

La paradoja del crecimiento: desarrollo, desigualdad y generación de residuos sólidos urbanos en México

RAMIRO FLORES-XOLOCOTZI¹

SERGIO GABRIEL CEBALLOS PÉREZ²

Resumen

Este trabajo tuvo por objetivo encontrar evidencia estadística que sustente la hipótesis de curva ambiental de Kuznets (CAK), entre la generación de residuos sólidos urbanos per cápita (RSU) con el ingreso per cápita municipal anual (IPC), en 2,182 municipios mexicanos durante 2010 a 2020. Se tuvieron como variables control: coeficiente de Gini, densidad poblacional, un indicador de servicios en el hogar y un índice de años promedio de escolaridad. Los resultados obtenidos a través de efectos fijos se compararon sustituyendo el IPC con el Índice de Desarrollo Humano (IDH). Se encontró evidencia de una relación inversa con el IPC empleando un modelo lineal. Con el IDH se detectó una curva en U. En ambos casos se identificó una relación inversa entre RSU con el coeficiente de Gini. Los resultados deben corroborarse con otras técnicas y ampliar el tiempo de análisis; no obstante, sustentan la necesidad de una política ambiental de reciclaje de RSU en las municipalidades.

Palabras clave: curva ambiental de Kuznets, efectos fijos, Índice de Desarrollo Humano, reciclaje.

Clasificación JEL: Q50, Q53, Q58.

Fecha de recepción: 2 de julio de 2025. Fecha de aceptación: 25 de agosto de 2025. DOI: <https://doi.org/10.32870/eera.vi57.1266>

1 Unión de Investigadores para la Sustentabilidad, S. A. S. Correo electrónico: pinos42@hotmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9979-1057>

2 Universidad Politécnica de Pachuca. Correo electrónico: ceballosp@upp.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4991-3540>

THE GROWTH PARADOX: DEVELOPMENT, INEQUALITY, AND URBAN SOLID WASTE GENERATION IN MEXICO

Abstract

The objective of this work was to found evidence that supports the environmental Kuznets curve (CAK) hypothesis, for the generation of urban solid waste per capita (MSW) with the annual municipal per capita income (PCI), in 2,182 Mexican municipalities for the period 2010 to 2020. The control variables were the Gini coefficient, population density, an indicator of home services, and mean years of schooling index. The results obtained through fixed effects were compared by replacing PCI with the Human Development Index (HDI). There is evidence of inverse relationships using PCI employing a linear model. However, with HDI evidence of U-shaped curve was found. In both models an inverse relationship was observed between MSW and Gini coefficient. The results must be corroborated with other techniques and include more years in the research; however, the results support the need for an environmental MSW recycling policy in municipalities.

Keywords: environmental Kuznets curve, fixed effects, Human Development Index, recycling.

JEL Classification: Q50, Q53, Q58.

1. Introducción

La gestión y manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) en naciones emergentes como México tiene importancia fundamental, ya que éstos constituyen un problema grave de salud para los ciudadanos y el medio ambiente (Sáez y Urdaneta, 2014). Una gestión inadecuada de su disposición y manejo los convierte en fuentes de contaminación de suelos y acuíferos subterráneos mediante lixiviados (constituidos por productos orgánicos e inorgánicos, solubles e insolubles) en sitios de disposición final (Bernache, 2012; Castañeda y Pérez, 2015; Dávila-Sámano et al., 2021). Los residuos sólidos urbanos (RSU) se conciben como aquéllos generados por: industrias del sector servicios (incluyendo turismo y otras actividades recreativas), oficinas y hogares (residuos domiciliarios), quedan excluidos los residuos peligrosos, médico-hospitalarios, industriales, petroleros o semejantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2020).

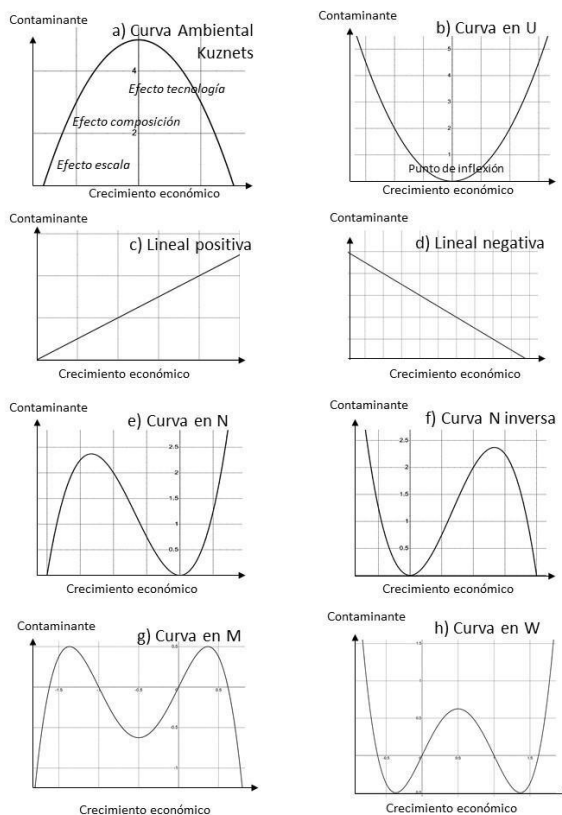
Además, es necesario considerar la disposición de residuos sólidos en vertederos no controlados y la quema de residuos a cielo abierto en Latinoamérica, los cuales son fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La quema es una práctica extendida en la región y junto con la emisión de GEI liberan partículas finas (hollín) que impactan gravemente en la salud humana (Reyna-Bensusan et al., 2018; Brites, 2022).

Debido al impacto ambiental de los RSU en los ecosistemas, la ciencia económica muestra interés especial en conocer la relación que tiene la generación de los resi-

duos con el crecimiento económico; al respecto, esta relación ha sido estudiada con la hipótesis de curva ambiental de Kuznets (CAK) (Boubellouta & Kusch-Brandt, 2020; Ercolano et al., 2018; Jiang et al., 2019). La hipótesis de CAK se basa en los estudios de convergencia económica y desigualdad social que realizó Simon Kuznets y las evidencias que encontró tanto en países desarrollados como en desarrollo (Kuznets, 1955). Más tarde, Grossman y Krueger (1995) aplicaron dichos principios para explicar la paradoja de la contaminación y el crecimiento económico en distintos horizontes de tiempo, encontrando para algunos contaminantes una relación en forma de U inversa. En esta relación ocurre un punto de inflexión (PI) una vez que la contaminación alcanza su punto máximo (Figura 1, inciso a) (Lv et al., 2021).

Este cambio en la relación entre crecimiento y contaminación se conoce, particularmente en estudios de corto plazo, como desacoplamiento entre las dos variables (Lv et al., 2021). Por lo que el crecimiento/bienestar (medido a través del PIB u otro indicador de ingreso), al desvincularse favorece la disminución de contaminantes (sólidos, líquidos o gaseosos) e incrementa la calidad ambiental en aire, suelo y/o agua (United Nations Environment Programme [UNEP], 2011; Jiang et al., 2019).

Figura 1
Formas gráficas (tipos de curva) entre contaminante y crecimiento



Fuente: elaboración propia.

Las investigaciones sobre CAK en residuos sólidos se han realizado considerando diferentes horizontes de tiempo, desde estudios transversales (con una anualidad) (Cavalheiro et al., 2024; Boubellouta & Kusch-Brandt, 2021a); hasta trabajos de cinco (Bao & Lu, 2023), 10 (Ercolano et al., 2018; Mazzanti & Zoboli, 2009), 15 o más anualidades (Wang et al., 2023; Jalignot & Chenal, 2018; Gnonlonfin et al., 2017); considerando series de tiempo o datos de panel. Además, es necesario señalar que el número de anualidades en los estudios de CAK depende de la información con que se cuente para probar la hipótesis o incluso de la tasa de cambio o variación de la variable ambiental de interés, tal como se observa en estudios de residuos sólidos u otros contaminantes de interés ambiental (Zhu & Zhang, 2006; Boubellouta & Kusch-Brandt, 2021a; Poon et al., 2006).

Considerando lo anterior, este trabajo tiene como objetivo general: determinar a través de modelos de datos de panel si existe un desacoplamiento económico en la relación entre la generación anual de RSU de municipios mexicanos con el crecimiento económico municipal, medido a través del “ingreso anual municipal per cápita” (IPC) y que pudiera ser señal de la existencia de una CAK. Considerando para ello un horizonte de tiempo de 10 años divididos en tres periodos: 2010, 2015 y 2020.

Los modelos estimados en esta investigación comprenden como variables de control a nivel municipal: un índice de escolaridad promedio municipal, el coeficiente de Gini (desigualdad económica), un índice de servicios en los hogares (calidad de vida) y la densidad poblacional (indicador de urbanización). Con el fin de comprobar la robustez de los resultados, también se estima la relación sustituyendo el IPC por el Índice de Desarrollo Humano (IDH). Esto permite comparar los hallazgos obtenidos con IPC e IDH dentro del análisis de resultados.

Ahora bien, este trabajo, a diferencia de otros estudios de residuos sólidos urbanos, aporta los siguientes aspectos a la investigación de desacoplamiento económico y CAK en RSU de municipios mexicanos:

- a. Incorpora en sus estimaciones el coeficiente de Gini como indicador de desigualdad económica y también el efecto que tiene la escolaridad a través de un índice de escolaridad promedio.
- b. Introduce el IDH como indicador de crecimiento/bienestar, comparando sus resultados con los modelos tradicionales de CAK que incorporan medidas de ingreso o PIB per cápita.
- c. Incorpora en la estimación de los modelos un índice de servicios en el hogar a nivel municipal (comprende agua entubada, drenaje y electricidad), el cual constituye un indicador de calidad de vida.
- d. Para probar el tipo de relación entre emisiones de contaminantes e indicadores de crecimiento y desarrollo económico, se emplea la metodología de Hasanov et al. (2021), empleando polinomios cuárticos, cúbicos y cuadráticos.

