

Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional

Volumen 35, Número 66. Julio - Diciembre 2025
Revista Electrónica. ISSN: 2395-9169

Artículo

Aplicación de la Curva de Kuznets Ambiental:
sector alimentos, bebidas y tabaco en México, 1993-2022

Application of the Environmental Kuznets Curve:
Food, beverage, and Tobacco sector in Mexico, 1993-2022

DOI: <https://doi.org/10.24836/esv35i66.1620e251620>

María Magdalena Rojas-Rojas*
<https://orcid.org/0000-0002-1953-5537>
magda.r.rojas@gmail.com

Lucila Godínez-Montoya**
<https://orcid.org/0000-0002-8571-9043>
lgodinezm@uaemex.mx

Karina Valencia-Sandoval***
<https://orcid.org/0000-0002-7029-9779>
karina_valencia@uaeh.edu.mx

Francisco Pérez-Soto*
<https://orcid.org/0000-0002-7982-420X>
perezsotofco@gmail.com.

Fecha de recepción: 13 de febrero de 2025.

Fecha de aceptación: 02 de julio de 2025.

*Universidad Autónoma Chapingo, México.
**Universidad Autónoma del Estado de México.
***Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México
Autora de correspondencia: Lucila Godínez-Montoya

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Hermosillo, Sonora, México.



Aplicación de la Curva de Kuznets Ambiental: sector alimentos, bebidas y tabaco en México, 1993-2022

Rojas-Rojas, Godínez-Montoya, Valencia-Sandoval, Pérez-Soto

Resumen

Objetivo: analizar el comportamiento entre la emisión de los Gases de Efecto Invernadero (GEI_{sa}) como medida de degradación ambiental y el crecimiento económico, expresado a través del Producto Interno Bruto real ($PIBr_{sa}$) del sector de alimentos, bebidas y tabaco en México. **Metodología:** se determinaron tres modelos econométricos: lineal, cuadrático y cúbico, basados en datos oficiales para comprobar la existencia de la Curva de Kuznets Ambiental (*CKA*) durante el periodo 1993-2022. **Resultados:** de los modelos analizados, el cúbico, fue el que describe mejor la relación entre los GEI_{sa} , el $PIBr_{sa}$ y el vector de variables adicionales. Se observó una relación positiva entre GEI_{sa} , y $PIBr_{sa}$, así como entre $CENERSa$ y $ENREN$ e inversa entre $CGini$. **Limitaciones:** falta de una serie histórica amplia y variables adicionales que analice de forma integral el crecimiento económico y la degradación ambiental. **Conclusiones:** de acuerdo con la información con la que se contó y para el periodo de estudio, el comportamiento entre las variables analizadas presentó forma de N, similar a la *CKA*, pero con un subsiguiente incremento en emisiones para altos niveles de ingreso. El estudio ofrece una contribución novedosa al analizar la *CKA* para el sector de alimentos bebidas y tabaco, donde hay ausencia de estudios previos comparables.

Palabras clave: alimentación contemporánea, Curva de Kuznets Ambiental, crecimiento económico, gases efecto invernadero, sector alimentario, degradación ambiental.

Abstract

Objective: to analyze the relationship between Greenhouse Gases (GHG_{sa}) as an indicator of environmental degradation and economic growth, expressed through the real Gross Domestic Product (GDP_{sa}) of the food, beverage and tobacco sector in Mexico. **Methodology:** three econometric models were determined: linear, quadratic and cubic, based on official data to verify the existence of the Environmental Kuznets Curve (*CKA*) during the period 1993-2022. **Results:** Of the models analyzed, the cubic form one best described the relationship between GHG_{sa} , GDP_{sa} , and the vector of additional variables. A positive relationship was observed between GHG_{sa} and GDP_{sa} , as well as between $CENERSa$ and $ENREN$, and an inverse relationship with $CGini$. **Limitations:** lack of a broad historical series and additional variables that comprehensively analyze economic growth and environmental degradation. **Conclusions** According to the available information and for the period under study, the behavior of the analyzed variables followed an N-shaped pattern, like the *CKA*, but with a subsequent increase in emissions at high income levels. The study offers a novel contribution by analyzing the *EKC* for the food, beverage, and tobacco sector, where comparable previous studies are absent.

Keywords: contemporary food, Environmental Kuznets curve, economic growth, greenhouse gases, food sector, environmental degradation.

Introducción

El sistema agroalimentario se compone del sector primario más la producción y transformación de alimentos, bebidas y tabaco. La producción de alimentos es vital para garantizar la seguridad alimentaria de la población y preservar la supervivencia humana. El sistema se asocia con el desarrollo y crecimiento de las zonas rurales ya que contribuye en la producción de alimentos, generando divisas, empleos e ingresos adicionales a los productores y a los eslabones de la cadena de valor agroalimentaria; además ocupa el 50.0 % de la superficie territorial del planeta (Garibaldi, Andersson, Fernández, Pérez, 2018).

Pese a su importancia económica, el sistema enfrenta varios retos como el deterioro ambiental, la pérdida de biodiversidad y, por tanto, a efectos en el cambio climático. En pro de abastecer de alimentos a una población en crecimiento, ya que para el 2050 se proyecta que la población mundial sea de 9.1 billones de personas, se espera que se demanden alimentos nutritivos, saludables y asequibles, por ello la producción y transformación de estos víveres se ha convertido en un reto ante la aceleración de los efectos del cambio climático. Por un lado, se requiere de más insumos y recursos naturales para producir y transformar alimentos, pero también está el dilema que se enfrenta a la escasez de estos. Cada vez se cuenta con menos agua y disponibilidad de tierra fértil y por su parte se están emitiendo gases de efecto invernadero (GEI) y pérdida de biodiversidad en un 80.0 % en el 2050 (FAO, s.f.).

Por su parte, el consumo de energía en las actividades del sector agroalimentario, para producción, procesamiento y transporte, también influyen en la emisión de GEI. Esta energía se usa de forma directa para cosechar los cultivos, albergar el ganado, bombear el agua, para la agricultura protegida, el beneficio, secado y almacenamiento de granos y semillas. Así también la industria alimentaria necesita energía para generar calor y electricidad para el procesamiento, enlatado y empacado de alimentos. Aunque también se usa energía indirecta para operar

maquinaria y equipo, así como la fabricación de fertilizantes y otros insumos necesarios para la agricultura y la transformación de alimentos.

La FAO (2011) señala que, en países desarrollados, la energía usada para el procesamiento y transporte de alimentos es de tres a cuatro veces mayor que la empleada para la producción primaria. Sin embargo, es difícil estimar su consumo dada la complejidad del uso de los insumos. Estos países emplean más de la mitad de la demanda de energía mundial y presentan una tasa de energía per cápita mucho mayor. La demanda de energía de uso final del sistema agroalimentario en el mundo es de aproximadamente el 32.0 % del total de energía demandada. En la cadena de valor alimentaria se genera alrededor del 22.0 % de las emisiones totales de GEI, incluyendo las emisiones por desechos de alimentos. No obstante, el sistema alimentario tiene un impacto menor que el metano generado en la producción de arroz, el ganado rumiante y los óxidos nitrosos del fertilizante, que aproximadamente representa el 14.0 % de las emisiones totales.

