe motivar el incremento de la productividad energética, de modo que este facilite

la mitigación de la contaminación del aire generado por el sostenimiento del crecimiento económico.

Para mejorar la productividad energética es importante reducir el consumo energético por un millón de PIB. Entre los sectores económicos que consumen más energía se conoce, según el Balance Nacional de Energía (2023), que el sector transporte es el que más consume energía, con el 38.45%, seguido del sector residencial con 22.88% y el sector industrial con 17.75%.

En correspondencia, el consumo energético del sector transporte es el que más ha crecido comparado con los sectores mencionados en el anterior párrafo, ya que estos reducen su participación en el consumo final desde el 2005 al 2021, según el Balance Nacional de Energía (2023). Dicho lo anterior, se recomienda tomar más importancia a mejorar la productividad energética del sector transporte.

Referencias bibliográficas

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (Setiembre de 2022).

Descripción General de los gases de Efecto Invernadero. EPA. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>

Andreoni, J., & Levinson, A. (2001). The simple analytics of the environmental Kuznets curve. *Journal of Public Economics*, 80(2), 269–286. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0047-2727\(00\)00110-9](https://doi.org/10.1016/S0047-2727(00)00110-9).

Andrey, J., Estupiñán, T., & Augusto, J. S. (2020). Crecimiento económico y medio ambiente: curva medioambiental de Kuznets en Latinoamérica, 1990-2018. Recuperado de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5138/1/Rodr%C3%ADguez_Estupi%C3%B1%C3%A1n_2021_TG.pdf.

Arnaut, J. & Lidman, J. (2021). Environmental sustainability and economic growth in greenland: Testing the environmental kuznets curve. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–14. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su13031228>.

Banco Central de Reservas del Perú (BCRP). (s.f). *Glosario de Términos Económicos*. Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/glosario.html>.

- Bimonte, S. (2002). Information access, income distribution, and the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics* 41: 145-156. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00022-8).
- Cabezas, E., Andrade, D., & Torres, J. (Diciembre de 2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica (1ra ed.)*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Calvet, R. (2022). Intensidad energética de la economía española: pasado, presente y futuro. *Panorama social*, 36, 93–106. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8760415>.
- Campos, V., & Rodas, M. (2019). Desigualdad en el ingreso: posibilidades de acción pública. *Economía UNAM*, 16(46), 251–261. Recuperado de <https://doi.org/10.22201/fe.24488143e.2019.46.450>.
- Correa, R. (2004). Crecimiento económico y medio ambiente: una revisión analítica de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets. *Semestre Económico*, 73–104. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1650/165013658003.pdf>.
- Correa, R., Vasco, R. & Pérez, C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia. Grupo de Economía Ambiental (GEA). *Semestre Económico*, 8(15), 13–30. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=165013659001>.
- Diario oficial del bicentenario El Peruano (2021). La desigualdad en el Perú. Recuperado de <https://elperuano.pe/noticia/127324-la-desigualdad-en-el-peru>.

- Engle, R. & Granger, W. (1987). *Cointegration and error correction representation, estimation and testing*. *Econometrica* # 55. Págs 251-276. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/1913236>.
- Grossman, G. & Krueger, A. (1991) Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. National Bureau of Economics Research Working Paper, No. 3194. NBER, Cambridge. Recuperado de <https://doi.org/10.3386/w3914>.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/2118443>.
- Gujarati, D., & Porter, D. (2010). *Econometría (5 ed.)*. México: McGraw Hill. Recuperado de <https://fvela.files.wordpress.com/2012/10/econometria-damodarn-gujarati-5ta-ed.pdf>
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: Editorial McGraw Hill Education, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- IHS Global,Inc. (2020). *Eviews13*. Software educativo. <https://eviews.com/help/helpintro.html#page/content%2Fpreface.html%23>.
- Instituto Peruano de Economía (IPE). (Mayo 2022). *Panorama de la Economía Peruana 1950-2021*. IPE. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1843/libro.pdf.
- Instituto Peruano de Economía (IPE). (Octubre 2022). *Coeficiente de Gini*. IPE. Recuperado de <https://www.ipe.org.pe/portal/coeficiente-de-gini/>.

IQAir (2022). *World Air Quality Report: Region and City PM2.5 Ranking*. Recuperado de <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>.

Jimenez, C., Moncada, L., Ochoa-Jimenez, D., & Ochoa-Moreno, W. S. (2019). Kuznets environmental Curve for Ecuador: An analysis of the impact of economic growth on the environment. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21). Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su11215896>.

