

ISSN Electrónico: 2500-9338

Volumen 24-N°3

Año 2024

Págs. 103 – 116



## Consumo de energías renovables y sus principales determinantes en países desarrollados y emergentes, 1996-2020

Enrique Guardado Ibarra <sup>1</sup>

Enlace ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7329-9811>

Felipe Cruz Díaz <sup>2</sup>

Enlace ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-6940>

Fecha de Recepción: 10 de agosto de 2024

Fecha de Aprobación: 19 de Noviembre de 2024

### Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo analizar la relación entre el consumo de energías renovables (CER), el gasto en Investigación y Desarrollo (I&D), la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>), el PIB y la entrada de Inversión Extranjera Directa (IED) en los países miembros del G7, BRICS y México durante el periodo 1996-2020. A través de modelos econométricos de datos de panel robustos, se prueba empíricamente que la I&D, CO<sub>2</sub>, el PIB y la IED tienen una relación de equilibrio de largo plazo con el consumo de energías renovables. A través de los estimadores FMOLS y DOLS se demuestra un impacto positivo significativo de I&D, PIB y IED en CER, mientras que CO<sub>2</sub> lo demuestra con un efecto negativo significativo.

**Palabras Claves.** Energías renovables, emisiones de CO<sub>2</sub>, I&D, IED y datos panel.

---

<sup>1</sup> P.hD en Ciencias en Negocios Internacionales. Posdoctorante en la Universidad Nacional Autónoma de México – FES Acatlán. Contacto: [enrique.guardado@outlook.com](mailto:enrique.guardado@outlook.com)

<sup>2</sup> P.hD en Economía. Profesor – Investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México. Contacto: [fel\\_economia@comunidad.unam.mx](mailto:fel_economia@comunidad.unam.mx)

## **RENEWABLES ENERGIES CONSUMPTION AND ITS PRINCIPALS DETERMINANTS IN DEVELOPED AND EMERGING COUNTRIES, 1996-2020**

### **Abstract:**

This research aims to analyze the relationship between renewables energies consumption (REC), Research and Development (R&D) expenditure, CO<sub>2</sub> emissions (CO<sub>2</sub>) generation, GDP and Foreign Direct Investment (FDI) inflows in the G7, BRICS and Mexico member countries during the period 1996-2020. Using robust panel data econometric models, it is empirically proven that R&D, CO<sub>2</sub>, GDP and FDI have a long-term equilibrium relationship with renewable energy consumption. Through the FMOLS and DOLS estimators, a significant positive impact of R&D, GDP and FDI on REC is demonstrated, while CO<sub>2</sub> shows a significant negative effect.

**Keywords.** Renewables energies, CO<sub>2</sub> emissions, R&D, FDI y panel data.

## **CONSUMO DE ENERGIA RENOVÁVEL E SEUS PRINCIPAIS DETERMINANTES NOS PAÍSES DESENVOLVIDOS E EMERGENTES, 1996 - 2020**

### **Resumo:**

O objetivo deste trabalho é analisar a relação entre o consumo de energia renovável (CER), os gastos com Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), a geração de emissões de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>), o PIB e a entrada de Investimento Estrangeiro Direto (IED) nos países membros do G7, BRICS e México durante o período 1996-2020. Utilizando modelos econométricos robustos de dados em painel, está empiricamente comprovado que a I&D, o CO<sub>2</sub>, o PIB e o IDE têm uma relação de equilíbrio de longo prazo com o consumo de energia renovável. Através dos estimadores FMOLS e DOLS, é demonstrado um impacto positivo significativo da I&D, do PIB e do IDE nas RCE, enquanto o CO<sub>2</sub> o demonstra com um efeito negativo significativo.

**Palavras chave:** energia renovável, Emissões de CO<sub>2</sub>, P&D, IED e dados em painel.

## 1. INTRODUCCIÓN:

El consumo de energías renovables se ha vuelto prioridad dentro de las agendas internacionales para muchos países en todo el mundo. La piedra angular que sustenta esta necesidad se da a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7) en donde se busca "Garantizar el acceso a servicios asequibles, energía confiable, sostenible y moderna para todos en 2030" (The Energy Progress Report, 2021). Esto se debe a distintos factores, tales como los altos niveles de precios de las energías no renovables como las gasolinas, carbón y gas natural, por las altas emisiones de CO<sub>2</sub> las cuales han ido dañando a través del tiempo al medio ambiente en un determinado lugar o región, o bien, simplemente para migrar hacia una mejor calidad de vida de largo plazo. En términos de fuentes energéticas, para el año 2021, la fuente de energía principal consumida a nivel mundial provino de las energías no renovables, también llamadas fósiles, encabezada por el consumo de petróleo con 186.71 quad Btus, seguido por el carbón con 166.72 quad Btus y el gas natural con 150.35 quad Btus. Le sigue en términos de consumo global las energías renovables con 72.84 quad Btus y por último la energía nuclear con 28.03 quad Btus. Lo anterior se ve reflejado, para el mismo año, en las emisiones totales de CO<sub>2</sub> liberadas por los combustibles fósiles, en donde el carbón representó el 45% del total las emisiones, el petróleo el 32.5% y el gas natural el 22.5% (Energy Information Administration [EIA], 2023). Cabe destacar que, a través de los años, a principios de la revolución industrial, ha existido una relación entre el incremento del consumo de las energías fósiles y el incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo (International Energy Agency [IEA], 2021) con el fin de generar un incremento en la riqueza de las naciones. Es por lo anterior, que existe una necesidad importante a nivel global de desarrollar y fomentar el consumo de energías renovables.

