

## Economía, energía y calidad ambiental en APEC, 1990-2018

René Augusto Marín-Leyva - Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

América I. Zamora-Torres<sup>1</sup> - Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

Carlos Francisco Ortiz-Paniagua - Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

### Resumen

La humanidad enfrenta el reto de procurar el bienestar de la población preservando la calidad ambiental. Por lo que el objetivo del presente trabajo es identificar la relación existente entre el crecimiento económico, el consumo de energías renovables, el consumo de energías fósiles y las emisiones de dióxido de carbono en APEC durante 1990-2018. Aplicando las pruebas de: dependencia cruzada, heterogeneidad del intercepto y raíz unitaria, se estimó un modelo de Efectos Comunes Correlacionados. Los resultados muestran una trayectoria en forma de U invertida entre el desarrollo económico y la contaminación ambiental. Se destaca que se encontró una relación negativa entre CO<sub>2</sub> y consumo de energía renovable y, una relación positiva entre CO<sub>2</sub> y consumo de energía fósil. Una limitación del trabajo es la presentación de resultados del total de las economías APEC y no por cada una de ellas. No obstante, destaca la metodología como propuesta novedosa en este tipo de estudios. Se recomienda incrementar la participación de energías renovables, mejorar su eficiencia y promover su implementación como un medio efectivo de reducción de emisiones.

*Clasificación JEL: C4, C5, F4, Q3, Q4, Q5.*

*Palabras clave: Curva Ambiental de Kuznets (EKC); Efectos comunes correlacionados; Región APEC; Consumo de energías y Calidad ambiental.*

## Economy, energy and environmental quality in APEC, 1990-2018

### Abstract

Humanity faces the challenge of assure the well-being of the population while preserving the environmental quality. Therefore, this research aims to identify the relationship between economic growth, renewable energy consumption, fossil energy consumption and carbon dioxide emissions in the APEC economies during 1990-2018. Applying tests of cross dependence, intercept heterogeneity and unit root, were estimated as a model of Common Correlated Effects, as a novel proposal in this type of studies. The results show an inverted U-shaped trajectory between economic development and environmental pollution. It is noteworthy that a negative relationship was found between CO<sub>2</sub> and renewable energy consumption and a positive relationship between CO<sub>2</sub> and fossil energy consumption as well as the expected relationship between GDP, GDP<sup>2</sup> and CO<sub>2</sub>. One of the shortcomings is the fact that the results are displayed as a whole for the economies in APEC and not for each individual economy. However, the methodology is a novelty for these type of research. It is recommended to increase the participation of renewable energies, to improve their efficiency and to promote their implementation as an effective means of reducing emissions.

*JEL Classification: C4, C5, F4, Q3, Q4, Q5.*

*Keywords: Environmental Kuznets Curve (EKC); Common Correlated Effects; APEC Region; Energy consumption and Environmental quality.*

<sup>1</sup> Autor de correspondencia. Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, <https://orcid.org/0000-0003-1811-4711>. Email: america.zamora@umich.mx

\*Sin fuente de financiamiento para el desarrollo de la investigación



## 1. Introducción

Temperaturas árticas y ventiscas en Texas, nubes ondulantes de polvo anaranjado sobre Beijing, sofocante calor tropical en Moscú, inundaciones extremas en Nueva Gales del Sur, monzón masivo, lluvias sobre Singapur, sequía en Santiago. Huracanes, tifones y ciclones; olas de calor e incendios forestales de gran magnitud, fueron algunos eventos climáticos ocurridos en 2021 (APEC, 2021). Además de crecientes deshielos, inundaciones, sequías e incendios que han aumentado en intensidad y frecuencia en los últimos años (IPCC, 2021b y IPCC, 2021c). Estos fenómenos, se atribuyen directa e indirectamente al Cambio Climático, situación que conlleva a incrementos en el riesgo, peligros en ecosistemas y, con ello, en el propio crecimiento económico (Kiley, 2021), con afectaciones en salud y en productividad, que llevarán a las economías a contraerse en los próximos años (Stern, 2016; Weitzman, 2014).

El mejoramiento del nivel de vida, vía expansión de la economía, así como la degradación ecológica, son preocupaciones que durante al menos 250 años han sido excluyentes. Esta situación no es sostenible para el planeta en el largo plazo, como lo demuestra la evidencia del cambio climático. La región Asia Pacífico no ha sido la excepción y es una de las regiones que más han contribuido al problema, al ser la región más dinámica en el comercio y producción internacional.

El cambio climático como amenaza global, incide no solo a la región APEC, que ha sido fuertemente afectada (IPCC, 2021a), sino para toda la humanidad, donde la discusión ya no oscila en cómo prevenirlo, sino cómo mitigar sus efectos y gestionar los riesgos inevitables, es decir; sugerir nuevos paradigmas económicos, que implican modificaciones en las formas de producción y consumo, bajo esquemas que permitan que el planeta se mantenga o mejore su situación actual y con ello promover mejor calidad ambiental para el desenvolvimiento de la vida, la sostenibilidad y la sobrevivencia humana (Harari, 2016; Jones & Preston, 2011).

Entre las alternativas para mitigar los efectos del cambio climático y la degradación ambiental, se propone reducir tanto la huella de carbono como la huella ecológica (Murshed, et al., 2021). Entre las soluciones que se exploran actualmente están, la innovación, por ejemplo; mediante el uso de energías renovables y, la gestión ambiental estableciendo leyes que promuevan la reducción de contaminantes y protección de ecosistemas (IPCCa, 2021) para lo cual se debe integrar el conocimiento científico con el fin de generar información que ayude a resolver los problemas derivados del desarrollo (Raymond, et al., 2010).

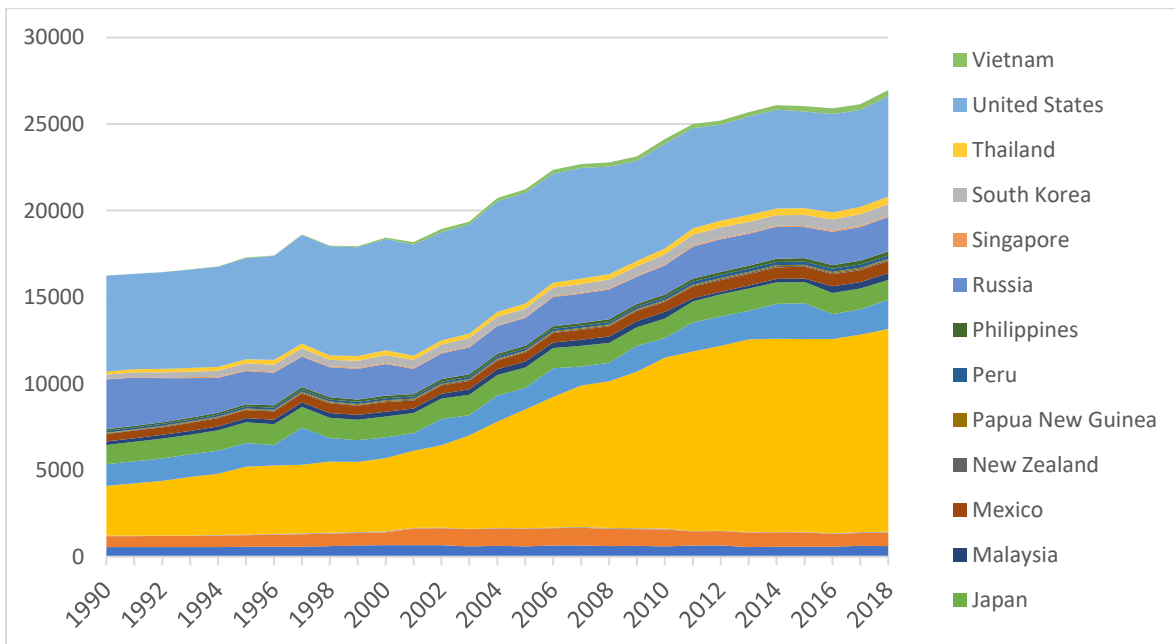
En este sentido, el presente trabajo, se propone realizar un diagnóstico que toma como punto de referencia los postulados establecidos en la Curva Ambiental de Kuznets, (*Environmental Kuznets Curve -EKC-*), para conocer la evolución, interacción y relación de variables que dan cuenta del desarrollo y su impacto ambiental, que son: consumo de energías (fósil y renovable); como indicador de transición energética; contaminación por emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); como indicador de impacto ambiental y, Producto Interno Bruto; como indicador de actividad económica y disponibilidad de bienes y servicios producidos en un año.

