

Licencia Creative Commons (CC BY-NC 4.0)

Artículos Científicos

DOI: <https://doi.org/10.25009/uvs.vi19.3101>

Evolución del crecimiento verde en México: Efectos de la destrucción creativa verde a través de una serie temporal

Evolution of green growth in Mexico: Effects of green creative destruction through a time series

José Adolfo Carmona-Arcos ^{a*} | Arturo Bocardo-Valle ^b

Recibido: 27 de enero de 2025.

Aceptado: 27 de marzo de 2025.

^a Universidad Veracruzana. Xalapa, México. Contacto: carmona.jadolfo@gmail.com | ORCID: 0009-0009-9623-7259 *Autor para correspondencia.

^b Consultor independiente. Xalapa, México. Contacto: abocardo@uv.mx | ORCID: 0000-0002-0787-8751

Cómo citar:

Carmona-Arcos, J. A. y Bocardo-Valle, A. (2025). Evolución del crecimiento verde en México: Efectos de la destrucción creativa verde a través de una serie temporal. *UVserva*, (19), 240-256. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi19.3101>

Resumen: La destrucción creativa es un proceso a través del cual se genera crecimiento económico mediante una constante innovación, producido en un ambiente de competitividad entre las empresas. La destrucción creativa verde, es generada a partir de innovaciones que contribuyen al desarrollo sustentable disminuyendo los impactos negativos en el ambiente, o conocidas como “verdes”. La presente investigación tiene por objetivo presentar el impacto de estas innovaciones en el crecimiento verde en México, que permite evaluar su papel en la competitividad empresarial, combate al cambio climático y la formulación de políticas públicas óptimas. El estudio emplea un modelo dinámico en series de tiempo para el análisis del periodo de 1995 al 2019. La evidencia empírica sugiere que no existe una relación entre el desarrollo de tecnologías ambientales en el crecimiento verde (significancia estadística superior al 0.05), comprobando que la generación de tecnologías relacionadas con el ambiente que “destruyan” a las existentes, no tiene relación con el crecimiento verde en México, sin embargo, los rendimientos del capital humano si tiene una inferencia significativa y positiva (coeficiente de 6.015). De acuerdo con los resultados de esta investigación, en términos de crecimiento verde para la economía mexicana, se debería analizar un enfoque de Investigación y Desarrollo (I+D) con un enfoque proactivo para incentivar el desarrollo de mayores innovaciones verdes que causen destrucción creativa verde.

Palabras clave: Economía verde; tecnologías verdes; dinámica ambiental; México.

Abstract: *Creative destruction is a process through which economic growth is generated by constant innovation, fostered in a competitive environment among firms. Green creative destruction arises from innovations that contribute to sustainable development by reducing negative environmental impacts, commonly known as green innovations. The objective of this research is to present the impact of these innovations on green growth in Mexico, allowing for an evaluation of their role in business competitiveness, climate change mitigation, and the formulation of optimal public policies. The study employs a dynamic time series model to analyse the period from 1995 to 2019. Empirical evidence suggests that there is no significant relationship between the development of environmental technologies and green growth (with statistical significance levels above 0.10 and 0.05). This confirms that the generation of environmentally related technologies that “destroy” existing ones is not linked to green growth in Mexico. However, human capital returns do show a significant and positive effect (with a coefficient of 6.015). According to the results of this research, in terms of green growth for the Mexican economy, it is necessary to consider a proactive Research and Development (R&D) approach to foster the development of more green innovations that can drive ecological creative destruction.*

Keywords: *Green Economy; Green Technologies; Environmental Dynamic; Mexico.*

Introducción

Las innovaciones tecnológicas han sido una de las principales tareas para la humanidad a través de la historia (Lee, 2015). El objetivo de las innovaciones es más que proveer una mayor utilidad al consumir, mayor competencia entre empresas o una mejor calidad de vida. El objetivo primordial de las innovaciones es crear un mejor futuro (Lee y Trimi, 2016). La premisa de “innova o muere” ha dominado las políticas de ciencia y la tecnología durante las últimas décadas de la sociedad (Pansera y Fressoli, 2021). Bajo esta consideración las innovaciones han sido vistas como inevitables y necesarias para el progreso y la prosperidad (Robra *et al*, 2023).

La generación de constantes innovaciones, en una economía capitalista, desembocará en un sistema de producción dinámico en constante evolución; en donde, existe el desarrollo de nuevas innovaciones “destruyen” a las existentes, convirtiéndolas en “obsoletas”, promoviendo la competencia, en la búsqueda de dominar las formas de producción, a lo anterior, el economista Joseph A. Schumpeter (1997) lo presentó como destrucción creativa.

La destrucción creativa es un motor de cambio poderoso, permitiendo reemplazar tecnologías y lo más importante, cambiar radicalmente la forma de producir. Ante la urgencia ambiental, surge la pregunta si la destrucción creativa a base de innovaciones reorientadas hacia tecnologías verdes puede ser ese motor de cambio ambiental y económico. (Aghion, 2021)

Las innovaciones precedidas del concepto de destrucción creativa, complementadas con la aplicación de la ciencia; en búsqueda de desarrollo y expansión de los mercados, ha conducido a una era de crecimiento económico y de aumento de bienes materiales (Robra *et al*, 2023). Con relación a la búsqueda de un crecimiento económico continuo, en la década de 1970 empezaron a sonar las consecuencias en términos de problemática ambiental (Meadows *et al*, 1972); cambio climático, incremento del nivel del mar, extinción de especies y otros tipos de degradación ambiental.