El impacto del ingreso nacional, como anteriormente se menciona, se vuelve fundamental para el consumo de las energías renovables. El PIB per cápita, por ejemplo, promueve de manera importante las energías renovables cuando este supera el umbral de los \$5,000 USD (Tudor y Sova, 2021). Existen trabajos en donde se revela que, durante el proceso de crecimiento económico en los países, el nivel de contaminación ambiental primero aumenta y

posteriormente tiende a disminuir (Bilgili et al., 2016). Esto convierte al PIB en una pieza clave de análisis para el estudio del consumo de energías renovables. El desarrollo tecnológico, así como el desarrollo del conocimiento se vuelven entonces piezas clave para la evolución en la producción y consumo de energías renovables (Wiesenthal et al., 2012) para los países del G7, BRICS y México, permitiendo cambiar y dar un giro al rumbo del sector energético de estos. Es en este punto, en donde apostar por la investigación y desarrollo se vuelve fundamental para el desarrollo de un sistema energético sostenible y limpio. Alam et al. (2021) señalan, sin embargo, que el canalizar recursos limitados hacia la investigación y desarrollo de energías puede verse reflejado en menos recursos disponibles para otros factores de producción, lo que puede provocar un desplazamiento de la inversión en investigación y desarrollo en otros sectores. Así como las emisiones de CO<sub>2</sub>, el incremento en la I&D y el PIB son significativas para el consumo de energías renovables, la IED también desempeña un papel clave significativo positivo (Khan et al., 2021), ya que fomenta la promoción del desarrollo económico a través de sus efectos beneficiosos tanto en la sostenibilidad ambiental como en el crecimiento económico (Sarkodie et al., 2020). Es por este motivo, que expertos en el tema sugieren a los países en desarrollo que implementen políticas que atraigan la entrada de IED para fomentar el consumo de energías renovables (Abdouli y Hammami, 2017 y Adams et al., 2016).

En este sentido, tanto los países pertenecientes al G7 (Canadá, Alemania, Francia, Estados Unidos, Italia, Reino Unido y Japón), como los países pertenecientes a las BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica) y México, juegan un papel estratégico e importante para impulsar el consumo de energías renovables en sus respectivas regiones debido a su potencial en términos económicos y de influencia hacia otros países menos desarrollados (Jokela y Saul, 2023). El G7 se caracteriza por estar conformado por naciones con un crecimiento económico importante y estable a través de los años, por lo cual, son consideradas naciones avanzadas, esto se ve reflejado en su PIB, el cual representa el 40% del total del PIB mundial (Khattak et al., 2022). En términos de energía consumida, el G7 demanda

el 30% del total de energía que se produce en el mundo, esto se ve reflejado en las emisiones de CO<sub>2</sub>, la cual representa un 25% de las emisiones totales mundiales (IEA, 2022). Por otra parte, en términos del consumo de energías renovables, el G7 consume alrededor del 40% de la producción total mundial (Talan et al., 2023). Por otra parte, los países pertenecientes a las BRICS se caracterizan por ser un conjunto de países con el mayor crecimiento económico en el mundo (BRICS, 2021). En su conjunto, el PIB de las BRICS representa poco más del 25% del PIB total mundial (United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], 2023). En términos de demanda de energía, las BRICS demandan el 40% de la energía total del mundo, lo cual se ve reflejado en un 40% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> a nivel global, sin embargo, el consumo de energías renovables de las BRICS representa solo el 16% de la energía renovable total mundial (Samour et al., 2023). Si bien México no destaca tanto en el G7 como en las BRICS, es un país que participa de manera activa e importante dentro del G20, así como en otros distintos organismos internacionales. De igual manera México sobresale por su influencia económica en todo Latinoamérica, siendo el segundo país más importante en términos de PIB después de Brasil y a nivel mundial se encuentra dentro de las primeras 15 economías más importantes (Banco Mundial [BM], 2023). En términos de consumo de energía, México tiene un consumo nacional de 10,370.3 PJ (Petajoules) (Secretaría de Energía [SENER], 2022). En términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, México produce 383, 131 Kt (kilotons) (BM, 2022) y su consumo de energías renovables representa el 12.33% del total de su consumo de energía (BM, 2022).

De acuerdo a lo anterior planteado, se establece la pregunta que conduce la presente investigación: ¿Cuál es la relación de largo plazo entre el consumo de energías renovables, el gasto en I&D, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el PIB y la entrada de IED en los países miembros del G7, BRICS y México durante el periodo 1996-2020? En este sentido, el objetivo de esta investigación es la de analizar la relación de largo plazo entre el consumo de energías renovables, el gasto en I&D, las de emisiones de CO<sub>2</sub>, el PIB y la entrada de IED en los países miembros del G7, BRICS y México durante el periodo 1996-2020. Se considera al G7, los BRICS y México como caso de estudio ya que han sido países que en

general, han realizado esfuerzos importantes y considerables en el desarrollo de su sector energético respectivamente. Las aportaciones y novedades del presente estudio son, primeramente, examinar el nexo existente entre el consumo de energías renovables, el gasto en I&D, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el PIB y las entradas de IED en los países pertenecientes al G7, BRICS y México. De manera consecuente, el análisis en la presente investigación sigue un modelo teórico ampliamente utilizado para la elección de variables en el entorno empírico, este modelo llamado “modelo I = PAT” (Impacto = población \* Afluencia \* Tecnología) se aplica para investigar los factores que influyen en la degradación ambiental. Finalmente, el presente artículo aplica distintas metodologías econométricas de datos panel las cuales brindan robustez y confiabilidad a los hallazgos. Por ejemplo, la prueba de dependencia de sección cruzada (CD) de Pesaran (2004) es empleada para detectar dependencia de corte transversal entre las variables seleccionadas. De igual forma se aplican pruebas de raíz unitaria de segunda generación de Pesaran (2007) para datos panel la cual considera la presencia de CD entre las variables. La prueba de Kao (1999) y el modelo Autorregresivo de Rezagos Distribuidos (ARDL) de Pesaran et al. (2001) son las pruebas de cointegración utilizadas para investigar la relación de equilibrio de largo plazo. Los estimadores de Mínimos Cuadrados Completamente Modificados (FMOLS) y Mínimos Cuadrados Dinámicos (DOLS) son aplicados para estimar relaciones de cointegración para datos panel buscando evitar sesgos (Phillips y Moon, 1999; Pedroni, 2001 y Kao y Chiang, 2001), mientras que la prueba de no causalidad heterogénea de Dumitrescu y Hurlin (2012) es usada para analizar relaciones causales existentes entre variables.

