

Eco-innovación y Deterioro Ambiental: Un caso de estudio para México 1990-2020

Eco-Innovation and Environmental Degradation: A Case Study for Mexico, 1990–2020

Iván Alejandro Granados-Bernal ^{a*} | José Adolfo Carmona Arcos ^b
José Imanol Pérez Vázquez ^c

Recibido: 27 de enero de 2025.

Aceptado: 20 de mayo de 2025.

^a Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Contacto: igranados20@hotmail.com | ORCID: 0009-0004-0219-2090 *Autor para Correspondencia

^b Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Contacto: carmona.jadolfo@gmail.com | ORCID: 0009-0009-9623-7259

^c Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Contacto: imapvaz18@gmail.com | ORCID: 0009-0001-5465-5331

Cómo citar:

Granados-Bernal, I. A., Carmona Arcos, J. A., Pérez-Vázquez, J. I. (2025). Eco-innovación y Deterioro Ambiental: Un caso de estudio para México 1990-2020. *UVserva*, (20), 234-251.
<https://doi.org/10.25009/uvs.vi19.3104>

Resumen: La eco-innovación busca la creación de nuevas tecnologías que tengan por objetivo reducir el impacto ambiental, lo cual traería consigo una reducción en la degradación ambiental; no obstante, se sabe que la eco-innovación tiene incidencias positivas y negativas en la huella ecológica en diversos países. Por ello, en este trabajo se analiza el efecto de la eco-innovación, el PIB per cápita, el PIB per cápita al cuadrado, la renta de los recursos naturales y el desarrollo financiero, sobre la degradación ambiental a través de la huella ecológica en México para el periodo 1990-2020 a través de un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL). La evidencia empírica sugiere que el desarrollo financiero aumenta la huella ecológica en el corto y largo plazo mientras que el PIB per cápita la aumenta solo en el corto plazo. La renta de los recursos naturales, el PIB per cápita al cuadrado y las eco-innovaciones no tienen influencia sobre la huella ecológica. Este trabajo es pionero en analizar la relación entre eco-innovación y deterioro ambiental en México, sentando las bases para establecer comparaciones que permitan generar conclusiones que ofrezca un contexto global del problema.

Palabras clave: Eco-innovación, huella ecológica, México, deterioro ambiental.

Abstract: Eco-innovation aims to develop new technologies that reduce environmental impact, potentially mitigating environmental degradation. However, evidence shows that eco-innovation can have both positive and negative effects on the ecological footprint across different countries. This study examines the effects of eco-innovation, GDP per capita, squared GDP per capita, natural resource rents, and financial development on environmental degradation—measured through the ecological footprint—in Mexico from 1990 to 2020, using an Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model. The empirical results suggest that financial development reduces the ecological footprint in both the short and long run, while GDP per capita contributes to an increase only in the short term. In contrast, natural resource rents, squared GDP per capita, and eco-innovation do not exhibit significant effects. This study is among the first to explore this relationship in Mexico, providing a basis for future cross-country comparisons and contributing to a broader global understanding of the issue.

Keywords: *Eco-innovation; ecological footprint; Mexico; environmental degradation.*

Introducción

La eco-innovación busca generar nuevas formas de innovar que no se limiten solo a la creación de un nuevo producto o servicio para ser lanzado al mercado, sino que tenga como resultado una mejora que traiga consigo la reducción del impacto ambiental que se genera con dicho producto y que, a su vez, este regido de acuerdo con los principios del desarrollo sostenible (Fussler y James, 1996; Unión Europea, 2006; Kemp y Pearson, 2007; Miret *et al.*, 2011).

De esta forma, implementar las eco-innovaciones en una economía implicaría una reducción en el deterioro ambiental (medida comúnmente a través de la huella ecológica o de emisiones de dióxido de carbono); no obstante, estos efectos no son visibles en el corto plazo (Voegtlin y Scherer, 2017; Lee y Trimi, 2018; Mongo *et al.*, 2021; Puertas y Marti, 2021). Esto implica que los resultados serán observados hasta el largo plazo y, para lograr tal transición hacia una economía verde, se necesita generar apoyos e incentivos para promover la creación de innovaciones que permitan mitigar las problemáticas ambientales.

La huella ecológica mide la cantidad de área de tierra y agua biológicamente productiva el cual ocupa un individuo, población o actividad para generar todos los recursos que consume, así como absorber los desechos que se genera, a través del uso de tecnologías actuales y de prácticas relacionadas a la gestión de recursos (Global Footprint Network, 2025a).

De acuerdo con Schumpeter (1997) y Montoya (2012), la eco-innovación surge considerando la idea de la destrucción creativa popularizada de Schumpeter, la cual gira en torno a un enfoque diferente de crecimiento económico en donde las empresas enfrentan un proceso de creación y destrucción, influenciadas principalmente por la competencia; es decir, el surgimiento de nuevas ideas genera nuevas empresas que terminarán por destruir o reemplazar a las existentes, generando un ciclo continuo de creación y destrucción.

Para fines de la composición de este trabajo, en la primera sección se encuentra la revisión de la literatura relacionada a las medidas que se usan comúnmente para la degradación ambiental con el uso de innovaciones verdes o eco-innovaciones, así como de variables que están relacionadas a la huella ecológica como lo son el crecimiento económico, el desarrollo financiero y la renta de los recursos naturales.

En la segunda sección abarca la metodología del modelo econométrico utilizado para este caso (modelo ARDL) y las pruebas empujadas (raíz aumentada de Dickey Fuller y de raíz unitaria de Phillip-Perron). La tercera sección describe el contenido de las variables utilizadas en el trabajo, le sigue la cuarta sección en la cual se explican las discusiones y, por último, en la quinta sección se encuentra la conclusión.

1. Revisión de literatura

Durante el periodo de 1978 a 2021, la huella ecológica en México cae en un déficit de la biocapacidad (o capacidad biológica) permitida, entendida como la capacidad que tienen los ecosistemas para regenerar todo aquello que el ser humano utiliza de su superficie para mantenerse dentro de los límites de los recursos naturales del planeta, que es el equivalente a 1.6 hectáreas globales (gha), esto implica que las actividades económicas empezaron a consumir más de lo que es posible regenerar, lo que incrementa los efectos negativos que se transmiten al ambiente, como lo es la contaminación (Global Footprint Network, 2025b).