Por la información disponible, esta investigación considera sólo un horizonte de 10 años. Si bien en los estudios de CAK y desacoplamiento económico es deseable un periodo de análisis más amplio, los estudios de corto plazo pueden también dar señales de la existencia de CAK (Poon et al., 2006). Lo que podría corroborarse posteriormente en trabajos que contemplen mayor número de anualidades y recurrir a técnicas econométricas que realicen estimaciones de largo plazo como mínimos cuadrados completamente modificados (FMOLS) y mínimos cuadrados dinámicos (DOLS) (Boubellouta & Kusch-Brandt, 2021b).

Para probar la hipótesis de CAK (probable desacoplamiento), este trabajo se divide en los siguientes apartados: marco teórico, metodología, resultados, y finalmente un análisis de resultados con una discusión de política económica-ambiental sobre RSU en municipios mexicanos.

2. Marco teórico

Como se señaló anteriormente, Grossman y Krueger (1995) encontraron una forma de U inversa en la relación degradación ambiental-crecimiento económico, que posteriormente recibió el nombre de hipótesis de CAK. Esta hipótesis se ha probado extensamente para dilucidar y analizar la relación entre crecimiento económico y diversos contaminantes (Kaika & Zervas, 2013; Olivares y Hernández, 2021). Lo anterior ha permitido encontrar sustento en pro del desacoplamiento de la emisión de contaminantes y crecimiento, lo cual apoya la hipótesis de CAK en diferentes niveles geográficos (Alkhars et al., 2022; Naveed et al., 2022). Para entender el comportamiento económico que expresa la curva en U inversa (Figura 1, inciso a), la teoría identifica tres etapas o efectos (Kaika & Zervas, 2013; Olivares y Hernández, 2021):

1. *Efecto escala.* En una primera etapa hay una relación positiva del crecimiento económico con la generación de contaminantes. Se explica como la degradación ambiental necesaria para generar crecimiento. En la práctica dicho crecimiento se mide a través del ingreso, pudiera ser el PIB u otro indicador de crecimiento o bienestar económico.
2. *Efecto composición.* Posteriormente, el crecimiento conduce a una industrialización. Lo cual implica cambios en los procesos productivos. En esta fase se alcanza la mayor generación de contaminantes. Sin embargo, hay también cambios en la conducta de las personas. En términos económicos, los agentes muestran una mayor disposición de pago por tener calidad ambiental, lo que lleva a un punto de inflexión que le da una forma de U inversa a la curva (CAK).
3. *Efecto tecnología.* En esta tercera fase las naciones invierten en nuevas tecnologías eficientes y limpias, lo que permite el desarrollo de procesos menos contaminantes. Esto se puede ver en la parte descendente de la curva en U inversa.

Cabe destacar que, a pesar de que el estudio de la relación contaminante-crecimiento pretende analizar tanto la fase de crecimiento, los efectos y el posible desacoplamiento, también puede presentar limitantes. Trabajos recientes en naciones en desarrollo han propuesto que la relación entre desacoplamiento económico/CAK y crecimiento no es tan directa (Freire-Vinueza et al., 2021). Esto constituye una crítica a los modelos de CAK, que han pasado de estudiarse en naciones desarrolladas a países en desarrollo, sin considerar las características particulares de sus macroeconomías y su relación con naciones desarrolladas (Hipólito & Cardoso, 2022; Zilio, 2012).

Esto significa que en países en desarrollo la hipótesis de desacoplamiento y CAK debería tomar en cuenta variables control que consideren la desigualdad en el ingreso de sus economías, aspectos institucionales ambientales del marco legal e informal (reglas de uso), escolaridad, inversión extranjera, calidad de vida y niveles de urbanización (Hipólito & Cardoso, 2022; Olivares y Hernández, 2021; Wang et al., 2023; Zilio, 2012). Igualmente se ha señalado que los estudios de CAK con datos de panel no implican que todas las unidades de estudio sigan el mismo patrón (ya que cada una tendrá características particulares) (Hipólito & Cardoso, 2022).

En consecuencia, los factores descritos pudieran impedir el desacoplamiento o la aparición de una CAK, o bien provocar temporalmente una demora en la aparición de dicha curva (Zilio, 2012). Ante ello, algunas investigaciones sugieren incorporar en los modelos de CAK las variables mencionadas anteriormente (Wang et al., 2023; Hipólito & Cardoso, 2022; Freire-Vinueza et al., 2021; Olivares y Hernández, 2021; Zilio, 2012). Otras investigaciones de CAK han optado por sustituir el PIB o niveles de ingreso como indicadores de crecimiento económico por otros indicadores económicos como el Índice de Desarrollo Humano (IDH) (Hussain & Dey, 2021; Constantini & Martini, 2010; Li & Xu, 2021).

Se destaca que el IDH como indicador de desarrollo y bienestar económico adopta el paradigma de desarrollo humano, basado en el enfoque de expansión de capacidades de las personas desarrollado por Amartya Sen (Anand & Sen, 2000; Constantini & Martini, 2010). La expansión de las capacidades se refiere a la capacidad adquirida de la persona de acuerdo con las condiciones otorgadas en un país para vivir una vida mejor a través de más libertad y oportunidades (Adrogué & Crespo, 2010). Para hacerlo operativo, el IDH emplea en su cálculo una medida de ingreso per cápita, una medida de salud (esperanza de vida al nacer) y un indicador de acceso al conocimiento (escolaridad) (Adrogué & Crespo, 2010; Molina y Pascual, 2014). De esta manera, el IDH incorpora en su cálculo una dimensión social, haciéndolo un indicador integral de desarrollo y bienestar, y no sólo de crecimiento económico visto únicamente como una medida de ingreso (Anand & Sen, 2000; Constantini & Martini, 2010).

Las investigaciones sobre CAK se han realizado en ámbitos municipales/ciudades (Ma et al., 2022; Wang et al., 2023; Gui et al., 2019; Ercolano et al., 2018; Jalignot & Chenal, 2018) y por grupos de países considerando residuos sólidos de la construcción (Bao & Lu, 2023) y residuos sólidos eléctricos (Boubellouta & Kusch-Brandt, 2021a; Boubellouta & Kusch-Brandt, 2021b; Boubellouta & Kusch-Brandt, 2020). En ambos tipos de residuos se han encontrado evidencias estadísticas de CAK, aunque algunos estudios en residuos sólidos urbanos sólo la sustentan en países desarrollados con altos ingresos per cápita (Gnolonfin et al., 2017).

Hay que destacar que algunas investigaciones sobre la relación contaminación-crecimiento consideran polinomios de orden superior al modelo cuadrático, probando la existencia de curvas en forma de: N (Ma et al., 2022; Wang et al., 2023); N inversa (Cavalheiro et al., 2024); M, y W (Figura 1, incisos e, f, g y h respectivamente) (Hasanov et al., 2021).

La mayoría de las investigaciones hacen uso de logaritmos para transformar las variables dependientes e independientes con el objetivo de cumplir supuestos del modelo lineal, tanto en series de tiempo como en datos de panel, tales como la homocedasticidad. Además de facilitar la lectura de los resultados en términos de elasticidades. Empero, Hasanov et al. (2021) han demostrado que el uso de la transformación logarítmica es sensible a las unidades de medición en polinomios: afecta la magnitud, significancia estadística y signo de los coeficientes de orden inferior dentro del polinomio de grado n .

Por lo anterior, se sugiere empezar estimando polinomios de grado superior, por ejemplo, empezar con un modelo cuártico o cúbico y verificar que el coeficiente de mayor orden sea significativo, sin importar el signo, magnitud y significancia de los términos de orden inferior. De cumplirse esta condición (significancia del coeficiente de mayor potencia), Hasanov et al. (2021) sugieren también verificar que el punto o los puntos de inflexión estén dentro del rango de valores de la variable indicadora del crecimiento y estimar una elasticidad con los términos promedio, verificando que esta última sea significativa (Gujarati y Porter, 2010). De cumplirse las condiciones anteriores, se seleccionaría dicho polinomio. De no ser significativo el término de mayor potencia, ni cumplirse el resto de las condiciones se pasaría a estimar un polinomio de menor grado hasta llegar al modelo lineal (Figura 1, incisos c y d). Por lo que en este trabajo se seguirá el procedimiento recomendado por Hasanov et al. (2021).

3. Metodología

Se integró en Excel una base de datos con información para 2,182 municipios mexicanos para los años 2010, 2015 y 2020. Los 2,182 municipios —de un total de 2,475 municipios al año 2023— (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2023a), fueron seleccionados de acuerdo con la disponibilidad de información existente de las variables que constituyeron los modelos econométricos para las tres temporalidades mencionadas. En la Tabla 1 aparece el número de municipios considerados por entidad federativa mexicana, entre paréntesis está el porcentaje de municipios por entidad que contempla esta investigación (porcentaje de cobertura).

Tabla 1
Municipios considerados en la investigación

<i>Entidad</i>	<i>Número de municipios (% de cobertura)</i>	<i>Entidad</i>	<i>Número de municipios (% de cobertura)</i>
Aguascalientes	11 (100)	Morelos	33 (91.67)
Baja California	5 (71.43)	Nayarit	20 (100)
Baja California Sur	5 (100)	Nuevo León	49 (96.08)
Campeche	11 (84.62)	Oaxaca	390 (68.42)
Chiapas	117 (94.35)	Puebla	207 (95.39)
Chihuahua	58 (86.57)	Querétaro	18 (100)
Ciudad de México	15 (93.75)	Quintana Roo	9 (81.82)
Coahuila	36 (94.74)	San Luis Potosí	58 (100)
Colima	10 (100)	Sinaloa	18 (100)
Durango	37 (94.87)	Sonora	71 (98.61)
Guanajuato	44 (95.65)	Tabasco	17 (100)
Guerrero	80 (94.12)	Tamaulipas	40 (93.02)
Hidalgo	80 (95.24)	Tlaxcala	59 (98.33)

<i>Entidad</i>	<i>Número de municipios (% de cobertura)</i>	<i>Entidad</i>	<i>Número de municipios (% de cobertura)</i>
Jalisco	124 (99.20)	Veracruz	166 (78.30)
México	120 (96.00)	Yucatán	106 (100)
Michoacán	112 (99.12)	Zacatecas	56 (96.55)

Fuente: elaboración propia con información de INEGI (2023a).

