



El trade-off entre calidad del aire y desigualdad de ingresos

Almudena Valle

Tesis de Maestría

Maestría en Economía

Universidad Nacional de La Plata

Directora de tesis: María Inés Berniell

Fecha de defensa: 10/06/2024

Códigos JEL: Q52, Q53, Q56, D63, I14

El trade-off entre calidad del aire y desigualdad de ingresos*

Almudena Valle

10 de mayo de 2024

Resumen

Este artículo estudia la relación entre la desigualdad de ingresos y los niveles de contaminación del aire, usando una base de datos única que combina los registros de distintos centros de medición de calidad del aire de Chile. Además, combino esto junto con la Encuesta Nacional de Caracterización Socioeconómica de Chile. Usando un modelo de *Two-Way Fixed Effects* que cuenta por heterogeneidad no observada a nivel de región y tiempo, los resultados muestran que un incremento de un punto porcentual en el coeficiente de Gini (más desigualdad de ingresos) está asociada a una disminución de los niveles de contaminación de aproximadamente 0.15%. Los resultados son robustos a diferentes pruebas e hipótesis alternativas. Este *trade-off* resalta la importancia de considerar políticas de desarrollo y de disminución de niveles de desigualdad que sean sostenibles a su vez con el medio ambiente.

Palabras clave: Calidad del Aire, Contaminación, Desigualdad de Ingresos, Curva de Kuznets Ambiental, Development, Chile.

Códigos JEL: Q52, Q53, Q56, D63, I14.

*Agradezco a Inés Berniell, Leonardo Gasparini, Bruno Jimenez, Mar Reguant, Jaume Freire-González, Mariana Marchionni, Matías Ciaschi, Guillermo Falcone, Cristian Bonavida, Andrés César por sus comentarios y sugerencias. Cualquier opinión, error u omisión es propia.

1. Introducción

En el contexto del desarrollo económico global, surge una dualidad preocupante: si bien el crecimiento económico beneficia a algunos hogares, también se observa un aumento en la contaminación atmosférica, especialmente en entornos urbanos (Longwu Liang, 2019; Fenger, 1999). Además, este crecimiento económico no siempre se traduce en mejoras para todos los estratos sociales. Este fenómeno plantea una pregunta crucial: ¿Existe alguna relación entre la distribución de ingresos y los niveles de contaminación ambiental? Este estudio se propone explorar esta relación, centrándose en el caso de Chile como un ejemplo relevante de una economía que ha experimentado un desarrollo significativo en las últimas décadas, pero que aún enfrenta altos niveles de desigualdad económica y contaminación ambiental.

Kuznets (1995) ilustra cómo el desarrollo económico de un país está estrechamente relacionado con la distribución de ingresos entre su población. Inicialmente, a medida que un país se desarrolla, la desigualdad tiende a aumentar. No obstante, una vez que el país alcanza cierto nivel de desarrollo, esta disparidad comienza a disminuir. Este fenómeno, conocido como la “Curva de Kuznets”, sugiere una relación compleja entre el crecimiento económico y la equidad en la distribución de la riqueza. Este modelo teórico puede extenderse más allá de la distribución de ingresos para comprender cómo evoluciona la contaminación ambiental en relación al desarrollo económico. Esta extensión se conoce como la Curva de Kuznets Ambiental (EKC, por sus siglas en inglés). La EKC examina cómo los niveles de contaminación del ambiente varían a medida que la economía de un país progresa.

La intuición de la EKC es la siguiente. El cambio hacia la industrialización implica una transición hacia una economía más contaminante que depende en gran medida de la extracción de los recursos naturales y del uso de tecnologías contaminantes (Johnston & Mellor, 1961; Studwell, 2013; Gollin et al., 2021). A medida que la economía continúa desarrollándose, las industrias intensivas en información y servicios reemplazan a las industrias manufactureras y extractivas, y aumenta el acceso a una mejor tecnología, entre otros fenómenos. De esta manera, se alcanza un punto en el que se evalúa más los costos y beneficios de la calidad ambiental, lo que se puede traducir en regulaciones ambientales y otros comportamientos asociados con un aumento más lento e incluso una disminución en la degradación ambiental. Es decir, la forma de la relación entre las emisiones de elementos que degradan la calidad ambiental y los niveles de ingresos también podrían describirse mediante una forma de U invertida (Grossman & Krueger, 1995; Selden & Song, 1994; Cole et al., 1997; Halkos, 2003; Brännlund & Ghalwash, 2008; Heerink et al., 2001; Grossman & Krueger, 1991; Giovanis, 2013; Stern, 2017; Scruggs,

1998; Ravallion et al., 2000). Sin embargo, al igual que la curva de Kuznets de desigualdad de ingresos, la existencia de la EKC también ha sido objeto de un debate (Panayotou, 1997; Moomaw & Unruh, 1997; Vincent, 1997; Egli, 2004).

Tomando este concepto, también se puede usar la EKC para estudiar a una sociedad en un momento del tiempo. De esta manera, a medida que los ingresos de un hogar aumentan, el consumo de bienes, entre ellos energía, combustibles y transporte, aumenta también. A su vez, aumentos en los ingresos de la población puede llevar a aglomeraciones urbanas con mayor concentración de contaminantes (Longwu Liang, 2019). Sin embargo, siguiendo con un aumento de ingresos, se llega a un punto en el que ciertos comportamientos de consumo cambian, como es el de vehículos más nuevos que contaminan menos, mejoras en métodos de calefacción, e incluso aumentar áreas verdes (Astell-Burt et al., 2014), que puede ayudar a reducir los niveles de contaminación (Cho & Choi, 2023). Por lo tanto, surge una pregunta crucial: ¿cómo cambiarían las emisiones si se realizara una transferencia igualadora de un individuo rico a uno pobre? Este artículo tiene como objetivo abordar esta pregunta, proporcionando información sobre la compleja interacción entre la distribución del ingresos y los resultados ambientales.

La predicción teórica de la Curva de Kuznets Ambiental es la siguiente: los cambios en el ingreso afectan los niveles de emisiones de manera diferente para las personas en distintos puntos de la distribución del ingreso. De esta manera, tomando a dos individuos en dos puntos en la distribución de ingresos, los individuos más pobres reaccionan a los aumentos de ingresos consumiendo más bienes o nuevos bienes que generan más contaminación, mientras que los menos pobres responden cambiando a bienes y comportamientos menos contaminantes. Por lo tanto, una transferencia igualadora que aumente los ingresos del individuo más pobre y disminuya los ingresos del más rico, trasladaría a ambos individuos hacia el centro de la U invertida, implicando aumentos de las emisiones totales. Para poner a prueba empíricamente esta predicción, estudiaré la relación entre la contaminación del aire y la desigualdad del ingreso familiar en Chile, un país en desarrollo de ingresos medios con altos niveles de desigualdad y contaminación.

A pesar del creciente interés en la contaminación ambiental y el cambio climático en las últimas décadas, la investigación académica ha estado mayormente centrada en países más desarrollados. La teoría de la Curva de Kuznets Ambiental puede ayudar a explicar esta tendencia, ya que los países más avanzados tienden a ser más conscientes del medio ambiente y aplican políticas y regulaciones más estrictas, como aquellas relacionadas con la degradación ambiental (OECD, 2016; Esty & Porter, 2001) o impuestos al carbono (Baranzini et al., 2000).

Este mayor esfuerzo o interés implica a su vez mayor interés por la medición de elementos contaminantes, lo cual se traduce en mayor cantidad de fuentes de estudio para los investigadores. No obstante, es crucial dirigir la atención también hacia los países menos desarrollados.

Con esta teoría en mente, mi ejercicio empírico se desarrolla en dos etapas. En primer lugar, busco confirmar la existencia de una relación no lineal entre los ingresos de los hogares y los niveles de contaminación del aire, lo que sugiere una relación en forma de U entre estas variables. Con el signo de los resultados se podrá inferir si los datos muestran una U invertida, sugerente de que una redistribución hacia la equidad de ingresos se traducirá en mayores niveles de contaminación. Si este análisis demuestra la presencia de tal comportamiento, se vuelve crucial incluir la desigualdad de ingresos como regresor para cuantificar la relación entre la desigualdad de ingresos de los hogares y los niveles de contaminación. En segundo lugar, busco verificar si, en el contexto de un país en desarrollo, la desigualdad se relaciona negativamente con la contaminación. Para lograr esto, implementaré un modelo de *Two-Way Fixed Effects*, en el cual se incluye una medida de desigualdad como variable principal de interés dentro de la ecuación de la Curva de Kuznets Ambiental (EKC).