Kuznets, S. (2019). Economic growth and income inequality. In *The Gap Between Rich and Poor: Contending Perspectives on The Political Economy of Development* (pp. 25–37). Taylor and Francis. Recuperado de <https://doi.org/10.4324/9780429311208-4>.

La contaminación del aire. (Noviembre de 2017). *National Geographic*. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/la-contaminacion-del-aire>.

Litano, W. (2012). Estimación de la Curva Ambiental de Kuznets en la economía peruana: Producción y Medio Ambiente. Periodo: 1970-2010. Tesis, 1-171. Recuperado de <https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/243f5bca-4c46-49bc-9808-f90b7af02fed/content>.

Liu, F., Zheng, M., & Wang, M. (2020). *Does air pollution aggravate income inequality in China? An empirical analysis based on the view of health*. *Journal of Cleaner Production*, 271(122469), 122469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122469>.

Loayza, N. (2016). La productividad como clave del crecimiento y el desarrollo en el Perú y el mundo. *Revista de estudios económicos* 31. Banco Central de Reservas del Perú. Recuperado de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Estudios-Economicos/31/ree-31-loayza.pdf>.

- Managi, S. (2006). Are there increasing returns to pollution abatement? Empirical analytics of the Environmental Kuznets Curve in pesticides. *Ecological Economics* 58, 617-636. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.08.011>.
- Mendoza, W. (2014). *Cómo investigan los economistas*. Lima-Perú: Fondo editorial de la universidad Católica del Perú. Recuperado de <https://files.pucp.education/departamento/economia/lde-2014-05.pdf>.
- Minaya, G. (2018). La Curva de Kuznets Ambiental (CKA) basada en el Indicador de Consumo Material Doméstico (CDM): Perú, 1970-2015. Tesis, 1-56. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/10283>.
- Ministerio de Energía y Minas (Julio de 2023). Balance Nacional de Energía 2021. Recuperado de https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=664.
- Ministerio de Energía y Minas (Mayo de 2021). *Balance Nacional de Energía 2019*. Recuperado de https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633
- Ministerio de Energía y Minas (Setiembre de 2022). *Balance Nacional de Energía 2020*. Recuperado de https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=653.
- Ministerio del Ambiente (2012) *Glosario de Términos para la gestión Ambiental Peruana*. Recuperado de <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/504.pdf>.

Ministerio del ambiente (Julio de 2021). *Informe nacional sobre el estado del ambiente 2014-2019*. Recuperado de https://sinia.minam.gob.pe/inea/wp-content/uploads/2021/07/INEA-2014-2019_red.pdf.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (Agosto de 2022). *Política Nacional del Ambiente*. MINAM. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minam/campa%C3%B1as/2041-politica-nacional-del-ambiente>.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (Enero de 2021). *Buscan reducir emisiones de metano en el sector petrolero y gasífero*. MINAM. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/29342-buscan-reducir-emisiones-de-metano-en-el-sector-petrolero-y-gasifero>.

Ministerio del Ambiente. (s.f). *Efectos de la contaminación del aire*. Recuperado de <https://infoaireperu.minam.gob.pe/efectos-de-la-contaminacion-del-aire/>.

Moreno, N. (2018). Dinámica de sistemas y la curva medio ambiental de Kuznets en Perú (1990-2015). *Semestre Económico*, 21(49), 57–88. Recuperado de <https://doi.org/10.22395/seec.v21n49a3>.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (s.f). *Cómo la contaminación del aire está destruyendo nuestra salud*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>

Piłatowska, M., & Włodarczyk, A. (2017). The environmental Kuznets curve in the CEE countries—the threshold cointegration approach. *Argumenta económica*, 39(2), 307–340. Recuperado de <https://doi.org/10.15611/aoe.2017.2.13>.

