

## Energías renovables, PIB, mercados financieros e investigación: la experiencia de América latina. 2000-2019

Ricardo Carreón Sosa<sup>1\*</sup> - Universidad Nacional Autónoma de México, México

David Bonilla Vargas\* - Universidad Nacional Autónoma de México, México

### Resumen

Las energías renovables deben ser parte del esfuerzo por alcanzar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> frente al calentamiento global. El objetivo general de esta investigación se enfoca en reconocer el impacto de agentes económicos, financieros y de I + D (Investigación y desarrollo) como factores de crecimiento en la generación de energía renovable (GER) en América latina (AL). La metodología se basa en un estudio econométrico que utiliza un análisis de panel con elementos fijos, se utilizan pruebas de especificación, (Ramsey) pruebas de autocorrelación (Durbin-Watson), (Breusch-Godfrey), y correcciones con (Cochrane-Orcutt). Los datos aportan resultados inéditos coherentes con los objetivos planteados, destacan la importancia de los mercados financieros como vía de impulso a los principales países en las seis tecnologías de GER, por lo cual se recomienda para AL acelerar el desarrollo de sus mercados e instituciones financieras y mayores inversiones en I+ D. Dentro de las conclusiones más importantes se reconocen en AL los efectos favorables reflejados en el sector bioenergético y el impacto positivo con el aumento del PIB en el crecimiento de la energía solar y eólica.

*Clasificación JEL: C51, Q420, Q43, Q40.*

*Palabras clave: Energía Renovable, apertura comercial, instituciones y mercados financieros, PIB, I+D.*

## Renewable energies, GDP, financial markets and research: the experience of Latin America. 2000-2019

### Abstract

Renewable energies must be part of the effort to reduce CO<sub>2</sub> emissions in the face of global warming. The general objective of this research focuses on recognizing the impact of economic, financial and R & D (Research and Development) agents as growth factors in the generation of renewable energy (GER) in Latin America (LA). The methodology is based on an econometric study that uses a panel analysis with fixed elements, specification tests, (Ramsey) autocorrelation tests (Durbin-Watson), (Breusch-Godfrey), and corrections with (Cochrane-Orcutt). The data provide unprecedented results consistent with the objectives set, highlight the importance of financial markets as a means of promoting the main countries in the six GER technologies, for which it is recommended for LA to accelerate the development of its markets and financial institutions and greater investments in R&D. Among the most important conclusions, the favorable effects reflected in the bioenergy sector and the positive impact with the increase in GDP on the growth of solar and wind energy are recognized in LA.

*JEL Classification: C51, Q420, Q43, Q40.*

*Keywords: Renewable Energy, commercial openness, financial institutions and markets, GDP, R&D.*

<sup>1</sup> Autor de correspondencia. Instituto de Investigaciones Económicas (UNAM). Mario de la Cueva, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, CDMX, México

\* El autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo para la beca doctoral (CONACYT), 2018/2022. Agradecimiento: Los autores agradecen a la UNAM por el apoyo otorgado a través del proyecto IN303421 del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica.

## 1. Introducción

El objetivo de este apartado busca exponer de manera actualizada y confiable la problemática relacionada a los agentes económicos y financieros con respecto a la evolución de la generación de energía renovable (GER) en América latina (AL) y en el mundo considerando los antecedentes del comportamiento de cada una de las seis tecnologías estudiadas. La siguiente investigación en primer lugar, reconoce el estado del arte, la problemática energética y económica en AL y el mundo, posteriormente se describe la metodología empleada, por último, se exponen los resultados para cada una de las tecnologías en las regiones de estudio.

La importancia de esta investigación parte de la hipótesis de reconocer los efectos en la inversión de recursos económicos en desarrollar conocimientos y capacidades tecnológicas, así como innovaciones en términos energéticos sostenibles. y finalmente las conclusiones ofrecen recomendaciones a distintas áreas, entre académicos, empresarios, investigadores o actores políticos que influyan de manera directa entre la comunicación científica en virtud del desarrollo tecnológico en la GER en AL y en el mundo. En la Tabla 1 se observa los 31 países que se estudian en un periodo de 20 años.