Por este motivo, las eco-innovaciones juegan un papel importante en la búsqueda por reducir las problemáticas ambientales de la actualidad, en especial, en lo que respecta a la huella ecológica.

Para la medición de la degradación ambiental, se suele utilizar a las emisiones de dióxido de carbono (CO²); sin embargo, ya que este conjunto de emisiones deriva en contaminación del aire, en la literatura especializada también se utiliza la huella ecológica como medida atractiva para analizar el deterioro ambiental (Afshan y Yaqoob, 2022).

En lo que respecta a las emisiones CO² y la eco-innovación, Khan *et al.* (2020) realizaron metodologías de segunda generación de los paneles de cointegración para encontrar determinantes no identificados de las emisiones CO² basadas en el consumo, esto para los países que forman parte del grupo de los 7 países más industrializados del mundo (G-7) en el periodo 1990-2017. Sus resultados demostraron que el comercio (importaciones y exportaciones), ingreso, consumo de energías renovables, la eco-innovación y las emisiones CO², tienen una relación estable en largo plazo, en donde un cambio positivo en las importaciones y el ingreso incrementa el consumo basado en emisiones de CO²; mientras que las exportaciones, eco-innovación y el consumo de energía renovables, reducen dicho consumo de esas emisiones.

Ahmad *et al.* (2021) analizaron el efecto de la urbanización, globalización financiera, eco-innovación y el crecimiento económico sobre la huella ecológica para los países pertenecientes al G-7 en el periodo de 1980 a 2016 a través de datos panel.

Estos autores encontraron que un incremento del 1% de la eco-innovación y de la globalización financiera reducen en el corto y largo plazo la huella ecológica. En contraparte, un aumento del 1% del crecimiento económico y de la urbanización tienen un efecto positivo, en el corto y largo plazo, sobre la huella ecológica.

Se corrobora la hipótesis de la curva de Kuznets para los países del G-7 y, por último, encuentran que la eco-innovación influye en mejorar la calidad ambiental en dos sentidos, directamente se logra debido a la relación analizada entre eco-innovación y la huella ecológica e indirectamente mediante la interacción conjunta entre la eco-innovación y la urbanización sobre la huella ecológica.

En ese sentido, la curva de Kuznets ambiental (CKA) surge a raíz del trabajo de Kuznets (1955) quien encuentra una relación en forma de “U” invertida entre crecimiento económico y desigualdad en la distribución del ingreso. Entonces, la CKA menciona que existe una relación funcional en el largo plazo en forma de “U” invertida entre el PIB y cualquier medida de contaminación cuantificable o, en otras palabras, que el deterioro ambiental crece en función del crecimiento económico hasta alcanzar un punto determinante a partir del cual, existirá una reducción del deterioro ambiental mientras aumenta el crecimiento económico (Zilo, 2011).

La eco-innovación y la huella ecológica también es analizada en China, Ahmed *et al.* (2020) investigaron el efecto de la renta de los recursos naturales, la urbanización, el crecimiento económico y el capital humano sobre la huella ecológica. Encontraron que, en el corto y largo plazo, un aumento en 1% del crecimiento económico incrementa la huella ecológica, rechazando la hipótesis de la curva de Kuznets (puesto que el coeficiente en el corto plazo resultó menor que en el largo plazo), mientras que, por otro lado, un aumento en 1% de la renta de los recursos naturales incrementa la huella ecológica.

Estos autores analizaron la asociación en el largo plazo entre urbanización y huella ecológica y encontraron que un incremento en 1% en la urbanización aumenta la huella ecológica, mientras que el capital humano la reduce; sin embargo, la

interacción conjunta entre capital humano y la urbanización reducen la huella ecológica.

Afshan y Yaqoob (2022) realizaron un modelo ARDL por cuartiles en el cual se buscó analizar la influencia de la eco-innovación, los recursos naturales y el desarrollo financiero sobre la huella ecológica en China para el periodo de 1990-2017, así como de validar si se cumple la hipótesis de la curva de Kuznets. Descubrieron que, para el largo plazo, la eco-innovación reduce la degradación ambiental en China para todos los cuartiles; aunado a ello, se encontró la presencia de una “U” invertida entre las variables o, en otras palabras, que la actividad económica ejerce una presión negativa sobre el ambiente en un periodo inicial y, con el tiempo, se vuelve positiva.

Por otra parte, mencionan que, en el corto plazo, el PIB y PIB al cuadrado tienen un impacto en la huella ecológica en China mientras que, en lo que respecta al desarrollo financiero, el incremento en los créditos del sector privado aumenta la degradación ambiental.

Hassan *et al.* (2019) realizaron un estudio similar para Pakistán en el que se estimó el impacto del crecimiento económico y los recursos naturales en la huella ecológica utilizando un modelo ARDL para el periodo 1970-2014. Encontraron que, en el largo plazo, el crecimiento económico aumenta la huella ecológica, mientras que el crecimiento económico al cuadrado la reduce.

Esto demuestra que, en principio, el nivel de contaminación asociado al crecimiento económico es mayor; sin embargo, una vez alcanzado un punto óptimo, la contaminación comienza a disminuir, lo que corrobora la hipótesis de la curva de Kuznets. Asimismo, los recursos naturales incrementan la huella ecológica, lo que sugiere un uso inadecuado de estos y evidencia que la política energética no logra reducir la dependencia de las fuentes convencionales de energía con las que cuenta el país.

En el caso de México, Cuevas-Zuñiga *et al.* (2017) realizaron una revisión estructurada sobre las innovaciones verdes en materia de sustentabilidad en México para conocer si son una posible alternativa de energía sustentable. Encontraron que, por las características geográficas de México, las innovaciones verdes son una alternativa sustentable de energía, en particular la energía solar, para poder reducir la dependencia de energías a base de hidrocarburos.

Existen otros trabajos donde aparece la eco-innovación, como los de Maldonado-Guzmán *et al.* (2020), Pinzón-Castro y Maldonado-Guzmán (2023), Peregrina-Mila *et al.* (2023) y Esparza *et al.* (2023); sin embargo, éstos se enfocan en el sector manufacturero, automotriz o como indicador, es decir, en México la eco-innovación parece estar centrada en otros sectores productivos más que en el deterioro ambiental.