Mi primera contribución consiste en la recopilación de datos sobre los niveles de contaminación del aire medido como los niveles de Material Particulado de 10 micrómetros y menos (MP10, en adelante), registrado por el Sistema Nacional de Información de Calidad del Aire (SINCA). Extrayendo los registros de cada estación, los agrego anualmente y a nivel regional. Esto supone una contribución significativa a la investigación en el área, ya que futuros proyectos pueden aprovechar estos datos para abordar preguntas poco exploradas en el contexto del mundo en desarrollo.

Uno los datos de contaminación del aire con la Encuesta Nacional de Caracterización Socioeconómica de Chile y estimo un modelo de *Two-Way Fixed Effects* para abordar la heterogeneidad temporal y espacial no observada. Dentro de este marco empírico, investigo si existe evidencia que respalde la relación entre la desigualdad de ingresos y la contaminación del aire, centrándome en una posible relación no lineal entre los ingresos y las emisiones. Los resultados respaldan esta hipótesis, mostrando una asociación lineal positiva entre los niveles de MP10 e ingresos, mientras que la relación de un término cuadrático de la variable de ingresos aparenta ser negativa con los niveles de MP10. Estos hallazgos apoyan la existencia de una relación cuadrática y cóncava, en forma de U invertida, entre los ingresos de los hogares y los niveles de contaminación del aire.

Habiendo identificado esta relación en forma de U invertida, sugerente de una curva de Kuznets, profundizo en la relación de los niveles de desigualdad de ingresos y los niveles de contaminación del aire incluyendo un término de medida de desigualdad de ingresos en la EKC. En línea con las predicciones teóricas, los resultados indican que una transferencia igualadora entre individuos ricos y pobres parecen aumentar los niveles de contaminación del aire. Específicamente, un incremento de un punto porcentual en el Coeficiente de Gini se asocia con una reducción del 0.15 % en los niveles totales de material particulado. Estos resultados se mantienen robustos ante diferentes medidas de desigualdad de ingresos: Gini, Atkinson con $\alpha = 0.5$, Atkinson con $\alpha = 1$, Índice de Entropía Generalizada con $\alpha = 1$, o Índice de Theil, y el Ratio 90/10. Además, se mantienen robustos a una prueba de falsificación que utiliza adelantos de desigualdad de ingresos como placebo. Y, al controlar por la heterogeneidad en tasas de ruralidad y educación, los resultados permanecen consistentes.

Luego, busco descartar hipótesis alternativas de la relación identificada. Es posible que el efecto observado de este *trade-off* entre los niveles de desigualdad de ingresos de los hogares y los niveles de calidad del aire se deba únicamente a cambios en los hogares en la parte izquierda de la distribución. Para poner a prueba esta hipótesis, incorporo un control por medida de pobreza en el modelo de la EKC junto con las medidas de desigualdad. Evalué este modelo utilizando tres medidas de pobreza diferentes: hogares por debajo de la línea de pobreza, hogares por debajo de la línea de pobreza extrema y el Índice de Foster-Greer-Thorbecke con $\alpha = 1$. Los resultados indican que el efecto identificado es robusto ante la inclusión de cualquiera de las medidas de pobreza y para todas las medidas de desigualdad consideradas. Por lo tanto, rechazo la hipótesis de que el efecto sea exclusivamente explicado por cambios en los hogares más pobres, sino que se origina en la distribución de los ingresos de todos los hogares.

Para confirmar que los hogares a lo largo de toda la distribución de ingresos contribuyen al *trade-off* entre niveles de contaminación e igualdad de ingresos, incluí la proporción de hogares en distintos percentiles de ingresos en el modelo principal de EKC con medidas de desigualdad. Esto permite observar el efecto de cada percentil en los niveles de contaminación. Los resultados indican que, al incluir las proporciones de distintos percentiles de ingresos, los efectos de los percentiles a lo largo de la distribución son sugestivos de una relación cuadrática y cóncava. Por ejemplo, un aumento de ingresos en el percentil 40 se asocia con un aumento positivo y significativo en los niveles de contaminación del aire del 8.34 %, mientras que un aumento de ingresos en el percentil 85, con un efecto negativo y significativo del -5.42 %.

Por último, consideré la posibilidad de que la presencia de distintas industrias pueda explicar los efectos de la relación encontrada en los modelos estimados. Exploro si la heterogeneidad en la intensidad de ciertas industrias dentro de una región podría explicar completamente la asociación negativa entre la desigualdad de ingresos y los niveles de contaminación del aire. Sin embargo, la inclusión de la proporción de hogares con personas trabajando dentro de cada industria en cada región en el modelo principal no altera de manera significativa los resultados.

Después de descartar estos mecanismos, es posible que el comportamiento de los hogares finalmente explique la relación negativa entre los niveles de desigualdad y la contaminación del aire.

Estos resultados contribuyen de manera significativa a la literatura existente al resaltar la importancia de investigar estos países. A menudo enfrentan desafíos ambientales y sociales distintos a los países más desarrollados, lo que requiere respuestas de políticas adaptadas a sus necesidades específicas. Entender la relación entre el desarrollo económico, los niveles de desigualdad de ingresos y la contaminación ambiental en estos contextos es fundamental. En este sentido, este trabajo enfatiza la necesidad de diseñar políticas ambientales efectivas y sostenibles que promuevan el crecimiento económico y reduzcan la desigualdad sin comprometer la calidad ambiental.

El resto de este artículo está estructurado de la siguiente manera. La sección 2 presenta el contexto. La sección 3 describe los datos a partir de los cuales construyo la base de datos para las estimaciones del modelo. En la sección 4, discuto la estrategia de identificación. La sección 5 muestra los resultados y algunas pruebas de robustez. La sección 6 concluye.

2. Contexto

Chile ofrece un entorno ideal para investigar la contaminación por varias razones. En primer lugar, los países en desarrollo suelen experimentar un notable desarrollo industrial y cambios en la composición de sus principales sectores económicos a medida que su economía evoluciona (Johnston & Mellor, 1961; Studwell, 2013; Gollin et al., 2021). Además, su economía se basa en cierta medida en la explotación de los recursos naturales (Cepal, 2001), junto con una producción y consumo intensivos en combustibles fósiles (Cepal, 2015). Estos elementos sugieren que algunas de los supuestos detrás de la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental podrían aplicarse en Chile. Específicamente, es probable que el desarrollo económico observado inicialmente haya sido impulsado por prácticas o industrias relacionadas a la degradación ambiental, como la

industria extracción de plata y cobre (CEPAL, 2008; Beltrán, 2004; de Chile, n.d.). Sin embargo, en años recientes a medida que Chile ha avanzado hacia mayores niveles de desarrollo, el interés por la protección ambiental ha aumentado significativamente. Así, el cambio climático fue incluso uno de los siete temas prioritarios durante el intento de reforma constitucional del país¹. Esto indica que, de acuerdo con la teoría de la Curva de Kuznets Ambiental, a medida que Chile ha reducido su dependencia de la degradación ambiental en su proceso de desarrollo, las preocupaciones por sus costos ambientales han cobrado una mayor relevancia.

Otra razón por la cual estudiar la relación entre la distribución de ingresos y calidad ambiental en Chile es importante es porque es un país con altos niveles tanto de desigualdad económica como de contaminación. Chile se clasifica como el 26° país más contaminado a nivel mundial, el segundo más contaminado en América Latina, y dentro de la región, tiene la capital más contaminada y nueve de sus diez ciudades más pobladas también se encuentran entre las más contaminadas (IQAir, 2018). Estos altos niveles de contaminación tienen efectos perjudiciales para la salud de su población (Dardati et al., 2021). Por otro lado, tiene un alto grado de desigualdad de ingresos (OECD, 2011), que varía de 55.5 a 44.4 en los 19 años de este estudio según la serie de datos del coeficiente de Gini del Banco Mundial. Estos niveles de desigualdad de ingresos muestran además importantes cambios a lo largo de los años, proporcionando suficiente variación en la serie temporal para probar la hipótesis de este documento. Estos altos niveles de desigualdad es un fenómeno observado en toda la región de América Latina (Ravallion, 2014), pero aún así, Chile se destaca como un caso atípico (Gasparini et al., 2011), siendo el país más desigual entre sus pares de la OCDE (Thévenot, 2017).

En general, la combinación única de desarrollo económico, dependencia de los recursos naturales, altos niveles de contaminación y desigualdad de ingresos en Chile, junto con su historia de fluctuaciones en la desigualdad de ingresos, lo convierten en un entorno interesante para estudiar la relación entre desigualdad y contaminación.