El crecimiento económico está fuertemente ligado a los incrementos en la producción, consumo y uso de recursos naturales, y, de los efectos negativos en el ambiente y en la salud humana, por lo cual la sociedad ha requerido rediseñar la idea de que crecimiento y progreso, y su aportación a la sustentabilidad global (European Environment Agency, 2021).

En este tenor, los incrementos observados en el crecimiento económico que ha sido acompañado por la escasez de recursos y degradación ambiental han requerido que los desarrolladores de políticas deban perseguir no solo el crecimiento económico sino también el desarrollo sustentable (Chen *et al*, 2023).

Asimismo, el concepto de crecimiento verde implica el control de las emisiones derivadas por la producción y la demanda, a través del uso de tecnologías verdes; con el objetivo de alcanzar una producción sostenible (Ullah *et al*, 2021). Guo *et al* (2017) señalan que el crecimiento verde es una solución viable para la mitigación de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

En la composición de la presente investigación, se encuentra en la primera sección, la revisión de la literatura relacionada a la interacción entre crecimiento verde y la generación de tecnologías relacionadas con el ambiente (destrucción creativa verde), así como, demás variables, como la generación de patentes, el desarrollo financiero, a la generación de capital humano y el gasto gubernamental en consumo final.

En la segunda sección se encuentra la metodología del modelo económico I+D, del cual subyace esta investigación, y, el modelo dinámico en series de tiempo a estimar; seguido de los resultados obtenidos de la evidencia empírica de la regresión econométrica y su interpretación; por último, discusión y conclusiones.

1. Análisis de la literatura

El crecimiento verde está definido como el crecimiento que sucede con una reducción de impactos ambientales y ecológicos, y, de incremento del bienestar humano. El exitoso del modelo de producción del siglo XX fracasa hoy en día debido a que nos encontramos con el encarecimiento de materias primas y a las limitadas tasas de regeneración de residuos de la tierra (Jänicke, 2012). Aghion & Howitt (1992) presentaron en el marco de crecimiento por Investigación y Desarrollo (I+D) que las tecnologías verdes tienen un impacto positivo en el crecimiento económico, basada en la idea de que estas tecnologías verdes son la idea representativa de la destrucción creativa, este modelo requiere de capital humano para la generación de tecnologías, incentivado de los beneficios que obtiene por generar dichas innovaciones.

Ahmed *et al* (2022) analiza el efecto de las innovaciones, comercio y la producción de energía verdes en el crecimiento económico verde en Pakistán, India, Nepal, Sri Lanka y Bangladesh para los años 2000 a 2018 a través de un modelo de datos panel. Los autores encontraron que las innovaciones ambientales tienen un impacto positivo y significativo en el crecimiento económico verde en las economías del sur de Asia, mencionan que esto es debido a que promueven tecnologías amigables y asequibles que reducen la contaminación e incrementan el progreso económico sustentable. En este tenor, Hsu *et al* (2021) señalan que para el desarrollo de la sustentabilidad ambiental es necesario el progreso tecnológico para poder ser efectivo para el bienestar humano y de las generaciones futuras, en donde, puntualizan que muchos investigadores han presentado la significancia del avance tecnológico en este objetivo.

En términos de productividad, Ghisetti y Quatraro (2017) presentan una relación entre las innovaciones ambientales y su inferencia en la productividad ambiental en algunas regiones de Italia en los años 2002 a 2018 a través de un modelo Durbin Espacial (SDM). Los autores presentan la hipótesis de que las innovaciones generan mejoras significativas en la productividad ambiental, para lo anterior, utilizan sectores industriales; en una vinculación vertical, es decir, que están interconectados en una cadena de suministro. Los resultados de las regresiones econométricas realizadas por los autores señalan que, existe un impacto positivo y significativo de las innovaciones en la productividad ambiental, tanto dentro de los mismos sectores como

a través de sectores vinculados. Por lo anterior, los autores mencionan que es un respaldo a la hipótesis de que la regulación ambiental puede fomentar la innovación y la competitividad.

Las innovaciones verdes no solamente conllevan una relación positiva con el crecimiento verde. Para que una empresa decida innovar, y, para que estas tecnologías relacionadas con el ambiente sean efectivas, deben de estar fuertemente relacionadas con su desempeño. Zhang *et al* (2019) para empresas de *China Stock Market and Accounting Research Database (CSMAR)* en el periodo de 2000 a 2010, a través de una regresión lineal, con los rendimientos de la empresa (en el año $t + 3$) como variable dependiente; y, patentes ambientales, activos totales, ventas y variables de control de tiempo y características de las empresas, como variables de control, encuentran una relación positiva y significativa al utilizar patentes ambientales y el crecimiento, tanto en ventas como en las ganancias, observadas en 3 años. En el contexto de China, los autores concluyen que este tipo de patentes puede ser uno de los más efectivos en el contexto de la innovación.

Asimismo, en la era actual, es de suma importancia tener en consideración el término de globalización, derivado de su relevancia en términos de crecimiento, Shahbaz *et al.* (2016) presenta a la globalización como un camino que provee crecimiento económico y bienestar, superando las barreras restrictivas del comercio y la inversión con demás naciones.