3.1. Variables de la base de datos

Se señala que con excepción de las variables que son índices, el resto de las variables empleadas para estimar los modelos econométricos se obtuvieron en términos per cápita, empleando datos de población municipal para los años mencionados (INEGI, 2023a). A continuación se describen las variables empleadas, sus unidades y la fuente de información para los años 2010, 2015 y 2020.

1. RSU_{it} : es la variable dependiente que indica la cantidad de residuos sólidos anuales per cápita en el municipio i para el año t medido en kg. La variable se obtuvo a partir de los censos nacionales de gobiernos municipales y demarcaciones territoriales realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para los años 2010 y 2020. Estos censos son realizados bianualmente, por lo que para obtener el valor de RSU del año 2015 se empleó una tasa media de crecimiento entre las mediciones de los censos realizados en 2014 y 2016 (INEGI, 2023b).
2. IPC_{it} : es la variable del ingreso anual municipal per cápita en miles de pesos mexicanos deflactados al año 2013. La variable se obtuvo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2023a, 2023b). Con esta variable se obtuvo el término cuadrático (IPC_{it}^2), cúbico (IPC_{it}^3) y cuártico (IPC_{it}^4).
3. IDH_{it} : Índice de Desarrollo Humano, para cada municipio. Este índice se obtuvo de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH, 2023a). Con esta variable se obtuvo el término cuadrático (IDH_{it}^2), cúbico (IDH_{it}^3) y cuártico (IDH_{it}^4).
4. DPM_{it} : densidad poblacional municipal. Para la obtención de esta variable, los datos de superficie municipal se obtuvieron de Pérez (2014) y los de población son de INEGI (2023a). Esta variable es un indicador de urbanización y por lo tanto de posible provisión de servicios públicos municipales, la cual se ha observado determina significativamente la generación de RSU (Jaligot & Chenal, 2018).
5. $IEPM_{it}$: índice de años promedio de escolaridad 2010, 2015 y 2020 de la población municipal y que son estimaciones realizadas por UACH (2023a). Esta variable se obtiene a través del procedimiento desarrollado por UACH (2023b), que comprende estimar dicho índice con la siguiente ecuación:

$$IEPM_{it} = \frac{EPM_{it} - VminEPM}{Vmax EPM - VminEPM} \quad (1)$$

En donde:

$VminEPM$: es un valor de referencia del PNUD y que es igual a cero años promedio de escolaridad mínimo.

VmaxEPM: es otro valor de referencia del PNUD y que es igual a 15 años promedio de escolaridad máximos.

EPM: años promedio de escolaridad de la población municipal y cuya estimación puede consultarse con detalle en UACH (2023b).

La variable $IEPM_{it}$ no se incluyó en el modelo de IDH, ya que el IDH comprende para su estimación un indicador de escolaridad municipal.

6. ISM_{it} : índice de servicios en el hogar (mide la disponibilidad de servicios básicos de agua entubada, drenaje y electricidad), estimado por UACH (2023a) para los años 2010, 2015 y 2020. De acuerdo con INEGI (2000), la disponibilidad de estos servicios contribuye a la calidad de vida y por lo mismo está relacionado con los ingresos de los hogares.
7. GI_{it} : coeficiente de Gini por municipio para los años 2010, 2015 y 2020; estas mediciones fueron obtenidas del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2023).

Posteriormente se obtuvieron estadísticas descriptivas (promedios, desviación estándar, máximo y mínimo) de cada variable sin transformar.

3.2. Modelos de panel

Para estimar los modelos, todas las variables se transformaron con logaritmos naturales (LN). De esta forma los modelos que se emplearon para analizar la hipótesis de CAK, son:

1) Modelos de RSU empleando IPC.

$$RSU_{it} = \alpha + \beta_1 IPC_{it} + \beta_2 (IPC_{it})^2 + \beta_3 (IPC_{it})^3 + \beta_4 (IPC_{it})^4 + \beta_5 DPM_{it} + \beta_6 IEPM_{it} + \beta_7 ISM_{it} + \beta_8 GI_{it} + u_{it} \quad (2)$$

$$RSU_{it} = \alpha + \beta_1 IPC_{it} + \beta_2 (IPC_{it})^2 + \beta_3 (IPC_{it})^3 + \beta_4 DPM_{it} + \beta_5 IEPM_{it} + \beta_6 ISM_{it} + \beta_7 GI_{it} + u_{it} \quad (3)$$

$$RSU_{it} = \alpha + \beta_1 IPC_{it} + \beta_2 (IPC_{it})^2 + \beta_3 DPM_{it} + \beta_4 IEPM_{it} + \beta_5 ISM_{it} + \beta_6 GI_{it} + u_{it} \quad (4)$$

Sólo para el caso del IPC y debido a la falta de significancia de coeficientes de orden superior, se estimó el siguiente modelo lineal:

$$RSU_{it} = \alpha + \beta_1 IPC_{it} + \beta_2 DPM_{it} + \beta_3 IEPM_{it} + \beta_4 ISM_{it} + \beta_5 GI_{it} + u_{it} \quad (5)$$

2) Modelos de RSU empleando IDH.

$$RSU_{it} = \alpha + \beta_1 IDH_{it} + \beta_2 (IDH_{it})^2 + \beta_3 (IDH_{it})^3 + \beta_4 (IDH_{it})^4 + \beta_5 DPM_{it} + \beta_6 ISM_{it} + \beta_7 GI_{it} + u_{it} \quad (6)$$

$$RSU_{it} = \alpha + \beta_1 IDH_{it} + \beta_2 (IDH_{it})^2 + \beta_3 (IDH_{it})^3 + \beta_4 DPM_{it} + \beta_5 ISM_{it} + \beta_6 GI_{it} + u_{it} \quad (7)$$

$$RSU_{it} = \alpha + \beta_1 IDH_{it} + \beta_2 (IDH_{it})^2 + \beta_3 DPM_{it} + \beta_4 ISM_{it} + \beta_5 GI_{it} + u_{it} \quad (8)$$

Con los modelos anteriores (ecuaciones 2 a 8) y bajo la teoría que sustenta la hipótesis de CAK, se proponen contrastar las siguientes hipótesis de la relación entre generación de RSU y el indicador de crecimiento/desarrollo económico considerando, además, lo establecido por las aportaciones y advertencias sobre uso de logaritmos en polinomios de Hasanov et al. (2021); así, las hipótesis a probar son (véase Figura 1):

1. Si en el polinomio estimado, el coeficiente de mayor orden del ingreso o IDH no es significativo, no existe relación alguna entre las emisiones y el crecimiento económico.
2. Para ecuaciones cuárticas. Si para ingreso o IDH, $\beta_4 > 0$ y significativo: existe una forma de W. Por el contrario, si $\beta_4 < 0$ es significativo, existe una forma de M.
3. Para ecuaciones cúbicas. Si para ingreso o IDH, $\beta_3 > 0$ y significativo, entonces existe una forma de N. Por el contrario, si $\beta_3 < 0$ es significativo, existe una forma de N inversa.
4. Para ecuaciones cuadráticas. Si para ingreso o IDH, $\beta_2 > 0$ y significativo, entonces existe una curva en forma de U. Por el contrario, si $\beta_2 < 0$ es significativo, existe una curva en forma de U inversa (CAK).
5. Finalmente, si ninguno de los coeficientes de orden superior en polinomios de grado 2, 3 y 4 es significativo, se pasaría a probar las siguientes hipótesis para ecuaciones lineales. Si para ingreso o IDH, $\beta_1 > 0$ y significativo: existe una relación lineal positiva. Por el contrario, si $\beta_1 < 0$ es significativo, existe una relación lineal negativa entre variables.

Para los polinomios que mostraron sustento estadístico de algún tipo de relación entre contaminante y el indicador del crecimiento económico (IPC o IDH) se estimó la elasticidad promedio (η) (empleando valores promedio), junto con sus niveles de significancia considerando la matriz de varianza-covarianza del modelo. En el caso del modelo lineal, la elasticidad se lee directamente del coeficiente estimado que acompaña al indicador del crecimiento económico. Por razones de espacio se expone sólo la fórmula para ecuaciones cuadráticas, en el entendido de que para polinomios de mayor grado se suman los coeficientes de orden superior correspondientes (Hasanov et al., 2021):

$$\eta = \beta_1 + 2\beta_2(PIB_t) \text{ (modelo cuadrático)} \quad (9)$$

Finalmente, para estimar el punto de inflexión, para el caso del modelo cuadrático se recurre a la fórmula $PI = [-\beta_1/(2*\beta_2)]$. Para modelos de grado superior se emplearía la fórmula cuadrática (modelo cúbico) y las fórmulas de Cardano-Tartaglia (modelo cuártico) (Hasanov et al., 2021).

3.3. Estimación de modelos

Los modelos cuárticos, cúbicos y cuadráticos se estimaron empleando efectos aleatorios y efectos fijos, de acuerdo con lo señalado por Kochi y Medina (2013). Para sustentar la elección de efectos aleatorios sobre modelos de mínimos cuadrados agrupados, se aplicó la prueba de multiplicadores de Lagrange de Breush-Pagan (LBP). En todos los casos se rechazó la hipótesis nula, sustentando la elección de modelos de efectos aleatorios. Igualmente, partiendo de los resultados de efectos aleatorios, en todos los casos se sustentó la hipótesis alternativa, que favorece la elección de modelos de efectos fijos sobre efectos aleatorios mediante la prueba de Sargan-Hansen (SH) considerando heterocedasticidad con errores estándar robustos. Se añaden sólo como referencia los resultados estimados por efectos aleatorios en la Tabla 1a (modelos con IPC) y Tabla 1b (modelos con IDH), estas tablas se encuentran en el Anexo. Por coherencia con la aplicación de la prueba Sargan-Hansen y por razones de espacio, en las tablas 1a y 1b sólo se presentan los resultados con errores estándar robustos.