El principal aporte de este trabajo, además de los resultados obtenidos en las diversas pruebas para modelos de panel de datos de heterogeneidad paramétrica; es que se ha realizado un análisis econométrico con el estimador de Efectos Comunes Correlacionados propuesto por Pesaran (2006) y ampliado por Chudik (2015).

Luego de esta introducción el documento se integra por otros cuatro apartados continuando con aspectos relativos al cambio climático en la región APEC y las respuestas que ha tenido el Foro de Cooperación Económica Asia –Pacífico (APEC). En la tercera parte se hace una revisión de literatura del tema y las aproximaciones metodológicas planteadas. En el cuarto apartado se expone el modelo econométrico propuesto en el quinto apartado se muestran los resultados obtenidos y una discusión de los mismos y finalmente se plantean conclusiones.

## 2. Cambio climático en APEC: problema y respuestas.

La región APEC, debido a su localización, puesto que colinda con el océano Pacífico y se extiende a ambos lados de los océanos Atlántico e Índico, es una región altamente expuesta a determinados impactos del cambio climático, como muestra el índice de riesgo climático global, destacando los valores obtenidos en dicho índice de las siguientes economías: Chile con la posición 25, Australia con la posición 19, China con el lugar 32, Indonesia con un valor de 14, Japón la posición 4, Filipinas con el lugar 17, Rusia con el lugar 39, Tailandia la posición 34 y Vietnam el lugar 38 (Ecktein, et al., 2021). No obstante, la región APEC es también lamentablemente un gran contribuyente al cambio climático la gráfica 1 muestra cómo de 1991 a 2018 (siendo el 2018 el último dato disponible para todas las economías) la región APEC ha aumentado considerablemente sus emisiones de GEI puesto que pasaron de 16.5 a 27 gigatoneladas de dióxido de carbono (Gt CO<sub>2</sub>), lo cual equivale a un crecimiento anual promedio de 1.9 por ciento. Al contrastar esta cifra con las emisiones de GEI para el mismo periodo del resto del mundo se observa en promedio un crecimiento de 1.1 % anual.

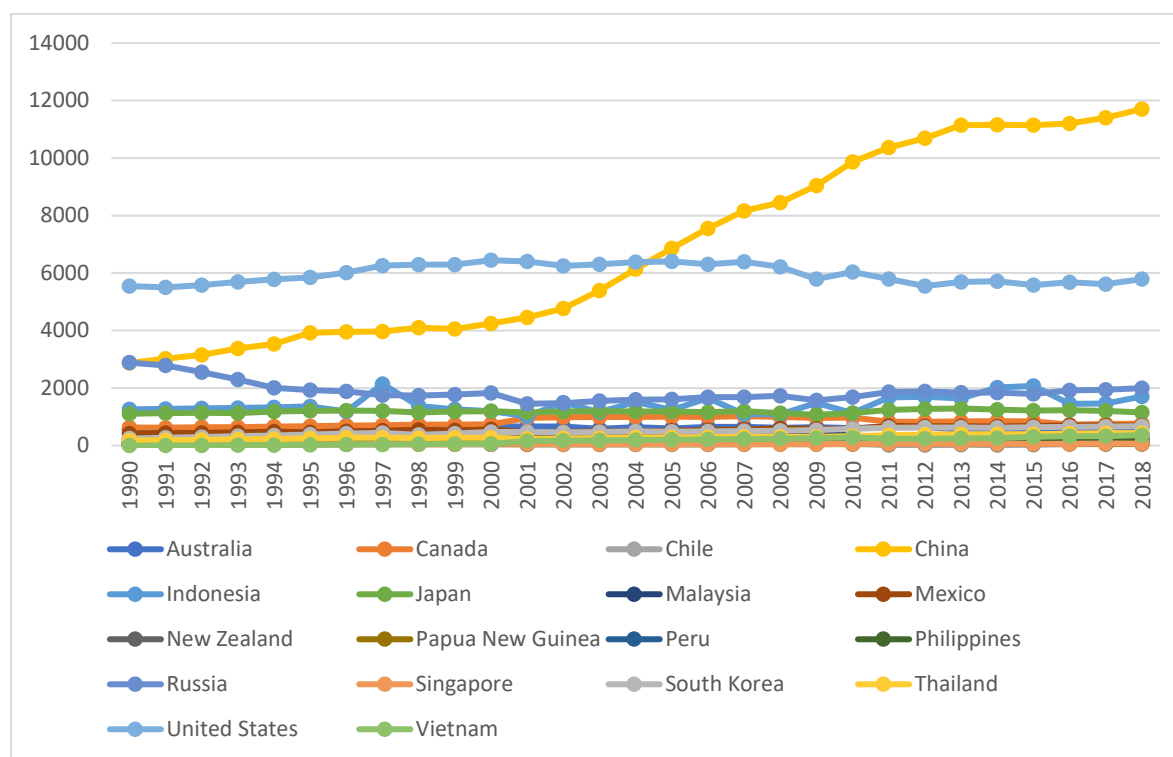


**Gráfica 1.** GEI Emisiones históricas de APEC

Nota: Economías consideradas: Australia, Canada, Chile, China, Indonesia, Japan, Malaysia, Mexico, New Zealand, Papua New Guinea, Peru, Philippines, Russia, Singapore, South Korea, Thailand, United States, Vietnam.

Fuente: CAIT, 2022.

Al desagregar la emisión de GEI por economías de la región se puede observar, como era de esperarse, que el grado de emisiones es dispar entre los miembros de la región, donde China a partir del 2005 lidera el grado de emisiones de GEI hasta llegar a un valor de 11.70 millones de toneladas de dióxido de carbono (Mt CO<sub>2</sub>e) para el 2018, seguido de Estados Unidos 5.79 millones de toneladas de dióxido de carbono (Mt CO<sub>2</sub>e), Rusia 1.99 millones de toneladas de dióxido de carbono (Mt CO<sub>2</sub>e), Indonesia 1.70 millones de toneladas de dióxido de carbono (Mt CO<sub>2</sub>e) y Japón 1.15 millones de toneladas de dióxido de carbono (Mt CO<sub>2</sub>e) como principales contaminantes de la región APEC (véase gráfica 2).

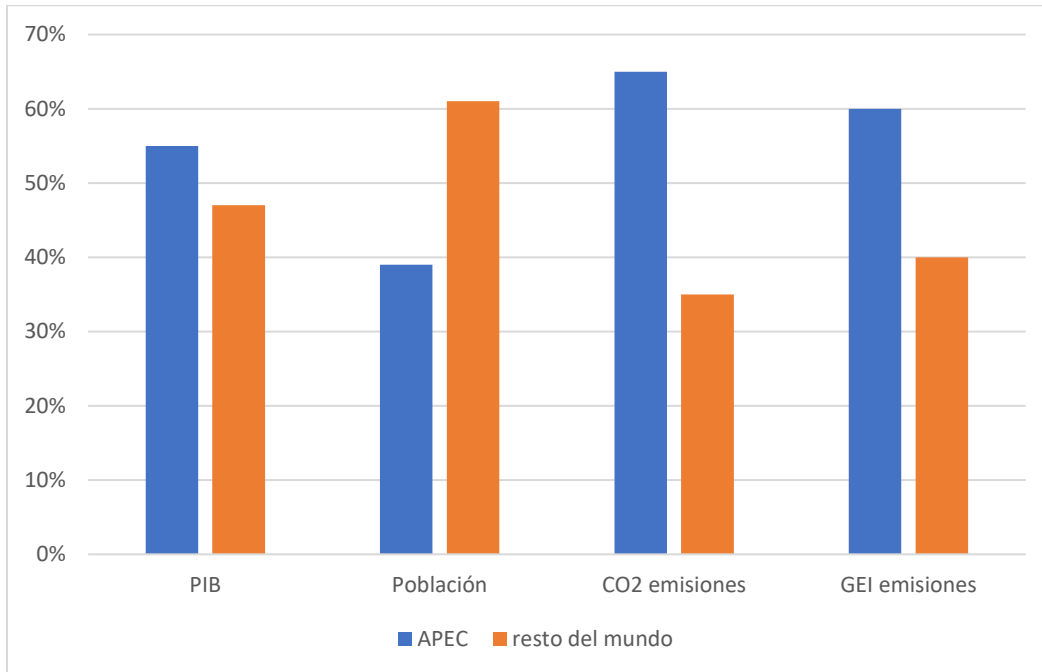


**Gráfica 2.** GEI Emisiones históricas de APEC por economías.

Nota: Economías consideradas: Australia, Canada, Chile, China, Indonesia, Japan, Malaysia, Mexico, New Zealand, Papua New Guinea, Peru, Philippines, Russia, Singapore, South Korea, Thailand, United States, Vietnam.