En términos de demanda de energía Shahbaz *et al* (2016), demuestra la existencia de relaciones de cointegración entre crecimiento económico, desarrollo financiero, urbanización y globalización en la demanda de energía, asimismo, señala que la globalización permite incremento de comercio con influencia en la calidad ambiental a través de efectos escala y composición.

Chen *et al.* (2021) prueban las hipótesis de si existe una relación entre innovaciones verdes y crecimiento verde, y, si existe una relación positiva entre globalización financiera y crecimiento verde; en las economías de Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica (BRICS) de 1993 a 2019, a través de un modelo CS-ARDL (Cross-Sectionally Augmented Autoregressive Distributed Lag), en un modelo de crecimiento de I+D. Encontraron que, en el corto plazo no existe una relación entre innovaciones verdes y crecimiento verde, asimismo, la globalización financiera no presenta una relación causal. Sin embargo, en el largo plazo si existe una relación significativa y positiva entre crecimiento verde, innovaciones verdes y globalización financiera. Igualmente, hallaron una relación significativa entre crecimiento verde, capital humano y gasto en consumo final gubernamental.

En el caso de México, al respecto de las innovaciones verdes, Cuevas-Zúñiga *et al* (2017), presentaron una revisión respecto a estas en materia de sustentabilidad en México, para conocer si son una alternativa como energía sustentable con las condiciones geográficas del país, al respecto, en sus resultados encontraron que, si son una alternativa sustentable de energía, principalmente la energía solar, las cuales pueden ayudar a disminuir la dependencia de energía producida a base de hidrocarburos.

Asimismo, se han desarrollado demás trabajos en donde se presenten las innovaciones verdes en México, como los de Maldonado-Guzmán *et al* (2020),

Peregrina-Mila *et al.* (2023), y Esparza *et al.* (2023); sin embargo, estos han sido enfocados al sector manufacturero o como indicador, por lo anterior, en México las innovaciones verdes han estado enfocadas en sectores de producción más que en crecimiento verde.

Hipótesis: Existe una relación positiva entre crecimiento verde y destrucción creativa verde.

2. Metodología

2.1. Datos

Para la medición de crecimiento verde en esta investigación se utiliza la productividad de dióxido de carbono (CO₂) en la producción (definido como co2p) de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), contrario a la literatura presentada por Rodríguez *et al.* (2018); Hao *et al.* (2021); y, Chen *et al.* (2023), en donde, utilizan el multifactor de productividad ambiental ajustado como medida de crecimiento verde en cada una de sus respectivas áreas de estudio, sin embargo, se este no se encuentra como una variable continua para México, de acuerdo con Cervera-Ferri y Ureña (2017), los indicadores del crecimiento verde se agrupan en 4 diferentes tipos:

1. Indicadores para determinar la productividad del medio ambiente y de los recursos, en la producción y el consumo.
2. Indicadores para describir la base de activos naturales.
3. Indicadores para determinar la dimensión ambiental de la calidad de vida.
4. Indicadores para describir las respuestas de política y las oportunidades económicas.

De los cuales, en el primer grupo se ubican los “*Indicadores para determinar la productividad del ambiente y de los recursos, en la producción y el consumo*”, en donde, se presentan los indicadores de la OCDE como una de las principales fuentes de datos, por lo cual se opta por utilizar la productividad del dióxido de carbono en la producción.

En términos de generación de innovaciones verdes, como consecuencia del proceso de destrucción creativa verde; la generación de tecnologías relacionadas con el ambiente por cada millón de habitantes es utilizada como proxy de las consecuencias de este proceso, siguiendo los estudios de Danish & Ulucuk (2020); Chen *et al.* (2023); y, Wei *et al.* (2022), en donde se utilizan los índices de la OCDE en tecnologías relacionadas en el ambiente como medida de la generación de nuevas innovaciones verdes.

Asimismo, se utiliza la generación de innovaciones tecnológicas en general, evaluado por medio de la solicitud de patentes, de residentes y no residentes, obtenido del Banco Mundial, utilizado para la robustez de los resultados en función de lo presentado por Ulucak *et al.* (2020); y, Chen, *et al.* (2023).

Otra variable utilizada en esta investigación es la globalización financiera, medida a través del índice financiero global del KOF Swiss Economic Institute, el cual mide las dimensiones económica, social y política de la globalización; lo anterior, siguiendo los estudios de Nasreen *et al.* (2020); Ulucak *et al.* (2020); y, Chen *et al.*

(2023), a partir de la literatura señalada con anterioridad, se prevé que la globalización financiera sea uno de los principales factores que influyen en el crecimiento verde.

Finalmente, de acuerdo con Wei *et al.* (2022) y Chen *et al.* (2023), se utiliza el gasto gubernamental y el capital humano como demás variables de control; el gasto gubernamental, medido a través del gasto de consumo final del gobierno general como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) obtenido a través del Banco Mundial; y, el capital humano medido a través del índice de capital humano derivado de Peen World Tables, basado en los años de escolaridad y los retornos de la educación.