El artículo se estructura, posterior a la introducción, de la sección 2, la cual describe brevemente la revisión literaria, la sección 3 muestra el desarrollo metodológico econométrico, la sección 4 muestra los resultados y sus análisis y por último se presentan las conclusiones.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA:**

La energía, a través del tiempo, ha sido fundamental para la producción de bienes y servicios que son indispensables para satisfacer las necesidades humanas (Gómez y Rodríguez, 2019). En este sentido, los estudios para desarrollar sistemas de energías sustentables para el consumo cobran cada vez más relevancia por el contexto en el que vivimos en la actualidad. Al día de hoy, existe una importante cantidad de estudios que han abordado la conexión entre el consumo de energías renovables y la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, la literatura ha demostrado que, un incremento en el consumo de este tipo de energías provoca una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub> para varios países. Sadorsky (2009) estudia el vínculo existente entre el uso de las energías renovables, las emisiones de CO<sub>2</sub> y los precios de la energía en los países pertenecientes al G7 en el periodo de 1980-2005. Utilizando la técnica econométrica del Modelo de Corrección del Vector de Errores (MCVE) concluye que, tanto el crecimiento económico como las emisiones de CO<sub>2</sub> son dos factores importantes que permiten un incremento en el desarrollo y consumo de energías renovables y limpias en el largo plazo. Tiba et al. (2016) analizan la relación entre el desempeño ambiental, el consumo de energía renovable y el crecimiento económico en 24 países con ingresos medio-altos para el periodo 1990–2011. Obtienen que existe causalidad bidireccional entre las energías renovables y las emisiones de CO<sub>2</sub> en los países con altos ingresos. Basado en la diferencia entre el método generalizado de momentos (GMM) y el estimador de medias agrupadas (PMG) utilizando datos de panel balanceados anuales para 42 países en desarrollo durante el periodo 2002-2011, Ito (2017) examina la conexión entre la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, el crecimiento económico, la demanda de energía de combustibles fósiles y el consumo de energía renovable. Los hallazgos empíricos que obtiene señalan que existe una relación sustitutiva entre el consumo de energía no renovable por energía renovable, provocando una disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>. En estudios más recientes, Ahmed

et al. (2022), analizan las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el uso de energías renovables en los países de la región de la Asociación del Sur de Asia para la Cooperación Regional (SAARC) en el periodo de 2002-2020. Mediante métodos de estimación de datos panel, determinan la existencia de relaciones de largo plazo, así como un impacto negativo de las energías renovables en las emisiones de CO<sub>2</sub> a largo plazo. Por último, Idris et al. (2022) analizaron la conexión causal entre la demanda de energías renovables y la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la técnica de ARDL para los países pertenecientes a la OCDE, concluyendo que, entre ambas, existe una relación de cointegración medida a través de la prueba de Johansen tanto de corto como de largo plazo.

En la actualidad, cuando se habla de investigación y desarrollo en energías, se relaciona, en gran medida, con los avances que se tienen en tecnologías nuevas para la búsqueda de eficiencia energética y energía sostenible. Aplicando la metodología econométrica de datos panel para 2500 empresas industriales (grandes y medianas) en China, relacionadas con la energía para el periodo de 1997-1999, Fisher-Vanden et al. (2004) identifican los factores que influyen en la intensidad energética de dicho país, concluyendo que el desarrollo tecnológico es un factor determinante para disminuir la intensidad energética en China. Inglesi (2017) por su parte, plantea una estimación de la tasa de retorno social de la investigación y desarrollo en diversas aplicaciones y tecnologías energéticas, como la eficiencia energética, los combustibles fósiles, las fuentes de energía renovable y la energía nuclear para los países del G7 obteniendo que, la inversión en investigación y desarrollo en tecnologías de eficiencia energética y nuclear generan altos beneficios sociales para estos países. Wang et al. (2020) realizaron a través de los efectos heterogéneos de cinco variables (eficiencia energética, precios del petróleo, precisión ambiental, investigación y desarrollo y consumo de energías renovables) un análisis empírico por medio de datos panel para los países del G20. Sus hallazgos señalan que es la investigación y desarrollo la principal variable para promover el desarrollo de energías renovables en estos países. Zhu et al. (2021) plantean

una hipótesis en donde identifican que la conservación de la energía y la transición a un sistema bajo en emisiones de carbono requiere de políticas de I&D en materia de energía debido a la falta de inversión en I&D privada. A través de un conjunto de datos panel para 18 países miembros de la IEA en el periodo 1980-2015, obtuvieron que la I&D energética pública redujo la intensidad energética global en un 12% y contribuyó en un 39% a la reducción de emisiones de carbono en dicho periodo. Por último y más reciente, Caglar y Ulug (2022) abordan los efectos de los presupuestos de I&D en eficiencia energética, el crecimiento económico, la apertura comercial y los recursos naturales en las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el período 1985-2019 utilizando los métodos de grupo de medias aumentadas y grupo de medias de efectos correlacionados comunes. Los resultados empíricos muestran que los presupuestos de I&D en eficiencia energética no están al nivel necesario para mejorar la calidad ambiental, concluyendo que es necesario aumentar estos para encontrar esa mejora en la calidad del ambiente.