Fuente: CAIT, 2022.

Como se observa en la gráfica 3, la región APEC para el 2018 conformó el 38 por ciento de la población mundial y el 55 por ciento de la producción económica mundial durante el mismo año; emitiendo a su vez el 65 por ciento de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> y el 60 por ciento de las emisiones globales de GEI (APEC, 2021). Esto denota como las emisiones de GEI en la región APEC han tenido un comportamiento a la alza, mostrando incluso un crecimiento superior al resto del mundo. Acorde con el Centro de Análisis de Información (CAIT, 2022), en 2018, seis economías de APEC se encontraban entre los 10 principales emisores de GEI del mundo y siete estaban entre los 10 principales emisores de CO<sub>2</sub> a nivel mundial.



**Gráfica 3.** Emisiones en APEC de CO<sub>2</sub> y GEI en el contexto global

Fuente: APEC, 2021.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> y GEI en la zona han sido alarmantes, sin embargo, cabría preguntarse qué ha sucedido en los últimos años, donde surgieron cambios drásticos e imprevistos debido a la llegada de la Covid-19. Puesto que con la llegada de la pandemia global se tuvieron diferentes afectaciones en todos los sectores de la economía; donde particularmente destacan las restricciones en torno al comercio exterior y su cadena de suministro.

Las fronteras se cerraron por periodos prolongados en la mayoría de los países restringiendo el movimiento de pasajeros y mercancías lo que en un primer momento trajo consigo, según estimaciones de la Internacional Agencia de Energía (AIE), una disminución del 6 por ciento en las emisiones globales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía en la mayor parte de 2020, pero para finales de ese mismo año las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron un 2 por ciento más altas que los niveles previos a la pandemia hace un año.

### 3. Revisión de literatura

El impacto de la economía en el medio ambiente, se ha considerado como un desafío apenas recientemente a finales del siglo pasado. El Club de Roma y la cumbre de Estocolmo (1972) fueron elementos clave para exponer que los mayores retos para la humanidad en el último cuarto de siglo serían: 1) deterioro de los recursos naturales (calidad y cantidad); 2) incremento de los requerimientos de energía, insumos y alimentos; y, 3) un aumento de desigualdad distributiva del ingreso, (Meadows, et al., 1972; Mesarovic & Pestel, 1975). Desde entonces, estos retos siguen un ritmo de creciente preocupación, más aún si se considera que la aspiración al desarrollo se manifiesta por fases. De manera que los impactos negativos en los ecosistemas a causa del crecimiento

económico reducirían, relativamente, en fases superiores del desarrollo, mediante la implementación de instrumentos de política ambiental (Panayatou, 2007).

La hipótesis EKC sugiere que una economía en las primeras etapas de desarrollo mantiene ingresos bajos, con un sector agropecuario e incipiente industrialización, lo que impacta negativamente en la calidad ambiental. Para una segunda etapa la industria participa en mayor medida y las actividades primarias son intensivas y más extractivas, generando con ello más riqueza a la vez que más deterioro de la calidad ambiental. En una siguiente etapa participa cada vez más el sector de los servicios, esto transforma la estructura productiva reduciendo en términos relativos el impacto ecológico con mayor generación de riqueza, aumenta el ingreso por habitante y se implementan políticas ambientales, (Selden, 1994; Dasgupta, et al., 2002; Deacon & Norman, 2004; Catalán, 2014).

Así, la elasticidad-ingreso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, cambia en las preferencias de consumo tal que el aumento del ingreso por habitante, ocasiona que una mayor disponibilidad a gastar en bienes ambientales o mejorar la calidad ambiental, tal como ocurre con un bien de lujo (Baldwin, 1995; Selden & Song, 1994). Algunos enfoques advierten que la innovación continua se acompaña de nuevas fuentes y formas de contaminación, con ello inicia nuevamente otra EKC, puede mostrar una tendencia en forma de “N” invertida entre el ingreso y la contaminación por habitante. Esto estaría ocurriendo debido a que el cambio en las preferencias sociales por mayores niveles de ingreso se acompaña de cambios en la regulación de la contaminación, de la producción energética, mejoran los niveles de educación y suele retardar la obsolescencia tecnológica. No obstante, hay evidencia de las tendencias en la contaminación atmosférica y los niveles de producción, en términos relativos (por habitante), también se destaca que en términos absolutos sigue creciendo la generación de contaminantes de manera global (Selden, 1994; Dasgupta, et al., 2002; Balsalobre-Llorente, et. al. 2017).

Las conclusiones de algunos estudios no son optimistas sobre las repercusiones empíricas que indican el tránsito a una reducción de contaminación generada por unidad de riqueza en términos relativos, como: Stern (2004), Selden y Song (1994) y Wagner (2008). Para ellos el comportamiento de la EKC no garantiza un tránsito hacia la sostenibilidad, dado que en la premisa inicial sobre la reducción de la contaminación no es generalizable cuando se traslada a términos absolutos, el problema sigue presente y las estimaciones señalan que seguirán creciendo las emisiones de contaminantes (Selden & Song, 1994).

Este escepticismo, que se presenta tanto en trabajos teóricos como empíricos, que plantean una relación simple y predecible entre contaminación e ingreso por habitante. No obstante, en algunos contaminantes se puede presentar la EKC en forma de U invertida, esto tendría que demostrarse con mayor rigor en series de tiempo o métodos de datos de panel, para una mayor muestra de contaminantes urbanos (Stern, 2004). Por otra parte, la EKC en diferentes economías del mundo, podrían no ser adecuadas o bien llegar conclusiones contradictorias (Wagner, 2008). Para ello, surge la propuesta del uso de técnicas estadísticas no paramétricas (*splines* polinomiales), como una forma alterna al descomponer las series de tiempo y examinar la EKC con intervalos de confianza y con simulación (Wang, 2011).

La revisión de la EKC para 182 países, aplicando el análisis de datos panel y sección cruzada, encontraron que la hipótesis EKC es aceptable en ambos enfoques, aunque los puntos de inflexión

estimados en las secciones transversales no son fiables del todo. Se señala la importancia de abordar adecuadamente problemas como la heterogeneidad, cambios estructurales e interacción espacial, se destaca también que no se revisó el tema de causalidad (Atwi, et al., 2018).

En particular para algunos países de la cuenca del Pacífico, se pueden apreciar estudios que demuestran la EKC con distintas metodologías y aproximaciones metodológicas, que se muestran de manera sintetizada en la tabla 1. Aunque se trata de una hipótesis muy estudiada para diferentes países y regiones del mundo, las técnicas y las variables empleadas dan una importante diversidad a los análisis.