Posteriormente, en ambos casos (modelos con IPC y modelos con IDH) se procedió a realizar las estimaciones con efectos fijos (Kochi y Medina, 2013).

En cuanto a la verificación de los supuestos de los modelos de efectos fijos estimados, la correlación serial y la correlación cruzada pueden soslayarse por ser paneles cortos en donde $N = 2,182$ y $T = 3$ temporalidades cada 5 años (Baltagi, 2021; Wooldridge, 2010). En cuanto a homocedasticidad, en los modelos de panel existe la prueba de Wald. Sin embargo, considerando sus propiedades asintóticas, la prueba de Wald es sensible a pequeños tamaños de T (tiempo) dentro de los paneles. Por lo que Wooldridge (2010) sugiere en estos casos no aplicar dicha prueba y estimar los modelos de efectos fijos con errores estándar robustos a heterocedasticidad, sin importar que haya pocos periodos de tiempo. Lo cual se hace en este trabajo. No obstante, se apoya esta decisión en los gráficos de residuales contra predichos de cada modelo, tal como se explica en resultados. Se reitera que sólo para el caso de los polinomios que emplearon IPC se estimaron modelos lineales, debido a que ninguno de los coeficientes de orden superior fue significativo en los modelos cuadrático, cúbico y cuártico.

Además, para verificar la correcta especificación de los modelos finales estimados con efectos fijos empleando errores estándar robustos, se programaron pruebas RESET (*Regression Equation Specification Error Test*) de Ramsey para datos de panel (Wooldridge, 2010). Todas las estimaciones y programas para el análisis econométrico se realizaron en la versión 19 de Stata (Stata, 2025).

4. Resultados

En la Tabla 2 se puede observar que con excepción del IDH y del ISM, las medianas de las variables tienden a ser menores que las medias, particularmente en el caso de los RSU y de la densidad (DPM). Se observa que para los residuos sólidos el mínimo anual en kg per cápita es 0.309 frente a un máximo de 25,835.47. Sobre la densidad municipal, ésta fluctúa de un mínimo de 0.105 a 18,563.99. Por otra parte, el IDH presenta una

media y mediana similares; mientras que el índice de servicios en el hogar (ISM) tiene una mediana superior a su media $0.94 > 0.9$.

Tabla 2
Estadísticas descriptivas de las variables (sin transformar con logaritmos)

Estadística	RSU (kg anuales per cápita)	IPC (miles de pesos anuales per cápita)	IDH	DPM (habitante por km ²)	IEPM (índice de años promedio de escolaridad)	ISM	GI
Media	223.154	22.806	0.652	312.568	0.441	0.9	0.383
Mediana	169.14	21.214	0.652	57.815	0.434	0.941	0.377
Desviación estándar	522.259	10.861	0.056	1,237.49	0.125	0.108	0.051
Mínimo	0.309	2.067	0.457	0.105	0.071	0.2	0.267
Máximo	25,835.47	108.794	0.897	18,563.99	0.899	1	0.659

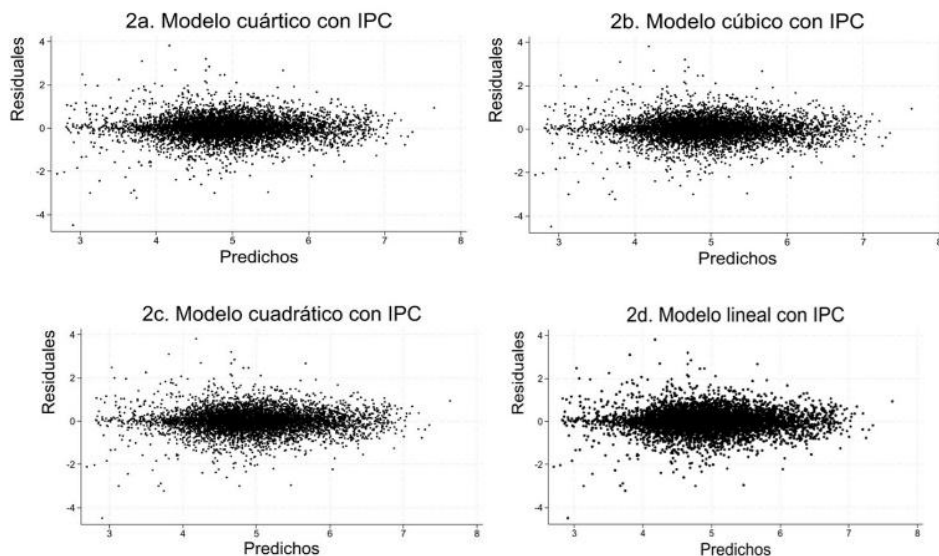
Fuente: elaboración propia con información de Pérez (2014), UACH (2023a), CONEVAL (2023), INEGI (2023a), INEGI (2023b), PNUD (2023a) y PNUD (2023b).

4.1. Modelos estimados con ingreso anual municipal (IPC)

Las estimaciones con efectos fijos de los polinomios cuártico, cúbico y cuadrático en los modelos que emplean el IPC muestran que no existe evidencia estadísticamente significativa para ninguno de los coeficientes del IPC, incluidos sus términos de mayor orden dentro de dichos modelos (Tabla 3). Por otra parte, al estimar el modelo lineal se observa una relación significativa (0.05 de nivel de significancia [en adelante NS]) del coeficiente lineal del IPC con signo negativo, lo que indicaría una disminución en la generación de residuos ante incrementos en el IPC. Todos los modelos son significativos (NS = 0.01).

Si bien en ningún modelo se observa evidencia estadística de la CAK, en los cuatro modelos, respecto a las variables de control, resultan significativos: con signo negativo, los coeficientes estimados de la densidad poblacional (DPM) (0.01 de NS); con signo positivo, los coeficientes estimados del índice de escolaridad (IEPM) (0.01 de NS); con signo positivo, el coeficiente del índice de servicios del hogar (ISM) (0.05 de NS); y con signo negativo, la estimación del estimador de la variable coeficiente de Gini (GI) (0.01 de NS). Para los cuatro modelos con IPC, se destaca que los gráficos de residuales contra predichos (Figura 2: a, b, c y d) permiten observar la posible presencia de heterocedasticidad, ya que el tamaño de los residuales disminuye a medida que el valor predicho se incrementa (comportamiento de abanico).

Figura 2
Gráficos de residuales contra predichos en modelos con IPC



Fuente: elaboración propia.

Consecuentemente, en la estimación mediante efectos fijos con errores estándar robustos a la presencia de heterocedasticidad (eer) (Tabla 3), se corrobora que no existe evidencia estadística significativa entre la generación de RSU con los coeficientes de mayor orden o potencia (IPC^4 , IPC^3 e IPC^2) en los polinomios cuártico, cúbico y cuadrático, respectivamente. Sin embargo, los resultados del modelo lineal corroboran que existe una relación lineal negativa significativa entre generación de RSU e IPC ($NS = 0.1$). Ahora bien, los resultados de la prueba RESET de Ramsey aplicada a estos modelos no rechazan la hipótesis nula de una probable correcta especificación en todos ellos (Tabla 3). Además, los cuatro polinomios estimados con errores estándar robustos son altamente significativos (prueba F, $NS = 0.01$). En cuanto al modelo lineal, considerando errores estándar robustos, la elasticidad es de -0.128, ante esto un aumento del ingreso en 1% disminuye la generación de RSU en 0.128%.

Por otra parte, los resultados con errores estándar robustos corroboran en los cuatro polinomios, los signos y significancia de los coeficientes de las variables control estimados mediante efectos fijos. Por lo que se puede establecer que incrementos en la densidad poblacional (nivel de urbanización) se relacionan con decrementos en la generación de RSU. En el caso del coeficiente de Gini (Tabla 3), los resultados de este modelo indican que, a mayor desigualdad económica, disminuye la generación de RSU. Lo anterior, pudiera indicar que cuando aumenta la brecha de ingresos (incrementando la desigualdad económica), aumenta el ingreso de unos cuantos y disminuye el ingreso

del resto, y por tanto el consumo total disminuye (Shen et al., 2022). Por lo que la generación de RSU disminuye al concentrarse el consumo en una fracción reducida de la población como resultado de una mayor desigualdad. Este aspecto se analiza posteriormente junto con sus implicaciones de política económica ambiental a nivel municipal.

Todos estos resultados deben tomar en cuenta que los modelos estimados consideraron una temporalidad de 10 años divididos en tres observaciones: 2010, 2015 y 2020, por lo que incrementos en la temporalidad pudieran cambiar los resultados. En consecuencia, el modelo lineal estimado mediante efectos fijos con errores estándar robustos, y que cumple con la condición de elasticidad de Hasanov et al. (2021), indica que la generación de residuos disminuye ante un mayor crecimiento económico considerando el IPC como indicador de este. Empero, es importante seguir estudiando y analizando la posible existencia de desacoplamiento y CAK o de otro tipo de relación en los municipios mexicanos al pasar el tiempo y, además, hay que considerar los resultados obtenidos con el IDH.