Como se mencionó en el apartado anterior, el consumo y calidad de energías está fuertemente relacionado por los niveles de crecimiento económico de un país. Chien y Hu (2008) identifican que el PIB está influenciado positivamente por la formación de capital (la cual, a su vez, está influida positivamente por las energías renovables), la balanza comercial y el consumo. En el mismo sentido Chang et al. (2014) desarrollan un estudio de la relación causal del consumo de energía nuclear y crecimiento económico para seis países (el G7 con la excepción de Italia que no utiliza energía nuclear desde la década de 1980) utilizando un análisis de causalidad de panel de Granger, teniendo en cuenta la dependencia transversal y la heterogeneidad en todos los países para el período 1971-2011. El resultado es favorable a la causalidad unidireccional la cual va desde el crecimiento económico hasta el consumo de energía nuclear, lo que respalda la hipótesis de conservación. Esto implica que el crecimiento económico es la dinámica que provoca el consumo de fuentes de energía nuclear y sugiere que las políticas de

conservación de energía no tienen un impacto adverso en el crecimiento económico. Kose et al. (2013) realizaron estudios en donde se analiza la relación entre el consumo de energía y el PIB de Turquía. Su objetivo fue el de averiguar la importancia relativa de los componentes energéticos en el PIB a partir de la aplicación de dos métodos. Primero aplicaron el análisis relacional gris (GRA) para determinar los tipos de energía más influyentes en el PIB, posteriormente aplicaron el análisis de regresión para comparar los resultados obtenidos por GRA. Los resultados muestran que las fuentes de energía más importantes son el petróleo y las energías renovables. Ambas fuentes de energía tienen la misma importancia para el crecimiento económico de Turquía. Sin embargo, se da a entender que este equilibrio debe desestabilizarse en aras de un incremento en la producción y uso de energías renovables para tener una menor huella de carbono.

La IED ha sido pieza clave para el desarrollo de las energías a lo largo del tiempo, Mielnik y Goldemberg (2002) estudiaron el nexo entre inversión extranjera directa y consumo de energía. La muestra incluyó 20 economías en desarrollo, los resultados empíricos mostraron que la reducción en la intensidad energética está asociada con un aumento de la inversión extranjera directa. La razón de esto probablemente sea el uso de tecnologías modernas que vinieron con la inversión extranjera directa, dejando atrás las tecnologías tradicionales anticuadas que se utilizan en estos países. Sadorsky (2010) estudió el efecto de la inversión extranjera directa sobre el consumo de energía, aplicó técnicas de estimación del método generalizado de momentos utilizando un conjunto de datos panel sobre 22 países emergentes. Los hallazgos empíricos revelaron que la inversión extranjera directa impulsa el consumo de energía ya que el aumento de la liquidez fomentará la proliferación de nuevas plantas y fábricas, lo que a su vez aumenta la demanda de energía. Por su parte, Sbia et al. (2014) investigaron sobre el impacto de la inversión extranjera directa en el consumo de energía incorporando la energía verde, la apertura comercial, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el crecimiento económico utilizando la demanda

de energía en los Emiratos Árabes Unidos (EAU). Los resultados obtenidos revelaron que la inversión extranjera directa ahorra energía y que la energía verde estimula la demanda de energía, pero a un ritmo menor en comparación con el uso de productos y tecnologías tradicionales. Alam et al. (2021) hacen una sugerencia importante a los formuladores de políticas para que introduzcan directrices políticas efectivas para fomentar las inversiones en energía limpia a través de asociaciones público-privadas, argumentan que estas inversiones adicionales no solo aumentan el consumo de energía limpia, sino que también reducen significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> en esos países.

De acuerdo a la revisión de literatura anterior, se puede concluir que hasta el momento hay escasos estudios empíricos disponibles que analicen el papel de la I&D, el PIB y la IED en el consumo de las energías renovables, en especial para los países del G7, BRICS y México. Las emisiones de CO<sub>2</sub> son un punto de quiebre fundamental para entender el consumo de estas energías por lo cual, su análisis ayuda a enriquecer el marco teórico para la construcción de modelos empíricos. Son estos puntos, en donde el presente estudio intenta llenar esa ausencia de la investigación ya existente, permitiendo aportar a la generación de conocimiento, así como proporcionar ideas para la formulación de políticas que permitan el crecimiento del consumo de las energías renovables y la mejora del medio que nos rodea.

### 3. METODOLOGÍA:

#### 3.1 Datos

El presente estudio utiliza datos anuales que abarcan un periodo de tiempo de 1996 al 2020 para los países pertenecientes al grupo del G7 que se conforma por Estados Unidos, Canadá, Alemania, Reino Unido, Japón, Francia e Italia, al grupo de los BRICS conformado por Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica y por México. El periodo de tiempo seleccionado se basa en la disponibilidad de datos. Las variables están caracterizadas de la siguiente manera:

- Consumo de energías renovables (CER): Medido como el consumo de energías renovables como porcentaje del total del consumo de energía.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>): Medido en toneladas métricas per cápita.
- Investigación y desarrollo(I&D): Medido como el gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB.
- Inversión extranjera directa (IED): Medido en entradas netas como porcentaje de PIB.
- PIB (PIB): Medido como el crecimiento porcentual del PIB anual.

Los datos anuales de todas las variables tienen como fuente el World Development Indicator del BM (2023). De igual manera, todas las variables se expresan en logaritmos naturales para su fácil interpretación.

#### 3.2 Desarrollo metodológico

De acuerdo a la literatura empírica previamente analizada, se establece la especificación del modelo econométrico teniendo como variable dependiente al CER y como independientes a las emisiones de CO<sub>2</sub>, al gasto en I&D, la entrada de IED y el crecimiento porcentual del PIB el cual se plantea de la siguiente manera:

$$CER_{it} = \beta_0 it + \beta_1 i CO2_{it} + \beta_2 i I\&D_{it} + \beta_3 i IED_{it} + \beta_4 i PIB_{it} + e_{it} \quad (1)$$

Donde  $i$  indica la sección cruzada haciendo referencia a los países,  $t$  hace referencia al periodo de tiempo que se tiene establecido, y  $e_{it}$  hace referencia al término de error. Los parámetros  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , y  $\beta_4$  hacen referencia a la elasticidad que existe en el largo plazo para todas las variables, esperando, de acuerdo a la literatura empírica, el siguiente comportamiento:

- $\beta_1 < 0$  ya que un incremento de CO<sub>2</sub> genera una caída en CER.
- $\beta_2 > 0$  ya que un incremento en la I&D genera un incremento en CER.
- $\beta_3 > 0$  ya que un incremento en la IED genera un incremento en CER.
- $\beta_4 > 0$  ya que un incremento del PIB provoca un incremento en CER.