**Tabla 1.** Estudios sobre la EKC, en economías de la Cuenca del Pacífico

Autor(es)	País(es)	Variables	Método	Se prueba hipótesis CAK	Consideraciones
Vo, et al., 2021	26 países de Asia Pacífico	Emissiones CO <sub>2</sub> , PIB, Consumo de Energía y Financiamiento para el Desarrollo (FD) y FD <sup>2</sup>	Rezago distribuido, autoregresivo de panel con Modelo de grupo medio combinado, grupo medio y grupo medio combinado, estimador dinámico de efectos fijos, prueba de causalidad de Granger	SI	Relación bidireccional entre: PIB y energía; energía y FD; CO <sub>2</sub> y FD.
Murshed, Haseeb y Alam, 2021	Bangladesh, India, Pakistán, Sri Lanka y Nepal	Huella de carbono; Huella ecológica; PIB y PIB <sup>2</sup> Consumo de energía renovable; Energía renovable para electricidad; Financiamiento para el desarrollo; Tasa de urbanización; Grado de apertura comercial	Dependencia de sección cruzada; Panel de raíces unitarias; Panel de cointegración; DOLS y FMOLS.	SI	La Tasa de urbanización y la apertura comercial inciden fuertemente en la huella ecológica y en la huella de carbono. El uso de energía renovable reduce significativamente las huellas de carbono y huella ecológica para los países de estudio.
Fong, Salvo y Taylor, 2020	Sudeste Asiático	Nox, SO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> , Urbanización, Consumo de Energía Renovable, Intensidad energética por Unidad de PIB, Inversión Extranjera Directa como % del PIB y participación del Sector Servicios	Econometría espacial	SI	Se confirma la EKC para los tres contaminantes. Hay diferencia significativa en el punto de inflexión para los países de bajo ingreso con los de alto ingreso.
Aruga, 2019	19 países de Asia Pacífico	Consumo de energía, PIB y PIB <sup>2</sup>	Modelo de regresión y Cointegración, FMOLS y DOLS	Parcialmente	Se aprueba la hipótesis para los países de altos ingresos, no así para los de ingresos medio y bajo.
Zhang, S. 2019	Malasia	Energía renovable, energía no renovable, innovación tecnológica y crecimiento económico con emisión de dióxido de carbono	Prueba Límite de Rezagos Distribuidos Autoregresivos (ARDL)	SI	Se aprueba la hipótesis encontrando que el consumo de energías renovables y la innovación tecnológica impactan inversamente en las emisiones de dióxido de carbono. En tanto que la energía fósil y crecimiento económico impactan directamente en las emisiones de dióxido de carbono.

Dong, Sun, Li y Liao, 2018	14 países de Asia Pacífico	Consumo de gas natural y emisiones CO <sub>2</sub>	Datos panel, Causalidad de Granger, Cointegración, Análisis de Dependencia de Sección Cruzada, Grupos de Medias Aumentadas (AMG) y FMOLS.	SI	Evidencia de la EKC, en 13 de los 14 países de manera independiente del PIB por habitante. Además, la hipótesis EKC se presenta de manera independiente de los niveles de ingreso.
Wen-Cheng Lu, 2017	16 países asiáticos	Consumo de Energía, CO <sub>2</sub> , PIB y PIB <sup>2</sup>	Datos Panel, Cointegración, Raíz Unitaria, Análisis de Sección Cruzada	Parcialmente	Hay heterogeneidad regional en la hipótesis EKC. El uso de energía es un determinante importante de las emisiones GEI**. Los resultados, (a excepción del Sudeste Asiático), indican que el medio ambiente se degrada a medida que aumentan los ingresos, hasta que se alcanza el umbral.
Al-Mulai, Saboori y Ozturk, 2015	Vietnam	Consumo de electricidad (fuentes renovables y fósiles), PIB, CO <sub>2</sub> , Fuerza de Trabajo, Exportaciones, Importaciones y Capital.	Autorregresivo con rezagos distribuidos, Granger, raíz unitaria.	NO	El consumo de energía renovable no ha sido significativo en la reducción de contaminación. La relación de corto plazo entre contaminación y PIB es positiva.
Brajer, Mead y Xiao, 2011	China	SO <sub>2</sub> , TSP, NO <sub>2</sub> , Ingreso, Densidad poblacional, Localización Norte, Localización Costa.	Metodología Nemerrow	SI	Análisis individual de los contaminantes hay un comportamiento EKC de U invertida. No obstante, al analizar en conjunto los índices, parece ocurrir una forma de N. Lo que plantea un panorama preocupante por una elevación de costos en salud derivados de la contaminación.
Jalil y Mahmud, 2009	China	PIB, PIB <sup>2</sup> , CO <sub>2</sub> y Consumo de Energía	Autorregresivo con rezagos distribuidos, Granger, raíz unitaria.	SI	El consumo de energía es significativo para explicar las emisiones de CO <sub>2</sub> . El PIB al cuadrado obtuvo signo negativo al igual que las CO <sub>2</sub> .
Navarrete, et. al., 2009	México	CO <sub>2</sub> , PIB y PIB <sup>2</sup>	Raíz unitaria y Causalidad de Granger	SI	Se precisa sobre ampliar los mecanismos de transmisión entre las variables

Fuente: Elaboración propia.

Nota: \*FMOLS = Fully-Modified Ordinary Least Square y DOLS = Dynamic Ordinary Least Squares.

\*\* Gases de Efecto Invernadero.

Los estudios que se presentan en la Tabla 1, son solo algunos trabajos para la región en la última década, se puede apreciar que predomina el uso de variables macroeconómicas como la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI), (principalmente el CO<sub>2</sub>), el PIB, el PIB<sup>2</sup> y el Consumo de Energía Renovable. Se destaca que el trabajo de Al-Mulai, et al., (2015) no se demuestra la EKC, en tanto que solo se demuestra parcialmente para 16 países asiáticos (Wen-Cheng, 2017), dado que el consumo de energía no proveniente de fósil fue determinante, aspecto relativo a las políticas de abastecimiento energético.



En este sentido, se presentan argumentos en favor y también en contra del uso y validación de hipótesis EKC y ante ello, es relevante continuar con la generación de estudios que proporcionen información y evidencia, que pueda enriquecer al conocimiento del estado del arte y al mismo tiempo aportar más fundamentos sobre la relación entre economía, desarrollo y calidad ambiental.

Los presupuestos de la EKC proporcionan elementos teóricos a la hipótesis, sin embargo, no tienen una aplicación interpretativa de amplio alcance ante las circunstancias económicas, políticas, sociales e institucionales de los países en desarrollo. Aspectos como la desigualdad socioeconómica y la debilidad institucional en la protección ambiental, son algunas desventajas para que se alcance la EKC, por lo que la espera no es el factor que llevará a mejoras en la calidad ambiental a largo plazo (Zilio, 2012).

Si bien, no se presentan resultados concluyentes, sin embargo, la mayoría de los estudios muestran tendencias semejantes. Vale la pena resaltar que las variaciones de supuestos en los modelos manifiestan diferencias, que inciden en los resultados. En parte debido a ello, la EKC sigue siendo un instrumento y una referencia para la interpretación de la relación entre evolución de la economía y comportamiento de la calidad ambiental.

## 4. Metodología

El presente trabajo está enfocado a 21 economías de la región APEC, esta muestra se justifica con la importancia que tienen estas economías enumeradas en la tabla 2 en cuanto a su crecimiento económico y consumo de energías tanto renovables como no renovables y la correlación existente con la emisión de elementos contaminantes. En este trabajo se analizan los principales factores que explican la emisión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) mediante un enfoque econométrico de datos panel. Los datos que se han trabajado fueron obtenidos de los Indicadores de Desarrollo Mundial provenientes de las bases de datos del Banco Mundial (2022). Para este análisis se utiliza un modelo de regresión de panel de datos para comprobar la Curva Ambiental de Kuznets (EKC) (Panayotou, 1993) lo anterior de 1990 al 2018.

**Tabla 2.** Economías de la muestra

Economías de la región APEC		
Australia	Brunéi Darussalam	Canadá
República Popular de China	Hong Kong (China)	Indonesia
Japón	República de Corea	México
Malasia	Nueva Zelanda	Perú
Filipinas	Papúa Nueva Guinea	Federación de Rusia
Taiwán	Tailandia	Estados Unidos
Vietnam		

Fuente: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (2020).