Tabla 3
Modelos de efectos fijos con ingreso anual municipal per cápita (IPC)

Variables y estadísticos	Con errores estándar (ee)				Con errores estándar robustos (eer)			
	Cuártico	Cúbico	Cuadrático	Lineal	Cuártico	Cúbico	Cuadrático	Lineal
	Coef. (ee)	Coef. (ee)	Coef. (ee)	Coef. (ee)	Coef. (eer)	Coef. (eer)	Coef. (eer)	Coef. (eer)
Constante	5.811*** (2.204)	6.838*** (1.184)	6.995*** (0.682)	7.088*** (0.520)	5.812*** (1.474)	6.838*** (1.143)	6.995*** (0.811)	7.088*** (0.639)
IPC	1.854 (3.346)	0.124 (1.179)	-0.059 (0.331)	-0.128** (0.064)	1.854 (2.425)	0.124 (1.075)	-0.059 (0.365)	-0.128* (0.072)
IPC ²	-1.096 (1.889)	-0.079 (0.421)	-0.011 (0.055)	-----	-1.096 (1.491)	-0.079 (0.392)	-0.011 (0.061)	-----
IPC ³	0.261 (0.460)	0.008 (0.049)	-----	-----	0.261 (0.385)	0.008 (0.047)	-----	-----
IPC ⁴	-0.023 (0.041)	-----	-----	-----	-0.023 (0.036)	-----	-----	-----
DPM	-0.414*** (0.099)	-0.412*** (0.099)	-0.412*** (0.099)	-0.412*** (0.099)	-0.414*** (0.131)	-0.412*** (0.131)	-0.412*** (0.131)	-0.412*** (0.131)
IEPM	0.597*** (0.147)	0.592*** (0.147)	0.592*** (0.147)	0.591*** (0.147)	0.597*** (0.158)	0.592*** (0.158)	0.592*** (0.158)	0.591*** (0.157)
ISM	0.418** (0.163)	0.416** (0.163)	0.417** (0.163)	0.418*** (0.163)	0.418** (0.200)	0.416** (0.200)	0.417** (0.200)	0.418** (0.200)
GI	-0.479*** (0.119)	-0.480*** (0.119)	-0.479*** (0.118)	-0.483*** (0.117)	-0.479*** (0.119)	-0.480*** (0.119)	-0.479*** (0.119)	-0.483*** (0.118)
Prueba F	29.16***	33.29***	38.85***	46.62***	19.10***	21.48***	25.05***	29.98***
Prueba RESET	-----	-----	-----	-----	0.66	0.77	0.75	0.82
η	-----	-----	-----	-0.128** Elasticidad constante	-----	-----	-----	-0.128* Elasticidad constante

Fuente: elaboración propia con información de Pérez (2014), UACH (2023a), CONEVAL (2023), INEGI (2023a), INEGI (2023b), PNUD (2023a) y PNUD (2023b).

Nota 1: ***significativo al 0.01; **significativo al 0.05; *significativo al 0.1.

Nota 2: Coef. es coeficiente estimado.

4.2. Modelos estimados con el Índice de Desarrollo Humano (IDH)

Las estimaciones de los modelos cuártico, cúbico y cuadrático con efectos fijos, sustituyendo el IPC con el Índice de Desarrollo Humano (IDH), se encuentran en la Tabla 4. Todos los modelos son altamente significativos (prueba F, $ns = 0.01$) y los resultados de la prueba RESET no rechazan la hipótesis de correcta especificación de los modelos.

Tabla 4
Modelos de efectos fijos con Índice de Desarrollo Humano (IDH)

Variables y estadísticos	Con errores estándar (ee)			Con errores estándar robustos (eer)		
	Cuártico	Cúbico	Cuadrático	Cuártico	Cúbico	Cuadrático
	Coefficiente (ee)	Coefficiente (ee)	Coefficiente (ee)	Coefficiente (eer)	Coefficiente (eer)	Coefficiente (eer)
Constante	5.969** (2.393)	7.161*** (1.265)	8.263*** (0.7242)	5.969*** (2.239)	7.161*** (1.429)	8.263*** (0.866)
idh	-12.898 (21.6486)	-0.911 (7.191)	6.430*** (1.9744)	-12.898 (20.7154)	-0.911 (7.949)	6.430*** (2.364)
IDH ²	-54.655 (74.439)	-11.942 (15.711)	4.588** (2.114)	-54.655 (74.411)	-11.942 (17.828)	4.588* (2.635)
IDH ³	-76.897 (111.218)	-11.943 (11.249)	-----	-76.897 (115.646)	-11.943 (13.161)	-----
IDH ⁴	-35.693 (60.803)	-----	-----	-35.693 (65.373)	-----	-----
dpm	-0.435*** (0.102)	-0.433*** (0.102)	-0.450*** (0.100)	-0.435*** (0.128)	-0.433*** (0.129)	-0.450*** (0.124)
ism	0.589*** (0.162)	0.583*** (0.162)	0.580*** (0.162)	0.589*** (0.197)	0.583*** (0.196)	0.580*** (0.197)
gi	-0.459*** (0.108)	-0.462*** (0.108)	-0.475*** (0.107)	-0.459*** (0.105)	-0.462*** (0.105)	-0.475*** (0.105)
Prueba F	34.37***	40.05***	47.83***	23.47***	27.21***	32.45***
Prueba RESET	-----	-----	-----	0.0036	0.0004	0.0001
PI	-----	-----	0.4962	-----	-----	0.4962
η	-----	-----	2.46***	-----	-----	2.46***

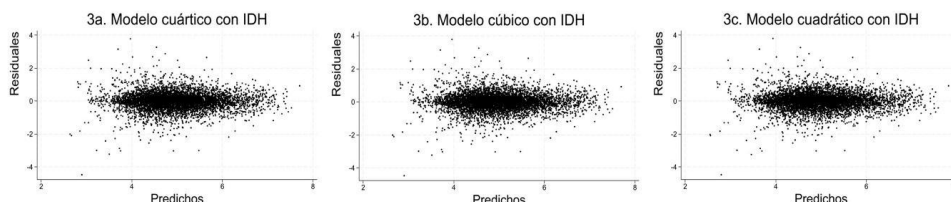
Fuente: elaboración propia con información de Pérez (2014), UACH (2023a), CONEVAL (2023), INEGI (2023a), INEGI (2023b), PNUD (2023a) y PNUD (2023b).

Nota 1: ***significativo al 0.01; **significativo al 0.05; *significativo al 0.1.

Nota 2: Coef. es coeficiente estimado.

Llama la atención (Tabla 4) que en los polinomios cuártico y cúbico ninguno de los coeficientes estimados para el IDH en sus diferentes potencias, es significativo al menos al 0.1 de ns. Por otra parte, los coeficientes estimados del IDH e IDH² en el modelo cuadrático son significativos al 0.01 (IDH) y al 0.05 (IDH²), ambos con signo positivo. No obstante, se puede observar un comportamiento en abanico en los gráficos de residuales contra valores predichos de los tres modelos (Figura 3: a, b y c).

Figura 3
Gráficos de residuales contra predichos en modelos con IDH



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, al estimar el modelo mediante efectos fijos con errores estándar robustos (Tabla 4), se observa nuevamente que ninguno de los coeficientes estimados del IDH, IDH^2 e IDH^3 es significativo en los modelos cúbico y cuártico, mientras que el término IDH^4 tampoco es significativo en el modelo cuártico, al menos al 0.1 de NS. Sin embargo, en el modelo cuadrático los coeficientes estimados del IDH y su término cuadrático son significativos al 0.01 y 0.1 de NS, respectivamente, “ambos con signo positivo”. Por lo que considerando el signo del IDH^2 y siguiendo las recomendaciones de Hasanov et al. (2021), se sustenta la hipótesis de una probable curva en U. Esto significa que posterior a un decremento en la generación de RSU, incrementos en el IDH se relacionan con un incremento en la generación de RSU en los municipios estudiados.

Ahora bien, como se observa en la Tabla 4, el punto de inflexión (π) de dicha curva en U está dentro del rango de valores de IDH de la base de datos (valor mínimo y valor máximo del IDH en la Tabla 2). La elasticidad promedio η del mismo polinomio es de 2.46 (NS = 0.01). Lo cual muestra que los resultados del modelo cuadrático de IDH con errores estándar robustos son confiables bajo las recomendaciones de Hasanov et al. (2021).

Igualmente, considerando los resultados del modelo cuadrático, se destaca que los coeficientes estimados para densidad poblacional (DPM), servicios en el hogar (ISM) y coeficiente de Gini (GI) son significativos al 0.01 de NS cada uno. Los signos obtenidos de los coeficientes estimados para DPM, ISM y GI son semejantes a los resultados obtenidos con el modelo de efectos fijos con errores estándar robustos empleando el ingreso per cápita municipal (IPC).

Destaca, como se señaló anteriormente, que el coeficiente de Gini mantiene una relación negativa con la generación de RSU. Lo anterior posiblemente indique que a medida que se incrementa la desigualdad económica, los ingresos al concentrarse sólo en unos cuantos, provocan que el consumo total de la población disminuya, disminuyendo también la generación de RSU. También, se puede suponer que los incrementos del índice de servicios y particularmente del índice de años promedio de escolaridad (en el caso del modelo con IPC) están relacionados positivamente con incrementos en los ingresos. Posiblemente este resultado también se encuentre relacionado con el consumo de bienes y, por tanto, también relacionados positivamente con incrementos

en los niveles de RSU. Estos comportamientos y posibles relaciones tienen implicaciones en la forma en que se puede entender y desarrollar una política económica ambiental relacionada con la generación de RSU en los ámbitos municipales, tal como se explica en el siguiente apartado.

5. Análisis de resultados

Los resultados de este estudio señalan que no existe desacoplamiento económico en el horizonte de tiempo estudiado (2010 a 2020), entre la generación de RSU y el indicador de ingreso per cápita municipal anual (IPC) en municipios mexicanos, por lo tanto, no hay evidencia estadística de una relación en forma de U inversa (CAK). Ni tampoco hay evidencia de forma de U, N, N inversa, M o W. Empleando dicho indicador en modelos cuadráticos, cúbicos y cuárticos, respectivamente. Aunque, los resultados del polinomio lineal con IPC indican que a medida que aumenta el crecimiento disminuyen los RSU.