Tabla 1

Definiciones de las variables

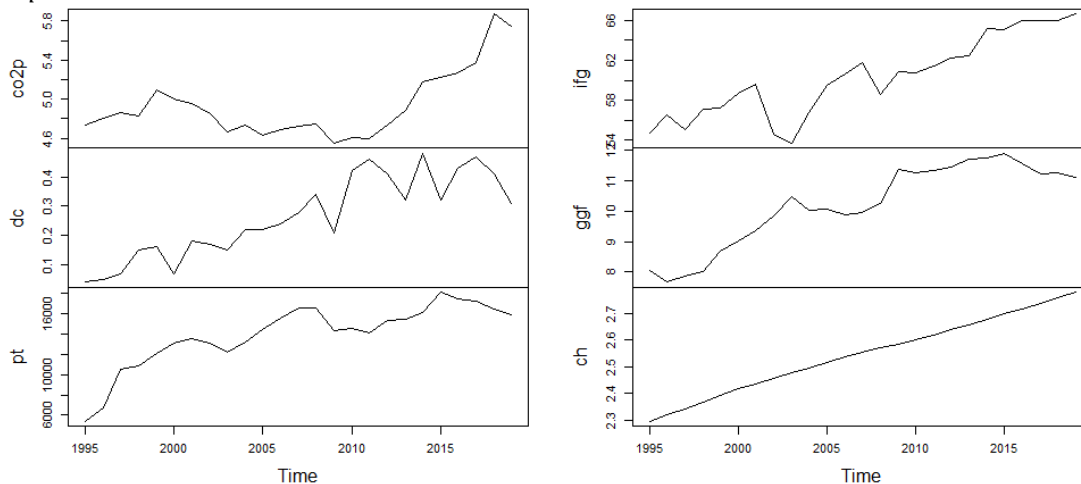
Variable	Definición	Media	Max	Min	Fuente
<i>co2p</i>	Productividad de CO ² basada en la producción, PIB por unidad de emisiones de CO ²	4.93	4.55	5.87	OCDE
<i>dc</i>	Desarrollo de tecnologías relacionadas con el ambiente, por cada millón de habitantes	0.27	0.47	0.05	OCDE
<i>pt</i>	Solicitud de patentes, total (residentes y no residentes)	14,234.56	18,071	6,751	Banco Mundial
<i>ifg</i>	Índice Financiero Global	62	71.78	52.70	KOF Swiss Economic Institute
<i>ggf</i>	Gasto de consumo final del gobierno general (% del PIB)	10.26	11.90	7.67	Banco Mundial
<i>ch</i>	Capital humano	2.61	3	2	Penn World Tables

Fuente: Elaboración propia.

Las variables presentadas en la **Tabla 1** tienen una dispersión determinada, el cual se ve presentado en la **Figura 1**:

Figura 1

Dispersión de las variables



Fuente: Elaboración propia.

2.2. Modelo económico

En seguimiento a Mensah *et al.* (2019); Ulucak *et al.* (2020); y, Chen *et al.* (2023), se construyó el siguiente modelo para analizar el impacto de la generación de tecnologías relacionadas con el ambiente en la búsqueda del mejoramiento ambiental a través del crecimiento verde:

$$co2p_t = c_0 + \beta_1 dc_t + \beta_2 pt_t + \beta_3 ifg_t + \beta_4 ggf_t + \beta_5 ch_t + u_t \quad (I)$$

El crecimiento verde ($co2p$) es dependiente de la destrucción creativa verde (dc), las patentes totales (pt), la globalización financiera (ifg), el gasto gubernamental (ggf), capital humano (ch), y finalmente, un término de error (u), los cuales se esperan sean normalmente distribuidos y estacionarios. Lo anterior, de acuerdo con Chen *et al.* (2023), la capacidad de un país de generar ingreso a partir de sus recursos disponibles, en donde, la generación de tecnologías “verdes” es de suma importancia en la transición de las estructuras económicas para estimular el crecimiento verde, en este tenor, se espera que el coeficiente β_1 sea positivo.

2.3. Modelo econométrico

Para el estudio de la relación existente entre las variables determinadas se ha optado por un sistema dinámico, derivado que estudian la evolución de la magnitud a lo largo del tiempo, la cual sigue una ley en forma de ecuación, con el objetivo de hallar el valor de X en cualquier tiempo t en un dominio temporal determinado (Lomelí *et al.*, 2003). En este tenor, se opta por un Modelo de Espacio Estado Gaussiano Lineal, conocido como Modelo Dinámico Lineal en series de tiempo. Petris *et al.* (2007) menciona que estos modelos son especificados por una distribución normal p -dimensional, para un estado del vector al tiempo 0, es decir:

$$\theta_0 \sim \mathcal{N}_p(m_0, C_0)$$

Junto con el par de ecuaciones para cada tiempo $t \geq 1$,

$$Y_t = F_t \theta_t + u_t, u_t \sim \mathcal{N}_m(0, V_t) \quad (II)$$

$$\theta_t = G_t \theta_{t-1} + w_t, w_t \sim \mathcal{N}_p(0, W_t) \quad (III)$$

Donde,

Y_t es un vector de orden m ;

θ_t es un vector de orden p ;

p, G_t y F_t son matrices conocidas de orden $p \times p$ y $m \times p$;

$Y, \{u_t\}_{t \geq 1}$ y $\{\theta_t\}_{t \geq 1}$ son sucesiones de variables aleatorias independientes con distribución normal, media cero y varianzas $\{V_t\}_{t \geq 1}$ y $\{W_t\}_{t \geq 1}$, respectivamente.

La ecuación (II) es conocida como la ecuación de observaciones, por su parte (III), es considerada como la ecuación de estados (Petris *et al.*, 2007).