La variable dependiente son las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), mientras que las variables independientes consideran Producto Interno Bruto per cápita ( $PIBpc$ ), el Consumo de Energía Renovable ( $CErnw$ ) y el Consumo de Energía de Combustibles Fósiles ( $lnErnw$ ).

## 4.1 Enfoque econométrico

Los activos de energía renovable han ganado consideración entre los investigadores en los últimos años. En ese sentido existe una creciente gama de trabajos que emplean la econometría como método de investigación en las relaciones existentes en las variables ambientales. El creciente interés de la academia por las acciones encaminadas al uso extensivo de la energía limpia puede explicarse por las perspectivas de crecimiento del sector, que a su vez se basan en tres razones. En primer lugar, hay una creciente preocupación por el medio ambiente natural y la descarbonización del sistema energético, que se refleja en el protocolo de Kioto y el acuerdo de París (Grubb et al., 1999; Klein et al., 2017; Schellnhuber et al., 2016). En segundo lugar, se debe decir que con ello las investigaciones derivadas de las regresiones lineales han utilizado durante mucho tiempo el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), no obstante, la rigurosidad de esta clase de estimadores, se tiene que los mismos presentan algunas críticas (Ugrinowitsch et al., 2004), aun así, los anteriores modelos han constituido una base importante en el análisis medioambiental.

Con respecto a la econometría Wooldridge (2012) afirma que la metodología de datos panel ha constituido una herramienta que permite dar solución a los problemas planteados con anterioridad y debido a esta razón los modelos de esta clase se han popularizado de manera importante.

Dentro de las características de los modelos de datos panel es que permiten observar los efectos fijos de los individuos mismos que llegan ocasionar comportamientos no aleatorios de las variables elegidas, en este sentido se debe comenzar a decir, que al igual que las series de tiempo, los datos de panel tienen dinámicas propias que debe ser estudiadas con sus propios métodos.

Para esta investigación, las emisiones de dióxido de carbono son analizadas mediante la metodología de datos panel, tomando en cuenta los beneficios que presentan estos comparados con un modelo típico de corte transversal o, inclusive, también serían capaces de controlar la heterogeneidad individual e identificar los efectos que habrían sido indetectables en datos de series de tiempo tradicionales.

## 4.2 Prueba de dependencia para paneles de datos dinámicos

En un mundo globalizado, en donde se esperaría que la integración existente entre las economías conduzca a una fuerte dependencia entre los datos económicos de los países y que los choques no solo afectan las economías de los países en específico, sino que también afectan a las economías de otros países. Por lo anterior, uno de los supuestos importantes en los modelos de panel de datos, es la existencia de independencia en las secciones cruzadas, es decir; el modelo no asume que existan factores comunes en los errores que puedan influenciar la evolución de los países.

Para el caso en donde se tienen paneles heterogéneos con  $T$  pequeñas y  $L$  grandes Pesaran (2004) propone una prueba que se basa en el promedio de los coeficientes de correlación por pares, lo anterior tomado de los residuales de las regresiones individuales del panel mediante mínimos cuadrados ordinarios, con ello se puede probar la dependencia de la sección cruzada de cualquier orden fijo  $p$ , así como el caso en el que se asume el orden de las unidades de sección transversal, estas pruebas se han denominado CD ( $p$ ) y CD, respectivamente.

$$CD = \sqrt{\frac{2T}{N(N-1)} \left( \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \hat{\rho}_{ij} \right)} \sim N(0,1) \quad (1)$$

### 4.3 Prueba de raíz unitaria de Pesaran (2007)

Una vez que se ha probado la “no dependencia de las secciones cruzadas” se propone realizar la prueba de raíz unitaria, para ello Pesaran (2007) propone una alternativa a las pruebas de raíz unitaria que permiten dependencia en las secciones cruzadas pero que utilizan procedimientos que a su vez eliminan asintóticamente la dependencia cruzada. En su caso la alternativa simple es que las regresiones estándar aumentadas Dickey-Fuller (ADF) se incrementan con los promedios de sección transversal de los niveles rezagados y primeras diferencias de las series individuales. Se obtienen nuevos resultados asintóticos tanto para las estadísticas de ADF aumentadas transversalmente (CADF) individuales como para sus promedios simples. La ruta seguida por Pesaran (2007) es diferente ya que permite una fuerte dependencia transversal dependiente de un factor univariante común  $f_t$ ,

$$u_{it} = g_i f_t + \varepsilon_{it} = 1, \dots, N, \quad (2)$$

donde el componente idiosincrásico  $\varepsilon_{it}$  es temporal y transversalmente independiente. Para explicar este factor común, se calculan simplemente medias transversales,

$$\underline{y}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{it} \quad (3)$$

Y modifica las regresiones de ADF. La denominada regresión de las secciones cruzadas aumentadas de Dickey-Fuller (CADF) se transforma en:

$$\Delta y_{it} = d_{it} + (\rho_i - 1)y_{it-1} + c_i \underline{y}_{t-1} + \sum_{j=1}^{k_i} \theta_{ij} \Delta y_{it-j} + \sum_{j=1}^{k_i} \Psi_{ij} \Delta \underline{y}_{t-j} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

La inclusión de  $\Delta \underline{y}_{t-j}$  en el lado derecho es paralela a la regresión ADF bajo cambios estructurales. Con  $t_{\rho_i} = i = 1, \dots, N$ , que denota la prueba de estadísticas individuales para  $\rho_i = 1$ , la evidencia acumulada se basa en el promedio del panel.

Para el caso de la regresión se asume un rezago distributivo autorregresivo (ARDL)  $(p, q_1, \dots, p_k)$  con una especificación de panel dinámico de la forma

$$y_{it} = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta_{ij} X_{i,t-j} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

donde el número de grupos  $i = 1, 2, \dots, N$ ; el número de periodos  $t = 1, 2, \dots, T$ ;  $X_{it}$  es un vector  $k \times 1$  de variables explicativas;  $\delta_{ij}$  son los vectores de coeficientes  $k \times 1$ ;  $\lambda_{ij}$  son escalares; y  $\mu_i$  es el efecto específico del grupo.  $T$  debe ser lo suficientemente grande para que el modelo pueda adaptarse a cada grupo por separado. Pueden incluirse tendencias temporales y otros regresores fijos.

#### 4.4 Grupo de medias de efectos comunes correlacionados (CCEMG)

El modelo CCEMG fue propuesto por Pesaran (2006) y ampliado por Chudik et al., (2015). Este estimador calcula el efecto de los regresores medios transversales en las variables de interés. Esta es una característica única que hace que CCEMG sea superior a otros enfoques de panel, como DOLS, FMOLS, MDG y otros. El estimador CCEMG se puede trabajar utilizando la siguiente ecuación:

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{l=0}^p \beta_{il} y_{it-l} + \sum_{l=0}^q \delta_{il} x_{it-l} + \sum_{l=0}^z \mu_{il} z_{it-l} + u_{it} \quad (6)$$

donde  $\underline{z}_t = (\underline{y}_t, \underline{x}_t)'$ ,  $\underline{y}_t = n^{-1} \sum_i^N y_t$  y  $\underline{x}_t = n^{-1} \sum_i^N x_t$ , para  $(p, q, z)$  son los rezagos.

A continuación, la especificación empírica del modelo se describe de la siguiente manera:

$$\ln CO_{2it} = \beta_{0i} + \beta_{1i} \ln PIBpc_{it} + \beta_{2i} (\ln PIBpc)_{it}^2 + \beta_{3i} \ln CErnw_{it} + \beta_{4i} \ln CEf_{it} + \epsilon_{it} \quad (7)$$

donde el número de economías de la APEC  $i = 1, 2, \dots, N$ ; el número de periodos  $t = 1, 2, \dots, T$ ;  $CO_2$  es el logaritmo del dióxido de carbono en las economías de la APEC;  $PIBpc$  es el logaritmo del Producto Interno Bruto per cápita de las economías de la APEC;  $(PIBpc)^2$  es el logaritmo del producto Interno Bruto al cuadrado;  $Ernw$  representa el logaritmo del consumo de energía renovable -consumo total de energía final;  $CEf$  es el logaritmo del total del consumo de energía de combustibles fósiles;  $\epsilon$  es el término de error y finalmente  $\beta_{0i}$ ,  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$ ,  $\beta_{3i}$ ,  $\beta_{4i}$  son los parámetros del modelo.