En contraste, los resultados que emplean IDH en modelos cuadráticos muestran evidencia de una curva en U, una vez que se descarta relación significativa alguna en modelos cuárticos y cúbicos. Según Hasanov et al. (2021), la existencia de una curva en U pudiera deberse a que la temporalidad y datos del modelo no están capturando las primeras fases del crecimiento económico en donde el crecimiento o desarrollo se incrementa a expensas de una mayor degradación ambiental.

De esta forma, el polinomio cuadrático con IDH captura incrementos en la generación del contaminante al aumentar el IDH, después de una relación inversa entre variables. Sin embargo, para Hasanov et al. (2021) este tipo de resultados deben ser corroborados en el tiempo, considerando otras variables y otras técnicas econométricas. Igualmente, debe considerarse que cuando se emplea el ingreso (IPC) como medida de crecimiento económico se observa una relación inversa con la generación de RSU. Empero, es importante reconocer que el IDH es un concepto más amplio, pues no sólo incorpora al crecimiento económico, sino también algunos indicadores de calidad de vida al integrar en su cálculo una medida de salud (esperanza de vida) y una medida de educación (Molina y Pascual, 2014; Anand & Sen, 2000; Constantini & Martini, 2010).

Por lo que, si se considera el aspecto anterior como criterio de selección entre modelos, existiría probablemente una relación en forma de U entre generación de RSU e IDH en el conjunto de municipios mexicanos estudiados de 2000 a 2020, considerando que el IDH es un indicador no sólo de crecimiento económico, sino también de desarrollo y de componentes básicos de calidad de vida (educación y salud) (Anand & Sen, 2000; Constantini & Martini, 2010). No obstante, los resultados de esta investigación no son definitivos por el horizonte de temporalidad empleado y por posibles cambios en el crecimiento y desarrollo de los municipios mexicanos en el futuro, por lo que tienen que probarse y corroborarse ampliando el tiempo y aplicando otras técnicas econométricas y estadísticas.

En cuanto a las variables control DPM (densidad poblacional municipal), ISM (índice de servicios en el hogar) y GI (coeficiente de Gini) hay que agregar que las estimaciones mediante efectos fijos en todos los modelos que emplean IPC e IDH con errores estándar robustos muestran un comportamiento semejante en su magnitud, signo y significancia de la siguiente forma. En cuanto a GI se observa una relación inversa significativa ($ns = 0.01$) entre la generación de RSU recolectado y la desigualdad económica medida a través del coeficiente de Gini. Como se señaló anteriormente, los resultados obtenidos con el coeficiente de Gini (relación inversa significativa con la generación de RSU) podrían indicar que la generación de residuos sólidos disminuye al disminuir el consumo como efecto de un incremento en la desigualdad económica. Ahora bien, este efecto inverso de la desigualdad económica sobre el consumo está documentado y puede ser analizado en futuras investigaciones de residuos sólidos, consumo y desigualdad económica considerando la hipótesis del ingreso permanente de Friedman y/o de la función de consumo keynesiana (Shen et al., 2022).

El comportamiento anterior no coincide con lo reportado en otros estudios de CAK que incorporan el coeficiente de Gini en los modelos estimados. Ya que contradicen la hipótesis que establece que aumentos en la desigualdad económica provocarán un incremento en la emisión de contaminantes (Carson, 2010; Levinson, 2002; Kaika & Zervas, 2013). Sin embargo, para explicar el resultado encontrado en esta investigación deben considerarse algunas particularidades de los RSU. Se tiene que tomar en cuenta que los RSU son producto del consumo de bienes en hogares, oficinas y sector servicios como el turismo (Jaligot & Chenal, 2018). No son contaminantes derivados del consumo intermedio de las actividades productivas (industriales o agrícolas) (Levinson, 2002). Consecuentemente, los estudios en este tipo de residuos sólidos están abordando la hipótesis de CAK de residuos generados directamente por el consumo final de bienes y servicios.

En consecuencia, considerando que el coeficiente de Gini es una medida de desigualdad económica y siendo la desigualdad en la distribución del ingreso una disparidad relacionada con fallos de mercado, ésta podría corregirse a través de políticas públicas apropiadas y redistributivas (Campos y Rodas, 2019; Echenique, 2020). Consecuentemente, los resultados del coeficiente de Gini si bien indican, aparentemente, un incremento de la calidad ambiental ante un aumento de la desigualdad, este escenario no es permanente, sino que puede ser temporal una vez que las políticas redistributivas disminuyan la desigualdad en los ingresos. Por lo que la corrección de la desigualdad podría traer consigo un incremento en la generación de RSU y generar mayores niveles de contaminación (Flores-Xolocotzi, 2025).

Al respecto se ha descrito que el desacoplamiento y CAK se ven obstaculizados en los RSU, debido a que su generación pareciera que no provoca un grave impacto en la salud (de manera directa). Por lo mismo, una mayor generación de ellos podría no generar cambios en la conducta del consumidor (Dinda, 2004). Sin embargo, su mala gestión y la aplicación de tecnologías incipientes para su disposición e incineración en naciones en vías de desarrollo pudieran complicar la aparición de una CAK para RSU. Lo cual repercutiría también en la generación de contaminantes derivados de la

mala gestión de los RSU, por ejemplo, los lixiviados y emisiones de GEI mencionados con anterioridad. Además, su gestión se caracteriza por el pago directo o a través de impuestos para que los servicios de limpieza los recolecten de hogares y oficinas (Dinda, 2004). Existe la posibilidad de que los consumidores no estén al tanto del impacto ambiental negativo que puede generar una mala gestión de los RSU.

Además, los resultados de las estimaciones mediante efectos fijos con errores estándar robustos empleando IPC e IDH indican que la densidad poblacional (indicador de urbanización para la provisión de servicios públicos) tiene una relación significativa negativa ($ns = 0.01$) con la generación de RSU. Lo cual puede estar vinculado a una mayor eficiencia costo-beneficio en la provisión de servicios urbanos relacionados con la recolección de los RSU en las localidades (Jaligot & Chenal, 2018). Dicha provisión contempla, en mayor o menor medida, prácticas municipales actuales de reciclaje y reutilización, que ya especifica la normatividad mexicana (Artículo 7 de la LGPGIR [Cámara de Diputados, 2023]). Ello podría explicar la disminución de RSU en ámbitos urbanos-municipales. Futuras investigaciones deberán evaluar el impacto de estrategias de reciclaje y reutilización de RSU en los servicios públicos existentes en las municipalidades.

Como se mencionó anteriormente, los resultados de los modelos muestran que incrementos respectivos del índice de servicios en el hogar a nivel municipal (ISM) se relacionan significativamente con incrementos en la generación de RSU ($ns = 0.05$ en modelos con IPC y $N = 0.01$ en modelos con IDH). Si se considera que un incremento en la calidad de vida (relacionada con los ingresos de los hogares) facilita el acceso a un hogar con mayores servicios (agua entubada, drenaje y electricidad), esto podría explicar el comportamiento de la variable en los modelos estimados. De hecho, se ha encontrado que mayores ingresos per cápita se relacionan con un menor porcentaje de personas carentes de servicios básicos en la vivienda (Manjarrez, 2021). Por lo que un mayor ISM puede de esta forma relacionarse positivamente con la generación de RSU.

Respecto al comportamiento del índice de años promedio de escolaridad en los modelos con IPC estimados por efectos fijos con errores estándar robustos, también se observa un comportamiento semejante en magnitud, signo positivo y significancia ($ns = 0.01$). Algunos estudios sugieren que existe una relación positiva de la escolaridad con el ingreso de los hogares, por lo que incrementos en la escolaridad resultan también en incrementos en el ingreso, lo cual se asocia positivamente con el consumo y por lo tanto con la generación de RSU (Johnstone & Labonne, 2004; Jaligot & Chenal, 2018).

Ahora bien, este análisis de resultados tiene que considerar que, en las economías de naciones en desarrollo, la existencia de desacoplamiento económico no es *per se* sustituta de una política ambiental que favorezca la reducción de las emisiones de contaminantes (Zilio, 2012). Lo anterior cobra mayor relevancia para los modelos que emplean IDH como variable indicadora de bienestar económico y en donde se encontró una relación en forma de U con la generación de RSU. No hay que olvidar que el IDH contempla una dimensión de ingresos, de manera que un incremento del IDH puede relacionarse positivamente con el consumo y, por lo tanto, con la generación de RSU.

En consecuencia, es importante que se considere fundamental la creación y ejecución de políticas públicas municipales de gestión y prevención de residuos sólidos urbanos. Esto es, una política que busque reducir los RSU antes de su llegada a los sitios de disposición final (rellenos sanitarios) a través de estrategias de reciclaje y reutilización que prevengan la generación de RSU en los ámbitos de hogares y de servicios como el turismo, la educación y de oficinas públicas y privadas.

Bajo este contexto, entre las reformas recientes (año 2021) más destacadas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (en adelante LGPGIR) (Cámara de Diputados, 2023), se comprenden aspectos relacionados con la valorización de residuos con el fin de incorporarlos en procesos productivos. Además de expedición de normas con especificaciones técnicas que deben cumplir los sitios de disposición de RSU para aprovechamiento de materia orgánica para generación de energía, en donde la separación desde el origen y su recolecta desempeñan un papel fundamental. Previamente, en 2013 la LGPGIR tuvo una reforma que busca promover y aplicar instrumentos económicos que incentiven el desarrollo y adopción de tecnologías que favorezcan la reducción, el reúso y reciclaje de residuos. Estas acciones acercan la política de RSU en México a procesos que dan forma a la “economía circular” como un modelo de producción y consumo como base para la gestión y manejo de los RSU (Da Costa, 2022).

En consecuencia, si bien existe un marco legal que favorece la valorización, el reciclaje y la recuperación de energía de los RSU desde una perspectiva económica, social e institucional, cabe cuestionar: ¿qué tanto el marco legal está aplicándose para favorecer políticas municipales de valorización, reciclaje y reutilización? Ahora bien, estos factores legales e institucionales han sido poco considerados en los estudios económicos de CAK de acuerdo con Zilio (2012), los cuales pudieran influir en el desacoplamiento económico y la generación de RSU.