3. Datos

Para responder a la pregunta si es que existe un *"trade-off"* entre la desigualdad de ingresos y contaminación del aire, utilizaré dos bases de datos distintas sobre Chile: una base de datos sobre los niveles de contaminación del aire, y otra con información de los hogares, incluyendo

¹Algunos artículos mencionan este interés como et al. (2021), *Cambio Climático y Nueva Constitución [Climate Change and New Constitution]* (2021), Pilar Moraga & Alonso (2023)

los ingresos monetarios de los hogares. En esta sección, describiré las bases de datos utilizadas para ambos casos.

3.1. Datos de Ingresos

Las variables de ingresos y demográficas en este documento se calculan en base a la Encuesta Nacional de Caracterización Socioeconómica de Chile (CASEN, en adelante). Esta encuesta es realizada por el Ministerio de Desarrollo Social, con una periodicidad bienal y trienal. Utilizo las encuestas disponibles para el período 1998-2017². Además, excluiré de la muestra las observaciones para las cuales no tengo información para la misma región y año en la base de datos de contaminación del aire.

Para el modelo principal de este artículo, usaré para la variable de ingreso, el promedio del ingreso monetario del hogar para cada región y año. Luego, desinflato la serie de ingresos con la serie del Índice de Precios al Consumidor del Banco Mundial a valores de 2010. La serie desagregada a nivel de región, consiste de nueve años distintos dentro de un período de 19 años. La Tabla 1 presenta las estadísticas descriptivas de las principales variables que utilizaré en mi análisis. Observamos que, en promedio, el ingreso mensual del hogar es de 659 mil CLP (pesos chilenos), equivalente aproximadamente a 820 USD, con una desviación estándar de 168 USD (157 mil CLP). También calculo para cada región-año diferentes medidas de distribución de ingresos. En promedio, durante el período de 19 años, el índice de Gini es de 45,63.

3.2. Datos de Contaminación del Aire

Entre las medidas más comunes de contaminantes atmosféricos se encuentra el material particulado, que consiste en partículas muy pequeñas suspendidas en el aire provenientes de la quema de madera, vehículos motorizados e industrias. Estas partículas están compuestas principalmente por metales, productos químicos orgánicos, nitratos y sulfatos (Chowdhary et al., 2020; Basu, 2018). Los efectos en la salud humana varían desde fatiga y problemas respiratorios a corto plazo, hasta muerte prematura, problemas cardíacos y cáncer a largo plazo (Anderson et al., 2012; Mukherjee & Agrawal, 2017; Nriagu, 2019).

Como medida de la contaminación del aire uso las unidades de Material Particulado con un diámetro aerodinámico inferior a $10 \mu m$, obtenidas del sitio web del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINCA, a partir de ahora). SINCA mide cada hora los niveles de MP en el aire para distintas estaciones de medición, con información sobre la ubicación, incluida la región. Los datos de

²Me restringiré a este período ya que la encuesta de 2017 es la última disponible antes de la pandemia, y el año 1998 es el primer año con observaciones en la base de datos de contaminación del aire

Tabla 1: Estadísticas Descriptivas

| | Promedio | S.D. |
|---|----------|-------|
| Ingresos Promedio del Hogar (en miles de CLP) | 659.1 | 157.7 |
| Rural (%) | 17.19 | 11.56 |
| Educación Secundaria Completa (%) | 45.15 | 8.925 |
| Medidas de Desigualdad: | | |
| Gini | 45.63 | 4.238 |
| Ratio 90/10 | 7.794 | 1.352 |
| Atkinson (0.5) | 17.54 | 3.448 |
| Atkinson (1) | 31.20 | 4.898 |
| Índice de Theil | 40.96 | 10.29 |
| Observaciones | 74 | |

cada estación están disponibles para descargar en agregados diarios, mensuales, trimestrales o anuales. Los datos que uso en este estudio corresponden a los agregados anuales, dado que los datos de ingresos de los hogares están en la misma unidad de tiempo.

La información se presenta en tres series: Registros no validados, Registros preliminares y Registros validados. La primera serie consiste en los datos iniciales, que podrían presentar errores³, por lo que excluyo las observaciones de esta serie. Para las estimaciones de esta investigación, calculo los agregados regionales para cada año. En total, la base de datos consta de 362 estaciones ubicadas en 12 regiones, con un promedio de MP de $55.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una desviación estándar de $31.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A nivel de región, la base tiene series regionales de entre 4 y 9 años.

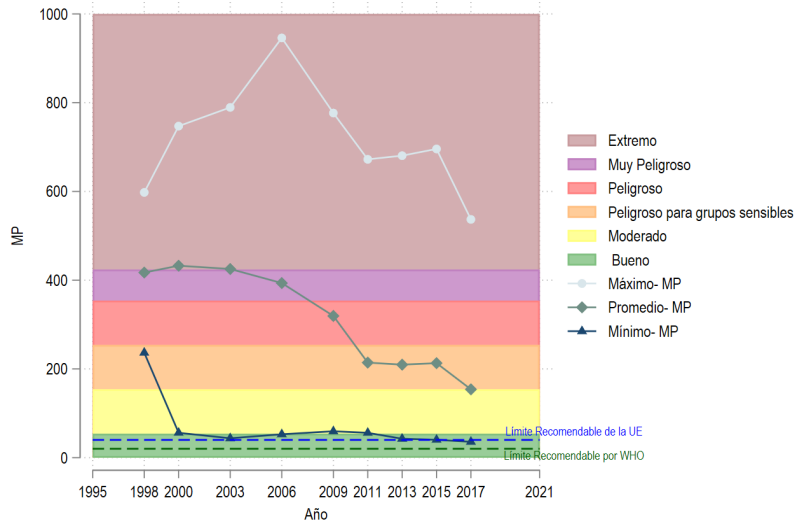
En la Figura 1 muestro las series de los niveles máximo, promedio y mínimo de MP en la base de datos. Las regiones pintadas muestran en los colores del Índice de Calidad del Aire de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) (EPA, 2018) las categorías de calidad del aire consideradas como “Bueno”, “Moderado”, “Peligroso para grupos sensibles”, “Peligroso”, “Muy Peligroso”, y “Extremo”. Los niveles promedio de MP superan las categorías de “Buena” y “Moderada”, llegando incluso al nivel de “Extremo”. Además, incluso los registros mínimos superan los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea.

3.3. Base completa

El conjunto de datos completo utilizado en este estudio consiste en la combinación de datos de contaminación del aire e ingresos de los hogares a nivel de región-año en Chile desde 1998 hasta 2017. Esta base incluye información sobre los niveles promedio de MP, ingreso monetario de los hogares

³Por ejemplo, cortes de energía, calibraciones o valores no representativos debido a fuentes ocasionales (<https://sinca.mma.gob.cl/index.php/page/index/id/validacion>)

Figura 1: Niveles de MP por año y región (Máximo, Promedio, y Mínimo) e Índice de Calidad del Aire, Chile (1998-2017)



Notas: Los datos de MP_{10} provienen del sitio web de SINCA, agregados a nivel de región y año. Los niveles del Índice de Calidad del Aire provienen de la EPA, donde los niveles de MP_{10} entre 0 y $54 \mu g/m^3$ se consideran "Buenos", el rango de 55 a $154 \mu g/m^3$ se considera "Moderado", entre 155 y $254 \mu g/m^3$ se considera "Poco saludable para grupos sensibles", entre 255 y $354 \mu g/m^3$ se consideran niveles "Poco saludables", el rango de 355 a $424 \mu g/m^3$ se considera "Muy poco saludable" finalmente por encima de $425 \mu g/m^3$ se considera una calidad del aire "Peligrosa". Los niveles máximos anuales de las regiones se catalogan como peligrosos durante toda la serie de 19 años. Toda la serie de niveles promedio de contaminación del aire ha estado por encima de los niveles de buena calidad del aire, e incluso para algunos años en la serie de niveles mínimos de contaminación se ha encontrado entre los niveles Moderado y Peligroso para grupos sensibles.

y cinco medidas distintas de distribución de ingresos para cada región-año. Este conjunto de datos permitirá analizar la relación entre la desigualdad de ingresos y la contaminación del aire en Chile a lo largo del tiempo. En total, la base cuenta con 74 observaciones región-año.

La Figura 2 muestra un mapa bivariado utilizando la base de datos final, representando la relación entre los niveles de contaminación del aire (MP) y la distribución de ingresos (Gini), para el año 2017, por región. Mediante terciles, los colores más claros representan un coeficiente de Gini más bajo en el eje X y una menor contaminación del aire en el eje Y. Observamos que el gráfico podría sugerir una relación negativa entre la desigualdad de ingresos y los niveles de contaminación del aire, ya que la mayoría de las regiones están pintadas con colores fuera de la diagonal principal, con la excepción de la región de Santiago de Chile que muestra altos niveles de contaminación y de desigualdad de ingresos, representado por el color de la esquina superior derecha del cuadro de colores.