Los coeficientes del PIB per cápita y el PIB per cápita al cuadrado indicarían el comportamiento esperado de la hipótesis EKC. Por lo que se esperaría un coeficiente positivo para el PIB per cápita, seguido de un coeficiente negativo para el PIB per cápita al cuadrado de acuerdo a los postulados de la hipótesis EKC e implica una relación invertida en forma de U entre la degradación ambiental y la evolución. Por el contrario, un coeficiente negativo para el PIB per cápita y un coeficiente positivo para el cuadrado del PIB per cápita apoyan la existencia de una relación en forma de U entre la degradación ambiental y los ingresos. Además de probar los postulados de la hipótesis EKC, también se medirá el efecto del consumo de energía renovable. Si bien se espera que el coeficiente del consumo de energía renovable sea negativo, lo que indica que las emisiones de  $CO_2$  disminuyen con el aumento del consumo de energía renovable.

## 4.5 Los datos

La muestra de este estudio está formada por las 21 economías del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico, los países incluidos en la muestra de este trabajo son algunas de las economías más avanzadas y con niveles de ingreso más altos del mundo, además de consumos en energía también importantes. Por lo anterior, las economías de la muestra proporcionan datos geográficamente diversos con los cuales examinar la relación entre el crecimiento económico, el consumo de energía fósil, energía renovable y las emisiones de dióxido de carbono. Los datos se obtienen de la base de datos del Banco Mundial (2022) y abarcan el período comprendido entre 1990 y 2018, el último año para el que se disponía de datos.

## 5. Análisis y discusión de resultados

Antes de implementar el modelo de datos del panel, se ha examinado la dependencia de las secciones cruzadas y la heterogeneidad de la pendiente de los datos a modelar. La dependencia en las secciones cruzadas implica que un choque que influye en un país puede afectar a otros países en el panel. La heterogeneidad de la pendiente sugiere que los coeficientes de pendiente estimados pueden no ser homogéneos y, por lo tanto, un coeficiente de pendiente que se estima para todo el panel sería inconsistente para los miembros individuales del panel. Granger (2003) y Pesaran (2006) en sus trabajos argumentan la importancia de los exámenes de dependencia transversal y heterogeneidad al realizar el análisis de datos de panel. En particular, Pesaran (2006) sugiere que puede producirse un sesgo considerable en los coeficientes estimados si se descuida la dependencia transversal dentro del panel.

Pesaran (2006) ha desarrollado una prueba para la dependencia de la sección transversal llamada CD. Las cuatro pruebas examinan la hipótesis nula de no dependencia transversal. Para examinar la existencia de heterogeneidad de la pendiente, Pesaran y Yamagata (2008) sugieren las pruebas  $\tilde{\Delta}$  y  $\tilde{\Delta}_{adj}$  se debe tomar en cuenta que la prueba  $\tilde{\Delta}_{adj}$  tiene mejores propiedades. La hipótesis nula de la homogeneidad de la pendiente se prueba contra la hipótesis alternativa de la homogeneidad de la pendiente mediante estos métodos.

**Tabla 3.** Resultados de la prueba de dependencia de la sección cruzada

	$CO_2$	$PIBpc$	$(PIBpc)^2$	$Ernw$	$CEf$
prom $\rho$	0.65	0.90	0.91	0.11	0.10
prom $\sigma^2$	0.78	0.90	0.91	0.53	0.53
CD	37.95	52.63	53.27	6.32	5.61
Valor- $p$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Resultados de la prueba de heterogeneidad

	$\tilde{\Delta}$	$\tilde{\Delta}_{adj}$
Estadístico	4.03	4.68
Valor- $p$	0.00	0.00

Fuente: autores, con base en el período de la muestra y utilizando la versión 17 del software StataSE.

En la parte superior de la tabla 3 se reportan los resultados de las pruebas de dependencia transversal, mientras que la parte inferior presenta los resultados de las pruebas de heterogeneidad. Como se muestra, la hipótesis nula de no dependencia transversal puede rechazarse a un nivel de significación estadística del 1 % con respecto a todas las pruebas de dependencia transversal. En el mismo sentido, la hipótesis nula de homogeneidad de la pendiente también se rechaza a un nivel de significación estadística del 1 %. Estos resultados, sugieren que existen problemas de dependencia transversal y heterogeneidad de la pendiente en el modelo. Por lo tanto, se debe emplear una técnica empírica robusta que asuma la dependencia de la sección transversal y la heterogeneidad de la pendiente para analizar el modelo propuesto. En ese sentido el estimador CCEMG es adecuado ante las anteriores determinantes.

Como se ha dicho con anterioridad, y una vez que se muestra la evidencia de dependencia en las secciones cruzadas, se procede a aplicar la prueba de raíz unitaria diseñada por Pesaran (2007), que permite modelar series con dependencia transversal. La tabla 4 muestra que no se puede rechazar la hipótesis nula de estacionariedad bajo la que opera la prueba, es decir; se rechaza en órdenes de rezago más pequeños para todas las series y no se puede rechazar en órdenes de rezago más altos. No obstante, con un rezago los resultados sugieren que no hay evidencia de raíz unitaria para la primera diferencia de cada una de las series, de manera que se encuentra evidencia de que las series son estacionarias en sus primeras diferencias.

**Tabla 4.** Resultados de las pruebas de raíz unitaria de Pesaran (2007) (con tendencia)

	$CO_2$		$PIBpc$		$(PIBpc)^2$		$Ernw$		$CEf$	
	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p
Rezago 0	1.96	0.97	1.74	0.96	3.65	1.00	-1.04	0.15	-2.02	0.021
Rezago 1	1.70	0.95	0.19	0.57	2.30	0.98	0.81	0.79	0.32	0.62
Resultados de las pruebas de raíz unitaria de Pesaran (2007) (sin tendencia)										
	$\Delta CO_2$		$\Delta PIBpc$		$\Delta(PIBpc)^2$		$\Delta Ernw$		$\Delta CEf$	
	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p	Zt-bar	Valor-p
Rezago 0	-11.7	0.00	-9.36	0.00	-9.25	0.00	-14.9	0.00	-11.9	0.00
Rezago 1	-4.38	0.00	-5.61	0.00	-5.53	0.00	-8.18	0.00	-5.92	0.00

Fuente: autores, con base en el período de la muestra y utilizando la versión 17 del software StataSE.

A continuación, se presentan los resultados del modelo EKC especificado en la Ec. (6). Se ha utilizado el estimador de Efectos Comunes Correlacionados, modelo que permite trabajar con series que tienen dependencia transversal y heterogeneidad en sus parámetros, al tiempo que producen estimaciones de coeficientes asintóticamente imparciales y eficientes para cada economía del panel. Para este trabajo y siguiendo la estructura de rezagos de la prueba de raíz unitaria se estimó el modelo con un rezago. La tabla 5 presenta los resultados del panel de las economías de la APEC examinados en este estudio.

Las columnas 1 y 2 de la tabla ilustran conjuntamente los efectos del crecimiento económico, medido por el PIB per cápita, en las emisiones de  $CO_2$  al exhibir tanto coeficientes como errores

estándar. Más específicamente, este resultado muestra la relación entre el desarrollo económico y la contaminación ambiental al tomar el consumo de energía.

**Tabla 5.** Resultados de la relación entre crecimiento económico, energía renovable, energía fósil y contaminación ambiental

	$\ln CO_2$	$\ln PIBpc$	$\ln(PIBpc)^2$	$\ln Ernw$	$\ln CEf$
	Curva medioambiental de Kuznets (EKC)		Consumo de energía renovable	Consumo de energía fósil	
	(1)	(2)	(3)	(4)	
	$\ln PIBpc$	$(\ln PIBpc)^2$	$\ln Ernw$	$\ln CEf$	
Coefficiente	0.108**	-1.80e-09*	-0.306***	0.793***	
Error estándar	0.057	1.15e-09	0.099	0.308	
Valor-p	0.059	0.109	0.002	0.010	

Nota: \*\*\*, \*\*, \* indican significancia estadística al nivel del 1, 5, y 10 % respectivamente.