El alcance de los resultados que se ofrecen, nos permiten reconocer los agentes económicos y financieros a partir de relacionar seis variables que incluyen, a la generación de energía renovable (GER), como variables dependientes y cinco variables explicativas que analizan el comportamiento económico, financiero y de inversión en investigación y desarrollo (I+D) , para los 16 países de Latinoamérica con mayor participación en GER, y los cinco principales países con mayor GER en el mundo para un periodo de 20 años de 2000 a 2019.

**Tabla 1.** Países en estudio en Américalatina y en el mundo

AL	Mundo
Brazil	China
Mexico	India
Venezuela	USA
Argentina	Russian Fed
Colombia	Japan
Chile	Germany
Paraguay	Spain
Peru	Canada
Ecuador	Indonesia
Uruguay	Philippines
Costa Rica	Turkey
Guatemala	New Zealand
Panama	France
Honduras	Korea Rep
El Salvador	United Kingdom
R. Dominicana	

Fuente: Elaboración propia

La técnica econométrica utilizada se basa en la aplicación de un modelo de panel con efectos fijos en el tiempo, que permite distinguir las correlaciones que existen entre los datos de los indicadores energéticos como variables dependientes y los indicadores económicos, financieros y de I+D como variables explicativas de los 16 principales países con mayor capacidad instalada de energía renovable ER en AL, comparado con los cinco principales países con mayor capacidad instalada alrededor del mundo para cada una de las seis diferentes tecnologías renovables en el periodo correspondiente de 2000 a 2019.

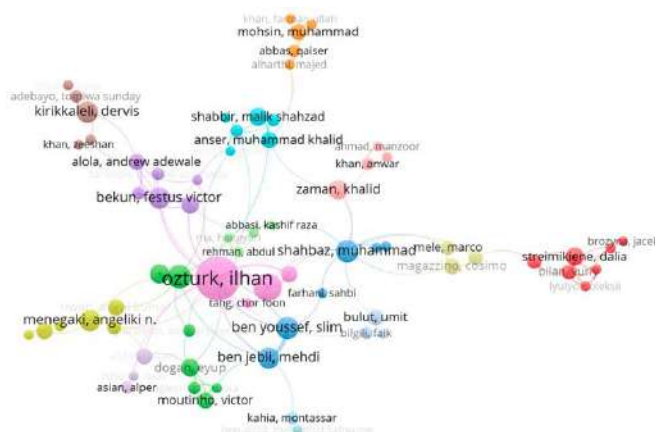
## 2. Estado del Arte.

En esta sección se describe la literatura y los estudios relacionados al contexto actual de la GER en AL y en el mundo, así como la influencia entre los diferentes autores en la discusión respecto a la influencia de las variables económicas, financieras y de I+D como explicativas en el crecimiento o como obstáculo en el desarrollo de la GER. El impacto de la siguiente investigación se percibe al reconocer los efectos relacionados al despliegue de tecnologías de GER en AL y el mundo a partir de su evolución identificando a las seis principales fuentes renovables, entre ellas la energía hidroeléctrica, fotovoltaica, eólica, geotérmica, bioenergía y marina. De acuerdo con (Khezri et al., 2021), es posible reconocer cinco variables explicativas que han permitido determinar el comportamiento de la energía renovable y los factores que influyen y dictan su comportamiento, lo que permite impulsar o limitar su penetración como alternativa energética.

Para reconocer el aporte científico en el área de estudio, se desarrollo un análisis bibliométrico que permite reconocer las fronteras del conocimiento y las tendencias en investigaciones recientes con mayor impacto al rededor del mundo, referentes a las variables explicativas y la GER. Se efectuaron cinco búsquedas en “Web of Science” (WoS) realizadas el 10 de junio de 2022, con distintos términos de búsqueda; el primero, “Renewable energy” (ER), and, “Openness trade” (OTR), el segundo, “Renewable energy”, and, “Financial institutions” (IFIN), el tercero, “Renewable energy”, and, “Financial markets” (MFIN), el cuarto “Renewable energy”, and, “R&D” (I+D), y el quinto “Renewable energy”, and, “GDP” (PIB). En las notas complementarias *apartado 1*, se describen los resultados del análisis bibliométrico de cada búsqueda, identificando a partir de herramientas de visualización de redes de colaboración, los principales autores, la cantidad de citas, los principales países, y los conceptos emergentes, se logro distinguir los artículos que cuentan con mayor impacto entre la comunidad científica a fin de reconocer los principales actores involucrados en las discusiones actuales entorno a la evolución tecnológica de las GER como resultado del comportamiento de variables económicas y financieras. Se utilizo para la visualización y el agrupamiento de los resultados el software VOSviewer (Van Eck y Waltman, 2010).