Por lo tanto, este trabajo busca cubrir la brecha que existe entre la eco-innovación y el deterioro ambiental en México al analizar si existe una relación entre ambas variables para determinar el estado en el que se encuentra la eco-innovación en el país, en otras palabras, conocer si en México las eco-innovaciones tienen un efecto positivo, negativo o no influyen al deterioro ambiental, así como explicar las posibles causas de ello.

2. Metodología

Para observar los efectos de corto y largo plazo que sostiene la variación de las eco-innovaciones sobre la huella ecológica, se utilizó el modelo autorregresivo con rezagos distribuidos (ARDL por sus siglas en inglés), también conocido como el procedimiento de cointegración de prueba de límites (Pesaran *et al.*, 2001). Este modelo puede relajar las restricciones relacionadas con la necesidad de que todas las variables deben contar con el mismo orden de integración; en otras palabras, pueden ser estacionarias, de primer orden o ambas, asimismo, las variables pueden estar mutuamente cointegradas. De acuerdo con Pesaran *et al.* (2001), la ecuación de un modelo ARDL se representa de la siguiente forma:

$$\Delta y_t = c_0 + y_{t-1} + \theta x_t + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \xi_j \Delta x_{t-j} + \varepsilon_t$$

Donde, Δ representa el operador de diferencias para serie de tiempo, y la variable dependiente, x las variables explicativas, p y q son la longitud óptima del rezago, las variables, tanto explicativas como la dependiente se encuentran en niveles si no tiene el operador en diferencia.

El modelo ARDL presenta una ecuación dinámica que presente una relación ente los efectos de largo y corto plazo, llamado el modelo de corrección de errores (ECM por sus siglas en inglés), el cual es representado:

$$\Delta y_t = c_0 - \alpha(y_{t-1} + \theta x_{t-1}) + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \beta_j \Delta x_{t-j} + \varepsilon_t$$

Al respecto de la ecuación anterior, el signo del coeficiente α , y si es estadísticamente significativo, otorgará las implicaciones de la convergencia a un equilibrio a largo plazo entre las variables independientes y la dependiente.

Para determinar que la matriz de coeficientes a largo plazo es diferente de cero y existe un equilibrio a largo plazo, se utiliza la prueba de Bound propuesta por Pesaran *et al.* (2001).

Para la determinación del orden de integración se emplean las pruebas de raíz Aumentada de Dickey Fuller - ADF (Dickey Fuller, 1981) y de raíz unitaria de Phillip-Perron - PP (Phillip *et al.* 1988). La ecuación ARDL de interés a estimar que permita capturar la dinámica de corto y largo plazo es:

$$\begin{aligned}
 \Delta \ln(he_t) = & c - \alpha [\ln(he)_{t-1} + \theta_1 \ln(RTRN)_{t-i} + \theta_2 \ln(GDP)_{t-i} + \theta_3 \ln(GDP)_{t-i}^2 \\
 & + \theta_4 \ln(df)_{t-i}] + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i \ln(he)_{t-1} + \sum_{j=0}^{q-1} \beta_1 \Delta \ln(ECOI)_{t-j} \\
 & + \sum_{j=0}^{q-1} \beta_2 \Delta \ln(RTRN)_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \beta_3 \Delta \ln(GDP)_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \beta_4 \Delta \ln(GDP)_{t-j}^2 \\
 & + \sum_{j=0}^{q-1} \beta_5 \Delta \ln(df)_{t-j} + \varepsilon_t
 \end{aligned}$$

3. Datos

Para la huella ecológica (he) fueron utilizadas las hectáreas globales per cápita (gha) de México, obtenidas a través del Global Footprint Network (2025a); que consiste en la huella ecológica total nacional, dividida entre la población total, la cual debe ser equivalente a la biocapacidad per cápita disponible para vivir dentro de los límites de los recursos del planeta, que es de 1.6 hectáreas globales (Global Footprint Network, 2025b).

El Producto Interno Bruto per cápita a precios corrientes (GDPP) se utiliza en función de lo presentado por Sarkodie y Strezov (2019) y To *et al.* (2019), los datos se obtuvieron del Banco Mundial (2025a). Por su parte, la eco-innovación (ECOI) se midió a través del porcentaje de patentes ambientales con relación al total de patentes utilizadas, calculado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2025).

En cuanto a la renta de los recursos naturales (RTRN), los datos se obtuvieron del Banco Mundial (2025b), y calculados como porcentaje del PIB. Finalmente, el desarrollo financiero se calculó como el porcentaje del crédito interno de los bancos al sector privado como porcentaje del PIB, como es presentado por Yu *et al.* (2024), obtenido de Banco Mundial (2025c).

El objetivo de este trabajo es estimar la relación de estas variables con la huella ecológica y como objetivo secundario se propone comprobar la hipótesis de la Curva de Kuznets, para ello, se calculó el cuadrado del PIB per cápita (GDP²). Todas las variables se transformaron en logaritmos naturales, esto se debe a que transformar las variables en logaritmos naturales permite controlar la heterocedasticidad y hacer un análisis robusto (Wang y Liu, 2019).

4. Resultados

La media, mediana, el mínimo y el máximo de las variables seleccionadas se encuentran en la **Tabla 1**.

Hay que destacar que, de 1990 a 2020 el PIB per cápita promedio en México fue de 8,056 dólares, mientras que en el mundo fue de 7,700 dólares, es decir, en los últimos 30 años, en promedio el PIB per cápita de México ha sido superior que el PIB per cápita mundial, en la **Figura 1** se observa la evolución de esta variable en el periodo de estudio.

Lo mismo ocurre para la huella ecológica de 1990 a 2020, en México ha sido en promedio de 2.91gha, mientras que el promedio global ha sido de 2.62gha, en la **Figura 2** se observa la evolución de esta variable. Se puede observar que, en promedio, el PIB per cápita y la huella ecológica en México para el periodo seleccionado ha sido superior el promedio global.