Por otro lado, en la cadena de valor se pierden y se desperdician alimentos, datos de Gustavsson, Cederberg, Sonesson, van Otterdijk, y Meybeck (2011) señalan que un tercio de los alimentos producidos (1,300 millones de toneladas al año) se desperdician porque se deterioran en el camino desde que se producen en campo hasta que llegan a manos del consumidor final. Tal desperdicio es mayor en la fase de consumo final. En países desarrollados se desperdician de 95 a 155 kg por persona, debido a que no cumplen con los estándares de calidad del consumidor final o bien son adquiridos de forma excesiva que finalmente no son consumidas. Por otro lado, en los países en desarrollo, el desperdicio se presenta en el eslabón primario a falta de tecnología e infraestructura que permita preservar la vida de anaquel del producto. Sin embargo, estas pérdidas y desperdicios implican que también ya se usó agua, energía, tierra, fertilizantes y hubo pérdida de biodiversidad que aunado al proceso de producción se emitieron hasta 10.0 % de GEI en vano (Gustavsson et al. 2011; Foley et al., 2011; UNEP, 2021).

La presente investigación busca contribuir a la discusión y análisis empírico de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) aplicada al análisis del sector de alimentos bebidas y tabaco en México. Se cuestiona si la relación entre los GEI y el PIB se ajustan a una determinada forma funcional específica y ¿cómo incide el PIB en las emisiones de GEI? Al respecto, el objetivo de este trabajo consistió en analizar el comportamiento entre la emisión de los GEI como medida de degradación

ambiental y el crecimiento económico expresado a través del Producto Interno Bruto real, ambos del sector en estudio (GEI_{sa} y $PIBr_{sa}$), mediante tres formas funcionales (lineal, cuadrática y cúbica), para el período 1993-2022. Considerando además de estas, un vector de variables adicionales: el consumo final de energía en la industria de alimentos, bebidas y tabaco ($CENER_{sa}$), el consumo final de energía renovable (ENREN) y el coeficiente de Gini (CGini). La hipótesis sobre la que versa la investigación es que tanto el $PIBr_{sa}$, como el $CENER_{sa}$, así como el CGini presentan una relación directa con la generación de GEI_{sa} como medida de degradación ambiental; además de una relación inversa de los GEI_{sa} con el uso de ENREN; sustentado ello, en la hipótesis de la CKA.

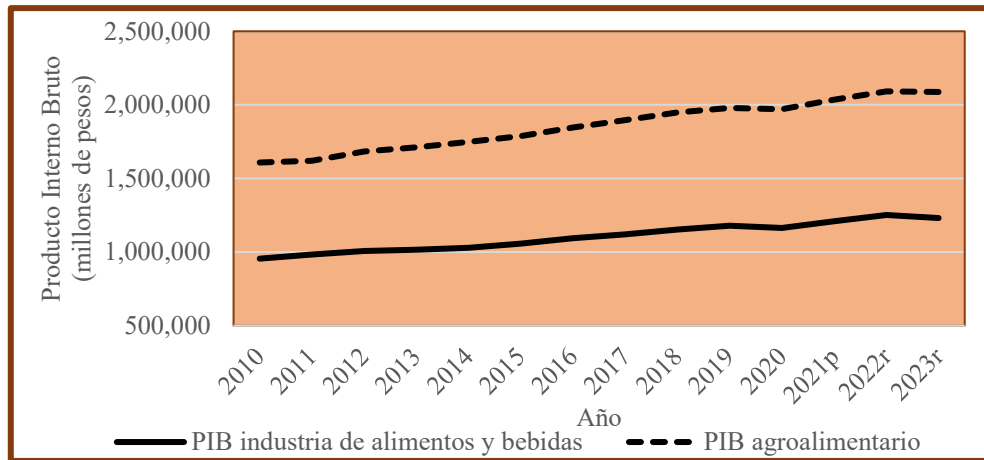
El trabajo se divide en las siguientes secciones: en la primera sección se incluye la descripción del sistema agroalimentario en México, en la segunda sección se presentan los fundamentos teóricos de la CKA y la evidencia empírica. En la tercera sección se aborda la metodología que incluye, la descripción y especificación de las variables, así como los modelos econométricos utilizados. En la cuarta sección se exponen los resultados estadísticos y económicos de los modelos empíricos. Y en la quinta sección se establecen las conclusiones.

El sistema agroalimentario en México

En 2023, el sistema agroalimentario (que incluye sector primario e industria de alimentos y bebidas) en México, contribuyó con 2.087 billones de pesos al Producto Interno Bruto total (PIB), que equivale al 8.0 %. La industria de alimentos y bebidas sumó 1.23 billones de pesos, equivalente al 24.0 % del PIB de la industria manufacturera y 5.0 % del PIB total (INEGI, 2024a) (gráfica 1).

Aplicación de la Curva de Kuznets Ambiental:
sector alimentos, bebidas y tabaco en México, 1993-2022

Rojas-Rojas, Godínez-Montoya, Valencia-Sandoval, Pérez-Soto



p/ cifras preliminares. r/cifras revisadas.

Gráfica 1. Comportamiento del PIB agroalimentario y de la industria de alimentos y bebidas en México, 2010-2023 (Millones de pesos a precios de 2018). Fuente: elaboración propia con información de INEGI (2024a).

Por otro lado, datos del Censo Económico (INEGI, 2024b) señalan que, la población ocupada en la industria alimentaria fue de 1.19 millones de personas. También se registraron 233,585 unidades económicas relacionadas con la industria alimentaria, siendo el Estado de México (31,674), Oaxaca (24,151) y Puebla (21,413) las entidades que registraron el 33.0 % de estas (INEGI, 2025). Además, el sistema agroalimentario mexicano destaca por su participación en la producción de alimentos, se ubica como la doceava potencia a nivel mundial, por debajo de la industria manufacturera y automotriz. En el año 2022, este sector recibió inversión extranjera directa (IED) por un monto de 106 millones de dólares y tiene como principal inversor Estados Unidos de América, seguido de Reino Unido y Japón.

Aunado a esto, la balanza comercial agroalimentaria en 2023 presentó un valor superávit de 7,576 millones de dólares, con tendencia en el crecimiento de las exportaciones con un valor de 51,874 millones de dólares (Banxico, 2024). En 2022, México ocupó el noveno lugar mundial en las exportaciones agroalimentarias llegando a 192 países del mundo, siendo Estados Unidos su principal mercado con un valor de 35,437 millones de dólares (SIAP, 2023).

A pesar de su dinamismo, el sistema agroalimentario enfrenta retos y desafíos que demanda la mejora de prácticas, técnicas y procesos respetuosos con el medio ambiente. Estos desafíos

incluyen la reducción de las emisiones de GEI y la adaptación a los efectos del cambio climático. Es crucial que los sistemas alimentarios sean resilientes y equitativos, tal como se demostró durante la pandemia por Covid-19 donde otros sectores se vieron afectados, en cambio el sector agroalimentario siguió operando a pesar de las medidas sanitarias (Galindo y Contreras, 2023). Para abordar estos desafíos, es necesario desarrollar tecnologías más eficientes en el uso de los recursos escasos como el agua, el suelo, la flora y la fauna, con el fin de evitar su degradación y escasez. Asimismo, es fundamental reducir la contaminación derivada del uso excesivo de combustibles fósiles, que contribuyen a la emisión de GEI y sus consecuentes impactos asociados al cambio climático. Datos de Gobierno de México - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (GM-Semarnat-INEEC, 2022) señalan que, en 2019 los principales emisores de GEI en México fueron el consumo de combustibles fósiles para el transporte y generación de energía eléctrica (64.0 %), agricultura y silvicultura (19.0 %), procesos industriales y uso de productos (10.0 %) y residuos (7.0 %).