Dentro del análisis de los modelos de series de tiempo, uno de los problemas más importantes por resolver es el de las regresiones espuria, por lo tanto, es importante revisar el nivel de integración, así como

validar que haya una relación de cointegración de largo plazo entre las variables propuestas en la investigación. La literatura econométrica propone resolverlo a través del análisis de raíz unitaria para datos de panel debido a que existen ventajas al combinar datos de corte transversal y series de tiempo como un mayor número de observaciones, menos colinealidad, mas grados de libertad y mayor eficiencia (Baltagi, 1995). Dentro de las pruebas más comunes y conocidas para el análisis de raíz unitaria para datos de panel se encuentran las pruebas de Im, Pesaran y Shin (IPS) (Im et al. 2003), la prueba de Fisher usando ADF (Fisher-ADF) (Maddala y Wu, 1999) y la prueba de Levin, Lin y Chu (LLC) (Levin et al. 2002). Estas pruebas en caso de existir dependencia de sección cruzada en el modelo, dejan de ser adecuadas para su aplicación, por lo tanto, es necesario aplicar pruebas de raíz unitaria conocidas como de segunda generación, las cuales proporcionan resultados consistentes en ausencia de independencia y heterogeneidad en los países que conforman el panel de datos (Riti et al., 2017). Por lo anterior, en la presente investigación se aplica la prueba de raíz unitaria de segunda generación sugerida por Pesaran (2007).

Una vez que se determina que las variables se encuentran cointegradas, el proceso de estimación de los coeficientes a través de la técnica tradicional del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) queda limitada debido a que resulta sesgada y dichas estimaciones resultan inconsistentes (Philips y Moon, 1999). Derivado de lo anterior, la literatura econométrica propone métodos nuevos para estimar relaciones de cointegración a través del uso de datos de panel. Estos estimadores propuestos son: el estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios Completamente Modificados (FMOLS) y el estimador de Mínimos Cuadrados Ordinarios Dinámicos (DOLS), ambas, producen estimadores de coeficientes asintóticamente insesgados y normalmente distribuidos (Pedroni, 2001 y Kao y Chiang, 2001). Por lo anterior, la presente investigación aplica tanto el estimador FMOLS como el estimador DOLS para datos de panel heterogéneos y cointegrados.

Al estar cointegradas las variables, Granger (1988) establece que existe entonces una relación causal en al menos una dirección, es por esto, que una prueba de causalidad es necesaria para determinar la dirección entre variables. La prueba de Dumitrescu y Hurlin (2012) compara la causalidad en modelos de

datos de panel heterogéneos, determinan dos dimensiones existentes: la heterogeneidad de la relación causal y la heterogeneidad del modelo aplicado. La hipótesis nula que se plantea de no causalidad homogénea se analiza frente a la hipótesis alternativa donde existen dos subgrupos: el primero se caracteriza por una relación de causalidad entre dos variables y el segundo donde no existe una relación de causalidad entre ambas variables analizadas.

Tabla 1. Prueba de Pesaran CD para dependencia de sección cruzada

Variable	Estadístico CD	Valor P
CER	1.547	0.121
CO2	2.951***	0.003
I&D	13.298***	0.000
IED	5.550 ***	0.000
PIB	27.743***	0.000

Nota: \*\*\* denota un rechazo de la hipótesis nula al 1% en los niveles, respectivamente Fuente: Elaboración propia con datos del BM, con tratamiento en Eviews.

#### 4. RESULTADOS:

La primera prueba que se presenta es la prueba de Pesaran CD de dependencia de sección cruzada, en esta prueba, la hipótesis nula hace referencia a que no existe dependencia entre variables, y es, por lo tanto, lo que se pretende rechazar.

En la tabla 1 la hipótesis de no dependencia se rechaza para todas las variables a un nivel de significancia del 1%, excepto para la variable CER, esto hace referencia a que existe dependencia transversal en la mayoría de las variables, por lo tanto, es importante aplicar pruebas de raíz unitaria de segunda generación que generen resultados consistentes en la presencia de dependencia de sección cruzada para datos de panel, por lo cual, se aplica la prueba de Pesaran (2007).

Tabla 2. Prueba de raíz unitaria de segunda generación Pesaran

Variable	Parámetros determinísticos	PESCADF
CER	CT	0.849
CO2	CT	0.920
I&D	CT	0.942
IED	CT	0.359
PIB	CT	0.743
CER (Primeras diferencias)	C	0.000***
CO2 (Primeras diferencias)	C	0.000***
I&D (Primeras diferencias)	C	0.000***
IED (Primeras diferencias)	C	0.000***
PIB (Primeras diferencias)	C	0.000**

Nota: \*\*\* y \*\* denotan un rechazo de la hipótesis nula al 1% y 5% en los niveles, respectivamente. C denota la constante y CT denota constante y tendencia. Fuente: Elaboración propia con datos del BM, con tratamiento en STATA.

Los resultados de las pruebas de raíz unitaria de segunda generación se presentan en la tabla 2, se confirma entonces, la integración de todas las variables en orden uno. Todas las variables tienen raíz unitaria en sus niveles, sin embargo, son estacionarias en primeras diferencias con el 1% de significancia. Para analizar si existe la presencia de equilibrio, así como una relación de largo plazo entre las variables que se integran bajo el mismo orden, se deben de aplicar pruebas y métodos de cointegración para datos de panel, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 3. Resultados de la prueba de cointegración de Kao

Prueba	t-Statistic
ADF	-2.055**
Valor - p	(0.019)

Nota: \*\* denota rechazo de la hipótesis nula al 5% en sus niveles. Fuente: Elaboración propia con datos del BM, con tratamiento en Eviews.

La tabla 3, a través de la prueba de Kao (1999), identifica los resultados de cointegración en donde la hipótesis nula de no cointegración se rechaza al 5%, lo cual indica que existe una relación de largo plazo entre las variables.

Una segunda prueba de cointegración es aplicada al modelo para generar mayor robustez, por lo tanto, se aplica el método de cointegración del modelo ARDL desarrollado por Pesaran *et al.* (2001), en el cual se aplican dos rezagos y tendencia.