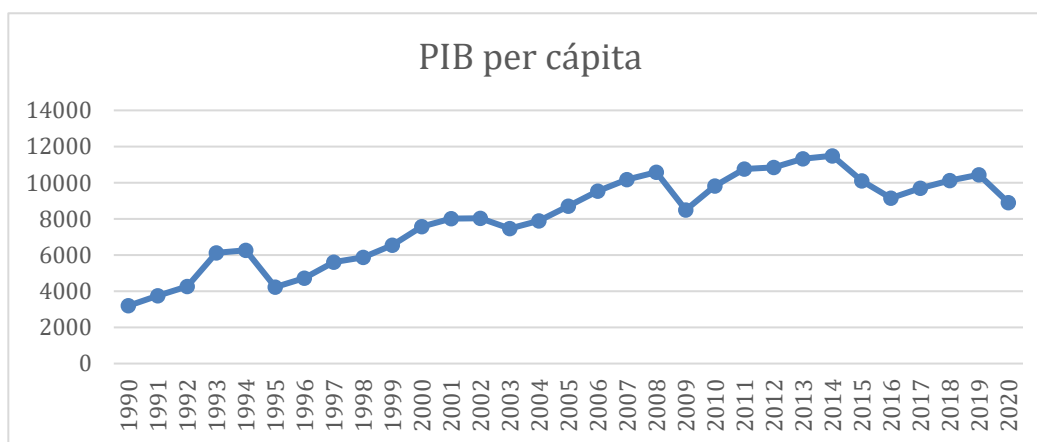
Tabla 1
Estadísticas Descriptivas

Variable	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
lnhe	1.063675	0.121501	0.78427	1.428218
lnECOI	2.23721	0.412375	0.955511	2.727853
lnRTRN	1.268859	0.453093	0.444579	2.060917
lnGDPP	8.940568	0.352271	8.069943	9.349234
ln df	-1.67564	0.28124	-2.20385	-1.22262

Fuente: Elaboración propia.

En el comportamiento de observado (**Figura 1**), muestra que el PIB per cápita tuvo una tendencia creciente durante el periodo de 1990 a 2020 (una tasa de crecimiento del 5.94% por año), a excepción de años como 1995, 2009, 2016 y 2020 donde se observan decrecimientos.

Figura 1
Tendencia del PIB per cápita en dólares corrientes en México 1990-2020

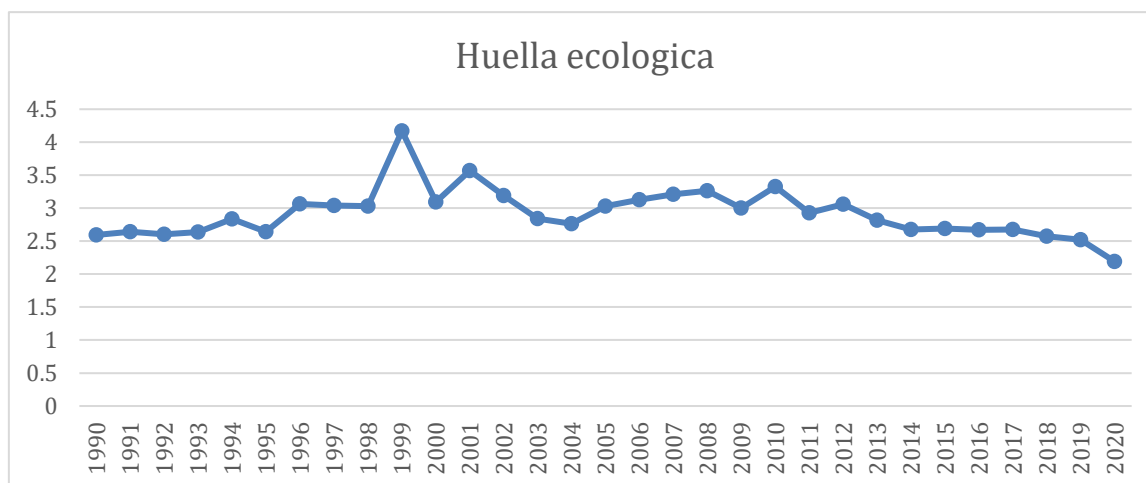


Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 2** se puede observar cómo ha variado la huella ecológica de 1990 a 2020. La huella ecológica decreció a una tasa de 0.52% por año, a excepción de los años 1999, 2001 y 2010, donde se aprecian incrementos de la huella ecológica.

Figura 2

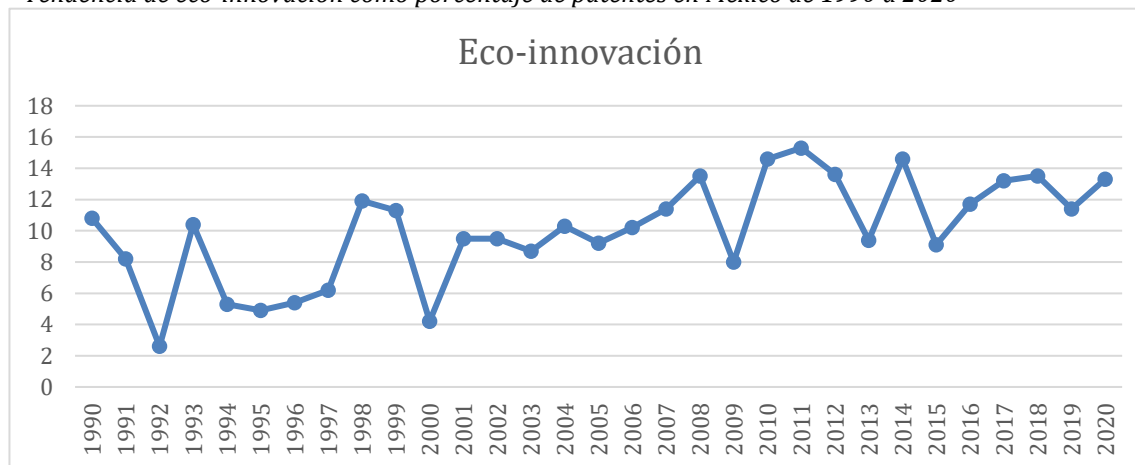
Tendencia de la huella ecológica en hectáreas globales per cápita en México de 1990 a 2020



En la **Figura 3** se observa cómo ha variado la eco-innovación como porcentaje de patentes ambientales con relación al total de patentes en México. Esta variable se incrementó en un 23.15% de 1990 a 2020, lo que implica un crecimiento promedio de 0.77% por año.