Por otro parte, se requiere de financiamiento en innovación y tecnología en el sector que promuevan la mejora de los sistemas alimentarios y la mitigación de los efectos del cambio climático. En 2021, México destinó escasamente 0.28 % en investigación y desarrollo (I+D) con respecto al PIB, muy por debajo de países como Israel (5.56 %), Estados Unidos (3.46 %), promedio mundial (2.71 %), Brasil (1.14 %), entre otros (Banco Mundial, 2024a). A su vez se requiere fomentar la implementación de políticas públicas que impulsen la adopción de prácticas agrícolas y ganaderas con ayuda de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías innovadoras que eficienticen la producción para garantizar la seguridad alimentaria, promover el desarrollo agrícola sostenible (Vargas et al., 2022) y mitigar los efectos del cambio climático.

Pese a que la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) busca implementar prácticas de producción sostenible para afrontar los riesgos climatológicos mediante su Plan Estratégico de Cambio Climático para el Sector Agroalimentario (Plecca), no es suficiente y pone en riesgo el cumplimiento de las metas de reducción de GEI que se originan por las actividades propias del sector dado que el presupuesto destinado va hacia la baja. En 2013, este presupuesto representó el 30.6 % del Presupuesto Especial Concurrente (PEC) y para el 2022 su participación fue de solo 1.2 % (Prado, 2023).

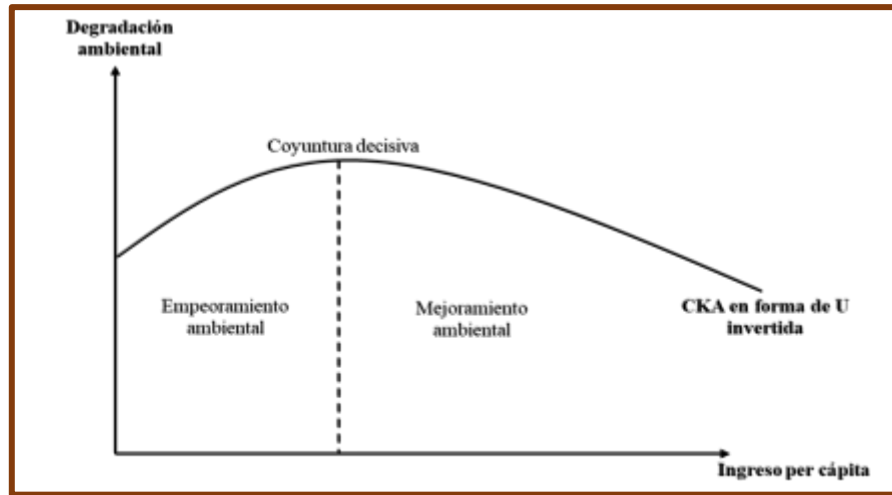
Fundamentos teóricos de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA)

La hipótesis de la *CKA* se base en los planteamientos realizados por Simón Kuznets en 1950, quien esbozo una “relación empírica en forma de U invertida entre el ingreso, medido a través del PIB per cápita, y la desigualdad del ingreso”, a la cual le llamó Curva de Kuznets. De acuerdo con sus planteamientos, en un inicio el crecimiento económico y el aumento del PIB per cápita “generan un incremento en la desigualdad del ingreso, pero, a partir de un punto de inflexión (el punto cúspide de la U invertida), los subsecuentes aumentos del PIB per cápita generan la reducción en la desigualdad” (Falconí, Burbano y Cango, 2016, p. 3).

Sin embargo, aunque la relación entre el hombre, el crecimiento económico y el medio ambiente data desde la aparición de la humanidad y ha evolucionado hasta convertirse en los actuales problemas ambientales, fue hasta los años setenta que comenzó la preocupación por los problemas que el desarrollo económico genera hacia el medio ambiente y hasta los noventa cuando estos problemas comenzaron a ser retomados teórica y empíricamente (Godínez, Figueroa y Pérez, 2021); fue entonces cuando Grossman y Krueger (1995) aplicaron la hipótesis de la Curva de Kuznets a la economía ambiental (Falconí et al., 2016); con el fin de mostrar que estos problemas, es decir, que la relación entre el crecimiento económico y la degradación ambiental se puede modelar como una relación funcional en forma de U invertida entre diversos tipos de contaminantes y niveles de ingreso (Correa, 2004; Zilio, 2011), denominada como Curva de Kuznets Ambiental (CKA) (gráfica 2).

Aplicación de la Curva de Kuznets Ambiental:
sector alimentos, bebidas y tabaco en México, 1993-2022

Rojas-Rojas, Godínez-Montoya, Valencia-Sandoval, Pérez-Soto



Gráfica 2. Curva de Kuznets Ambiental en dos etapas. Fuente: tomada de Parra, 2016.

Esto se debe a que el aumento de la producción en toda economía, es decir, del crecimiento económico, medido a través del Producto Interno Bruto per cápita (PIB_{pc}), depende en gran medida de la utilización de los recursos naturales (Carrillo, Wilman, Mullo y Ángel, 2018). De acuerdo con Falconí et al., 2016:

teóricamente, la CKA se explicaría por el desarrollo científico y tecnológico, el incremento en la eficiencia de los procesos productivos (menor requerimiento de energía y materiales por unidad de PIB real), cambios en la composición de los sectores de la economía y regulaciones ambientales más estrictas..., por lo que, en procesos tempranos de industrialización y desarrollo, la contaminación aumenta debido a políticas asociadas con el incremento de la producción y el empleo. Pero una vez alcanzado un cierto nivel de industrialización, las fuerzas del mercado inducen a cambios en la composición del producto y el consumo hacia el sector servicios que supuestamente tiene menores emisiones por unidad de producto (p. 2, 3).

Debido a lo anterior, la pendiente en forma de U invertida que propone la hipótesis, indica que el crecimiento económico (PIB) es al mismo tiempo la causa y la cura del problema ambiental

(Zilio, 2011). Sin embargo, de acuerdo con Carrillo et al. (2018), la literatura sobre el tema, indica que la hipótesis de la *CKA* se cumple para países de economías desarrolladas que satisfacen los siguientes argumentos: “altos niveles de ingresos, necesidades básicas cubiertas, un marco institucional y regulaciones más estrictas, un sector industrial con innovación tecnológica, acuerdos internacionales”, a diferencia de los países en desarrollo, en los cuales:

la poca importancia sobre la calidad en la regulación ambiental y la mayor desigualdad en la distribución del ingreso, y el incremento de la población hace que su *turning point* se eleve muy alto y se convierten en basureros internacionales y además existe la fuga masiva de explotación de recursos naturales poniendo en peligro la biodiversidad (p. 4).

Además, de acuerdo con Saravia (2005, citado por Carrillo et al., 2018): “las variables como la desigualdad en la distribución del ingreso, aspectos institucionales, gobernación, reformas estructurales y otras, son factores importantes que explican la lentitud en el proceso de arribar el tramo virtuoso de la Curva ambiental de Kuznets” (p. 4).