Tabla 4. Resultados de la prueba de cointegración ARDL

Estimación de largo plazo en CER	Valor-p
CO2	0.000***
I&D	0.000***
IED	0.001***
PIB	0.000***

Nota: \*\*\* denota rechazo de la hipótesis nula al 1% en sus niveles.

Fuente: Elaboración propia con datos del BM, con tratamiento en Eviews

Se muestran en la tabla 4 los resultados obtenidos de la prueba de cointegración ARDL, en donde se observa que en el largo plazo todas las variables son significativas al 1%.

Como se menciona previamente en el apartado 3.2, cuando las variables están cointegradas, la técnica de MCO para estimar los coeficientes para modelos de datos de panel no resulta la más adecuada ya que se generan sesgos y se producen estimaciones inconsistentes. Para resolver este problema, existen métodos alternos para estimar relaciones de cointegración usando el método de datos panel los cuales son el estimador de Mínimos Cuadrados Completamente Modificados (FMOLS) y el estimador de Mínimos Cuadrados Dinámicos (DOLS) (Pedroni, 2001 y Kao y Chiang, 2001). Ambos métodos producen la estimación de coeficientes que son asintóticamente insesgados y con una distribución normal. En la presente investigación se usan, por lo tanto, el estimador FMOLS como el estimador DOLS, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 5. Estimación de largo plazo de los coeficientes

Variable	Coefficientes FMOLS	Coefficientes DOLS
CO2	-0.693***	-0.738***
I&D	5.611***	3.722***
IED	2.300***	2.510***
PIB	1.384***	2.195***

Nota: \*\*\* denota rechazo de la hipótesis nula al 1% en sus niveles, respectivamente. Fuente: Elaboración propia con datos del BM, con tratamiento en Eviews.

La tabla 5 muestra que, usando los estimadores FMOLS y DOLS, todas las variables son estadísticamente significativas al 1% en sus niveles. Las elasticidades en el largo plazo muestran una relación negativa entre CER y CO2 lo cual hace referencia a que un incremento de CER provoca una disminución en CO2. Por otro lado, existe una relación de largo plazo positiva entre CER con I&D, IED y PIB, esto indica que un incremento de I&D, de IED y de PIB provoca un incremento en CER. El comportamiento de los signos se puede observar en la figura 1.

**Figura 1. Análisis de resultados de los estimadores en las variables**



Fuente: Elaboración propia con base a los resultados obtenidos en la prueba de estimadores.

Uno de los puntos importantes a tratar dentro de la econometría en el uso de datos panel es la heterogeneidad de las unidades de sección cruzada. Para resolver este problema, Dumitrescu y Hurlin (2012) desarrollan un método para estudiar la causalidad en modelos heterogéneos de datos de panel. En esta prueba, la hipótesis nula de la no causalidad homogénea se establece frente a la hipótesis alternativa en donde existen dos subgrupos, el primero en donde hay una relación causal entre dos variables y otro en donde no existe relación causal entre las dos variables.

hipótesis nula	Prueba wald	Prob	Decisión
CO2 no causa homogéneamente a CER	3.746 ***	0.00	Rechazo 0
CER no causa homogéneamente a CO2	5.328 ***	0.00	Rechazo 0
I&D no causa homogéneamente a CER	1.266	0.73	Acepta 2
CER no causa homogéneamente a I&D	3.318 ***	0.00	Rechazo 0
IED no causa homogéneamente a CER	0.684	0.37	Acepta 0

CER no causa homogéneamente a IED	1.914	0.08	Acepta 5
PIB no causa homogéneamente a CER	1.409	0.51	Acepta 7
CER no causa homogéneamente a PIB	1.882	0.09	Acepta 8
I&D no causa homogéneamente a CO2	2.722***	0.00	Rechazo 0
CO2 no causa homogéneamente a I&D	3.988***	0.00	Rechazo 0
IED no causa homogéneamente a CO2	1.948	0.07	Acepta 2
CO2 no causa homogéneamente a IED	1.280	0.70	Acepta 9
PIB no causa homogéneamente a CO2	1.183	0.86	Acepta 8
CO2 no causa homogéneamente a PIB	2.250**	0.01	Rechazo 4
IED no causa homogéneamente a I&D	1.691	0.21	Acepta 2
I&D no causa homogéneamente a IED	1.253	0.75	Acepta 2
PIB no causa homogéneamente a I&D	2.502***	0.00	Rechazo 3
I&D no causa homogéneamente a PIB	2.757***	0.00	Rechazo 0
PIB no causa homogéneamente a IED	1.836	0.11	Acepta 9
IED no causa homogéneamente a PIB	1.099	0.99	Acepta 0

Nota: \*\*\* y \*\* denotan rechazo de la hipótesis nula al 1% y 5% en sus niveles, respectivamente. Fuente: Elaboración propia con datos del BM, con tratamiento en Eviews.

La tabla 6 muestra que, una vez aplicada la prueba de causalidad Hurlin-Dumitrescu, existe una relación de causalidad bidireccional entre CER y CO2, entre I&D y CO2 y entre PIB y I&D. Esto significa que las variables se complementan y que cada una tiene un peso específico significativo que permite predecir de una mejor forma el comportamiento de la otra variable. De igual manera, existe una relación unidireccional entre CER y I&D y entre CO2 y PIB.