Figura 3

Tendencia de eco-innovación como porcentaje de patentes en México de 1990 a 2020



Fuente: Elaboración propia

Para determinar el orden de integración se usó la prueba ADF y la PP (**Tabla 2**), con estas pruebas se determina en qué diferencia la variable es estacionaria.

Tabla 2
Prueba de raíz unitaria ADF y PP

Variable	ADF		PP	
	Niveles	Diferencia	Niveles	Diferencia
	T-estadística	T- estadística	T- estadística	T- estadística
lnhe	-1.235	-5.004***	-2.125	-10.079 ***
lnECOI	-6.009***	-9.282***	-6.985***	-9.790***
lnRTRN	-1.84	-4.504***	-2.334	-4.954***
lnGDPP	-2.435	-5.627***	-2.375	-4.990***
ln df	-1.035	-4.605***	-1.331	-5.832***

Nota: ***: p-valor<0.01; **: p-valor<0.05; *: p-valor<0.10

Fuente: Elaboración propia.

La evidencia empírica muestra diferentes órdenes de integración para las diferentes variables, tanto de orden $I(1)$ como $I(0)$, debido ello, y conforme a lo mencionado en Ahmed *et al.* (2020), se optó por usar un modelo ARDL.

Los rezagos son seleccionados con base en el criterio Akaike, de esta forma, el modelo estimado fue un ARDL (1,1,2,2,2), la estimación de este orden de rezagos fue hecha con “auto_ardl” (Natsiopoulou y Tzeremes, 2021). En la **Tabla 3** se muestran los resultados de la estimación del ARDL con corrección de error.

Tabla 3
ARDL con corrección de errores para la ecuación de la huella ecológica en México 1990-2020

Variable	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico	P>valor
(Adj α) lnhe_L1	-0.9263835	0.2257386	-4.1	-0.001
Efecto de Largo plazo				
lnECOI	0.1375625	0.1308008	1.05	-0.309
lnRTRN	0.1214941	0.0617488	1.97	0.067*
lnGDPP	-0.1031906	0.165642	-0.62	-0.542
ln df	-0.2528565	0.0741256	-3.41	0.004***
Efecto de Corto plazo				
lnECOID1	-0.0540806	0.0661359	-0.82	-0.426
lnRTRMD1	-0.0632977	0.0638909	-0.99	-0.337
lnRTRMLD1	-0.1836575	0.0683533	-2.69	0.016**
lnGDPPD1	0.2057105	0.1330725	1.55	-0.142
lnGDPPLD	0.2527237	0.1522005	1.66	-0.116
ln dfD1	-0.3183387	0.1658476	-1.92	0.073*
ln dfLD	-0.3040466	0.1284859	-2.37	0.031**
cons	1.015768	1.048534	0.97	-0.347

Nota: ***: p-valor<0.01; **: p-valor<0.05; *: p-valor<0.10

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la relación de largo plazo se aplicaron las pruebas de Bound test F y t, para la heterocedasticidad se realizó la prueba de Breusch-Pagan, en el caso de la autocorrelación no correlación serial la prueba de Breusch-Godfrey y para la prueba de normalidad la Jarque-Bera, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Pruebas de diagnóstico del modelo ARDL

Prueba	P-valor
Bound Test F	0.02231**
Bound Test t	0.03879**
Breusch-Pagan	-0.3228
Breusch-Godfrey	-0.3587
Jarque- Bera	-0.7199

Nota: ***: p-valor<0.01; **: p-valor<0.05; *: p-valor<0.10

Fuente: Elaboración propia.

Con base en estos resultados, se observó que el modelo ARDL estimado no presenta problemas de correlación serial, normalidad, ni de heterocedasticidad y hay cointegración es decir relación de largo plazo entre las variables.

La evidencia empírica encontrada muestra que la relación entre el PIB y la huella ecológica no es significativa ni en el corto ni en el largo plazo. Asimismo, al considerar la evidencia empírica, así como el trabajo de Grossman y Krueger (1991), donde se encuentran una “U” invertida entre el crecimiento económico y la contaminación o, en otras palabras, que existe un incremento de la contaminación y del crecimiento económico hasta alcanzar un punto de inflexión a partir del cual la contaminación ambiental disminuye mientras que el crecimiento económico continua en aumento (curva de kuznets ambiental), así como los trabajos de (Tao *et al.*, 2021) y de (Afshan y Yaqoob, 2022), que evalúan sus modelos usando el PIB per cápita al cuadrado, se estimó un segundo modelo donde se incluyó al PIB per cápita al cuadrado para corroborar si se cumple la hipótesis de la curva de Kuznets ambiental.

De esta forma, el logaritmo natural del PIB per cápita al cuadrado es estacionaria en primera diferencia, y, al tomar los criterios ADF, PP, así como el criterio Akaike, el modelo a estimar es un ARDL (1,1,2,1,1,2). Es decir, un rezago para la huella ecológica, un rezago para la eco-innovación, dos rezagos para el retorno de los recursos naturales, un rezago para el PIB per cápita lineal, un rezago para el PIB per cápita al cuadrado y dos rezagos para el desarrollo financiero. Los resultados estimados se observan en la **Tabla 5**.