Fuente: autores, con base en el período de la muestra y utilizando la versión 17 del software StataSE.

La relación entre las variables seleccionadas cubrió la expectativa esperada, no obstante, es importante comentar sobre los hallazgos encontrados. En un primer momento, la EKC entre calidad ambiental ( $CO_2$ ) y PIB denota que hay una relación inelástica que sugiere que a medida que incrementa el nivel de riqueza por habitante en una unidad, también aumenta la contaminación por  $CO_2$ , de manera inelástica (0.10). No obstante, el PIB elevado al cuadrado muestra una relación inversa, lo que es congruente con la hipótesis de la EKC, se debe destacar que el grado de respuesta de valores cercano a cero; es muy bajo, lo que denota una pendiente negativa, pero suave.

En este sentido, la EKC en promedio tiene el comportamiento esperado, aunque un análisis más detallado, por ejemplo, por economías o grupos de economías podría revelar más información de la etapa de desarrollo correspondiente a cada economía. En el caso de la Ernw se destaca que el grado de respuesta a las emisiones contaminantes es inelástico y negativo, este resultado es consistente con otros estudios que encuentran el mismo tipo de relación entre  $CO_2$  y consumo de energía renovable.

A diferencia del Ernw se aprecia que el uso de CEf presenta una relación positiva, aunque inelástica, tal como se esperaba y a su vez tiene un mayor impacto del coeficiente en términos de la relación, dado que el incremento de una unidad de consumo de energía fósil por habitante, tiene un impacto de 0.70 en la emisión de gases  $CO_2$ . En este sentido, se coincide con otros estudios en términos que el aumento de la eficiencia energética y el papel de las energías renovables del consumo total de energía pueden ayudar a aumentar la seguridad energética al reducir la dependencia de la región de los combustibles fósiles importados, a la vez que reducir las emisiones  $CO_2$ , dado que los combustibles fósiles actualmente son la principal fuente de energía, desde el sector primario al resto de la economía (Al-Mulali, et al., 2016; Dong; 2018;).

La técnica econométrica empleada es novedosa en la demostración de la EKC, mostrando coincidencia con una variante del mismo modelo empleando la variable  $CO_2$  en función de la producción agrícola y la producción ganadera, en este estudio también encontró una relación inelástica con las variables explicativas (Ayyildiz, 2020). Debido al potencial que presentan estos

modelos, se propone su adaptación y aplicación para otros trabajos empíricos, pudiendo usar otras variantes, como por ejemplo, otro tipo de contaminantes.

## 6. Conclusiones

El presente trabajo se realizó considerando las economías de la región APEC, se analizan los principales factores que explican la emisión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) mediante un enfoque econométrico de datos panel, para lo cual se utilizó el modelo de Efectos Comunes Correlacionados propuesto por Pesaran y ampliado por Chudik; analizando el ciclo de desarrollo económico y contaminación ambiental conocido como la Curva Ambiental de Kuznets (EKC). Cabe señalar que el modelo permite la dependencia de las secciones cruzadas y la heterogeneidad, al tiempo que produce estimaciones de coeficientes asintóticamente imparciales y eficientes para cada país del panel; por lo que una de las aportaciones de la presente investigación reposa en la originalidad de la metodología empleada.

La aproximación utilizada permite confirmar la relación entre el crecimiento económico bajo el modelo actual, el consumo de energías renovables, el consumo de energías fósiles y las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en las economías de la APEC durante el periodo de análisis, el cual fue de 1990 a 2018. Así mismo, los resultados muestran la trayectoria de la EKC (segunda y tercera columna de la tabla 5) respecto de la emisión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) por parte de los países que conforman la región APEC, mostrando un indicador de  $-1.80e-09^*$  posicionando a la zona en la parte con pendiente negativa o ascendente de la U invertida de la curva. Lo cual pone de manifiesto la imperiosa necesidad de implementar medidas más efectivas con la finalidad de reducir las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

Cabe señalar que APEC ha adquirido en cada una de sus cumbres múltiples compromisos con el objetivo de frenar las emisiones de gases de efecto invernadero, con diversos resultados, aunque cabe agregar aún moderados. No obstante, se sigue monitoreando los efectos de las medidas implementadas y trabajos como el presente podrán coadyuvar al análisis e identificación de los efectos de la relación existente entre el crecimiento económico, el consumo de energías renovables, el consumo de energías fósiles y las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en las economías de la APEC, a partir de los cuales las economías que conforman la región podrán dictar las decisiones a seguir donde países clave como lo son China y Estados Unidos serán decisivos para revertir el cambio climático.

Por su parte, las columnas 4 y 5 de la tabla 5 denotan la dependencia de los modelos de crecimiento económico actuales respecto del consumo de energías fósiles en el periodo analizado con un valor en la quinta columna (energías fósiles) de  $0.793^{***}$  y en la cuarta columna (energías renovables) de  $-0.306^{***}$ . A partir de estos resultados se puede concluir la necesidad de incrementar, eficientizar e implementar políticas que aumenten la participación de energías renovables en el combo de energía total como un medio potencialmente efectivo de estrategia de reducción de emisiones. Donde se deberán considerar diversas aristas entre ellas dos puntos focales: poner particular atención a las industrias intensivas en contaminación y, por otra parte, realizar una exhaustiva planificación respecto a la sustitución de energías fósiles, para que la implementación de energías renovables no traiga consigo otros problemas no identificados en primera instancia.



Dentro de las limitaciones del presente trabajo se tiene que los resultados mostrados comprenden el total de las economías APEC utilizadas en el estudio por lo que se recomendaría en futuros trabajos realizar un análisis agrupando las economías que conforman la zona en economías de bajo, medio y altos ingresos, a fin de conocer las fases del desarrollo que presenta cada grupo de economías y su impacto en el medio ambiente.

Es pertinente resaltar que la región APEC al ser económicamente la más dinámica del mundo, adicionando el factor de que las economías que la conforman consumen poco más del 60 por ciento de la energía mundial al contar con aproximadamente el 40 por ciento de la población total, será clave para procurar el bienestar de la población preservando la calidad ambiental, ya que las decisiones que tomen las economías que conforman APEC podrían revertir el cambio climático y, por ende, todos los efectos negativos que conlleva.

## Referencias

- [1] Aruga, K. (2019). Investigating the Energy-Environmental Kuznets Curve Hypothesis for the Asia-Pacific Region. *Sustainability*, 11, 2395. <https://doi.org/10.3390/su11082395>.
- [2] Al-Mulali, U., Ozturk, I., & Solarin, S. A. (2016). *Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in seven regions: The role of renewable energy*. *Ecological Indicators*, 67, 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.059>.
- [3] Ayyildiz, M., & Erdal, G. (2020). The relationship between carbon dioxide emission and crop and livestock production indexes: a dynamic common correlated effects approach. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10409-8>.
- [4] APEC, (2021). “APEC Regional Trends Analysis: Bolstering Supply Chains, Rebuilding Global Trade; Making Recovery Inclusive” (Singapore: APEC, May 2021), <https://www.apec.org/Publications/2021/05/APEC-Regional-Trends-Analysis---May-2021> <https://doi.org/10.1109/apec42165.2021.9487317>
- [5] Atwi S Barberán, R., y Angulo G. (2018). CO<sub>2</sub> Kuznets curve revisited: from cross-sections to panel data models. *Investigaciones Regionales — Journal of Regional Research*, 40. pp. 169-196. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10017/33482>.
- [6] Baldwin, Richard (1995). Does sustainability require growth? En: Goldin, Ian y Winters, L. Alan. (Eds.), *The Economics of Sustainable Development*. Centre For Economic Policy Research. Cambridge University Press, pp. 19–46
- [7] Balsalobre-Lorente, Daniel; Shahbaz, Muhammad; Ponz-Tienda, José Luis y Cantos-Cantos, José María (2017), “Energy Innovation in the Environmental Kuznets Curve (ekc): A Theoretical Approach”, *Carbon Footprint and the Industrial Life Cycle*, Springer, Cham, pp. 243-268. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54984-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54984-2_11)
- [8] Catalán, Horacio (2014), “Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable”, *Economía Informa*, 389, pp. 19-37. [https://doi.org/10.1016/s0185-0849\(14\)72172-3](https://doi.org/10.1016/s0185-0849(14)72172-3)
- [9] Chudik, A., & Pesaran, M. H. (2015). Common correlated effects estimation of heterogeneous dynamic panel data models with weakly exogenous regressors. *Journal of Econometrics*, 188(2), 393–420. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2015.03.007>
- [10] Dasgupta, Susmita; Laplante, Benoit; Wang, Hua y Wheeler, David (2002), Confronting the environmental Kuznets curve, *Journal of Economic Perspectives*, 16 (1), pp. 147-168. <https://doi.org/10.1257/0895330027157>
- [11] Dong, K., Sun, R., Li, H., & Liao, H. (2018). Does natural gas consumption mitigate CO<sub>2</sub> emissions: Testing the environmental Kuznets curve hypothesis for 14 Asia-Pacific countries. *Renewable and Sustainable*