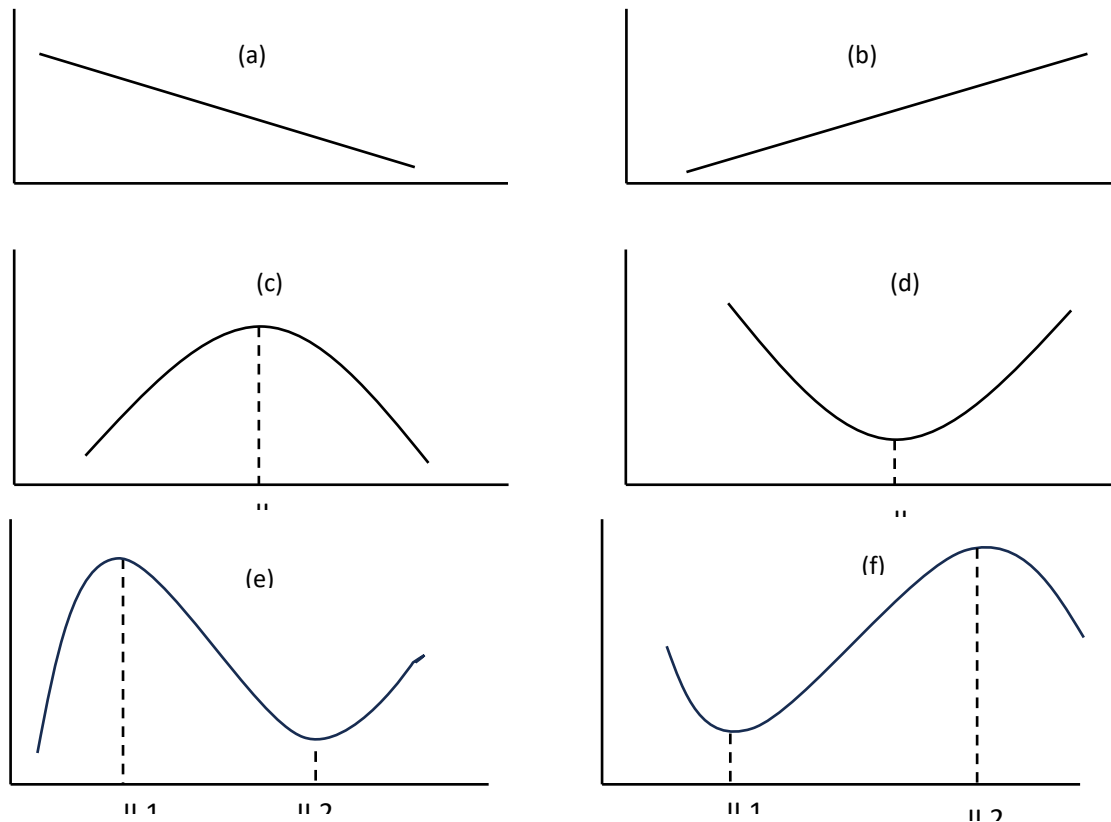
Una de principales críticas a esta hipótesis radica en su forma reducida, puesto que solo se incluye al PIB per cápita como variable explicativa; por lo que para salvar esta situación Magnani (2000) sugiere que, pueden existir otras variables explicativas de la afectación al medio ambiente. Sin embargo, a pesar de la forma reducida de la *CKA* se puede definir una forma paramétrica de la misma, que se retoma a partir de Ekins (1997), como se señala en la ecuación (1).

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln(YP_{it}) + \beta_2 (YP_{it})^2 + \beta_3 (YP_{it})^3 + \sum_{j=1}^k \gamma_j X_{j,it} + \mu_{it} \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T$

Donde; E_{it} , es el deterioro ambiental; $\{YP\}_{it}$, es el producto per cápita; $X_{j,it}$, es un conjunto de variables que inciden en el deterioro ambiental como: densidad de población, entre otros; μ_{it} , es el término de error; los subíndices it , indican los distintos países y periodos de tiempo, esto es, observaciones de datos de Panel (Catalán, 2014). A partir de la forma funcional

anterior, Gitli y Hernández (2002, citados por Jiménez, 2018) y Correa (2004), coinciden en seis distintas formas posibles de comportamiento entre calidad ambiental y crecimiento económico (gráfica 3).



Gráfica 3. Comportamientos posibles entre presión ambiental y PIB per cápita. Fuente: Gitli y Hernández (2002, citados por Jiménez, 2018) y Correa (2004).

Evidencia empírica

El modelo de la CKA se ha estudiado ampliamente para explorar el crecimiento económico de las actividades económicas y las emisiones contaminantes en diversos estudios a nivel macroeconómico y pocos estudios se han centrado en la agricultura como los estudios de Ibrahim,

AbdulKareem, Khan, Abbas (2022), quienes analizaron datos de los países de Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica en el periodo de 1990-2019. Ellos estudiaron las emisiones de dióxido de carbono usando técnicas de panel de datos y pruebas de cointegración. Evidenciaron que existe una CKA inducida por la agricultura y que el uso de energías renovables y el uso de las tecnologías de la información presentaron un efecto negativo sobre las emisiones contaminantes.

Ngarava, Faltan Zhou, Ayuk, Tatsvarei (2019), estudiaron la relación entre el ingreso agrícola y las emisiones de dióxido de carbono en Sudáfrica en el periodo de 1990-2012 mediante modelos de series temporales para evaluar las relaciones a largo plazo y su vinculación con los ODS. Los resultados señalan que a pesar de que el ingreso agrícola es significativo, su incremento no incide en la reducción de emisiones, contradiciendo la hipótesis de la CKA. Concluyen que la dependencia de la agricultura en la ganadería como principal emisor de CO₂, imposibilita el cumplimiento de los ODS y plantean la necesidad de transitar hacia energías renovables. Por su parte, Rengifo, Estrada, Calle, Gáleano (2019) centraron su análisis en los veinte principales países productores avícolas entre 1961 y 2014, utilizando un análisis factorial para datos mixtos. Concluyeron que su modelo fue válido para todos los países, destacando que México mostró una desaceleración notable en la tasa de contaminación por emisiones de óxido nitroso provenientes de la avicultura.

Para el sector de alimentos, bebidas y tabaco existe un gran vacío en la literatura científica de la cual, la presente investigación propone contribuir particularmente para México. A nivel global, se encontró el estudio de Fujii y Managi (2015) donde evaluaron la relación entre crecimiento económico y las emisiones de ocho contaminantes atmosféricos en 39 países en el periodo de 1995-2009 mediante panel de datos, para 16 sectores industriales que incluyeron al sector de alimentos, bebidas y tabaco. A nivel sector industrial agregado se identificó evidencia de la CKA, pero particularmente para el sector de interés no presentó evidencia. Concluyeron que el punto de inflexión y la relación entre desarrollo económico y emisiones varía según el tipo de sector y contaminante.

Metodología

Para analizar el comportamiento que sigue la relación entre los GEI_{sa} y el PIB_{rsa} así como de las variables adicionales (el $CENER_{sa}$, la $ENREN$ y el $CGini$), que inciden en el deterioro ambiental, se obtuvo información estadística de diversas instituciones y organismos oficiales tanto nacionales como internacionales, a partir de la cual se formó una base con datos anuales para el periodo 1993 a 2022.

Descripción y especificación de las variables

En esta sección se describen y especifican las variables tanto dependiente como independientes (tomando como base la teoría de la CKA), las cuales forman parte de los modelos econométricos que más adelante se especifican.

Variable dependiente

Gases de Efecto Invernadero del sector alimentos, bebidas y tabaco (GEI_{sa}). Son los gases emitidos por el sector y se consideró como el indicador del deterioro ambiental como parte de las actividades inherentes y que contribuyen al calentamiento global. Las emisiones de GEI se obtuvieron del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2024).

Variables independientes

Las variables independientes fueron las siguientes:

a) Producto Interno Bruto real del sector alimentos bebidas y tabaco (PIB_{rsa}). El PIB es el principal indicador como medida del crecimiento económico de una nación. INEGI (2023a) señala que el PIB es el valor de los bienes y servicios de uso final que genera un país durante un periodo de tiempo. Sánchez y Caballero (2019) afirman que a mayor nivel de crecimiento económico o nivel de ingreso de la población se esperaría una mayor contaminación por GEI ; sin embargo, señala también que el aumento de PIB en una economía puede ser la solución para reducir el problema ambiental (Galeotti, Lanza, Pauli, 2006).