Petris *et al.* (2007) señala que los modelos dinámicos lineales pueden ser considerados como una generalización de los modelos de regresión lineal, dado que permiten la variación de los coeficientes de regresión a través del tiempo, el modelo dinámico lineal se observa de la siguiente forma:

$$Y_t = \theta_{t,1} + \theta_{t,2}x_t + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \stackrel{iid}{\sim} \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

Añadiendo la ecuación de estado, la evolución del sistema es:

$$\theta_t = G_t\theta_{t-1} + w_t, \quad w_t \stackrel{iid}{\sim} \mathcal{N}(0, W_t)$$

En este tenor, considerando (I) se obtiene la ecuación a estimar mediante un modelo dinámico lineal en serie de tiempo:

$$co2p_t = \alpha + \beta_1 dc_{t-n} + \beta_2 pt_{t-n} + \beta_3 ifg_{t-n} + \beta_4 ggf_{t-n} + \beta_5 ch_{t-n} + u_t \quad (IV)$$

Donde, n representa el rezago de cada variable y u_t el error estadístico.

Los resultados de la presente investigación están basados en dos suposiciones presentadas por Krämer *et al.* (1988), uno sobre los errores y otro sobre los regresores:

- $\{u_i\}$ es una secuencia de diferencias marginales homocedásticas.
- $\{x_t\}$ es tal que $\limsup_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|x_i\|^{2+\delta} < \infty$ para algunos $\delta > 0$ y $\|\cdot\|$ la norma Eucladiana; y además que $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i x_i^\top \xrightarrow{P} Q$, para alguna matriz estocástica regular Q .

Aunado a lo anterior, para poder capturar con mayor precisión el impacto de las variables de control sobre la dependiente se ha determinado por manejarlas con rezagos de la siguiente forma:

dc, pt, ifg, ggf Dado que las variables son estacionarias de orden 1 ($I(1)$), su inclusión en niveles podría generar problemas de regresión espuria. Sin embargo, en lugar de diferenciarlas, se introducen con un rezago para capturar la regresión dinámica y evitar la no estacionariedad en los residuos del modelo.

ch Por su parte esta variable es estacionaria de orden 2 ($I(2)$), será introducida con dos rezagos para capturar su dinámica en contraste con las anteriormente señaladas.

Wooldridge (2020) señala que derivado de la influencia de efectos pasados sobre efectos futuros los comportamientos rezagados son frecuentes en las ciencias sociales, asimismo, resume el efecto dinámico que un aumento temporal tiene sobre la variable dependiente.

A partir de lo anterior y de que los efectos del desarrollo de tecnologías ambientales, generación de patentes, globalización, gasto gubernamental y capital humano no son inmediatos y pueden tardar en verse reflejados debido a diversos factores relacionados con el proceso en su desarrollo, adicionalmente, Trujillo et al. (2010) señala que al aumentar la longitud del rezago disminuye la variancia, por lo tanto, si aplicamos los rezagos adecuados para el contexto de los datos de esta investigación, la ecuación (IV) se transforma en la siguiente:

$$co2p_t = \alpha + \beta_1 dc_{t-1} + \beta_2 pt_{t-1} + \beta_3 ifg_{t-1} + \beta_4 ggf_{t-1} + \beta_5 ch_{t-2} + u_t \quad (V)$$

Para la realización de la regresión econométrica del modelo antes señalado, se utilizó el software estadístico de Rstudio versión 2024.12.0+467, en donde se utilizaron las siguientes librerías: urca, dynlm, tseries, forecast y vars.

Previamente a la definición de los coeficientes de la regresión econométrica se realizaron las pruebas para determinar que la regresión no fuera espuria, para esto se desarrollaron las pruebas de Engle-Granger y Johansen.

Engle & Granger (1987) se centran en los residuos de la regresión, para determinar si dos o más series temporales están cointegradas, esto sugiere que, aunque las series no sean estacionarias por sí mismas, la combinación entre ellas implica una relación a largo plazo. Para probar esta cointegración se prueban si los errores son estacionarios a partir de una prueba de raíz unitaria. A partir de la prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF) se encontró que los residuos del modelo econométrico propuesto en esta investigación son estacionarios.

Adicional a lo anteriormente señalado, se realizó la prueba propuesta por Johansen (1991) cuyo objetivo principal es identificar si existe cointegración en un conjunto de series temporales. Permite identificar relaciones de largo plazo a partir del estadístico traza y del máximo eigenvalor, los valores críticos se basan en simulaciones de Monte Carlo, lo cual depende del número de variables en el modelo y de los rezagos definidos. Con la prueba de Johansen se determinó que los vectores del modelo econométrico propuesto en esta investigación son significativos, sugiriendo que hay relación de largo plazo.

Estas dos pruebas presentan que el modelo de la presente investigación cuenta con errores estacionarios, refutando que no se trata de una regresión espuria, por lo cual la evidencia empírica resultante del modelo sugerirá un análisis óptimo.

3. Resultados

En la **Tabla 2** se muestran los resultados de la estimación de un modelo dinámico en series de tiempo, con su rezago correspondiente:

La evidencia empírica señala que en México la destrucción creativa no es significativa en el crecimiento verde, por lo que la hipótesis de esta investigación se rechaza, sin embargo, las demás variables de control si tienen una significancia en el crecimiento verde, la generación de patentes en México presenta un coeficiente

negativo (-0.00006) lo que significa que las nuevas tecnologías en México no tienen aportaciones positivas en términos “verdes”.