Tabla 5

Modelo ARDL con corrección de errores con PIB per cápita² para la ecuación de la huella ecológica en México 1990-2020

Variable	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico	P>valor
(Adj α) lnhe_L1	-0.8870331	0.2014834	-4.4	-0.001
Efecto de Largo plazo				
lnECOI	0.1558175	0.1297879	1.2	-0.249
lnRTRN	0.1915524	0.0921318	2.08	0.055*
lnGDPP	10.20489	7.48455	1.36	-0.193
lnGDPP2	-0.5874624	0.4228162	-1.39	-0.185
ln _{df}	-0.1464402	0.1140947	-1.28	-0.219
Efecto de Corto plazo				
lnECOID1	-0.0984414	0.0639561	-1.54	-0.145
lnRTRND1	-0.2288517	0.0877887	-2.61	0.020**
lnRTRNLD	-0.1934838	0.0652505	-2.97	0.010**
lnGDPPD1	-12.74616	5.366137	-2.38	0.031**
lnGDPP2D1	0.7418325	0.306943	2.42	0.029**
ln _{df} D1	-0.3344725	0.164392	-2.03	0.060**
ln _{df} LD	-0.2694754	0.1148258	-2.35	0.033**
cons	-39.01711	29.81564	-1.31	-0.21

Nota: ***: p-valor<0.01; **: p-valor<0.05; *: p-valor<0.10

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, con base en esta nueva estimación y, al considerar los coeficientes de largo plazo, la evidencia empírica obtenida sugiere que el modelo no cumple la curva de Kuznets ambiental, ya que, en el corto plazo, la relación entre el PIB y la huella ecológica es en forma de “U”, en otras palabras, mientras el producto interno bruto se incrementa la contaminación disminuye hasta un punto determinado, a partir del cual la huella ecológica se vuelve a incrementar en el corto plazo.

Tabla 6

Pruebas de diagnóstico del modelo ARDL con PIB al cuadrado

Prueba	P-valor
Bound Test F	0.01608**
Bound Test t	0.03128**
Breusch-Pagan	0.0457**
Breusch-Godfrey	-0.1758
Jarque- Bera	-0.9728

Nota: ***: p-valor<0.01; **: p-valor<0.05; *: p-valor<0.10Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de diagnóstico para el segundo modelo (**Tabla 6**) muestran que al 95% existe cointegración, normalidad de los errores y no autocorrelación serial. Por otra

parte, la prueba Breusch-Pagan muestra que existe heteroscedasticidad, por lo cual el segundo modelo no cumple con el supuesto de varianza constante.

4. Discusión

En el corto y largo plazo, solo el desarrollo financiero es significativo, éste cuenta con un signo negativo, lo que indica que el aumento del desarrollo financiero ayuda a reducir la huella ecológica. Un aumento de un punto porcentual en el desarrollo financiero en el largo plazo disminuye la huella ecológica en -0.4743204%, esto contrasta con los resultados de Z.-Z. Li *et al.* (2021) y Afshan y Yaqoob (2022) quienes encuentran que el aumento del desarrollo financiero incrementa la degradación ambiental debido a que dicho desarrollo financiero está basado en la industrialización y, de acuerdo con Arango-Miranda *et al.* (2018), la industria es una de las mayores fuentes de contaminación del aire.

El efecto del desarrollo financiero obtenido se relaciona con lo planteado en Tamazian y Bhaskara-Rao (2010), lo cuales mencionan que el incremento del desarrollo financiero puede facilitar la inversión en proyectos verdes, y con ello, disminuir la contaminación.

Asimismo, la evidencia empírica sugiere que la eco-innovación no es significativa ni el corto ni en el largo plazo para México, esto se contrasta con Tao *et al.* (2021) y Afshan y Yaqoob (2022) quienes encuentran que la eco-innovación ayuda a reducir la contaminación. No obstante, para los países de la OCDE, J. Li *et al.* (2020) observaron que la eco-innovación aumenta la contaminación.

De esta forma, la literatura consultada muestra que la eco-innovación en algunos casos incrementa la huella ecológica y en otros la reduce; sin embargo, para el caso de México, no hay evidencia empírica suficiente en la cual se observe que la eco-innovación tenga un impacto positivo o negativo sobre la huella ecológica.

En cuanto a la explicación del por qué las eco-innovaciones no influyeron a la huella ecológica, al observar el porcentaje de patentes verdes del total de patentes totales, se puede ver que, tan solo en México para el 2020 se contaba con un total de 13.3 %, mientras que en la OCDE se tenía un total de 11.2 %. Asimismo, durante el periodo de 1990 a 2020 México tuvo un promedio de patentes verdes de alrededor al 10%, mientras que la OCDE fue de 9.83%; es decir, México creó una mayor cantidad de patentes verdes; sin embargo, cuando se compara con el porcentaje de contribución a las patentes totales, el promedio de solo 0.068%.

Por lo tanto, el motivo por el cual la eco-innovación no es significativa podría atribuirse al bajo número de patentes ambientales producidas en México con respecto al resto de los países de la OCDE. Por otra parte, en lo que respecta a la renta de los recursos naturales, la explicación es similar a la encontrada sobre la eco-innovación y la huella ecológica, pues no se encontró evidencia empírica suficiente donde se demuestre una relación en el corto o largo plazo.

Pese a ello, la relación calculada entre la eco-innovación y la renta de los recursos naturales es similar a lo mencionado por Ahmed *et al.* (2020), lo cual contrasta con lo encontrado por Hassan *et al.* (2019); sin embargo, debido a que México todavía

es dependiente de energías basadas en hidrocarburos, se esperaba encontrar una influencia similar sobre la huella ecológica a lo encontrado por dichos autores.

Para el caso del PIB per cápita, solo en el corto plazo la primera diferencia tiene impacto en la huella ecológica; es decir, el incremento de un punto porcentual en la primera diferencia del PIB per cápita, incrementa la huella ecológica en un 0.3842283%, existiendo una relación lineal creciente entre el PIB y la huella ecológica en el corto plazo.

Este resultado podría deberse al efecto escala, en el cual, el incremento de las actividades económicas sin cambios en las estructuras de producción, lo que conlleva como consecuencia a incrementos en la contaminación (Grossman y Krueger, 1991). De igual manera, no hay evidencia empírica suficiente para contrastar la razón del porqué el PIB per cápita no tuvo impacto en el largo plazo sobre la huella ecológica.

Por la parte de la hipótesis de la Curva de Kuznets, el resultado obtenido se contrasta con los resultados de Tao *et al.* (2021) y de Afshan y Yaqoob (2022), ya que ambos encuentran evidencia empírica de la curva en forma de “U” invertida entre el PIB y la degradación ambiental, mientras que el presente trabajo no encuentra evidencia empírica de la existencia de la curva de Kuznets ambiental en el largo plazo, pues los betas asociados al PIB no son significativo. Entonces, el PIB per cápita no tiene impacto en la huella ecológica, pese a que Tamazian y Bhaskara-Rao (2010) encuentran evidencia empírica de la CKA para países en desarrollo.