Por lo que futuras investigaciones podrían incorporar dichos factores relacionados con el derecho ambiental, en forma de variables que midan el número de delitos ambientales relacionados con la gestión y disposición de residuos sólidos en ámbitos urbanos, o bien el número de acuerdos y de organizaciones de usuarios involucrados en la gestión y prevención de RSU.

Consecuentemente, la política y gestión de RSU en los ámbitos urbanos municipales debe llevar a la práctica el marco legal mexicano como vía para disminuir la generación de RSU en donde la divulgación, capacitación y educación en torno al reciclaje, reúso y valoración de RSU es fundamental (Cruz y Ojeda, 2013; Da Costa, 2022). Además, la política y gestión tendrían que analizarse, desarrollarse y ejecutarse considerando las características económicas, sociales y legales de cada municipalidad.

6. Conclusiones

Los resultados de este trabajo permiten concluir que no existe desacoplamiento económico ni curva ambiental de Kuznets entre la generación de RSU per cápita e ingreso per cápita (IPC) para los 2,182 municipios en México, años 2010, 2015 y 2020, considerando

la estimación de modelos cuárticos, cúbicos y cuadráticos estimados mediante efectos fijos con errores estándar robustos. Empero, la estimación del modelo lineal con la misma técnica indica que los RSU per cápita disminuyen ante incrementos en el IPC. No obstante, se tiene que considerar que, sustituyendo el IPC por el IDH los resultados cambian. Además, se tiene que tomar en cuenta que el IDH es un indicador más amplio que incluye no sólo el crecimiento económico a través del ingreso, sino que es una medida de desarrollo y de componentes básicos de calidad de vida (educación y salud).

Considerando lo anterior, se concluye que los resultados de un modelo cuadrático sustentan la existencia de una curva en U entre RSU e IDH. Lo anterior una vez que se descartan estadísticamente los modelos cuártico y cúbico, respectivamente. No obstante, estos resultados tienen que corroborarse ampliando el tiempo y aplicando otras técnicas econométricas y estadísticas.

Por otra parte, todos los modelos de generación de RSU estimados por efectos fijos con errores estándar robustos mostraron una relación negativa significativa de la densidad poblacional (relacionada posiblemente con una mayor eficiencia en los servicios de recolección y provisión de reciclaje). Además de una relación positiva con la escolaridad promedio (modelos con IPC) y el índice de servicios del hogar, comportamientos que se explicarían por su relación con mayores niveles de ingreso, que a su vez incrementan el consumo de bienes y, por tanto, la generación de RSU.

En cuanto al coeficiente de Gini, nuevamente los resultados de todos los modelos estimados por efectos fijos con errores estándar robustos indican que cuanto mayor sea la desigualdad económica, disminuye la generación de RSU; este aspecto se relaciona con el hecho de que al incrementarse la brecha de ingresos, el consumo total disminuye. Esto, por supuesto, requiere de mayores investigaciones al respecto, dado que una amplia brecha entre los distintos sectores de la población no traerá beneficios económicos ni ambientales duraderos en términos de generación de RSU. Al contrario, una vez corregida la disparidad, la igualdad en los ingresos podría incrementar la generación de RSU en los municipios. Es por ello que los resultados de esta investigación sugieren que son necesarias políticas de gestión y prevención de RSU que integren a la par estrategias para valorización, reciclaje y generación de energía desde etapas tempranas o previas, para evitar retrocesos en la generación de RSU.

Por último, es importante mencionar que el papel de las políticas públicas es fundamental en cuanto a la disminución de la generación de RSU. Si bien México cuenta con una normatividad que contempla la gestión integral y medidas de reciclaje de RSU, se requiere su efectiva implementación a través de políticas públicas municipales que fomenten el reciclaje y reutilización de los RSU en hogares y sector servicios como en oficinas, escuelas y aquellos derivados de servicios como el turismo. Éstas son políticas y medidas que tendrán que aplicarse de acuerdo con las características económicas, sociales e institucionales de cada municipalidad con base en principios de economía circular.

7. Anexo

Tabla 1a
Modelos de efectos aleatorios con IPC

<i>Variables y estadísticos</i>	<i>Modelos con errores estándar robustos (eer)</i>			
	<i>Cuártico</i>	<i>Cúbico</i>	<i>Cuadrático</i>	<i>Lineal</i>
	<i>Coefficiente (eer)</i>	<i>Coefficiente (eer)</i>	<i>Coefficiente (eer)</i>	<i>Coefficiente (eer)</i>
Constante	9.523*** (2.879)	7.947*** (1.004)	3.060*** (0.442)	3.792*** (0.235)
IPC	-6.906* (4.192)	-4.403*** (1.041)	1.154*** (.261)	0.644*** (0.046)
IPC ²	3.335 (2.243)	1.914*** (0.365)	-0.086** (0.042)	-----
IPC ³	-0.577 (0.520)	-0.232*** (0.042)	-----	-----
IPC ⁴	0.030 (0.044)	-----	-----	-----
DPM	-0.022** (0.009)	-0.022** (0.009)	-0.023*** (0.009)	-0.025*** (0.009)
IEPM	0.407*** (0.081)	0.407*** (0.081)	0.453*** (0.081)	0.459*** (0.081)
ISM	1.283*** (0.141)	1.285*** (0.141)	1.286*** (0.141)	1.310*** (0.140)
GI	0.147* (0.086)	0.147* (0.086)	0.154* (0.086)	0.135 (0.086)
Wald Ji ² del modelo	1517.71***	1480.76***	1338.31***	1355.09***
LBP	839.81***	849.72***	846.16***	867.25***
SH	286.338***	283.582***	285.275***	283.733***

Fuente: elaboración propia con información de Pérez (2014), UACH (2023a), CONEVAL (2023), INEGI (2023a), INEGI (2023b), PNUD (2023a) y PNUD (2023b).

Nota: ***significativo al 0.01; **significativo al 0.05; *significativo al 0.1.

Tabla 1b
Modelos de efectos aleatorios con IDH

Variables y estadísticos	Modelos con errores estándar robustos (eer)		
	Cuártico	Cúbico	Cuadrático
	Coeficiente (eer)	Coeficiente (eer)	Coeficiente (eer)
Constante	8.828*** (1.101)	5.972*** (0.553)	8.153*** (0.278)
idh	20.910* (11.051)	-8.471** (3.896)	7.371*** (1.169)
IDH ²	74.231* (40.11)	-33.093*** (9.123)	3.439** (1.375)
IDH ³	139.311** (65.239)	-26.938*** (6.918)	-----
IDH ⁴	92.538** (34.802)	-----	-----
dpm	-0.032*** (0.009)	-0.033*** (0.009)	-0.037*** (0.009)
ism	1.565*** (0.140)	1.573*** (0.140)	1.567*** (0.142)
gi	0.385*** (0.085)	0.386*** (0.085)	0.364*** (0.085)
Wald Ji ² del modelo	1361.74***	1322.91***	1339.92***
lbp	1093.09***	1119.52***	1123.53***
sh	192.177***	179.974***	180.625***

Fuente: elaboración propia con información de Pérez (2014), UACH (2023a), CONEVAL (2023), INEGI (2023a), INEGI (2023b), PNUD (2023a) y PNUD (2023b).

Nota: ***significativo al 0.01; **significativo al 0.05; *significativo al 0.1.

8. Bibliografía

Adrogué, C., & Crespo, R. (2010). Implicit assumptions when measuring in economics: the human development index (HDI) as a case study. *Cultura Económica*, 28(79), 33-42. <https://revistas.uca.edu.ar/index.php/cecon/article/view/2543>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].

Alkhars, M., Alwahaishi, S., Fallatah, M., & Kayal, A. (2022). A literature review of the Environmental Kuznets Curve in gcc for 2010-2020. *Environmental and Sustainability Indicators*, 14, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100181>

Anand, S., & Sen, A. (2000). The Income Component of the Human Development Index. *Journal of Human Development*, 1(1), 83-106. <https://doi.org/10.1080/14649880050008782>

Baltagi, B. (2021). *Econometric analysis of panel data*. Springer.

Bao, Z., & Lu, W. (2023). Applicability of the environmental Kuznets curve to construction waste management: A panel analysis of 27 European economies. *Re-*

- sources, Conservation and Recycling*, 188, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.rescon-rec.2022.106667>
- Bernache, G. (2012). El confinamiento de la basura urbana y la contaminación de las fuentes de agua en México. *Revista de El Colegio de San Luis*, 2(4), 36-53. <http://colsan.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1013/423>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Boubellouta, B., & Kusch-Brandt, S. (2020). Testing the Environmental Kuznets Curve hypothesis for E-waste in the EU28+2 countries. *Journal of Cleaner Production*, 277, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123371>
- Boubellouta, B., & Kusch-Brandt, S. (2021a). Cross-country evidence on Environmental Kuznets Curve in Waste Electrical and Electronic Equipment for 174 Countries. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 136-151. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.08.006>
- Boubellouta, B., & Kusch-Brandt, S. (2021b). Relationship between economic growth and mismanaged e-waste: Panel data evidence from 27 EU countries analyzed under the Kuznets curve hypothesis. *Waste Management*, 120, 85-97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.032>
- Brites, W. (2022). Incidencia de la quema de basura en la contaminación de Posadas, Argentina: Un desafío para las políticas de cambio climático. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(2), 17-37. <https://doi.org/10.15359/rca.56/2.2>
- Cámara de Diputados. (2023). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. <https://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/lpggir.pdf>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Campos, R. y Rodas, J. (2019). Desigualdad en el ingreso: Posibilidades de acción pública. *Economía UNAM*, 16(46), 251-261. <https://doi.org/10.22201/fe.24488143e.2019.46.450>
- Carson, R. (2010). The environmental Kuznets curve: Seeking empirical regularity and theoretical structure. *Review of Environmental Economics and Policy*, 4(1), 3-23. <https://doi.org/10.1093/reep/rep02>
- Castañeda, G. y Pérez, A. (2015). La problemática del manejo de los residuos sólidos en seis municipios del sur de Zacatecas. *Región y Sociedad*, 27(62), 97-115. <https://doi.org/10.22198/rys.2015.62.a39>
- Cavalheiro, E., Machado, R., Castro, A., & Falck, L. (2024). Urban solid waste generation and GDP per capita: A global analysis through the lens of the environmental Kuznets curve. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 17(3), 1-18. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.3-012>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL]. (2023). *Medición de la pobreza. La cohesión social*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Cohesion_Social.aspx. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Constantini, V., & Martini, C. (2010). A Modified Environmental Kuznets Curve for sustainable development assessment using panel data. *International Journal of Global Environmental Issues*, 10(1), 84-122. <https://doi.org/10.1504/ijgen-vi.2010.030569>