Tabla 2
Coefficientes de la regresión

	Estimado	Error estándar	t value	p-value
Intercepto	-7.93800	2.9330	-2.522	0.0219*
L(dc)	-1.15400	0.8259	-1.398	0.1801
L(pt)	-0.00006	0.0000	-1.768	0.0950 *
L(iffg)	0.04688	0.03131	1.497	0.1526
L(ggf)	-0.3337	0.1181	-2.825	0.0117 **
L(ch)	5.631	2.015	2.794	0.0125 **
Significancia: 0.001 = *** 0.01 = ** 0.05 = *				
Residuales del error estándar: 0.2246 en 17 grados de libertad				
R-cuadrada múltiple: 0.6925, R-cuadrada ajustada: 0.6021				
Fuente: Creación propia.				

Asimismo, la evidencia empírica sugiere que el gasto gubernamental final tiene un impacto negativo en el crecimiento verde (-0.34390), esto considerando que el crecimiento verde está medido mediante la productividad del CO², nos representa que los proyectos gubernamentales no conllevan una mejora en la productividad de las emisiones, por lo que esto acompaña a la variable anteriormente mencionada como significativa, representado a la actualidad de las innovaciones e inversiones gubernamentales mexicanas orientadas a grandes emisiones de CO². Finalmente, la evidencia empírica nos presenta una esperanza alentadora, el capital humano, presentado mediante los rendimientos de la escolaridad, es la variable con mayor impacto en el crecimiento verde, y un impacto positivo (6.01500), esto presenta que, en términos de crecimiento verde, la escolaridad es el principal actor para su incremento.

4. Discusión

La evidencia empírica de esta investigación difiere con los resultados obtenidos por Chen *et al.* (2021) en términos de tecnologías ambientales y de la globalización, en donde, encuentran que el desarrollo de tecnologías relacionadas con el ambiente tiene una inferencia positiva en el crecimiento verde para las economías de las BRICS a largo plazo, sin embargo, a corto plazo se contrasta los resultados obtenidos, ya que ninguna de estas variables se considera significativa.

Esto nos provee una visión de las diferencias existentes en las naciones, siendo uno de los principales inconvenientes la generación de tecnologías ambientales en México y las especificaciones con la que cuentan para afectar positivamente en la producción, reduciendo las emisiones de CO².

Zhang *et al.* (2019) presentan resultados que pueden considerarse una de las principales consideraciones para tener en cuenta con los resultados de esta investigación, ya que a pesar de que se contraponen los resultados entre innovaciones ambientales y crecimiento verde, los autores señalan que para que las empresas decidan innovar deben tener inferencia en la productividad de las mismas.

Asimismo, en términos de la evidencia empírica presentada en esta investigación, se observa una discrepancia con los resultados de Ghisetti & Quattraro (2017), quienes reportan una relación positiva entre el desarrollo de tecnologías y el crecimiento verde en sectores italianos. Esta diferencia destaca una variación significativa en la relación entre estas variables, tanto en términos de su significancia estadística como en el contexto de las regiones italianas en comparación con México

Sin embargo, los resultados de esta investigación contrastan cercanamente con los presentados por Li *et al.* (2021), los cuales observan para los países de la OCDE, que la generación de tecnologías ambientales (ellos la manejan como la eco innovación) aumenta la contaminación, lo cual, se asemeja a lo hallado con respecto a las solicitudes de patentes.

En lo que respecta a las variables de control, los coeficientes, negativo para gasto gubernamental y positivo para capital humano, con respecto al crecimiento verde, se diferencia de los resultados de Chen *et al.* (2021), de la misma forma se diferencia de los resultados de Ulucak *et al.* (2020), en donde presentan esta relación positiva entre globalización y crecimiento verde, ocupando como área de estudio economías emergentes.

Los resultados de esta investigación pueden ser analizados en función de lo presentado por Sarkodie & Strezov (2018) en empleo de la curva ambiental de kuznets, la cual explica que las economías de bajos ingresos incrementan la degradación ambiental en un efecto a escala, esto contrasta con el coeficiente negativo de la solicitud de patentes, dado que el incremento de estas disminuye la productividad del CO₂, disminuyendo el crecimiento verde en México. Asimismo, Tamazian & Bhaskara Rao (2010) encuentran evidencia empírica de la curva de kuznets ambiental para países en desarrollo, sin embargo, Barbier (1997) señala que la significancia conjunta de la curva no implica su cumplimiento individual.

De la misma forma respecto a México, la evidencia estadística enfatiza cuantitativamente el análisis de Ramos Luna (2020); referente a la falta de implementación de innovación verde en los países de periferia, en el cual argumenta que las restricciones estructurales como la dependencia económica de los modelos productivos tradicionales, la infraestructura adecuada y deficientes políticas públicas, obstaculizan el desarrollo y adopción de tecnologías.

Este contexto se ve reflejado en México, donde no se ha podido lograr una transición hacia un modelo de crecimiento verde. En este sentido, se hace urgente un enfoque más integral y colaborativo entre el sector público, privado y la sociedad civil para superar estas barreras y fomentar la adopción masiva de tecnologías que impulsen la sostenibilidad.

5. Conclusiones

De acuerdo con la evidencia empírica obtenida para México, la generación de tecnologías ambientales aún no tiene un impacto significativo en el crecimiento verde. No obstante, esto no implica que se deba abandonar la apuesta por estas tecnologías, al contrario, resulta imperativo mantener y reforzar los esfuerzos dirigidos a su desarrollo e implementación.