Figura 2: Asociación espacial entre el coeficiente de Gini y los niveles de contaminación del aire (MP), Chile (2017)



Notas: Los datos de MP_{10} provienen del sitio web del SINCA, agregados a nivel de región y año. Este mapa utiliza solo observaciones del año 2017 (el año más reciente en el conjunto de datos). El coeficiente de Gini y los niveles de MP_{10} se han agrupado en terciles, donde un color rosa más intenso representa niveles más altos de contaminación del aire y un color celeste más intenso representa un coeficiente de Gini más alto. No queda claro a partir de este mapa que pueda existir una relación entre estas dos variables, excepto para la región de Santiago de Chile pintada con el color de la esquina superior derecha del cuadro de colores, representando unos niveles de alta desigualdad y alta contaminación del aire.

4. Metodología

Para probar el efecto de los niveles de ingresos y la distribución de ingresos en la contaminación del aire, primero buscaré demostrar la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (EKC, por sus siglas en inglés) y luego estimaré el EKC con una medida de desigualdad de ingresos como variable explicativa.

Para ambas estimaciones, utilizaré un modelo de *Two-Way Fixed Effects*. Siguiendo a [Giovanis \(2013\)](#), utilizaré efectos fijos de unidad y de tiempo, donde una unidad representa una región y el tiempo se mide en años. Un efecto fijo de unidad controlará características específicas que no varían con el tiempo (por ejemplo, factores geográficos, clima y población), lo cual equivale a eliminar los promedios temporales específicos de cada unidad y estimar una regresión OLS agrupada. También utilizaré efectos fijos de tiempo para eliminar la influencia de shocks específicos del tiempo (por ejemplo, políticas públicas o cambios climáticos que afecten los niveles de contaminación en todas las regiones en un año dado). Los parámetros de interés para cada modelo se identifican al explotar la variación del ingreso y la desigualdad de ingresos a lo largo del espacio y el tiempo (es decir, región y año).

Primero, probaré la hipótesis de la Curva de Kuznets Ambiental (EKC) para determinar la forma de la relación entre los niveles de ingresos y la contaminación del aire. La ecuación será la siguiente:

$$e_{r,t} = \beta_0 + \beta_1 inc_{r,t} + \beta_2 inc_{r,t}^2 + \theta_t + \eta_r + \nu_{r,t} \quad (1)$$

Donde $e_{r,t}$ es el logaritmo del total de MP (material particulado), $inc_{r,t}$ es el logaritmo del ingreso monetario promedio del hogar para la región y año, y $inc_{r,t}^2$ es el cuadrado de esta variable. θ_t son los efectos fijos por año, η_r son los efectos fijos por región y $\nu_{r,t}$ es el término de error. Para probar la EKC, las estimaciones de 1 deberían mostrar $\beta_1 > 0$ y $\beta_2 < 0$.

Luego analizaré si existe una asociación entre la desigualdad de ingresos y los niveles de contaminación del aire, incluyendo una variable de desigualdad de ingresos en la EKC. El modelo propuesto es el siguiente:

$$e_{r,t} = \alpha_0 + \alpha_1 inequality_{r,t} + \beta_1 inc_{r,t} + \beta_2 inc_{r,t}^2 + \theta_t + \eta_r + \nu_{r,t} \quad (2)$$

Donde $e_{r,t}$, $inc_{r,t}$, $inc_{r,t}^2$, θ , η y $\nu_{r,t}$ heredan su significado de la ecuación 1, $inequality_{r,t}$ representa una medida de desigualdad de ingresos para la región y el año. Realizaré esta estimación para las cinco medidas de desigualdad descritas en la Tabla 1. El parámetro de interés es α_1 . Este coeficiente explica la relación entre la contaminación del aire y la desigualdad de ingresos. La interpretación cuantitativa de este coeficiente dependerá de la medida de desigualdad de ingresos utilizada (por ejemplo, un aumento de un punto porcentual en el coeficiente de Gini, o un aumento de una unidad en el Ratio 90/10, se asocia con un cambio de α_1 % en el total de MP).

El mecanismo detrás de esta relación sigue el modelado de la EKC, donde las personas de altos ingresos tienen preferencias más fuertes por mejores condiciones ambientales, y las personas de bajos ingresos no contaminan tanto como las personas de ingresos medios (estas últimas vivirían en áreas más industrializadas, mientras que las primeras, en áreas más agrarias). Como explica [Brännlund & Ghalwash \(2008\)](#), al observar una EKC de cualquier sociedad determinada, una redistribución hacia una distribución de ingresos más igualitaria reubicaría horizontalmente a las personas hacia el centro de la curva, lo que verticalmente se traduciría en un punto más alto en la curva (mayores niveles de contaminación). Siguiendo este mecanismo, espero que una mayor desigualdad de ingresos esté correlacionada con niveles más bajos de contaminación del aire. Analizo esta hipótesis utilizando las diferentes medidas de distribución de ingresos: Gini, Atkinson con $\alpha = 0.5$, Atkinson con $\alpha = 1$, Índice de Entropía Generalizada con $\alpha = 1$, o Índice de Theil, y el Ratio 90/10.

5. Resultados

5.1. Resultados principales

La tabla 2 muestra los principales resultados del artículo. La primera columna muestra las estimaciones de la ecuación 1 utilizando el logaritmo de los niveles totales de contaminación del aire como variable dependiente. Los signos de los coeficientes sugieren una forma de U invertida ($\beta_1 > 0$ y $\beta_2 < 0$), sin embargo, estos no resultan ser estadísticamente significativos. Esto podría deberse a la falta de poder estadístico dado que la regresión se realiza utilizando solo 74 observaciones de región-año.

Las columnas (2) a (6) representan los resultados de la ecuación 2 utilizando diferentes medidas de desigualdad de ingresos como la variable de interés, y utilizando el logaritmo de los niveles totales de contaminación del aire como la variable dependiente. La segunda columna muestra que al utilizar el coeficiente de Gini como medida de desigualdad de ingresos, existe una relación negativa entre la desigualdad de ingresos y la contaminación del aire. Específicamente, un aumento de un punto porcentual en el coeficiente de Gini reduciría la contaminación del aire en un 0.15%. Este resultado también es estadísticamente significativo. Los resultados son cualitativamente similares para las diferentes medidas de desigualdad de Atkinson con $\alpha = 0.5$, Atkinson con $\alpha = 1$, Índice de Theil, y el Ratio 90/10.

Tabla 2: Curva Ambiental de Kuznets y Distribución de Ingresos

| | Medida de Contaminación del Aire (MP 10) | | | | | |
|-----------------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| Medida de Desig. | | -0.15*** (0.04) | -0.15*** (0.05) | -0.13*** (0.04) | -0.035*** (0.01) | -0.40** (0.17) |
| Ingresos | 15.4 (32.12) | 18.7 (29.23) | 21.3 (30.56) | 18.0 (30.09) | 23.2 (30.93) | -5.63 (33.70) |
| Ingresos ² | -1.39 (2.50) | -1.49 (2.26) | -1.72 (2.37) | -1.44 (2.33) | -1.91 (2.40) | 0.39 (2.64) |
| Medida de Desig. usada : | - | Gini | Atkinson 0.5 | Atkinson 1 | Índice de Theil | Ratio 90/10 |

Donde *Ingresos* representa el logaritmo del promedio de la región del ingreso mensual del hogar para cada año. Los resultados son estimaciones de la ecuación 2. Errores estándar robustos entre paréntesis, y pesos por población de la región. Efectos fijos de región y año. 74 observaciones de región-año. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Se puede observar que el coeficiente de la variable de desigualdad es robusto para cualquiera de las medidas de desigualdad utilizadas, en todos los casos tiene signo negativo y es estadísticamente significativo. Las columnas (1) a (6) muestran también coeficientes no significativos para las variables de ingresos, pero de magnitudes similares y con signos en línea con la hipótesis de la EKC.

5.2. Pruebas de Robustez e Hipótesis Alternativas sobre Mecanismos

Luego de analizar los efectos en diferentes medidas de desigualdad, añado controles adicionales para verificar la robustez de las estimaciones utilizando cambios en el modelo propuesto de efectos fijos de la ecuación 2.