Para el presente estudio, se consideró el PIB real del sector, cuya información estadística fue obtenida del Banco de México (Banxico, 2023), la cual se deflactó con el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) que se obtuvo del INEGI (2023b). La ecuación para determinar el PIB en términos reales (Brambila, 2011) se define como:

$$\text{PIBr} = \frac{\{\text{PIB}\}_t}{\{\text{INPC}\}_t} \ast 100 \quad (2)$$

Donde: $\{\text{PIB}\}_t$ es el Producto Interno Bruto Real del año t (millones de pesos constantes de 2021). $\{\text{PIB}\}_t$ es el Producto Interno Bruto nominal del año t (millones de pesos corrientes). $\{\text{INPC}\}_t$ es el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) base 2021=100.

El PIB, refleja el nivel de vida de una población y se usa para comparar el desarrollo de una nación (INEGI, 2023a), por ende, a mayor PIB habrá mayor demanda de productos y servicios del sector alimentos, bebidas y tabaco. Además del PIBr_{sa} , en el presente estudio, las variables adicionales que se consideraron para formar la CKA-extendida fueron las siguientes:

b) Consumo final de energía en la industria alimentaria, bebidas y tabaco (CENER_{sa}). Este indicador señala la cantidad de energía consumida en el sector, referido a gasolina, gas natural, diesel, gas licuado, electricidad, combustóleo, entre otros, para la generación de calor o energía. Existe una relación directa entre consumo de energía y la emisión de GEI a la atmósfera. Los datos de consumo final de energía se obtuvieron de la Secretaría de Energía (SE, 2023).

c) Consumo de energía renovable (ENREN). Es el consumo de energía renovable (% del consumo total de energía). La información se obtuvo del Banco Mundial (2024b).

d) Coeficiente de Gini (CGini). Es un indicador de la desigualdad de una población, se encuentra en el rango de 0 a 1. Cercana a 1 indica mayor desigualdad y cercano a 0 hay mayor igualdad. Este dato se obtuvo de la base estadística del Banco Mundial (2023a). Alarco y Castillo (2021) señalan que a mayor desigualdad se presenta un crecimiento económico bajo y menos sostenible en el largo plazo, por el contrario, cuando el índice se reduce conlleva a un aumento en la actividad económica;

esto indica que, a mayor actividad económica relacionada con el crecimiento económico, se incrementan las emisiones de *GEI*.

Especificación de los modelos econométricos

Dado que no existe una forma funcional específica para modelar la CKA presentada en el apartado teórico; para analizar el comportamiento que sigue la relación entre los GEI y el PIBr así como de las variables adicionales (el $CENER_{sa}$, la ENREN y el CGini), que inciden en el deterioro ambiental, dentro del sector alimentos, bebidas y tabaco durante el periodo 1993 a 2022, se plantearon tres modelos econométricos, cuyos parámetros, de acuerdo con Guajarati y Porter (2010), cumplen con el supuesto de linealidad. La forma estructural de los modelos se presenta a continuación:

Modelo lineal:

$$\{GEI_{sa}\}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \{PIB_{rsa}\}_t + \alpha_2 \{CENER_{sa}\}_t + \alpha_3 \{ENREN\}_t + \alpha_4 \{CGini\}_t + \varepsilon_i \quad (3)$$

Modelo cuadrático:

$$GEI_{sa}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \{PIB_{rsa}_t\} + \alpha_2 \{PIB_{rsa}_t\}^2 + \alpha_3 \{CENER_{sa}_t\} + \alpha_4 \{ENREN_t\} + \alpha_5 \{CGini_t\} + \varepsilon_i \quad (4)$$

Modelo cúbico:

$$\{GEI_{sa}\}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \{PIB_{rsa}\}_t + \alpha_2 \{PIB_{rsa}\}_t^2 + \alpha_3 \{PIB_{rsa}\}_t^3 + \alpha_4 \{CENER\}_t + \alpha_5 \{ENREN\}_t + \alpha_6 \{CGini\}_t + \varepsilon_i \quad (5)$$

Donde: $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ son parámetros por estimar para las ecuaciones 3, 4 y 5; ε_i es el error, que se distribuye con media cero y varianza constante; t es el año correspondiente a los datos anuales que van de 1993 a 2022. $\{GEI_{sa}\}_t$; son los gases de efecto invernadero emitidos por el sector de alimentos bebidas y tabaco y es el indicador de deterioro ambiental (t de CO₂e). $\{PIB_{rsa}\}_t$; es el Producto Interno Bruto real del sector de alimentos bebidas y tabaco (Millones de pesos a precios de 2021=100). $\{PIB_{rsa}\}_t^2$;

es el Producto Interno Bruto real del sector de alimentos bebidas y tabaco elevado al cuadrado (Millones de pesos a precios de 2021=100). $\{PIBr_{sa}\}_t^3$; es el Producto Interno Bruto real del sector de alimentos bebidas y tabaco al cubo (Millones de pesos a precios de 2021=100). $\{CENER_{sa}\}_t$; es el consumo final de energía consumida en el sector de alimentos, bebidas y tabaco (Petajoules). $\{ENREN\}_t$; es el consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final). $\{CGini\}_t$; es el Coeficiente de Gini de México (%).

La estimación de los parámetros de cada modelo se llevó a cabo mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), utilizando el paquete estadístico SAS; posteriormente, se realizaron las pruebas de hipótesis de los coeficientes de regresión individuales, la prueba global del modelo, de autocorrelación y multicolinealidad para verificar la validez de los resultados.

Resultados

En el presente apartado se muestra el análisis econométrico de los modelos: los parámetros estimados, las pruebas de hipótesis, así como la validación de los supuestos del modelo clásico de regresión lineal (MCRL) para cada modelo; y finalmente el análisis económico del modelo que mejor se ajusta al comportamiento de la relación entre los GEI_{sa} , el $PIBr_{sa}$ y el vector de variables adicionales ($CENER_{sa}$, $ENREN$, $CGini$), para el periodo 1993-2022.

Estimación de los parámetros de la regresión

La estimación de los coeficientes de las variables explicativas se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Estimación de los parámetros de los modelos lineal, cuadrático y cúbico

Modelo lineal						
Variable Dependiente	Variables independientes					
<i>GEI_{sa}</i>	<i>PIB_{rsa}</i>	<i>CENER_{sa}</i>	<i>ENREN</i>	<i>CGini</i>		
Coefficiente	0.02085	6543.24191	884.68963	32785867		
t_c	0.10	0.17	0.76	4.24		
P-value	0.9213	0.8670	0.4552	0.0003		
a) R^2 ajustada= 0.6447 b) F-valor (F_c)= 14.16, c) Prob>F = <.0001, d) $F_{tablas} (F_i) = F_{t,0.05 (4, 25)} = 2.759$, e) $t_{tablas} = t_{0.025 (25)} = 2.060$						
Modelo cuadrático						
Variable Dependiente	Variables independientes					
<i>GEI_{sa}</i>	<i>PIB_{rsa}</i>	<i>PIB_{rsa}²</i>	<i>CENER_{sa}</i>	<i>ENREN</i>	<i>CGini</i>	
Coefficiente	4.85229	-9.1148E-7	41220	49.91312	11118319	
t_c	3.56	-3.58	1.24	0.05	1.27	
P-value	0.0016	0.0015	0.2279	0.9602	0.2180	
a) R^2 ajustada= 0.7586, b) F-valor = 19.23, c) Prob>F = <.0001, d) $F_{tablas} (F_i) = F_{t,0.05 (5, 24)} = 2.621$, e) $t_{tablas} = t_{0.025 (24)} = 2.064$						
Modelo cúbico						
Variable Dependiente	Variables independientes					
<i>GEI_{sa}</i>	<i>PIB_{rsa}</i>	<i>PIB_{rsa}²</i>	<i>PIB_{rsa}³</i>	<i>CENER_{sa}</i>	<i>ENREN</i>	<i>CGini</i>
Coefficiente	22.65837	-8.94E-6	1.10195E-12	64103	1151.45212	-2832222
t_c	10.58	-9.66	8.75	3.87	2.30	-0.62
P-value	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0008	0.0312	0.5441
a) R^2 ajustada= 0.9418, b) F-valor (F_c) = 79.25, c) Prob>F = <.0001, d) $F_{tablas} (F_i) = F_{t,0.05 (6, 23)} = 2.528$, e) $t_{tablas} = t_{0.025 (23)} = 2.069$						

Fuente: elaboración propia con los resultados del paquete estadístico SAS.