Asimismo, Barbier (1997) destaca que la significancia conjunta de la CKA no significa que individualmente se cumpla, este podría ser el caso México, ya que se encuentra evidencia empírica a favor en datos panel donde se incluya a México, de manera individual para el periodo de estudio se rechaza la hipótesis de la curva de Kuznets. Aunado a ello, cabe mencionar que el desarrollo financiero es significativo tanto en el corto como en el largo plazo, independientemente de la variable agregada.

5. Conclusión

Para el caso de México, las eco-innovaciones no tienen influencia en la degradación ambiental debido a la baja aportación de patentes creadas con relación al resto de países de la OECD. Asimismo, la renta de los recursos naturales y el PIB per cápita al cuadrado no influyen a la huella ecológica, caso contrario al desarrollo financiero que reduce la degradación ambiental en el corto y largo plazo, lo cual podría implicar que la inversión que se destina a los proyectos ambientales ayuda a reducir la degradación ambiental. Por otra parte, el PIB per cápita aumenta la degradación ambiental en el corto plazo (OECD, 2007).

Las relaciones estimadas entre las diferentes variables difirieron con respecto al resto de autores que realizaron trabajos similares, lo cual podría atribuirse a la escasa literatura especializada en México en la cual se relacione eco-innovación y degradación ambiental. En ese sentido, se considera que es necesario ampliar las investigaciones sobre las innovaciones verdes en los distintos sectores económicos de México para la comparación de resultados y poder explicar con mayor precisión los distintos efectos que la eco-innovación puede tener en este país. Ejemplo de ello fueron los resultados

obtenidos de la renta de los recursos naturales y de la eco-innovación misma en esta investigación.

Asimismo, la importancia de la eco-innovación radica en su concepción en sí, pues un país eco-innovador es aquel en el que se generan innovaciones, las cuales, por definición, permiten reducir las presiones que se ejercen sobre el ambiente al mismo tiempo que se logra emplear de mejor manera los recursos. Por lo tanto, se haría uso de energías alternativas a los combustibles fósiles que permitiría reducir la dependencia de estos combustibles en economías como la de México. En este tenor, la evidencia empírica sugiere que México todavía tiene un largo camino por delante en la transición hacia una economía verde; capaz de igualar o superar a países que están a la vanguardia de la eco-innovación como lo es el caso de China, Dinamarca, Alemania, Finlandia, entre otros.

No obstante, es importante destacar que, la principal limitante de este trabajo se centra en utilizar únicamente a las patentes ambientales para medir la eco-innovación en México, ya que el proceso de eco-innovar no se limita solo a la creación de tecnologías sino también a los resultados que se obtienen de estas en los distintos sectores de la economía, ejemplo de ello es el índice de eco-innovación¹ desarrollado por la Unión Europea en 2013, en el cual se incluyen otras áreas de aplicación de la eco-innovación, como las personas empleadas en sector de I+D relacionadas a la eco-innovación, resultados de eficiencia de recursos, resultados socioeconómico, entre otros.

Por otra parte, la escasa literatura especializada limita la posibilidad de discutir a profundidad los resultados obtenidos, como fue el caso de la relación entre la renta de los recursos naturales y la eco-innovación con la huella ecológica, las cuales no influyeron al deterioro ambiental, así como de complementar las explicaciones relacionadas al por qué el desarrollo financiero es la única variable que reduce el deterioro ambiental en el corto y largo plazo.

Referencias

- Afshan**, S., y **Yaqoob**, T. (2022). The potency of eco-innovation, natural resource and financial development on ecological footprint: quantile-ARDL-based evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(33). 50675-50685. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19471-w>
- Ahmad**, M., **Jiang**, P., **Murshed**, M., **Shehzad**, K., **Akram**, R., **Cui**, L., y **Khan**, Z. (2021). Modelling the dynamic linkages between eco-innovation, urbanization, economic growth and ecological footprints for G7 countries: does financial globalization matter? *Sustainable Cities and Society*, (70). 102881. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102881>
- Ahmed**, Z., **Asghar**, M. M., **Malik**, M. N., y **Nawaz**, K. (2020). Moving towards a sustainable environment: the dynamic linkage between natural resources, human capital,

¹ Véase en https://green-business.ec.europa.eu/eco-innovation_en

- urbanization, economic growth, and ecological footprint in China. *Resources Policy*, (67). 101677. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101677>
- Arango-Miranda**, R., Hausler, R., Romero-López, R., Glaus, M., y Ibarra-Zavaleta, S. P. (2018). An overview of energy and exergy analysis to the industrial sector, a contribution to sustainability, *Sustainability*, 10(1), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su10010153>
- Banco Mundial**. (2025a). *Domestic credit to private sector by banks (% of GDP)*. World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/Series/FD.AST.PRVT.GD.ZS>
- Banco Mundial**. (2025b). *GDP per capita (current US\$) - Mexico*. *GDP per Capita*. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?locations=MX&name_desc=false
- Banco Mundial**. (2025c). *Rentas totales de los recursos naturales (% del PIB)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.TOTL.RT.ZS>
- Barbier**, E. B. (1997). Introduction to the environmental Kuznets curve special issue. *Environment and Development Economics*, 2(4), 369-381. <https://doi.org/10.1017/S1355770X97000193>
- Dickey**, D. A., Fuller, W. A. (1981). likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), 1057-1072. <https://doi.org/10.2307/1912517>
- Esparza**, E. A., Juárez, I. L. S., y Almada, R. M. G. (2023). *ECONOMÍA CIRCULAR, ECO-INNOVACIÓN Y CAPITAL HUMANO EN EL SECTOR HOTELERO DE LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO*. Editorial Fontamara SA de CV. <https://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/26123/Final%20ECONOMIA%20CIRCULAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fussler**, C. y James, P. (1996). *Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*. London. Pitman Publishing.
- Global Footprint Network**. (2025a). *Ecological footprint. Country Trends*. <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=138&type=earth>
- Global Footprint Network**. (2025b). *Ecological footprint. Glossary*. <https://www.footprintnetwork.org/resources/glossary/>
- Grossman**, G. M., y Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. *NBER Working Paper*, (3914). <https://doi.org/10.3386/w3914>
- Hassan**, S. T., Xia, E., Khan, N. H. y Shah, S. M. A. (2019). Economic growth, natural resources, and ecological footprints: evidence from Pakistan. *Environ Sci Pollut Res*, (26), 2929-2938. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3803-3>
- Kemp**, R., y Pearson, P. (2007). *Final report MEI project about measuring eco-innovation*. OECD. <https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>
- Khan**, Z., Ali, S., Umar, M., Kirikkaleli, D., y Jiao, Z. (2020). Consumption-based carbon emissions and international trade in G7 countries: the role of environmental innovation and renewable energy. *Science of the Total Environment*, (730). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138945>
- Kuznets**, S., (1955). Economic growth and income inequality. *American Economic Review*, 49, 1-28.