- Energy Reviews*, 94, 419–429. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.026>
- [12] Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). Global climate risk index 2021. *Who Suffers Most from Extreme Weather Events, 2000-2019*. Disponible en: Global Climate Risk Index | Germanwatch e.V.
- [13] Granger, C. W. J. (2003). Time Series Concepts for Conditional Distributions\*. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 65(s1), 689–701. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.0305-9049.2003.00094.x>
- [14] Grubb, M., Vrolijk, C., & Brack, D. (1999). *Kyoto protocol: a guide and assessment*. <https://www.routledge.com/Routledge-Revivals-Kyoto-Protocol-1999-A-Guide-and-Assessment/Grubb-Vrolijk-Brack/p/book/9781138506848>  
<https://doi.org/10.4324/9781315147024>
- [15] Harari, Y. N. (2016). *Homo Deus: Breve historia del mañana*. Ed. Debate. España. ISBN: 978-84-9992671-1.
- [16] International Energy Agency (IEA), (2020). “Global Energy Review: CO<sub>2</sub> Emissions in 2020,” 2 March 2021, <https://www.iea.org/articles/global-energyreview-co2-emissions-in-2020>  
<https://doi.org/10.1787/1d4ad1f2-en>
- [17] IPCCa, (2021). Panel Intergubernamental del Cambio Climático, “Sixth Assessment Report, Working Group I: Regional Fact Sheet – Asia,” 2021,
- [18] [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Regional\\_Fact\\_Sheet\\_Asia.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Asia.pdf)
- [19] IPCCb, (2021). Panel Intergubernamental del Cambio Climático, “Sixth Assessment Report, Working Group I: Regional Fact Sheet – Australasia,” 2021,
- [20] [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Regional\\_Fact\\_Sheet\\_Australasia.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Australasia.pdf)
- [21] IPCCc, (2021). Panel Intergubernamental del Cambio Climático, “Sixth Assessment Report, Working Group I: Regional Fact Sheet – North and Central America,” 2021,
- [22] [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Regional\\_Fact\\_Sheet\\_North\\_and\\_Central\\_America.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_North_and_Central_America.pdf)
- [23] Jones, R. N., & Preston, B. L. (2011). Adaptation and risk management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(2), 296–308. <http://doi.org/10.1002/wcc.97>.
- [24] Kiley, Michael T. (2021). *Growth at Risk from Climate Change. FEDS Working Paper No. 2021-54*, Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.17016/FEDS.2021.054>.
- [25] Klein, D., Carazo, M. P., Doelle, M., Bulmer, J., & Higham, A. (2017). *The Paris Agreement on Climate Change: Analysis and Commentary*. OUP Oxford. <https://books.google.com.mx/books?id=I28sDwAAQBAJ>  
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4124595>
- [26] Meadows, Donella; Meadows, Denni; Randers, Jorge y Behrens, William (1972), *Los límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*, Fondo de Cultura Económica, México. <https://doi.org/10.2307/j.ctvhn09kv.13>
- [27] Mesarovic, Mihajio y Pestel, Eduard (1975), *La humanidad en la encrucijada, segundo informe del Club de Roma*, Fondo de Cultura Económica, México.
- [28] Murshed, M., Haseeb, M., & Alam, M. S. (2021). The Environmental Kuznets Curve hypothesis for carbon and ecological footprints in South Asia: the role of renewable energy. *GeoJournal*. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10370-6>.
- [29] Panayotou T (1993) Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. ILO Work Pap WP238
- [30] Panayotou, T. (1997). Demystifying the environmental Kuznets curve: Turning a black box into a policy tool. *Environment and Development Economics*, 2(4), 465-484. doi:10.1017/S1355770X97000259  
<https://doi.org/10.1017/s1355770x97000259>
- [31] Pesaran, H. M., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50–93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>

- 
- [32] Pesaran, M. H. (2004). *General Diagnostic Test for Cross Section Dependence in Panels* (Vol. 3).
- [33] Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4). <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2006.00692.x>
- [34] Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>
- [35] Raymond, C. M., Fazey, I., Reed, M. S., Stringer, L. C., Robinson, G. M., y Evely, A. C. (2010). Integrating local and scientific knowledge for environmental management. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1766–1777. <https://doi:10.1016/j.jenvman.2010.03.023>.
- [36] Saudi, M. H. M. O. Sinaga, N. H. Jabarullah, (2019). The Role of Renewable, Non-renewable Energy Consumption and Technology Innovation in Testing Environmental Kuznets Curve in Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(1), 299-307. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7327>.
- [37] Selden, Thomas y Song, Daqing (1994), "Environmental quality and development: a Kuznets curve for air pollution emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management*, 27 (2), pp. 147-162. <https://doi.org/10.1006/jjem.1994.1031>
- [38] Stern, D, Common, Michael y Barbier, Edward (1996). Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 24 (7), pp. 1151-1160. [https://doi.org/10.1016/0305-750x\(96\)00032-0](https://doi.org/10.1016/0305-750x(96)00032-0)
- [39] Stern, D. (2004), The rise and fall of the environmental Kuznets curve. *World Development*, 32 (8), pp. 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- [40] Stern, N. (2016). *Economics: Current climate models are grossly misleading*. *Nature* 530, 407–409. <https://doi.org/10.1038/530407a>.
- [41] Schellnhuber, H. J., Rahmstorf, S., & Winkelmann, R. (2016). Why the right climate target was agreed in Paris. *Nature Climate Change*, 6(7), 649–653. <https://doi.org/10.1038/nclimate3013>
- [42] Vo, D. H., Nguyen, N. T., Vo, A. T., Ho, C. M., & Nguyen, T. C. (2021). Does the Kuznets curve apply for financial development and environmental degradation in the Asia-Pacific region? *Heliyon*, 7(4), e06708. <https://doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06708>.
- [43] Ugrinowitsch, C., Fellingham, G. W., & Ricard, M. D. (2004). Limitations of ordinary least squares models in analyzing repeated measures data. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12). <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000147580.40591.75>
- [44] Wagner, Martin (2008), "The carbon Kuznets curve: a cloudy picture emitted by bad econometrics?", *Resource and Energy Economics*, 30 (3), pp. 388-408. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.11.001>
- [45] Wang, Li (2011), "A nonparametric analysis on the environmental Kuznets curve", *Environmetrics*, 22 (3), pp. 420-430. <https://doi.org/10.1002/env.1080>
- [46] Weitzman, M. L. 2014. "Fat Tails and the Social Cost of Carbon." *American Economic Review*, 104 (5): 544-46. <https://doi:10.1257/aer.104.5.544>.
- [47] Wooldridge, J. M. (2012). Introductory econometrics: a modern approach. In *Introductory econometrics : a modern approach*. Cengage Learning.
- [48] Zhang, S. (2019). Environmental Kuznets curve revisit in Central Asia: the roles of urbanization and renewable energy. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi:10.1007/s11356-019-05600-5>.