## 5. CONCLUSIONES:

Hoy en día, no es un secreto que el excesivo uso de energías fósiles para la producción de bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas han ido modificando ciertos comportamientos de los mercados a través del tiempo, de igual manera se ha deteriorado el medio ambiente que nos rodea, e inclusive ha llegado a afectar la calidad de vida de las personas en ciertas regiones del planeta. Los líderes políticos y tomadores de decisiones de distintas

naciones han mostrado su preocupación por el aumento del calentamiento global causado por las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen principalmente por el consumo de este tipo de energías. De manera específica, estos tomadores de decisiones, principalmente de países desarrollados han puesto en práctica estrategias para reducir dichas emisiones de CO<sub>2</sub> con la finalidad de mejorar la calidad de vida y el mejoramiento del medio ambiente que los rodea. Dentro de estas estrategias, se ha apostado por incrementar el gasto en I&D, impulsar el crecimiento a las IED, esto con el objetivo de fomentar las innovaciones que permitan desarrollar tecnologías para incentivar la producción y el consumo de energías renovables, así como favorecer el crecimiento económico, todo esto con el fin de contrarrestar las emisiones de CO<sub>2</sub> para reducir significativamente el efecto invernadero. Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue el de analizar la relación entre el consumo de energías renovables, el gasto en Investigación y Desarrollo, la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, el PIB y la entrada de Inversión Extranjera Directa en los países miembros del G7, BRICS y México, utilizando datos anuales durante el periodo 1996-2020 a través de la metodología econométrica de datos de panel y sus respectivas pruebas para generar mayor robustez y certeza a los resultados obtenidos.

Los resultados empíricos obtenidos demuestran que existe una relación de equilibrio de largo plazo entre todas las variables. Los resultados establecen que el gasto en I&D, el incremento del PIB y el crecimiento en la IED tienen un efecto positivo y significativo en el consumo de energías renovables, mientras que el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> tiene un efecto negativo significativo en el consumo de estas energías para las economías pertenecientes al G7, BRICS y México.

De acuerdo a los hallazgos obtenidos, se sugiere a los tomadores de decisiones y formuladores de políticas, considerar aumentar el financiamiento enfocado a las actividades que potencialicen la investigación y desarrollo y aumento de la inversión extranjera directa (empresas encaminadas hacia las energías limpias)

con el fin de incrementar las innovaciones tecnológicas que favorezcan a la eficiencia energética a través del consumo de energías renovables y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. De igual manera, el impulsar el crecimiento para el desarrollo de tecnologías relacionadas con las energías renovables permitiría una reducción del costo de dichas tecnologías, lo cual permitiría a su vez que, tanto las empresas como las familias puedan incorporarlas en un determinado momento en sus actividades del día a día. Esto en su conjunto permitirá un crecimiento económico sostenible para las economías previamente analizadas.

## 6. AGRADECIMIENTOS:

El presente trabajo de investigación fue realizado durante la estancia posdoctoral en la UNAM - FES Acatlán y contó con recursos a través del Programa de Becas Posdoctorales de la UNAM.

## 7. REFERENCIAS:

- Abdouli, M. y Hammami, S. (2017). Economic growth, FDI inflows and their impact on the environment: an empirical study for the MENA countries. *Quality & Quantity: International Journal of Methodology*, 51(1). <https://doi.org/10.1007/s11135-015-0298-6>
- Adams, S., Adom, P.K. y Klobodu, E.K.M. (2016). Urbanization, regime type and durability, and environmental degradation in Ghana. *Environ, Sci. Pollut. Control Ser*, 23(2016). <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7513-4>
- Ahmed, S.F., Zayed, N.M., Islam, K.M.A. y Nitsenko, V. (2022). Investigating the impact of re consumption on co2 emissions: evidence from the SAARC countries. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3(2022). <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-3/107>
- Alam, M.S., Apergis, N., Paramati, S.R. y Fang, J. (2021). The impacts of R&D investment and stock markets on clean-energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in OECD economies. *International Journal of Finance and*

- Economics*, 26(4).  
<https://doi.org/10.1002/ijfe.2049>
- Baltagi, B.H. (1995). *Econometric Analysis of Panel Data*. John Wiley and Sons.
- Banco Mundial (BM). (2022). CO2 emissions (kt) – México.  
<https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?locations=MX>
- Banco Mundial (BM). (2022). Renewable energy consumption (% of total final energy consumption) – Mexico.  
<https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS?locations=MX>
- Banco Mundial (BM). (2023). The World Bank in Mexico, Mexico Overview.  
<https://www.worldbank.org/en/country/mexico/overview>
- Banco Mundial (BM). (2023). World Development Indicators.  
<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Bilgili, F., Kocak, E. y Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact or renewable energy consumption on CO2 emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54(2016).  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>
- BRICS. (2021). Evolution of BRICS.  
<https://brics2021.gov.in/about-brics>
- Caglar, A.E. y Ulug, M. (2022). The role of government spending on energy efficiency R&D budgets in the green transformation process: insight from the top-five countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2022).  
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-21133-w>
- Chang, T., Gatwabayege, F., Gupta, R., Inglesi-Lotz, R., Manjezi, N.C. y Simo-Kengne, B. D. (2014). Causal relationship between nuclear energy consumption and economic growth in G6 countries: Evidence from panel Granger causality tests. *Progress in Nuclear Energy*, 77(2014).  
<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.07.006>
- Chien, T. y Hu, J. (2008). Renewable energy: An efficient mechanism to improve GDP. *Energy Policy*, 36(8).  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.04.012>
- Dumitrescu, E-I. y Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modeling*, 29(4).  
<https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>
- Energy Information Administration (EIA). (2023). International Data.  
<https://www.eia.gov/international/data/world>
- Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H. y Tao, Q. (2004). What is driving China's decline in energy intensity? *Resource and Energy Economics*, 26(1).  
<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2003.07.002>
- Gómez, M. y Rodríguez, J.C. (2019). Energy Consumption and Financial Development in NAFTA Countries, 1971-2015. *Applied Sciences*, 9(2).  
<https://doi.org/10.3390/app9020302>
- Granger, C.W.J. (1988). Some recent development in a concept of causality. *Journal of Econometrics*, 39(1-2).  
[https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90045-0)
- Idris, F.W., Seraj, M. y Özdeser, H. (2022). Renewable energy consumption, CO2 emissions and trade balance nexus in OECD countries: evidence from ARDL bounds approach. *International Journal of Energy Sector Management*, 17(4).  
<https://doi.org/10.1108/IJESM-02-2022-0009>
- Im, K. S., Pesaran, M. H. y Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1).  
[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- Inglesi, R. (2017). Social rate of return to R&D on various energy technologies: Where should we invest more? A study of G7 countries. *Energy Policy*, 101.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.10.043>