Prueba de hipótesis

En este apartado se presentan las pruebas de hipótesis de los modelos.

a) Prueba de hipótesis de los coeficientes de regresión individuales

De acuerdo con Gujarati y Porter (2010), para probar la significancia estadística de cada una de las variables independientes consideradas en los modelos, se recurrió a la prueba t, para ello se postuló el siguiente juego de hipótesis: $H_0: \beta_i = 0$ vs $H_a: \beta_i \neq 0$

Si el valor de t calculado excede el valor de t crítico en un cierto nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula en favor de la alternativa, es decir, que de manera individual cada variable independiente tiene influencia sobre la dependiente. De acuerdo con los resultados de la tabla 1; con un nivel de significancia de 0.05, para el modelo lineal, únicamente la variable *CGini* resultó ser estadísticamente significativa, ya que presentó una $|t_c| = 4.24$, que fue mayor que la $t_{t,0.025(25)} = 2.060$; en el caso del cuadrático, el *PIBrsa* en su expresión lineal como cuadrática resultó ser significativo, ya que ambas variables presentaron una $|t_c| = 3.56$ y -3.58 que fueron mayores que la $t_{t,0.025(24)} = 2.064$, respectivamente; respecto al modelo cúbico, fueron cuatro las variables que resultaron ser estadísticamente significativas: $\{PIBrsa\}_t$, $\{PIBrsa\}_t^2$, $\{PIBrsa\}_t^3$ y $\{CENERsa\}_t$, para cada una de las variables referidas la $|t_c| = 10.58$, -9.66 , 8.75 y 3.87 fue mayor que la $t_{t,0.025(23)} = 2.069$, respectivamente. Es importante mencionar que, para este modelo, únicamente la variable *CGini* resultó no significativa estadísticamente, lo anterior da idea de que las variables independientes seleccionadas son apropiadas, con un nivel de confianza del 95.0%.

b) Prueba F

Esta prueba se utilizó para determinar la significancia global de los modelos de regresión, para ello se comparan la $F_{calculada}$ (F_c) con la F_{tablas} (F_t), además se consideró el siguiente juego de hipótesis, $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$ vs $H_a: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n \neq 0$. Los resultados del análisis de varianza que se muestran en la tabla 1, revelaron que la prueba global resultó significativa para los tres modelos, puesto que el valor de la F_c fue mayor que la F_t , con un nivel de significancia de 5.0% ($\alpha = 0.05$),

por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) en favor de la hipótesis alternativa (H_a), lo que indica que al menos uno de los parámetros estimados por la regresión en cada modelo es distinto de cero.

De acuerdo con el estadístico R^2 ajustado, los *GEIsa* fueron explicados en un 64.47, 75.86 y 94.81% por las variables independientes incluidas en cada uno de los modelos, respectivamente.

Autocorrelación

Para determinar la presencia o ausencia de autocorrelación, se aplicó la prueba del *estadístico Durbin-Watson (d)*. En la tabla 2, se muestra los valores de d , obtenidos a partir de los análisis de regresión, así como los valores críticos de d_L (límite inferior) y d_U (límite superior).

Tabla 2.
Valores de d , d_L y d_U

Modelos	D	d_L	d_U
Lineal	0.813	1.143	1.739
Cuadrático	0.685	1.071	1.833
Cúbico	1.231	0.998	1.931

Fuente: elaboración propia con salidas de SAS y la tabla d con un nivel de significancia de 0.05.

Para los modelos lineal y cuadrático, existe autocorrelación positiva puesto que se cumple la condición, $0 < d < d_L$; mientras que, el cúbico, cae en la zona de indecisión ya que $d_L \leq d \leq d_U$, es decir, no se puede concluir la existencia o no de autocorrelación (que los errores del modelo están serialmente correlacionados); no obstante, aunque el valor de d se sitúa por debajo del valor crítico (d_L) está muy cerca del mismo (tabla 2). De acuerdo con (Gujarati y Porter, 2010), la presencia de autocorrelación es algo común en muchas de las regresiones de series de tiempo, y lo que puede indicar, más bien, es la omisión de variables pertinentes.

Multicolinealidad

Para detectar la presencia o ausencia de multicolinealidad en los tres modelos se utilizó únicamente el Factor de Inflación de la Varianza (VIF).

Tabla 3.
Valor de inflación de la varianza (VIF)

VARIABLES INDEPENDIENTES	Modelo lineal	Modelo cuadrático	Modelo cúbico
PIB_{rsa}	2.26	141.38	1451.26
PIB_{rsa}^2	-----	107.53	5888.17
PIB_{rsa}^3	-----	-----	1734.31
$CENER_{sa}$	3.91	4.28	4.39
$ENREN$	2.40	2.54	2.72
$CGini$	3.98	7.58	8.62

Fuente: elaboración propia con las salidas de SAS.

El criterio o la prueba para definir si existe o no multicolinealidad es:

H_0 = existe multicolinealidad entre las variables regresoras $VIF > 10$

H_a = no existe multicolinealidad entre las variables regresoras $VIF < 10$

Es importante mencionar que, para probar la existencia o no de multicolinealidad, no se considera el VIF de las variables PIB_{rsa} , PIB_{rsa}^2 y el PIB_{rsa}^3 , ya que, dada su naturaleza de variables económicas, además de que en su expresión cuadrática y cúbica se derivan directamente del PIB_{rsa} , es natural que presenten una alta correlación entre ellas. Por lo que, de acuerdo con el valor del VIF para las variables $CENER_{sa}$, $ENREN$ y el $CGini$ (ver tabla 3) en los tres modelos, se puede observar que debido a que son menores de diez (el criterio considerado para la prueba), se acepta la H_0 , que indica que no existe multicolinealidad entre *el* PIB_{rsa} y las variables regresoras.

Modelo que mejor describe la relación entre los GEI_{sa} , el PIB_{sa}

De acuerdo con el análisis econométrico de los modelos propuestos, se deduce que para esta investigación el cúbico es el que mejor describe la relación entre los GEI_{sa} , el PIB_{sa} y el vector de variables adicionales, con base en ello se realizó el análisis económico.

A partir de las diferentes formas posibles de comportamiento entre el deterioro ambiental y el crecimiento económico que proponen Gitli y Hernández (2002, citados por Jiménez, 2018) y Correa (2004), en la gráfica 3, inciso e) y con lo planteado por la teoría de la CKA; en la presente investigación, se espera una relación positiva entre los $\{GEI_{sa}\}_t$ y el $\{PIB_{sa}\}_t$; es decir, se plantea que el coeficiente $\alpha_1 > 0$. Por otra parte, se esperaría que el coeficiente del término cuadrático del PIB ($\{PIB_{sa}\}_t^2$) sea negativo, $\alpha_2 < 0$. Finalmente, respecto al coeficiente del $\{PIB_{sa}\}_t^3$, se espera un signo positivo, $\alpha_3 > 0$. Con respecto a los coeficientes de las variables adicionales, se espera que los $\{GEI_{sa}\}_t$ presenten una relación positiva con el $\{CENERSa\}_t$ y con el $\{CGini\}_t$. Adicionalmente, la relación esperada entre la variable $\{GEI_{sa}\}_t$ y la de $\{ENREN\}_t$, es inversa.