Primero, estimo un modelo similar con ejercicios de falsificación incluyendo rezagos y anticipos (*lags and leads*) de la variable principal de interés como placebos. Al controlar por la desigualdad de ingresos actual, la desigualdad de ingresos futura no debería tener ningún efecto en los niveles de contaminación actuales. También incluyo la desigualdad de ingresos pasada, ya que los niveles actuales de desigualdad de ingresos y de contaminación podrían estar correlacionados con ella. Siguiendo a [Dube \(2019\)](#), propongo el siguiente modelo:

$$e_{rt} = \alpha_0 + \sum_{k=-1}^1 \alpha_{2+k} inequality_{r,t+k} + \beta_1 inc_{r,t} + \beta_2 inc_{r,t}^2 + \theta_t + \eta_r + v_{r,t} \quad (3)$$

Si encontramos una asociación entre la desigualdad de ingresos y la contaminación del aire en la Tabla 2, pero esta asociación fuese simplemente aleatoria, entonces podríamos esperar que el coeficiente $\alpha_{t+1} \neq 0$ en la ecuación 3. Esto se debe a que, si la relación observada entre la desigualdad de ingresos y la contaminación del aire no tiene una correlación real y es simplemente el resultado de la variabilidad aleatoria en los datos, podríamos esperar ver efectos similares en los períodos futuros.

Sin embargo, si encontramos que α_{t+1} es significativamente igual a cero, esto sugiere que no hay algún otro factor o mecanismo en juego que no estamos considerando en las estimaciones que explique los resultados encontrados previamente. Esto podría incluir variables no observadas o no consideradas en nuestro modelo principal, las cuales podrían estar relacionadas tanto con la desigualdad de ingresos como con la contaminación del aire. En este sentido, un coeficiente α_{t+1} significativamente igual a cero indicaría rechaza la hipótesis de que el efecto observado en la Tabla 2 podría ser explicado por otra asociación no considerada o puramente por azar. Por lo tanto, realizar esta prueba ayuda a evaluar la validez de la especificación principal.

Los resultados mostrados en la Tabla 3 indican que los resultados del modelo principal son robustos a esta especificación. El coeficiente de la medida de desigualdad de un período adelante (placebo) es muy pequeño y no estadísticamente significativo, por lo que se puede concluir que $\alpha_{t+1} = 0$, confirmando que la relación encontrada entre la distribución del ingreso y la contaminación del aire no es espúrea. Además, los coeficientes de la medida de desigualdad del período son robustos a la inclusión del rezago y del adelanto, mostrando resultados negativos, estadísticamente significativos, y de magnitud similar a los mostrados en la Tabla 2. Además, los resultados podrían sugerir una relación de largo plazo entre la desigualdad y la contaminación, ya que se puede observar que en el caso de la Ratio 90/10 el período anterior podría afectar los niveles de contaminación presentes pero en una magnitud opuesta;

sin embargo, este no es el caso para el resto de las medidas de desigualdad probadas.

Tabla 3: Prueba de robustez con rezagos y anticipos

| | Medida de Contaminación del Aire (MP 10) | | | | |
|---------------------------------|--|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Medida de Desig. _t | -0.12** (0.05) | -0.13** (0.05) | -0.10** (0.04) | -0.032** (0.01) | -0.35* (0.19) |
| Medida de Desig. _{t-1} | 0.056 (0.04) | 0.044 (0.05) | 0.047 (0.04) | 0.0064 (0.01) | 0.23* (0.13) |
| Medida de Desig. _{t+1} | -0.017 (0.04) | -0.0025 (0.04) | -0.012 (0.03) | 0.0017 (0.01) | -0.036 (0.10) |
| Ingresos | 15.6 (28.71) | 18.4 (31.15) | 15.8 (28.96) | 22.1 (32.43) | 1.32 (29.44) |
| Ingresos ² | -1.30 (2.21) | -1.54 (2.40) | -1.32 (2.23) | -1.86 (2.51) | -0.20 (2.30) |
| Medida de Desig. usada : | Gini | Atkinson | Atkinson | Índice de Theil | Ratio 90/10 |
| | | 0.5 | 1 | | |

La tabla muestra los resultados de la estimación de la ecuación 3. Efectos fijos de región y año. Errores estándar robustos en paréntesis. 72 observaciones de región-año. Donde *Ingresos* representa el logaritmo del promedio de los ingresos mensuales de los hogares para cada región-año. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Por otro lado, podría existir una relación subyacente entre los niveles de desigualdad de ingresos y la contaminación del aire, influenciada por factores como la ruralidad y el nivel educativo (Balaguer & Cantavella, 2018; Torras & Boyce, 1998; Heerink et al., 2001; Maranzano et al., 2022). La ruralidad puede estar directamente relacionada tanto con los ingresos como con los niveles de contaminación, mientras que la educación también puede influir en ambos aspectos, tanto en los ingresos como en los comportamientos y decisiones relacionadas con la contaminación. Para abordar esta posibilidad, incorporo controles que representan la proporción de hogares considerados rurales en la región-año, así como la proporción de hogares cuyo jefe tiene educación secundaria completa. Incluyendo esto en la ecuación 2 con el fin de reducir cualquier sesgo debido a la omisión de estas variables relevantes, estimo los resultados presentados en la Tabla 4. Los coeficientes obtenidos al incluir estos controles respaldan la robustez de las estimaciones principales, lo que sugiere que la relación entre la desigualdad de ingresos y la contaminación del aire persiste incluso después de considerar estos factores adicionales.

Adicionalmente, exploro la posibilidad de que la relación entre la desigualdad de ingresos y la contaminación del aire sea explicada únicamente por movimientos de los hogares en los percentiles más bajos de ingresos. Para esto incluyo un control en la ecuación 2 que representa una medida de pobreza. Estimo esta ecuación para tres medidas de pobreza distintas: porcentaje de hogares debajo de la línea de pobreza, porcentaje de hogares debajo de la línea de pobreza extrema, y el Índice de pobreza Foster-Greer-Thorbecke con $\alpha = 1$ (FGT1, en adelante) para medir tanto la incidencia como la intensidad de la pobreza. que incluye además de medidas de desigualdad, medidas de pobreza como controles. Este ejercicio permite explorar si los cambios en el comportamiento de los hogares más pobres podrían

Tabla 4: Prueba de robustez con controles de ruralidad y educación

| | Medida de Contaminación del Aire (MP 10) | | | | |
|-----------------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Medida de Desig. | -0.16*** (0.05) | -0.17*** (0.05) | -0.14*** (0.04) | -0.038** (0.02) | -0.35* (0.19) |
| Ingresos | 45.2 (30.13) | 50.4 (31.43) | 49.8 (31.15) | 53.4 (33.28) | 38.7 (36.87) |
| Ingresos ² | -3.31 (2.32) | -3.75 (2.42) | -3.68 (2.40) | -4.03 (2.56) | -2.83 (2.86) |
| Medida de Desig. usada : | Gini | Atkinson 0.5 | Atkinson 1 | Índice de Theil | Ratio 90/10 |

La tabla muestra los resultados de la estimación de la ecuación 2 con controles adicionales de ruralidad (proporción de hogares rurales dentro de la región) y de educación (proporción de hogares dentro de la región con jefe de hogar con educación secundaria completa). Efectos fijos de región y año. Errores estándar robustos en paréntesis. 74 observaciones de región-año. Donde *Ingresos* representa el logaritmo del promedio de los ingresos mensuales de los hogares para cada región-año. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

explicar completamente la asociación observada entre los niveles de contaminación y la distribución de ingresos. En otras palabras, la inclusión de este control por medida de pobreza nos permite descartar una hipótesis alternativa en la que el efecto atribuido a las medidas de desigualdad esté capturando únicamente un fenómeno relacionado con la pobreza y no con toda la distribución.

Tabla 5: Prueba de robustez con control de niveles de Pobreza

| | Medida de Contaminación del Aire (MP 10) | | | | |
|-----------------------------|--|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Medida de Desig. | -0.16*** (0.04) | -0.16*** (0.04) | -0.14*** (0.04) | -0.038*** (0.01) | -0.43** (0.17) |
| Ingresos | 37.1 (31.84) | 40.8 (33.26) | 38.2 (32.62) | 41.2 (33.66) | 10.0 (35.29) |
| Ingresos ² | -2.83 (2.44) | -3.15 (2.55) | -2.92 (2.50) | -3.24 (2.59) | -0.75 (2.75) |
| Medida de Desig. usada : | Gini | Atkinson 0.5 | Atkinson 1 | Índice de Theil | Ratio 90/10 |

La tabla muestra los resultados de la estimación de la ecuación 2 controlando además por proporción de hogares debajo de la línea de pobreza. Efectos fijos de región y año. Errores estándar robustos en paréntesis. 74 observaciones de región-año. Donde *Ingresos* representa el logaritmo del promedio de los ingresos mensuales de los hogares para cada región-año. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Los resultados de este ejercicio se presentan en las Tablas 5, 6, y 7, donde se observa que los coeficientes de las medidas de desigualdad siguen siendo estadísticamente significativos y de magnitud similar a los resultados principales. Esto sugiere que los movimientos en los niveles de pobreza, sea medido como pobreza, pobreza extrema, o un índice de FGT1, no explican la asociación encontrada