- International Energy Agency (IEA). (2021). Global Energy Review 2021, CO2 emissions. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>
- International Energy Agency (IEA). (2022). Achieving Net Zero Heavy Industry Sectors in G7 Members. <https://www.iea.org/reports/achieving-net-zero-heavy-industry-sectors-in-g7-members>
- Ito, K. (2017). CO2 emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2017.02.001>
- Jokela, J. y Saul, A. (2023). The Changing dynamic of the G7, G20 and BRICS. *FIIA Briefing Paper*, 04/361. [https://www.fiaa.fi/wp-content/uploads/2023/04/bp361\\_the-changing-dynamics-of-the-g7-g20-and-brics.pdf](https://www.fiaa.fi/wp-content/uploads/2023/04/bp361_the-changing-dynamics-of-the-g7-g20-and-brics.pdf)
- Kao, C. (1999). Spurious Regression and Residual Based Tests for Cointegration in Panel Data. *Journal of Econometrics*, 90(1). [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)
- Kao, C. y Chiang, M.H. (2001). On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data. En B.H. Baltagi, T.B. Fomby, y R. Carter (Coord). *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels* (Advances in Econometrics, Vol. 15) (p.179–222). Emerald Group Publishing Limited.
- Khan, A., Chenggang, Y., Hussain, J. y Kui, Z. (2021). Impact of technological innovation, financial development and foreign direct investment on renewable energy, non-renewable energy and the environment in belt & Road Initiative countries. *Renewable Energy* 171(2021). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.075>
- Khattak, S.I., Ahmad, M., Haq, Z., Shaofu, G. y Hang, J. (2022). On the goals of sustainable production and the conditions of environmental sustainability: Does cyclical innovation in green and sustainable technologies determine carbon dioxide emissions in G-7 economies. *Sustainable Production and Consumption*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.022>
- Kose, E., Burmaoglu, S. y Kabak, M. (2013). Grey relational analysis between energy consumption and economic growth. *Grey Systems: Theory and Application*, 3(3). <https://doi.org/10.1108/GS-06-2013-0010>
- Levin, A., Lin, C. y Chu, C. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1). [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)
- Maddala, G. S. y Wu, S. (1999). A Comparative Study of Unit Root Tests with Panel Data and a New Simple Test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61. <http://dx.doi.org/10.1111/1468-0084.61.s1.13>
- Mielnik, O. y Goldemberg, J. (2002). Foreign direct investment and decoupling between energy and gross domestic product in developing countries. *Energy Policy*, 30(2). [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00080-5)
- Pedroni, P. (2001). Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. En B.H. Baltagi, T.B. Fomby, y R. Carter (Coord). *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels* (Advances in Econometrics, Vol. 15) (p.93–130). Emerald Group Publishing Limited.
- Pesaran, M. H., Shin, Y. y Smith, R.J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3). <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Pesaran, M. H. (2004). General diagnostic tests for cross-section dependence in panels. *Working Paper in Economics No.0435*. <https://doi.org/10.17863/CAM.5113>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2). <https://doi.org/10.1002/jae.951>

- Phillips, P. C. B. y Moon, H. R. (1999). Linear regression limit theory for non-stationary panel data. *Econometrica*, 67(5). <http://www.jstor.org/stable/2999513>
- Riti, J. S., Song, D., Shu, Y. y Kamah, M. (2017). Decoupling CO2 emission and economic growth in China: Is there consistency in estimation results in analyzing environmental Kuznets curve? *Journal of Cleaner Production*, 166(2017). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.117>
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, co2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3). <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Sadorsky, P. (2010). The impact of financial development on energy consumption in emerging economies. *Energy Policy*, 38(5). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.048>
- Samour, A., Adebayo, T. S., Agyekum, E. B., Khan, B. y Kamel, S. (2023). Insights from BRICS-T economies on the impact of human capital and renewable electricity consumption on environmental quality. *Scientific Reports*, 13(5245). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32134-1>
- Sarkodie, S. A., Adams, S. y Leirvik, T. (2020). Foreign direct investment and renewable energy in climate change mitigation: Does governance matter? *Journal of Cleaner Production*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121262>
- Sbia, R., Shahbaz, M. y Hamdi, H. (2014). A contribution of foreign direct investment, clean energy, trade openness, carbon emissions and economic growth to energy demand in UAE. *Economic Modelling*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.09.047>
- Secretaría de Energía (SENER). (2021). Sistema de Información Energética. <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=IE0C01>
- Talan, A., Rao, A., Sharma, G. D., Apostu, S-A. y Abbas, S. (2023). Transition towards clean energy consumption in G7: Can financial sector, ICT and democracy help. *Resources Policy*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103447>
- The Energy Progress Report (2021). Tracking SDG 7, Progress Towards Sustainable Energy. <https://trackingsdg7.esmap.org/>
- Tiba, S., Omri, A. y Frikha, M. (2016). The four-way linkages between renewable energy, environmental quality, trade and economic growth: A comparative analysis between high and middle-income countries. *Energy Systems*, 7. <https://doi.org/10.1007/s12667-015-0171-7>
- Tudor, C. y Sova, R. (2021). On the Impact of GDP per Capita, Carbon Intensity and Innovation for Renewable Energy Consumption: Worldwide Evidence. *Energies*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/en14196254>
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2023). BRICS Investment Report 2023. [https://unctad.org/system/files/official-document/diae2023d1\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/diae2023d1_en.pdf)
- Wang, Q., Li, S. y Pisarenko, Z. (2020). Heterogeneous effects of energy efficiency, oil Price, environmental pressure, R&D investment and policy on renewable energy – evidence from the G20 countries. *Energy Policy*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118322>
- Wiesenthal, T., Leduc, G., Haegeman, K. y Schwarz, H-G. (2012). Bottom-up estimation of industrial and public R&D investment by technology in support of policy-making: The case of selected low-carbon energy technologies. *Research Policy*, 41(1). <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.08.007>
- Zhu, Z., Liao, H. y Liu, L. (2021). The role of public energy R&D in energy conservation and transition: Experiences from IEA countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110978>