La investigación al respeto ha estado principalmente desarrollada en países altamente industrializados, donde las tecnologías verdes han demostrado ser un elemento transformador en los procesos de producción. Sin embargo, en el caso de México, los resultados sugieren que el verdadero cambio debe enfocarse en el diseño y ejecución de políticas públicas que prioricen el crecimiento verde como un objetivo estratégico para enfrentar los desafíos ambientales y económicos del presente.

En este contexto, un enfoque clave para lograr avances significativos radica en el incremento del desarrollo de tecnologías verdes. México enfrenta una dependencia de las tecnologías extranjeras, especialmente de Estados Unidos, lo que limita su capacidad de innovación y adaptación a las necesidades específicas del país. La evidencia empírica demuestra que las solicitudes de patentes tienen, hasta el momento, un impacto negativo en el crecimiento verde, lo que refleja una debilidad en los sistemas de innovación tecnológica y una limitada capacidad para generar tecnologías verdes. Por lo tanto, es esencial fortalecer las capacidades locales de desarrollo tecnológico ambiental mediante una inversión decidida en la formación de capital humano.

La educación desempeña un papel central en este proceso, pues constituye el mecanismo más efectivo para mejorar la calidad de la innovación y la dinámica actual. Mediante un sistema educativo robusto y orientado hacia la sostenibilidad será posible revertir el impacto negativo que demuestra la evidencia empírica y fomentar la destrucción creativa verde. En este sentido, mejorar el acceso, la calidad y la orientación de la educación no solo es deseable, sino indispensable para promover un crecimiento verde en México.

No obstante, lograr avances significativos en el crecimiento verde representa un desafío complejo que requiere un enfoque integral y multisectorial. La colaboración entre la sociedad civil, el sector empresarial y el gobierno es fundamental para establecer las bases de una transición efectiva hacia la sostenibilidad. La cooperación no solo consolidará un marco operativo para fomentar el crecimiento verde, sino que también alineará a México con los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por las Naciones Unidas, que son una necesidad ineludible en el contexto global actual.

Adicionalmente, esta investigación resalta la urgencia de introducir el concepto de destrucción creativa verde en la economía mexicana, un enfoque que ha demostrado ser clave para alcanzar el desarrollo sostenible en otros contextos. Sin embargo, en México y en gran parte de América Latina, este tema sigue siendo escasamente explorado. La literatura existente apenas ha comenzado a relacionar el crecimiento verde con variables como el desarrollo de tecnologías ambientales, el capital humano, el gasto gubernamental y la globalización. Esto plantea una gran oportunidad para futuros investigadores, quienes podrán ampliar y profundizar en estas relaciones, así

como explorar nuevas estrategias para impulsar el crecimiento verde desde una perspectiva más adaptada a las particularidades de cada nación.

Además, se enfrenta un desafío crítico en términos cuantitativos; la información de referencia para el estudio de caso se está volviendo cada vez más escasa y desactualizada. Esto limita significativamente las opciones metodológicas disponibles para llevar a cabo un análisis riguroso y completo, lo que, a su vez, pone en riesgo la continuidad y calidad de las investigaciones en un área tan crucial para el desarrollo sustentable

En conclusión, promover el crecimiento verde en México requiere un enfoque estratégico que priorice la inversión en educación, la innovación tecnológica y la cooperación multisectorial. Aunque los desafíos son grandes, también lo son las oportunidades para construir un futuro más sustentable y resiliente.

Referencias

- Aghion**, P., Antonin, C. & Bunel, S. (2021). El poder de la destrucción creativa ¿qué impulsa el crecimiento económico?. España: Deusto.
- Ahmed**, F., Kousar, S., Pervaiz, A., Trinidad-Segovia, J. E., Casado-Belmonte, M. P, & Ahmed, W. (2022). Role of Green innovation, trade and energy to promote Green economic growth: a case of South Asian Nations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(5), 6871-6885. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15881-4>
- 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>
- Cárdenas** Rodríguez, M., Hašič, I., & Souchier, M. (2018). Environmentally Adjusted Multifactor Productivity: Methodology and Empirical Results for OECD and G20 Countries. *Ecological Economics*, 157, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.015>
- Cervera-Ferri**, J. L., & Ureña, M. L. (2017). Indicadores de producción verde una guía para avanzar hacia el desarrollo sostenible. CEPAL Naciones Unidas. International Development Research Centre.
- Chen**, R., Ramzan, M., Hafeez, M., & Ullah, S. (2023). Green innovation-green growth nexus in BRICS: Does financial globalization matter?. *Journal of Innovation & Knowledge*, 8(1). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100286>
- Cuevas-Zúñiga**, I. Y., Rocha-Lona, L., & Soto-Flores, M.R. (2017). Tecnologías verdes: energías renovables como una alternativa sustentable para México. Memoria del XI Congreso de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad; noviembre 2017: 1557-1575
- Danish**, y Ulucak, R. (2020). How do environmental technologies affect green growth? Evidence from BRICS economies. *Science of The Total Environment*, 712, 136504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136504>