Tabla 6: Prueba de robustez con control por niveles de Pobreza Extrema

| | Medida de Contaminación del Aire (MP 10) | | | | |
|-----------------------------|--|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Medida de Desig. | -0.16*** (0.04) | -0.16*** (0.04) | -0.15*** (0.03) | -0.038*** (0.01) | -0.50** (0.19) |
| Ingresos | 53.3* (27.28) | 57.2* (28.72) | 56.7** (27.19) | 56.9* (29.66) | 28.2 (29.53) |
| Ingresos ² | -4.06* (2.09) | -4.40* (2.20) | -4.32** (2.08) | -4.43* (2.27) | -2.09 (2.32) |
| Medida de Desig. usada : | Gini | Atkinson 0.5 | Atkinson 1 | Índice de Theil | Ratio 90/10 |

La tabla muestra los resultados de la estimación de la ecuación 2 controlando además por proporción de hogares debajo de la línea de pobreza extrema. Efectos fijos de región y año. Errores estándar robustos en paréntesis. 74 observaciones de región-año. Donde *Ingresos* representa el logaritmo del promedio de los ingresos mensuales de los hogares para cada región-año. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Tabla 7: Prueba de robustez con control por Índice de pobreza Foster-Greer-Thorbecke ($\alpha = 1$)

| | Medida de Contaminación del Aire (MP 10) | | | | |
|-----------------------------|--|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Medida de Desig. | -0.13*** (0.05) | -0.11** (0.05) | -0.11*** (0.04) | -0.023* (0.02) | -0.37** (0.17) |
| Ingresos | 19.4 (33.00) | 20.9 (34.50) | 18.7 (33.68) | 21.5 (35.16) | -3.22 (35.82) |
| Ingresos ² | -1.49 (2.57) | -1.65 (2.69) | -1.45 (2.62) | -1.74 (2.74) | 0.27 (2.80) |
| Medida de Desig. usada : | Gini | Atkinson 0.5 | Atkinson 1 | Índice de Theil | Ratio 90/10 |

La tabla muestra los resultados de la estimación de la ecuación 2 controlando además por el Índice de pobreza Foster-Greer-Thorbecke con $\alpha = 1$. Efectos fijos de región y año. Errores estándar robustos en paréntesis. 74 observaciones de región-año. Donde *Ingresos* representa el logaritmo del promedio de los ingresos mensuales de los hogares para cada región-año. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

inicialmente entre la desigualdad y la contaminación del aire. Es importante destacar que la inclusión de cualquiera de las tres medidas de pobreza mencionadas como controles permite una comprensión más completa de la dinámica subyacente, porque revela que los efectos de la desigualdad de ingresos en los niveles de contaminación del aire persisten incluso después de considerar los cambios en la situación económica de los hogares más pobres. Esto respalda la idea de que la desigualdad de ingresos a lo largo de toda la distribución, más allá de únicamente los hogares en el extremo izquierdo, desempeña un papel significativo en la relación con los niveles de contaminación del aire.

Para respaldar esta hipótesis de que el comportamiento de los hogares en toda la distribución de ingresos son importantes para comprender la relación entre los niveles de desigualdad y la contaminación del aire, investigo si los cambios en la contaminación del aire podrían explicarse en cierta medida por las proporciones de hogares en cada región dentro de distintos percentiles de ingresos. Modifico el modelo principal para incluir variables que representen la proporción de hogares dentro de diferentes percentiles de ingresos. La ecuación modificada se presenta a continuación:

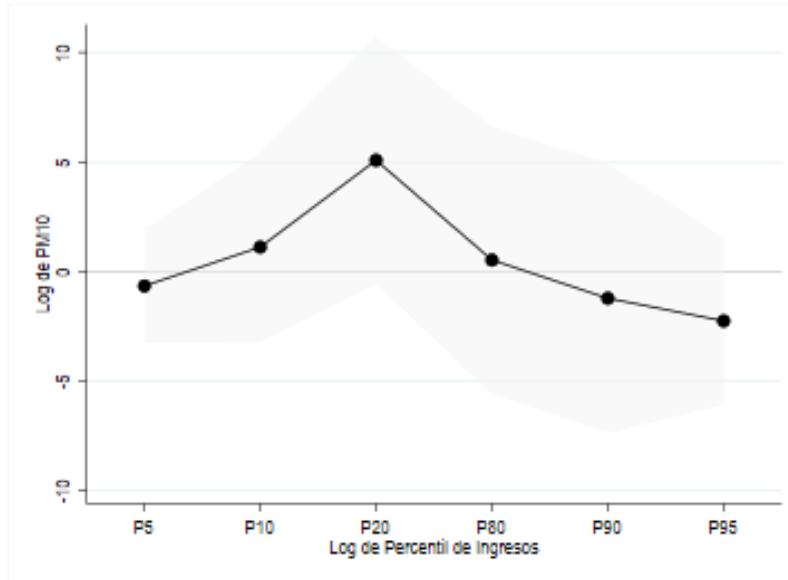
$$e_{r,t} = \alpha_0 + \alpha_1 inequality_{r,t} + \beta_1 inc_{r,t} + \beta_2 inc_{r,t}^2 + \sum_n^N \chi_n perc_{n,r,t} + \theta_t + \eta_r + v_{r,t} \quad (4)$$

Donde $e_{r,t}$, $inequality_{r,t}$, $inc_{r,t}$, $inc_{r,t}^2$, θ , η , y $v_{r,t}$ conservan su significado de la ecuación 2. La suma $\sum_{n=1}^N perc_{n,r,t}$ representa la inclusión de variables que reflejan la proporción de hogares en la región dentro de ciertos percentiles de la distribución de ingresos. He considerado diferentes divisiones de percentiles para capturar los efectos a lo largo de toda la distribución.

A pesar de la pérdida de precisión debido al tamaño de la muestra, los coeficientes obtenidos muestran una tendencia consistente con la forma de U invertida. Los resultados en la figura 3 sugieren que aumentar los ingresos en los percentiles más bajos de la distribución tiene un efecto contrario al aumento de los ingresos en los percentiles más altos. Por ejemplo, el aumento de los ingresos en el percentil 40 (A1b) está asociado con un aumento positivo y significativo en los niveles de contaminación del aire de 8.34%, mientras que el aumento de los ingresos en el percentil 85 está relacionado con un efecto negativo y significativo de -5.42% en los niveles de contaminación. La figura A1c muestra también esto. Para esta figura se estimó la ecuación 4 incluyendo los percentiles 33 y 66 y los extremos 10 y 90 de la distribución. Vemos que aumentar los ingresos del percentil 33 tiene un efecto positivo y significativo en los niveles de contaminación de 8.10%, mientras que aumentar los ingresos del percentil 90 de la distribución de ingresos disminuiría los niveles de contaminación en 3.18%. Por último, la figura A1d muestra los resultados de los coeficientes de los percentiles 25, 50 y 75, con efectos positivos y significativos para el percentil 25, de 7.6%.

Por último, investigo si los resultados principales del documento podrían ser explicados por cambios en la presencia de industrias dentro de las regiones a lo largo del tiempo. Para esto, se propone una ecuación alternativa al modelo principal que incluye controles que representan la proporción de hogares trabajando en diferentes industrias. El propósito de este enfoque es examinar si los efectos observados en las ecuaciones estimadas anteriormente podrían ser explicados en su totalidad por la composición de

Figura 3: Relación entre proporción de percentiles de ingresos y niveles de MP10



Notas: El gráfico presenta los resultados de las estimaciones de χ en la ecuación 4 donde $\sum_n^N \chi_n perc_{n,r,t}$ ha sido calculado con $n = [5, 10, 20, 80, 90, 95]$. El área sombreada representa los intervalos de confianza al 90 %.

las industrias en la región. De esta manera, los cambios en la presencia o magnitud de industrias más contaminantes podrían influir en la medida de MP y, a su vez, impactar en las medidas de desigualdad. Por ejemplo, en una región mayormente agrícola, la apertura de una minería podría mover tanto los ingresos a lo largo de la distribución de ingresos como los niveles de contaminación del aire. Propongo la ecuación 5 para abordar esta hipótesis alternativa.

$$e_{rt} = \alpha_0 + \alpha_1 inequality_{r,t} + \beta_1 inc_{r,t} + \beta_2 inc_{r,t}^2 + agri_{r,t} + commer_{r,t} + constr_{r,t} + manu_{r,t} + mines_{r,t} + transp_{r,t} + other_{r,t} + \theta_t + \eta_r + v_{r,t} \quad (5)$$

En esta ecuación, los términos $e_{r,t}$, $inc_{r,t}$, $inc_{r,t}^2$, θ , η , $inequality_{r,t}$ y $v_{r,t}$ mantienen su significado del modelo principal (ecuación 2). Los términos $agri_{r,t}$, $commer_{r,t}$, $constr_{r,t}$, $manu_{r,t}$, $mines_{r,t}$, $transp_{r,t}$ y $other_{r,t}$ representan la proporción de hogares en cada región que trabajan en industrias agrícolas, comerciales, de construcción, manufactureras, mineras, de transporte y otras, respectivamente. Bajo la categoría "otras", agrupo a las industrias menos contaminantes (por ejemplo, servicios financieros, educación, servicios sociales). Según el análisis, si la hipótesis alternativa de que existe una relación subyacente entre los niveles de desigualdad y contaminación explicada por la composición de industrias es verdadera, se esperaría que el coeficiente α_1 estimado fuera estadísticamente igual a cero.