Análisis económico

En este apartado se expone el modelo cúbico estimado por el método de MCO:

$$\widehat{GEI_{sa}} = -13973181 + 22.65837 \text{ PIB}_{sa} - 0.00000894 \text{ PIB}_{sa}^2 + 1.10195E - 12 \text{ PIB}_{sa}^3 + 64103 \text{ CENER} + 1151.45 \text{ ENREN} - 2832222 \text{ CGini} \quad (6)$$

La ecuación estimada 8 que modela una función cúbica, cumplió con los signos esperados, puesto que $\beta_1 = 22.65837 > 0$, $\beta_2 = -0.00000894 < 0$ y $\beta_3 = 1.10195E - 12 > 0$. Con respecto a los coeficientes de las variables adicionales que conforman la CKA-extendida, se obtuvo el signo positivo esperado para el CENERSa, más no para las variables ENREN y CGini.

Selcuk, Gormus, Guven (2021) revisaron el efecto del CENERsa en la agricultura de México y otros países en desarrollo, concluyendo que esta variable tiene un efecto negativo sobre el medio ambiente. Ellos proponen que el gobierno debe incidir en proponer una agricultura más limpia y ecológica, al mismo tiempo desplazar a los combustibles fósiles por energías renovables. Por su parte, Restrepo, Vasco y Pérez (2005) afirman que una elevada desigualdad en la distribución del ingreso conducirá a una mayor degradación ambiental y se espera que se afecte la demanda de bienes ambientales. Zilio (2011) enfatiza que la desigualdad del ingreso incide en la *CKA*, según la propensión a contaminar de ricos y pobres. Esto si los estratos de menores ingresos contaminan más, la redistribución puede afectar al medio ambiente.

Por otra parte, la relación negativa esperada entre los GEI_{sa} y la variable ENREN (aunque significativa estadísticamente), no se obtuvo, incluso para ninguno de los tres modelos; el signo que se esperaba para la ENREN implicaría un efecto positivo en las emisiones de GEI_{sa} . Estos hallazgos coinciden con los de Qiao, Zheng, Jiang y Dong (2019) donde evidenciaron que el consumo de energía renovable incide en la mitigación de CO_2 en la agricultura tanto para países en desarrollo como desarrollados. No obstante, los resultados no fueron estadísticamente significativos para países en desarrollo como México, dado que se requiere un consumo de energía renovable notable para incidir en los efectos de la mitigación del CO_2 (Chiu y Chang, 2009), hallazgos que coinciden con los generados en esta investigación.

Limitaciones

No se contó con una serie histórica amplia de información estadística de las variables utilizadas, ni otras variables que permitieran analizar de forma integral el crecimiento económico y la degradación ambiental. Otra limitante es la sencillez del análisis de la *CKA* por lo que en esta investigación se usaron variables que evalúan la *CKA* extendida. Para futuras investigaciones integrar otras variables como consumo de energía fósil, nivel tecnológico, entorno político sobre las emisiones emitidas de GEI, por mencionar algunas. Sin embargo, es importante cerciorarse de la disponibilidad de datos históricos, específicamente para este sector.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados estadísticos, derivados de la estimación de los tres modelos (lineal, cuadrático y cúbico), pruebas de hipótesis y validación de los supuestos del MCRL, se concluye lo siguiente: el modelo cúbico, fue el que mejor explicó la relación entre los GEI y el PIB, ambas del sector alimentos, bebidas y tabaco, y el vector de variables adicionales (CENER_{sa}, ENREN, CGini), de 1993 a 2022. En este sentido, se obtuvo que, para este sector económico de México, de acuerdo con la información con la que se contó y para el periodo de estudio, el comportamiento entre las variables analizadas presentó forma de N, similar a la CKA, pero con un subsiguiente incremento en emisiones para altos niveles de ingreso (más no una forma de U invertida), ya que los signos estimados fueron: $\beta_1 = 22.65837 > 0$, $\beta_2 = -0.00000894 < 0$ y $\beta_3 = 1.10195E - 12 > 0$. En el caso de las variables adicionales, se cumplió la relación positiva esperada entre los GEI_{sa} y la de CENER_{sa}, más no para la y de ENREN; de la misma manera, el signo del coeficiente estimado para el CGini, resultó negativo, mientras que se esperaba una relación positiva.

El estudio ofrece una contribución novedosa al analizar bajo la teoría de la CKA, la relación entre una variable del deterioro ambiental y el crecimiento económico, en un sector en donde hay ausencia de estudios previos comparables. Derivado de los hallazgos, como medida de política pública se recomienda impulsar y promover el uso de energías renovables como una alternativa de sustituir paulatinamente el uso de los recursos fósiles para mitigar las emisiones de GEI, tal como lo recomiendan Ngarava et al. (2019).

Referencias bibliográficas

- Alarco, T. G. y Castillo, G. C. (2021). Índice de desigualdad y crecimiento económico en América Latina. *Investigación económica*, 79(314), 106-134, doi: <https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2020.314.76350>
- Banco de México (Banxico, 2024). *Balanza de productos agropecuarios, pesqueros y agroindustriales*. Recuperado de <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=1&accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA187&locale=es>

Aplicación de la Curva de Kuznets Ambiental:
sector alimentos, bebidas y tabaco en México, 1993-2022

Rojas-Rojas, Godínez-Montoya, Valencia-Sandoval, Pérez-Soto

- Banco Mundial (2024a). *Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)*. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?end=2023&locations=K+H&start=2023&view=map>
- Banco Mundial (2024b). *Consumo de energía renovable (% del consumo total de energía final) – México*. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.FEC.RNEW.ZS?view=chart&locations=MX>
- Banco de México (Banxico, 2023). *Producto interno bruto*. Recuperado de <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=2&accion=consultarCuadro&idCuadro=CR199&locale=es>
- Banco Mundial (2023a). *Índice de Gini*. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI?locations=MX>
- Brambila, J. J. (2011). *Bioeconomía: instrumentos para su análisis económico*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Carrillo, P., Wilman, G., Mullo, P. y Ángel, O. (2018). *Crecimiento económico y medio ambiente: aplicación de la curva ambiental de Kuznets para el Ecuador, periodo 1970-2015*. (Tesis de licenciatura en Economía). Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4953>
- Catalán, H. (2014). Curva Ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía Informa*, (389), 19-37. Recuperado de <http://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/389/02catalan.pdf>
- Chiu, C. L. y Chang, T. H. (2009). What proportion of renewable energy supplies is needed to initially mitigate CO₂ emissions in OECD member countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1669-1674, doi:10.1016/j.rser.2008.09.026
- Correa, R. F. (2004). Crecimiento económico y medio ambiente: una revisión analítica de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets. *Semestre Económico*, 7(14), 74-104. Recuperado de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1131>
- Ekins, P. (1997). Kuznets curve for the environmental and economics growth: Examining the evidence. *Environmental and Planning Annals*, 29(5), 805-830, doi: 10.1068/a290805
- Falconí, F., Burbano, R. y Cango, P. (2016). La discutible curva de Kuznets. Documento de trabajo 03, FLACSO Ecuador. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/340464956_La_discutible_curva_de_Kusnetz
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. y Zaks, P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342, doi:10.1038/nature10452
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, s.f.). *Como alimentar al mundo en 2050*. Recuperado de https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%C3%B3mo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf
- FAO (2011). *Energy-Smart Food for People and Climate*. Recuperado de <https://www.fao.org/3/i2454e/i2454e00.pdf>
- Fujii, H. and Managi, S. (2015). Economic development and multiple air pollutant emissions from the industrial sector. *Munich Personal RePEc Archive*, 67027, 1-47. Recuperado de https://mpra.ub.uni-muenchen.de/67027/1/MPRA_paper_67027.pdf
- Galeotti, M., Lanza, A. y Pauli, F. (2006). Reassessing the Environmental Kuznets Curve for CO₂: A robustness exercise. *Ecological Economics*, 57(1), 152-163, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.031>
- Galindo, M. A. y Contreras, S. B. (2023). Cadenas de valor agroalimentarias ante eventos coyunturales adverso: la experiencia ante el Covid-19. En M. M. Rojas, K. Valencia y M. M. Ybarra. (Eds), *Competitividad en las cadenas de valor agroalimentarias: conceptos y herramientas metodológicas* (97-118 pp). Ciudad de México, México: Plaza y Valdés.
- Garibaldi, L. A., Andersson, G., Fernández, F. C., Pérez, N. (2018). Seguridad alimentaria, medio ambiente y nuestros hábitos de consumo. *Ecología Austral*, 28(3), 572-580, doi: <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.3.0.768>
- Gitli, E. y Hernández, G. (2002). *La existencia de la curva de Kuznets ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales*. Recuperado de http://xsei.centrogeo.org.mx/vedet/biblioteca/eco_amb/curvakuznetsambienta_EAMV.pdf
- Gobierno de México-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (GM-Semarnat-INEEC, 2022). *México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos*