- Engle**, R. F., y Granger, C. W. J. (1987). Cointegration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Esparza**, E. A., Juárez, I. L. S., & Almada, R. M. G. (2023). *ECONOMÍA CIRCULAR, ECOINNOVACIÓN Y CAPITAL HUMANO EN EL SECTOR HOTELERO DE LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO*. Editorial Fontamara SA de CV.
- European Environment Agency**. (2021). Growth without economic growth. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/492717>.
- Ghisetti**, C., y Quatrato, F. (2017). Green Technologies and Environmental Productivity: A Cross-sectoral Analysis of Direct and Indirect Effects in Italian Regions. *Ecological Economics*, 132, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.10.003>
- Guo**, X., Lu, C. C., Lee, J. H., & Chiu, Y. H. (2017). Applying the dynamic DEA model to evaluate the energy efficiency of OECD countries and China. *Energy*, 134, 392-399. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.040>
- Hao**, L.N., Umar, M., Khan, Z., & Ali, W. (2021). Green growth and low carbon emission in G7 countries: How critical the network of environmental taxes, renewable energy and human capital is?. *Science of The Total Environment*, 752, 141853. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141853>
- Hsu**, C.C., Quang-Thanh, N., Chien, F., Li, L., & Mohsin, M. (2021). Evaluating green innovation and performance of financial development: mediating concerns of environmental regulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 57386-57397. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14499-w>
- Jänicke**, M. (2012). "Green growth": From a growing eco-industry to economic sustainability. *Energy Policy*, 48, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.045>
- Johansen**, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, 59(6), 1551-1580. <https://doi.org/10.2307/2938260>
- Krämer**, W., Ploberger, W., y Alt, R. (1988). "Testing for Structural Change in Dynamic Models", *Econometrica*, 56, 1355-1369. <https://doi.org/10.2307/1913102>
- Lee**, S. M. (2015). The age of quality innovation. *International Journal of Quality Innovation*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40887-015-0002-x>
- Lee**, S. M., y Trimi, S. (2016). Innovation for creating a smart future. *Journal of Innovation & Knowledge*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2016.11.001>
- Li**, J., Zhang, X., Ali, S., & 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>
- Lomelí**, H., & Rumbos, B. (2003). *Métodos dinámicos en economía* (3ra ed). Jit Press.
- Maldonado Guzmán**, G., Pinzón Castro, S. 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>
- Nasreen**, S., Mahalik, M.K., Shahbaz, M., & Abbas, Q. (2020). How do financial globalization, institutions and economic growth impact financial sector

- development in European countries?. *Research in International Business and Finance*, 54, 101247. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101247>
- Pansera, M., & Fressoli, M.**, (2021). Innovation without growth: Frameworks for understanding technological change in a post-growth era. *Organization* 28, 380–404. <https://doi.org/10.1177/1350508420973631>.
- Peregrina Mila, M.I., Olivera Pérez E., El Gibari S. & 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>
- Petris, G., Petrone, S., & Campagnoli, P.** (2007). *Dynamic Linear Models with R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b135794>
- Ramos-Luna, D. A.** (2020). Innovación em Tecnología Verde y las restricciones estructurales para su desarrollo en los países de periferia. *Factores Críticos y Estratégicos en la Interacción Territorial Desafíos Actuales y Escenarios Futuros*, volumen IV, 727-742. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana para el Desarrollo Regiona A.C.
- Robra, B., Pazaitis, A., Giotitsas, C., & Pensara, M.** (2023). From creative destruction to convivial innovation - A post-growth perspective. *Technovation*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102760>
- RStudio Team.** (2024). **RStudio: Integrated development environment for R** (versión 2024.12.0+467). RStudio, PBC. <https://www.rstudio.com/>
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V.** (2018). Empirical study of the Environmental Kuznets curve and Environmental Sustainability curve hypothesis for Australia, China, Ghana and USA. *Journal of Cleaner Production*, 201, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.039>
- Schumpeter, J. A.** (1997). *Teoría del desenvolvimiento económico: Una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. Segunda. J. Prados Arrarte, Trans. Mexico DF: Fondo de Cultura Económica
- Shahbaz, M., Mallick, M. K., & Sadorsky, P.** (2016). The role of globalization on the recent evolution of energy demand in India: Implications for sustainable development. *Energy economics*, 55, 52-68. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.01.013>
- Tamazian, A., & Bhaskara Rao, B.** (2010). Do economic, financial and institutional developments matter for environmental degradation? Evidence from transitional 12 economies. *Energy Economics*, 32(1), 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.04.004>
- Trujillo, C., & Herminio, G.** (2010). *La metodología del Vector Autorregresivo: Presentación y Algunas especificaciones*. UCV – Scientia, 2(2).
- Ullah, S., Ozturk, I., Majeed, M. T., & Ahmad, W.** (2021). Do technological innovations have symmetric or asymmetric effects on environmental quality? Evidence from Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128239. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128239>
- Ulucak, Z. S., İlkay, S. C., Özcan, B., & Gedikli, A.** (2020). Financial globalization and environmental degradation nexus: Evidence from emerging economies. *Resources Policy*, 67, 101698. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.10169>
- Wei, X., Ren, H., Ullah, S., & Bozkurt, C.** (2022). Does environmental entrepreneurship play a role in sustainable green development? Evidence from emerging Asian

- economies. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(1), 73–85.
<https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2067887>
- Wooldridge**, J. M. (2020). *Introductory econometrics: A modern approach* (7th ed.). Cengage Learning.
- Zhang**, D., Zhao, R., & Ji, Q. (2019). Green innovation and firm performance: Evidence from listed companies in China. *Resources, Conservation & Recycling*, 144, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.023>