Los resultados se presentan en la tabla 8. Los coeficientes de medidas de desigualdad siguen siendo estadísticamente significativos a pesar de la inclusión de los controles de presencia de las diferentes

Tabla 8: EKC con medidas de desigualdad y controles de industria

| | Medida de Contaminación del Aire (MP 10) | | | | |
|-----------------------------|--|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Medida Desig. | -0.14*** (0.05) | -0.15** (0.06) | -0.13*** (0.04) | -0.036** (0.02) | -0.39** (0.16) |
| Ingresos | 8.62 (30.20) | 10.2 (31.21) | 8.45 (30.65) | 11.0 (32.11) | -19.8 (31.99) |
| Ingresos ² | -0.66 (2.31) | -0.82 (2.39) | -0.65 (2.34) | -0.94 (2.46) | 1.55 (2.48) |
| Medida de Desig. usada : | Gini | Atkinson 0.5 | Atkinson 1 | Índice de Theil | Ratio 90/10 |

La tabla muestra los resultados de la estimación de la ecuación 5. Donde *Ingresos* representa el logaritmo del promedio de los ingresos mensuales de los hogares. Efectos fijos de región y año. Errores estándar entre paréntesis. 74 observaciones región-año. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

industrias, para todas las medidas de desigualdad consideradas. Asimismo, los coeficientes estimados para las medidas de desigualdad tienen signos iguales y son de magnitudes similares a todos los resultados previos. Esto sugiere que los cambios en la composición de las industrias en la región no parecen explicar toda la relación encontrada entre los niveles de desigualdad y los niveles de contaminación del aire encontrados hasta ahora.

6. Conclusiones

En este estudio, investigo la relación entre la calidad del aire y la desigualdad de ingresos en Chile, un país con altos niveles de contaminación y marcada desigualdad económica. Utilizo un enfoque de *Two-Way Fixed Effects* para analizar cómo varían los niveles de contaminación del aire, especialmente los relacionados con el material particulado, relacionados a cambios en la distribución de ingresos promedio de los hogares. Los resultados muestran una asociación negativa entre la igualdad de ingresos y la contaminación del aire, donde un aumento de 1 punto porcentual en el índice de Gini está asociado con una disminución del 0.15% en los niveles de contaminación del aire (MP). Estos hallazgos, robustos a diversas pruebas y análisis de sensibilidad, sugieren una relación significativa y negativa entre la desigualdad de ingresos y la calidad del aire en un país en desarrollo como Chile. Además, rechazo hipótesis alternativas como que el efecto encontrado sea explicado únicamente por diferencias en tasas de pobreza y no en desigualdad. Asimismo, descarto que mis estimaciones únicamente reflejen la heterogeneidad en la distribución de industrias contaminantes.

Estos resultados son consistentes con la literatura existente, que destaca el desafío de encontrar una forma para reducir tanto la desigualdad de ingresos y como la contaminación ambiental. Es crucial

reconocer que estos hallazgos no deben interpretarse como una justificación de la desigualdad de ingresos. Más bien, subrayan la importancia de desarrollar políticas de crecimiento económico que sean ambientalmente sostenibles y que tengan en cuenta esta relación actual e histórica entre la igualdad de ingresos y la conservación de la calidad del medio ambiente. Este estudio ofrece una perspectiva útil para los responsables de la formulación de políticas al resaltar la relación entre los aspectos económicos y ambientales del desarrollo, y subraya la necesidad de abordar ambos aspectos de manera integrada en la agenda política y económica.

En resumen, este trabajo contribuye a comprender los determinantes de la calidad del aire y enfatiza la importancia de considerar la igualdad de ingresos en la formulación de políticas ambientales y económicas. Los resultados resaltan las posibles consecuencias negativas relacionadas a los comportamientos de los hogares ubicados a lo largo de toda la distribución de ingresos, lo que enfatiza la importancia de abordar la desigualdad de ingresos de manera conjunta con otras medidas de sostenibilidad ambiental para evitar efectos adversos en la calidad del aire, la salud pública y el bienestar general de la sociedad. Asimismo, este estudio deja abierta el área de investigación para comprender los mecanismos subyacentes que expliquen esta relación y destaca la importancia de enfoques interdisciplinarios para abordar los desafíos complejos que enfrentan las sociedades contemporáneas en su búsqueda de un desarrollo sostenible y equitativo.

Referencias

- Anderson, J. O., Thundiyil, J. G. & Stolbach, A. (2012), 'Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health', *Journal of medical toxicology* **8**(2), 166–175.
- Astell-Burt, T., Feng, X., Mavoa, S., Badland, H. M. & Giles-Corti, B. (2014), 'Do low-income neighbourhoods have the least green space? a cross-sectional study of australia's most populous cities', *BMC Public Health* **14**(292), 292.
URL: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-292>
- Balaguer, J. & Cantavella, M. (2018), 'The role of education in the environmental kuznets curve. evidence from australian data', *Energy Economics* **70**, 289–296.
- Baranzini, A., Goldemberg, J. & Speck, S. (2000), 'A future for carbon taxes', *Ecological economics* **32**(3), 395–412.
- Basu, P. (2018), *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory*, Academic press.
- Beltrán, L. M. M. (2004), *La exportación minera en Chile, 1800-1840: un estudio de historia económica y social en la transición de la Colonia a la República*, Editorial Universitaria.
- Brännlund, R. & Ghalwash, T. (2008), 'The income–pollution relationship and the role of income distribution: An analysis of swedish household data', *Resource and Energy Economics* **30**(3), 369–387.
- Cambio Climático y Nueva Constitución [Climate Change and New Constitution]* (2021).
URL: <https://www.fima.cl/wp-content/uploads/2023/04/informe-clima-y-constitucionresumen.pdf>
- Cepal (2001), *La dimensión ambiental en el desarrollo de América Latina*, Technical report, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cepal (2015), *El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe*, Technical report, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CEPAL, N. (2008), 'El aporte del sector minero al desarrollo humano en Chile: el caso de la región de antofagasta'.
URL: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6329-aporte-sector-minero-al-desarrollo-humano-chile-caso-la-region-antofagasta>
- Cho, H.-S. & Choi, M. J. (2023), 'Effects of compact urban development on air pollution: Empirical evidence from Korea', *International Journal of Environmental Research and Public Health* **6**.
URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/6/9/5968>
- Chowdhary, P., Raj, A., Verma, D. & Akhter, Y. (2020), *Microorganisms for sustainable environment and health*, Elsevier.
- Cole, M. A., Rayner, A. J. & Bates, J. M. (1997), 'The environmental kuznets curve: an empirical analysis', *Environment and development economics* **2**(4), 401–416.