- Ravallion, M., Heil, M., & Jalan, J. (2000). Carbon emissions and income inequality. *Oxford Economic Papers*, 52(4), 651–669. Recuperado de <https://doi.org/10.1093/oep/52.4.651>.
- Ridzuan, S. (2019). Inequality and the environmental Kuznets curve. *ScienceDirect*, 228, 1472-1481. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.284>.
- Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175–195. Recuperado de <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>.
- Santillán, N., Venegas, P. & Rodriguez, W. (2019). *Guía para la redacción académica y de investigación de la Facultad de Ciencia de la Empresa*. Universidad Continental. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/6178>.
- Van, J., & Neumayer, E. (2008). The environmental Kuznets curve. In *Handbook on Trade and the Environment*. Edward Elgar Publishing Ltd. Recuperado de <https://doi.org/10.4337/9781848446045.00011>.
- Yamada, G. (2022). Estabilidad macroeconómica y bienestar. En M. Ortiz, & D. Winkelried (Eds.), *Hitos de la reforma macroeconómica en el Perú 1990-2020: La recompensa de los tamías* (1a ed., pp. 167-181). Universidad del Pacífico. Recuperado de <https://doi.org/10.21678/978-9972-57-486-3-11>

Apéndice

Apéndice 1. Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables	Metodología	Instrumento
¿De qué manera la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética inciden en la contaminación del aire en Perú durante el periodo 1990-2021?	Determinar de qué manera la actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética afectan a la contaminación del aire en el Perú en el periodo 1990-2021.	La actividad económica, desigualdad salarial y productividad energética afectan significativamente a la contaminación del aire en Perú dentro de los años 1990-2021	<p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del aire 	<p>Metodología general Método Hipotético-deductivo</p> <p>Método específico Estadístico- MCO</p>	<p>Técnica Análisis documental</p> <p>Instrumento Matriz de análisis de datos</p>
Problemas Específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable Independiente	Enfoque	
¿Cuál es el efecto de la actividad económica sobre la contaminación del aire en Perú en el periodo 1990-2021?	Determinar el efecto de la actividad económica sobre la contaminación del aire en el Perú en el periodo 1990-2021	Existe un efecto positivo de la actividad económica sobre la contaminación del aire en Perú durante el periodo 1990-2021	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad económica 	Cuantitativo	
¿Cuál es el efecto de la desigualdad salarial sobre la contaminación del aire en Perú en el periodo 1990-2021?	Determinar el efecto de la desigualdad salarial sobre la contaminación del aire dentro del Perú en el periodo 1990-2021	Existe un efecto positivo de la desigualdad salarial sobre la contaminación del aire en Perú durante el periodo 1990-2021	<ul style="list-style-type: none"> • Desigualdad Salarial 	Tipo Básica	
¿Cuál es el efecto de la productividad energética sobre la contaminación del aire en Perú en el periodo 1990-2021?	Determinar el efecto de la productividad energética sobre la contaminación del aire en el Perú en el periodo 1990-2021	Existe un efecto negativo de la productividad energética sobre la contaminación del aire en Perú durante el periodo 1990-2021	<ul style="list-style-type: none"> • Productividad energética 	Nivel Explicativo	
				Diseño No experimental longitudinal	
				Población Datos disponibles anuales de Perú, correspondiente a los indicadores de cada variable independiente y dependiente propuestos en la presente	
				Muestra Datos anuales del Perú, del periodo 1990-2021 para cada variable.	

Apéndice 2. Matriz de operacionalización de las variables

Variables	Tipo de variable	Dimensión	Subdimensión	Indicadores	Unidad de medida
Variable Dependiente					
Contaminación del aire.	Cuantitativa continua.	Emisiones generadas por la transformación de energía primaria en secundaria.	Emisión de dióxido de carbono	Emisión de gases de efecto invernadero per cápita (GEI).	Toneladas métricas.
			Emisión de gas metano		
			Emisión de Óxido nitroso		
			Emisión de gases fluorados		
Variables Independientes					
Actividad económica.	Cuantitativa continua.	Producción de bienes y servicios.	Valor de la producción de bienes y servicios finales.	Producto bruto interno per cápita real (PIB).	Miles de soles, a precios constantes de 2007.
Desigualdad Salarial.	Cuantitativa continua.	Desigualdad de ingresos salariales.	Desigualdad de ingresos salariales disponibles después de impuestos.	Coficiente Gini disponible, después de impuestos (GINI).	Máxima igualdad salarial (0) y máxima desigualdad salarial (100).
Productividad energética.	Cuantitativa continua.	Consumo de insumos energéticos.	Consumo de insumos energéticos por unidad de producto.	Intensidad energética (IE).	Terajulios por millón de producto bruto interno en soles.