Aplicación de la Curva de Kuznets Ambiental:
sector alimentos, bebidas y tabaco en México, 1993-2022

Rojas-Rojas, Godínez-Montoya, Valencia-Sandoval, Pérez-Soto

- de Efecto Invernadero, 1990-2019. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737226/156_2022_INEGYCEI_1990-2019_NIR.pdf
- Godínez, L., Figueroa, E., y Pérez, F. (2021). El medio ambiente, la pobreza y el crecimiento económico en México. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 16(2), 1-20, doi: <https://doi.org/10.21919/remef.v16i2.441>
- Grossman, G. y Krueger, A. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377, doi: <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Gujarati, D. y Porter D. (2010). *Econometría*. Quinta edición. México: McGraw-Hill.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R. y Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention*. Recuperado de <https://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/266053/>
- Ibrahim, S. M., AbdulKareem, K. K., Khan, Z. y Abbas, S. (2022). Examining the agriculture induced environmental Kuznets Curve hypothesis in BRICS economies: The role of renewable energy as a moderator. *Renewable Energy*, 198, 343-351, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.052>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2024). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI)*. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023a). *Producto Interno Bruto per cápita*. Recuperado de <https://www.cuentame.inegi.org.mx/economia/pibpc.aspx>
- INEGI (2023b). *Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC)*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/inpc/#tabulados>
- INEGI (2024a). *Producto Interno Bruto Trimestral. Año base 2018*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.aspx?pr=20&vr=1&in=2&tp=20&wr=1&cno=1&idrt=3257&opc=p>
- INEGI (2024b). *Censos Económicos 2024*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?px=CE_RAMA&bd=CE2024&idrt=3366&opc=p
- INEGI (2025). No lo vimos en el texto *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Jiménez, S. C. (2018). *Curva de Kuznets para Ecuador: un análisis del impacto del crecimiento económico en el medio ambiente*. (Trabajo de Titulación de Economista). UTPL, Loja. Recuperado de https://dspace.utpl.edu.ec/visorHub/?handle=20.500.11962_23038
- Magnani, E. (2000). The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution. *Ecological Economics*, 32(3), 432-443, doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00115-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00115-9)
- Ngarava, S., Zhou, L., Ayuk, J. y Tatsvarei, S. (2019). Food Security in a Climate Change Environment: Considerations for Environmental Kuznets Curve Use in the South African Agricultural Sector. *Climate*, 8(108), 1-17, doi: <http://dx.doi.org/10.3390/cli7090108>
- Parra, O. M. del P. (2016). *La Curva de Kuznets Ambiental para los países de la OCDE a través de un modelo de datos de panel*. (Tesis de Maestría en Economía Ambiental y Ecológica). Recuperado de <https://www.uv.mx/meae/files/2019/11/La-Curva-de-Kuznets-Ambiental-para-los-paises-de-laOCDE.pdf>
- Prado, T. S. (2023). *Políticas para atender la emisión de gases y compuestos de efecto invernadero en el campo y la pesca*. Recuperado de <https://comunicacionsocial.diputados.gob.mx/revista/index.php/nuestros-centros/politicas-para-atender-la-emision-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-en-el-campo-y-la-pesca#:~:text=Reducir%20quemar%20agropecuarias,.Fomentar%20sistemas%20silvopastoriles%20y%20agriforestales>
- Qiao, H., Zheng, F., Jiang, H. y Dong, K. (2019). The greenhouse effect of the agricultureeconomic growth-renewable energy nexus: Evidence from G20 countries. *Science of the Total Environment*, 671, 722-731, doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.03.336](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.336)
- Rengifo, P. F., Estrada, M. M., Calle, C. A. y Gáleano, L. F. (2019). Análisis de la resiliencia en la producción avícola a nivel mundial mediante curva de Kuznets. *Revista Producción + Limpia*, 14(1), 4- 17, doi: <https://doi.org/10.22507/pml.v14n1a1>

Aplicación de la Curva de Kuznets Ambiental:
sector alimentos, bebidas y tabaco en México, 1993-2022

Rojas-Rojas, Godínez-Montoya, Valencia-Sandoval, Pérez-Soto

- Restrepo, C. F., Vasco, A. F. y Pérez, M. C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: evidencia empírica para Colombia Grupo de Economía *Ambiental. Semestre Económico*, 8(15), 5-30. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1650/165013659001.pdf>
- Sánchez, L. y Caballero, K. (2019). La curva de Kuznets ambiental y su relación con el cambio climático en América Latina y el Caribe: un análisis de cointegración con panel, 1980-2015. *Revista de Economía del Rosario*, 22(1), 101-142, doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/economia/a.7769>
- Saravia, V. A. (2005). Evidencias de la relación medio ambiente-economía en el caso Latinoamericano. En CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (Ed), *La economía mundial y América Latina. Tendencias, problemas y desafíos*. (259-280). Recuperado de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/2010/1013125319/10ParteII5.pdf>
- Selcuk, M., Gormus, S. y Guven, M. (2021). Do agriculture activities matter for environmental Kuznets curve in the Next Eleven countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 55623-55633. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14825-2>
- Secretaría de Energía (SE, 2023). *Consumo de energía*. Recuperado de <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C02>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023). *Panorama Agroalimentario 2023*. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>
- United Nations Environment Programme (UNEP, 2021). *Food waste index, report 2021*. Recuperado de <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>
- Vargas-Canales, J. M., Brambila-Paz, J. J., Pérez-Cerecedo, V., Rojas-Rojas, M. M., López-Reyna, M. C. y Omaña-Silvestre, J. M. (2022). Trends in science, technology, and innovation in the agri-food sector. *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society*, 5(1), doi: 10.1080/25729861.2022.2115829
- Zilio, M. I. (2011). Curva de Kuznets ambiental, la validez de sus fundamentos en países en desarrollo. *Cuadernos de Economía*, 35(97), 43-54. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-cuadernos-economia-329-articulo-curva-kuznets-ambiental-validez-sus-X0210026612536311>