- Dardati, E., de Elejalde, R. & Giolito, E. P. (2021), 'On the short-term impact of pollution: The effect of pm 2.5 on emergency room visits'.
- de Chile, B. N. (n.d.), 'Memoria chilena'.
URL: <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-647.html>
- Dube, A. (2019), 'Minimum wages and the distribution of family incomes', *American Economic Journal: Applied Economics* **11**(4), 268–304.
- Egli, H. (2004), The environmental kuznets curve-evidence from time series data for germany, Technical report, Economics Working Paper Series.
- EPA (2018), Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality, Technical report, U.S. Environmental Protection Agency.
- Esty, D. C. & Porter, M. E. (2001), 'Ranking national environmental regulation and performance: a leading indicator of future competitiveness?', *The global competitiveness report 2002*, 78–100.
- et al., S. V. (2021), 'Cambio climático. criterios para la deliberación constitucional'.
URL: https://foroconstitucional.uc.cl/wp-content/uploads/2021/11/CambioClimatico_final2.pdf
- Fenger, J. (1999), 'Urban air quality', *Atmospheric Environment* **33**, 4877–4900.
- Gasparini, L., Cruces, G., Tornarolli, L. & Mejia, D. (2011), 'Recent trends in income inequality in latin america [with comments]', *Economia* **11**(2), 147–201.
- Giovanis, E. (2013), 'Environmental kuznets curve: evidence from the british household panel survey', *Economic Modelling* **30**, 602–611.
- Gollin, D., Hansen, C. W. & Wingender, A. M. (2021), 'Two blades of grass: The impact of the green revolution', *Journal of Political Economy* **129**(8), 2344–2384.
- Grossman, G. M. & Krueger, A. (1995), 'Pollution and growth: what do we know', *The economics of sustainable development* **19**, 41.
- Grossman, G. M. & Krueger, A. B. (1991), 'Environmental impacts of a north american free trade agreement'.
- Halkos, G. E. (2003), 'Environmental kuznets curve for sulfur: evidence using gmm estimation and random coefficient panel data models', *Environment and development economics* **8**(4), 581–601.
- Heerink, N., Mulatu, A. & Bulte, E. (2001), 'Income inequality and the environment: aggregation bias in environmental kuznets curves', *Ecological Economics* **38**(3), 359–367.
- IQAir (2018), 2018 World Air Quality Report, Technical report.
- Johnston, B. F. & Mellor, J. W. (1961), 'The role of agriculture in economic development', *The American Economic Review* **51**(4), 566–593.

- Kuznets, S. (1995), 'Economic growth and income inequality'.
- Longwu Liang, Zhenbo Wang, J. L. (2019), 'The effect of urbanization on environmental pollution in rapidly developing urban agglomerations', *ScienceDirect* .
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619324990>
- Maranzano, P., Cerdeira Bento, J. P. & Manera, M. (2022), 'The role of education and income inequality on environmental quality: A panel data analysis of the ekc hypothesis on oecd countries', *Sustainability* **14**(3), 1622.
- Moomaw, W. R. & Unruh, G. C. (1997), 'Are environmental kuznets curves misleading us? the case of co2 emissions', *Environment and development economics* **2**(4), 451–463.
- Mukherjee, A. & Agrawal, M. (2017), 'World air particulate matter: sources, distribution and health effects', *Environmental Chemistry Letters* **15**(2), 283–309.
- Nriagu, J. (2019), *Encyclopedia of environmental health*, Elsevier.
- OECD (2011), *Equity Indicators- Income Inequality*, Technical report.
- OECD (2016), *How stringent are environmental policies?*, Technical report, T.Kozluk, G.Garsous.
- Panayotou, T. (1997), 'Demystifying the environmental kuznets curve: turning a black box into a policy tool', *Environment and development economics* **2**(4), 465–484.
- Pilar Moraga, Roxana Bórquez, D. H. & Alonso, C. (2023), 'Nuevo proceso constituyente y cambio climático: Aspectos a considerar en la redacción de la nueva constitución'.
URL: <https://www.cr2.cl/nuevo-proceso-constituyente-cambio-climatico/>
- Ravallion, M. (2014), 'Income inequality in the developing world', *Science* **344**(6186), 851–855.
- Ravallion, M., Heil, M. & Jalan, J. (2000), 'Carbon emissions and income inequality', *Oxford Economic Papers* **52**(4), 651–669.
- Scruggs, L. A. (1998), 'Political and economic inequality and the environment', *Ecological economics* **26**(3), 259–275.
- Selden, T. M. & Song, D. (1994), 'Environmental quality and development: is there a kuznets curve for air pollution emissions?', *Journal of Environmental Economics and management* **27**(2), 147–162.
- Stern, D. I. (2017), 'The environmental kuznets curve after 25 years', *Journal of Bioeconomics* **19**(1), 7–28.
- Studwell, J. (2013), *How Asia works: Success and failure in the world's most dynamic region*, Open Road+ Grove/Atlantic.
- Thévenot, C. (2017), 'Inequality in oecd countries', *Scandinavian journal of public health* **45**(18_suppl), 9–16.

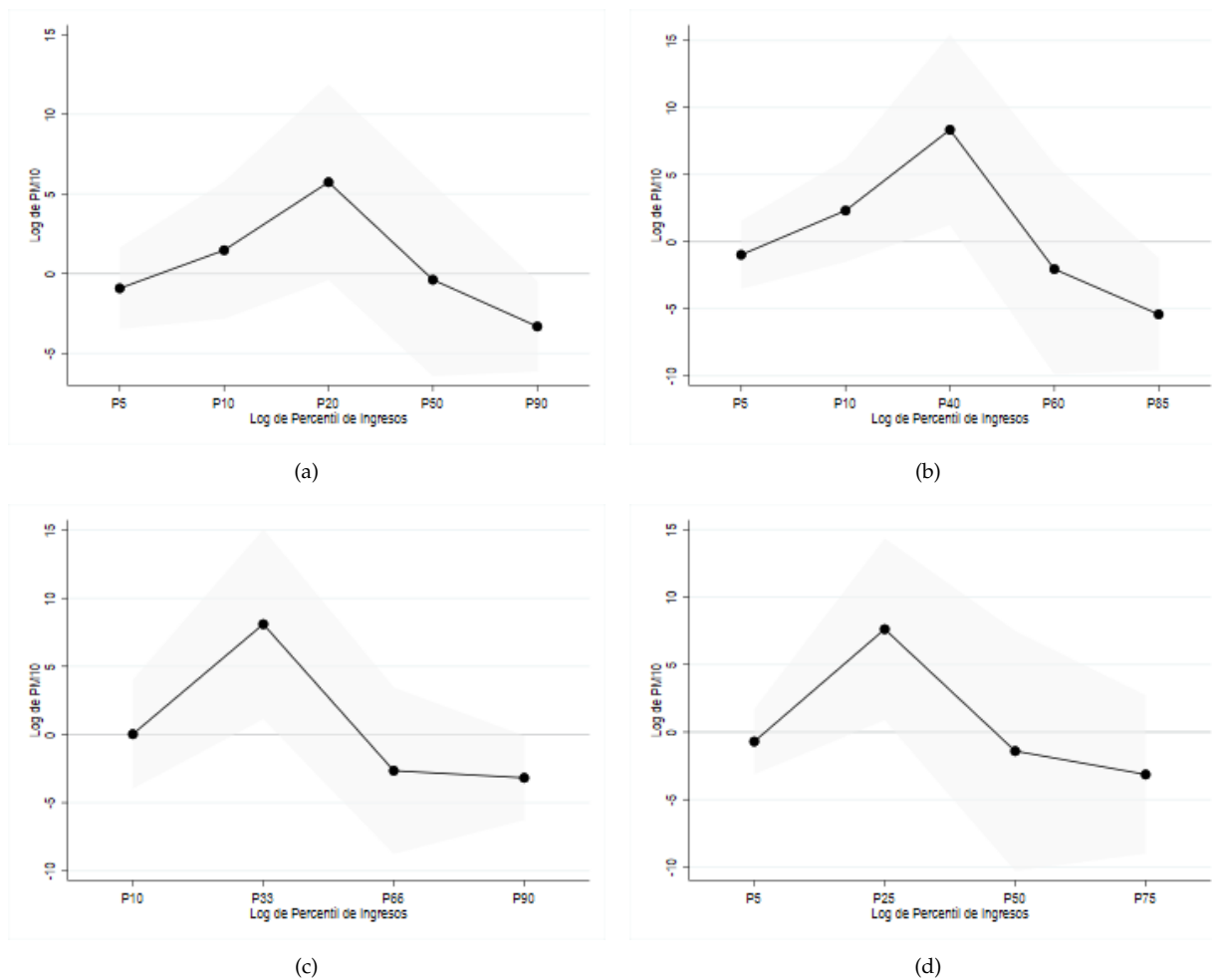
Torras, M. & Boyce, J. K. (1998), 'Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental kuznets curve', *Ecological economics* 25(2), 147–160.

Vincent, J. R. (1997), 'Testing for environmental kuznets curves within a developing country', *Environment and development economics* 2(4), 417–431.

Apéndice

A1

Figura A1: Relación entre proporción de percentiles de ingresos y niveles de MP10



Notas: El gráfico presenta los resultados de las estimaciones de χ en la ecuación 4 donde $\sum_n^N \chi_n perc_{n,r,t}$ ha sido calculado con $n = [5, 10, 20, 50, 90]$ para el panel A1a, $n = [5, 10, 40, 60, 85]$ para el panel A1b, $n = [10, 33, 66, 90]$ para el panel A1c, y $n = [5, 25, 50, 75]$ para el panel A1d. El área sombreada representa los intervalos de confianza al 90%.