Apéndice 3. Instrumento de recolección de datos

Variable	Tipo de Variable	Indicador	Unidad de medida	Fuente
Contaminación del aire.	Cuantitativa continua.	Emisión de gases de efecto invernadero per cápita (GEI).	Toneladas métricas.	Banco Mundial (BM) y Ministerio del Ambiente (MINAM)
Actividad económica.	Cuantitativa continua.	Producto bruto interno per cápita real (PIB).	Miles de soles, a precios constantes de 2007.	Banco Central de Reservas del Perú (BCRP).
Desigualdad Salarial.	Cuantitativa continua.	Coefficiente Gini disponible, después de impuestos (GINI).	Máxima igualdad salarial (0) y máxima desigualdad salarial (100).	Standardized World Income Inequality Database (SWIID)
Productividad energética.	Cuantitativa continua.	Intensidad energética (IE).	Terajulios por millón de producto bruto interno en soles.	Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

Apéndice 4. Datos recolectados de cada variable

	GEI	IE	GINI	PIB
1990	2.007596474	2.463925488	53.4	6.852020519
1991	1.916120808	2.306895527	53.3	6.85710308
1992	1.906296535	2.346922742	53.2	6.68266337
1993	1.914546131	2.293855996	53	6.893502315
1994	1.975930727	2.12536364	52.9	7.590447942
1995	2.139046546	2.148197868	52.8	7.997691176
1996	2.249096151	2.182058355	52.6	8.070294951
1997	2.245795515	2.051621293	52.5	8.437809359
1998	2.236126624	2.03806001	52.5	8.257344768
1999	2.359995933	2.169618595	52.1	8.24222043
2000	2.353127451	2.064321125	51.2	8.336574157
2001	2.250009957	1.979353429	51.5	8.276155058
2002	2.291712649	1.970811349	52.1	8.625470422
2003	2.260867673	1.882092433	52.6	8.890764291
2004	2.383842697	1.943982681	52.5	9.241077246
2005	2.405402772	1.898381244	52.1	9.733490427
2006	2.3771009	1.764711908	51.6	10.38007897
2007	2.49252168	1.724512579	50.7	11.17792567
2008	2.649447673	1.67713045	49.5	12.11094076
2009	2.772656187	1.872879246	48.7	12.15791777
2010	2.900741971	1.805428168	48	13.0717275
2011	3.020553506	1.807143525	47.2	13.78179812
2012	2.998797592	1.727997282	46.6	14.49428427
2013	3.034619685	1.673715863	45.9	15.19484344
2014	3.125399585	1.64007999	45.4	15.39529401
2015	3.144707196	1.677072617	45.2	15.71073692
2016	3.188985236	1.677569924	45	16.11102562
2017	3.069396218	1.670130587	44.6	16.26980202
2018	3.015208945	1.676806786	44.3	16.60246956
2019	3.058503032	1.698156438	43.9	16.65216496
2020	2.698273899	1.580198609	44.5	14.60458339
2021	3.305688291	1.675669054	44.3	16.38150433

Apéndice 5. Test de cointegración de Johansen para las variables en nivel

Included observations: 30 after adjustments
Trend assumption: Linear deterministic trend (restricted)
Series: GEI GINI IE PIB
Lags interval (in first differences): 1 to 1

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.613398	65.15317	63.87610	0.0389
At most 1	0.483033	36.64241	42.91525	0.1838
At most 2	0.334032	16.84910	25.87211	0.4263
At most 3	0.143690	4.653685	12.51798	0.6466

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.613398	28.51076	32.11832	0.1296
At most 1	0.483033	19.79331	25.82321	0.2551
At most 2	0.334032	12.19541	19.38704	0.3972
At most 3	0.143690	4.653685	12.51798	0.6466

Max-eigenvalue test indicates no cointegration at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Apéndice 6. Tabla descriptiva de variables regresionadas

	LGEI	LGINI	LIE	LPIB
Mean	0.016087	-0.006027	-0.012437	0.028116
Median	0.011875	-0.004505	-0.020301	0.030294
Maximum	0.203032	0.013575	0.110393	0.114818
Minimum	-0.125313	-0.023953	-0.076291	-0.131205
Std. Dev.	0.053046	0.008760	0.042900	0.044599
Skewness	0.801253	0.307432	0.732916	-1.167736
Kurtosis	7.355976	2.944247	3.608318	6.616014
Jarque-Bera Probability	27.82580 0.000001	0.492339 0.781790	3.253337 0.196583	23.93457 0.000006
Sum	0.498706	-0.186826	-0.385543	0.871609
Sum Sq. Dev.	0.084415	0.002302	0.055213	0.059673
Observations	31	31	31	31