- Cruz, S. y Ojeda, S. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 7-8. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/43784>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Da Costa, C. (2022). La economía circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos. *Revista Economía y Política*, 1(35), 1-18. <https://doi.org/10.25097/rep.n35.2022.01>
- Dávila-Sámamo, A., Castillo-Suárez, L., Linares-Hernández, I. y Martínez-Miranda, V. (2021). Gestión de los residuos sólidos urbanos y su efecto en el aire, agua y suelo. *Alfa, Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(15), 45-69. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.128>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Echenique, X. (2020). Análisis de las fallas de mercado, visiones ortodoxas y heterodoxas, incluyendo J. Stiglitz, P. Krugman y J. Tirole. *Economía Informa*, 421, 4-19. <http://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/421/01EcheniqueRomero.pdf>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Ercolano, S., Gaeta, G., Ghinai, S., & Silvestri, F. (2018). Kuznets curve in municipal solid waste production: An empirical analysis based on municipal-level panel data from the Lombardy region (Italy). *Ecological Indicators*, 93, 397-403. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.021>
- Flores-Xolocotzi, R. (2025). Emisiones de metano de residuos sólidos y crecimiento económico en 30 países latinoamericanos y del Caribe. *Paradigma Económico, Revista de Economía Regional y Sectorial*, 17(1), 105-133. <https://doi.org/10.36677/paradigmaeconomico.v17i1.23014>
- Freire-Vinueza, C., Meneses, K. y Cuesta, G. (2021). América Latina: ¿Un paraíso de la contaminación ambiental? *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 1-18. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.1>
- Gnonlonfin, A., Kocoglu, Y., & Péridy, N. (2017). Municipal solid waste and development: The environmental Kuznets curve evidence for Mediterranean countries. *Region et Développement*, 45, 113-130. <https://ideas.repec.org/a/tou/journal/v45y2017p113-130.html>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Grossman, G., & Krueger, A. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Gui, S., Zhao, L., & Zhang, Z. (2019). Does municipal solid waste generation in China support the Environmental Kuznets Curve? New evidence from spatial linkage analysis. *Waste Management*, 84, 310-319. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.0>
- Gujarati, D. y Porter, D. (2010). *Econometría*. McGraw-Hill.
- Hasanov, F., Hunt, L., & Mikayilov, J. (2021). Estimating different order polynomial logarithmic environmental Kuznets curves. *Environmental Science Pollution Research*, 28, 41965-41987. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13463-y>

- Hipólito, P., & Cardoso, A. (2022). The evolution of the environmental Kuznets curve hypothesis assessment: A literature review under a critical analysis perspective. *Heliyon*, 8(11), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11521>
- Hussain, A., & Dey, S. (2021). Revisiting environmental Kuznets curve with HDI: New evidence from cross-country panel data. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 10(3), 324-342. <https://doi.org/10.1080/21606544.2021.1880486>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2000). *Los jóvenes en México* (p. 159). <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825908911>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021. Documento de diseño* (p. 139). https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463904335.pdf. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023a). *Subsistema de Información Demográfica y Social*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023b). *Subsistema de Información de Gobierno, Seguridad Pública e Impartición de Justicia. Gobierno municipal y demarcaciones territoriales de la Ciudad de México*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/>
- Jaligot, R., & Chenal, J. (2018). Decoupling municipal solid waste generation and economic growth in the canton of Vaud. Switzerland. *Resources, Conservation and Recycling*, 130, 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.014>
- Jiang, J. J., Ye, B., Zhou, N., & Zhang, X. (2019). Decoupling analysis and environmental Kuznets curve modelling of provincial-level CO₂ emissions and economic growth in China: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1242-1255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.116>
- Johnstone, N., & Labonne, J. (2004). Generation of household solid waste in OECD countries: An empirical analysis using macroeconomic data. *Land Economics*, 80(4), 529-538. <https://doi.org/10.2307/3655808>
- Kaika, D., & Zervas, E. (2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory—Part A: Concept, causes and the CO₂ emissions case. *Energy Policy*, 62, 1392-1402. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.131>
- Kochi, I. y Medina, P. (2013). Más allá de la curva ambiental de Kuznets: Comprensión de los determinantes de la degradación ambiental en México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 22(43), 52-83. <https://doi.org/10.20983/noesis.2013.1.2>
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28. <http://www.jstor.org/stable/1811581>
- Levinson, A. (2002). The ups and downs of the environmental Kuznets curve. En J. List y A. de Zeeuw. (Eds.), *Recent Advances in Environmental Economics* (pp. 119-141). Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781843760023.00011>

- Li, X., & Xu, L. (2021). Human development associated with environmental quality in China. *PLoS ONE*, 16(2), 1-21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246677>
- Lv, D., Wang, R., & Zhang, Y. (2021). Sustainability Assessment Based on Integrating EKC with Decoupling: Empirical Evidence from China. *Sustainability*, 13(2), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su13020655>
- Ma, Y., Jia, L., Hou, Y., & Wu, X. (2022). The Impact of Economic Growth and Tiered Medical Policy on the Medical Waste Generation: An Empirical Analysis Based on the Environmental Kuznets Curve Model. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.824435>
- Manjarrez, M. (2021). Las carencias sociales por deciles de ingreso en México. *El Semestre de las Especializaciones*, 3(1), 7-54. <https://www.depfe.unam.mx/especializaciones/revista/3-1-2021/>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Mazzanti, M., & Zoboli, R. (2009). Municipal Waste Kuznets Curves: Evidence on Socio-Economic Drivers and Policy Effectiveness from the EU. *Environmental and Resource Economics*, 44(2), 203-230. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9280-x>
- Molina, R. y Pascual, J. (2014). El Índice de Desarrollo Humano como indicador social. *Nómadas*, 44(4), 1-17. https://doi.org/10.5209/rev_noma.2014.v44.n4.49298
- Naveed, A., Ahmed, N., Fathollahzadeh, R., & Menegaki, A. (2022). What have we learned from Environmental Kuznets Curve hypothesis? A citation-based systematic literature review and content analysis. *Energy Strategy Reviews*, 44, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100946>
- Olivares, J. y Hernández, C. (2021). ¿La curva ambiental de Kuznets sigue siendo válida para explicar la degradación? Una revisión teórica. *Economía Coyuntural*, 6(3), 3-52. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222021000300003&lng=es&tlng=es
- Pérez, F. (2014). *Tipología del municipio mexicano para su desarrollo integral*. Instituto Nacional de Administración Pública.
- Poon, J., Casas, I., & He, C. (2006). The Impact of Energy, Transport, and Trade on Air Pollution in China. *Eurasian Geography and Economics*, 47(5), 568-584. <https://doi.org/10.2747/1538-7216.47.5.568>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2023a). *Informe de desarrollo municipal 2010-2015*. México. <https://www.undp.org/es/mexico/publicaciones/idh-municipal-2010-2015>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2023b). *Informe de desarrollo humano 2010-2020*. México. <https://drive.google.com/drive/folders/15rd3aeqybgqostspnf8-aoldwfqze4ha>
- Reyna-Bensusan, N., Wilson, D., & Smith, S. (2018). Uncontrolled burning of solid waste by households in Mexico is a significant contributor to climate change in the country. *Environmental Research*, 163, 280-288. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.042>
- Sáez, A. y Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 1(3), 121-135. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/dbgir-15-mayo-2020.pdf>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Shen, Z., Fan, W., & Hu, J. (2022). Income inequality, consumption, and the debt ratio of Chinese households. *PLoS ONE*, 17(5), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265851>
- Stata. (2025). *Stata longitudinal panel data. Reference Manual Release 19*. Stata Press.
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2011). *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth*. International Resource Panel. <https://www.resourcepanel.org/reports/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Universidad Autónoma Chapingo [UACH]. (2023a). *Tabulados básicos. Demográfica, desarrollo humano, salud, educación, servicios, economía, ruralidad y calidad*. Estado de México: Editorial UACH-Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo. <http://demyc.chapingo.mx/idh/beta/app/tabulados>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Universidad Autónoma Chapingo [UACH]. (2023b). *Memoria técnica: Estadísticas sociales*. Estado de México: Editorial UACH-Departamento de Estadística, Matemática y Cómputo. <http://demyc.chapingo.mx/idh/beta/public/assets/pdf/Memoria%20tecnica%20demyC.pdf>. [Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024].
- Wang, Q., Yang, T., & Li, R. (2023). Does income inequality reshape the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis? A nonlinear panel data analysis. *Environmental Research*, 216(2), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114575>
- Wooldridge, J. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT Press.
- Zhu, P., & Zhang, Y. (2006). Demand for Urban Forests and Economic Welfare: Evidence from the Southeastern U. S. Cities. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 38(2), 279-285. <https://doi.org/10.1017/S107407080002232X>
- Zilio, M. (2012). Curva de Kuznets ambiental: La validez de sus fundamentos en países en desarrollo. *Cuadernos de Economía*, 35(97), 43-54. [https://doi.org/10.1016/S0210-0266\(12\)70022-5](https://doi.org/10.1016/S0210-0266(12)70022-5)