- Lee, S. M., y Trimi, S. (2018). Innovation for creating a smart future. *Journal of Innovation & Knowledge*, 3(1). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2016.11.001>
- Li, J., Zhang, X., Ali, S., y Khan, Z. (2020). Eco-innovation and energy productivity: New determinants of renewable energy consumption. *Journal of Environmental Management*, (271). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111028>
- Li, Z.-Z., Li, R. Y. M., Malik, M. Y., Murshed, M., Khan, Z., y Umar, M. (2021). Determinants of Carbon Emission in China: How Good is Green Investment? *Sustainable Production and Consumption*, (27), 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.008>
- Maldonado-Guzmán, G., Pinzón Castro, S. Y., y Alvarado Carrillo, A. (2020). Responsabilidad Social Empresarial, Eco-innovación y Rendimiento Sustentable en la Industria Automotriz de México. *Revista Venezolana De Gerencia*, 25(89). <https://doi.org/10.37960/revista.v25i89.31394>
- Miret-Pastor, L., Segarra Oña, M., y Peiró Signes, Á. (2011). ¿Cómo medimos la Ecoinnovación? Análisis de indicadores en el Sector Turístico. *Tec Empresarial*, 5(2), pp. 15-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3706940>
- Mongo, M., Belaïd, F., y Ramdani, B. (2021). The effects of environmental innovations on CO₂ emissions: Empirical evidence from Europe. *Environmental Science & Policy*, (118). <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.12.004>
- Montoya-Corrales, C. A. (2012). *DESTRUCCIÓN CREATIVA*. *Revista Ciencias Estratégicas*, 20(28). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=151326917001>
- Natsiopoulos, K., y Tzeremes, N. (2023). ARDL: ARDL, ECM and bounds-test for cointegration [R package]. Comprehensive R Archive Network (CRAN). <https://CRAN.R-project.org/package=ARDL>
- OECD. (2007). *Manual de Oslo*. Comunidad de Madrid. <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001708.pdf>
- Peregrina-Mila, M. I., Olivera-Pérez, E., El Gibari, S. y Ruiz-de la Rúa, F. (2023). Indicador de eco-innovación basado en puntos de referencia múltiple: Caso de estudio Clúster Saint Gobain. *Ciencia Nicolaita*, (88) <https://doi.org/10.35830/cn.vi88.643>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., y Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Phillip, P. C. B., Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346. <https://doi.org/10.2307/2336182>
- Puertas, R., y Marti, L. (2021). Eco-innovation and determinants of GHG emissions in OECD countries. *Journal of Cleaner Production*, (319). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128739>
- Sarkodie, S. A., y Strezov, V. (2019). Effect of foreign direct investments, economic development and energy consumption on greenhouse gas emissions in developing countries. *Science of The Total Environment*, 646, 862-871. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.365>
- Schumpeter, J. A. (1997). *Teoría del desenvolvimiento económico: Una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico* (J. Prados Arrarte, Trad., 2.ª ed.). Fondo de Cultura Económica.

- Tamazian, A.**, y Bhaskara-Rao, B. (2010). Do economic, financial and institutional developments matter for environmental degradation? Evidence from transitional economies. *Energy Economics*, 32(1), 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.04.004>
- Tao, R.**, Umar, M., Naseer, A., y Razi, U. (2021). The dynamic effect of eco-innovation and environmental taxes on carbon neutrality target in emerging seven (E7) economies. *Journal of Environmental Management*, (299). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113525>
- To, A. H.**, Ha, D. T. T., Nguyen, H. M. y Vo, D. H. (2019). The Impact of Foreign Direct Investment on Environment Degradation: Evidence from Emerging Markets in Asia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9), 1636. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091636>
- Unión Europea.** (2006). *Decisión (UE) 2006/1639 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de octubre de 2006, relativa al Programa Marco para la Innovación y la Competitividad* (Diario Oficial de la Unión Europea, L 310, 9 de noviembre de 2006, pp. 15-40). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006D1639>
- Voegtlin, C.**, y Scherer, A.G. (2017). Responsible Innovation and the Innovation of Responsibility: Governing Sustainable Development in a Globalized World. *J Bus Ethics*, (143), 227-243. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2769-z>
- Wang, H.**, y Liu, H. (2019). Foreign direct investment, environmental regulation, and environmental pollution: an empirical study based on threshold effects for different Chinese regions. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(6), 5394-5409. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3969-8>
- Zilo, M. I.** (2011). 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)
- Cuevas-Zuñiga, I. Y.**, Rocha-Lona, L., y Soto-Flores, M. del R. (2017). *Tecnologías verdes: energías renovables como una alternativa sustentable para México*. En *Memoria del XI Congreso de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad* (pp. 1557-1575). Red Internacional de Investigadores en Competitividad. <https://tinyurl.com/7rnevj5d>

Anexo

Tabla 7

Criterio AIC del modelo ARDL con corrección de errores de la tabla 3

lnhe	lnecoi	lnrtrn	lngdp	lnf2	AIC
1	1	2	2	2	-52.71664
1	1	2	1	2	-50.10605
1	1	2	2	3	-47.20233
1	1	2	1	1	-47.02375
1	1	2	2	1	-46.01393

Fuente: Elaboración propia.