### 2.1 Problemática económica y financiera en AL y en el mundo

El primer análisis bibliométrico realizado, considera como variable económica explicativa el PIB con las ER, se distinguen a los autores y los trabajos con mayor fuerza de enlace, lo cual representa una ponderación entre el numero de documentos y el numero de citas referentes a ER y a PIB.



**Fig. 1.** Red de colaboración de autores PIB-ER.

Fuente: Elaboración propia

En la *Tabla 2*, se observan los principales autores y las redes de colaboración entre ER y PIB. (Ozturk, Ilhan, 2021), obtuvo 28 documentos en estudio.

**Tabla 2.** Análisis bibliométrico PIB Y ER

Autor	Documents'	Citas	Fuerza de enlace
Ozturk, Ilhan	28	3,404	38
Yuan, Jiahai	7	158	22
Rafiq, Muhammad	6	69	21
Azam, Anam	5	59	21
Shafique, Muhammad	5	59	21
Zhang, Haonan	4	73	15
Al-Mulali, Usama	14	1,296	14
Bekun, Festus Victor	9	349	14
Ateeq, Muhammad	3	6	14
Apergis, Nicholas	11	2,315	13

Fuente: Elaboración propia

En un nuevo estudio (Al-mulali et al., 2013), se investigó a 108 países con diferentes ingresos, donde se reconocen los efectos bidireccionales a largo plazo entre el aumento en el PIB y el consumo de ER; el estudio revela que un 79 % de los países analizados tienen efectos bidireccionales positivos a largo plazo y de retroalimentación, a diferencia del 19 % de los países que no mostraron relaciones entre ambas variables sugiriendo neutralidad entre ellas y solo el 2 % de los países en estudio mostró una relación unidireccional lo que refiere un comportamiento de conservación, *Tabla 3*.

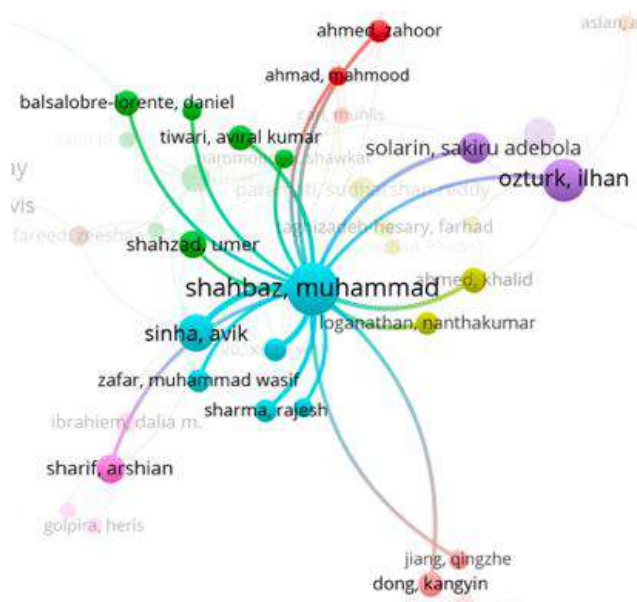
**Tabla 3.** Estudios sobre la relación crecimiento del PIB - consumo de ER

Autor	Periodo	País	Metodología	Hipótesis
Menyah y Rufael	1960-2007	EE.UU	VAR	conservación
Menegaki	1997-2007	Europa	paneles	neutralidad
Apergis et al.	1984-2007	Países desarrollados y en desarrollo	paneles	retroalimentación
Apergis y Payne	1990-2007	Países emergentes	paneles	retroalimentación
Tugcu et al.	1980-2009	países del G-7	ADRL	retroalimentación
Apergis y Payne	1990-2007	Países desarrollados y en desarrollo	paneles	retroalimentación
Apergis y Payne	1992-2007	Eurasia	paneles	retroalimentación
Apergis y Payne	1985-2005	OCDE	paneles	retroalimentación
Sadorski	1994-2003	Países emergentes	paneles	retroalimentación
Apergis y Payne	1985-2006	Centroamérica	paneles	retroalimentación

Elaboración propia. (Al-mulali et al., 2013),

Por otro lado (Ozturk, Ilhan) trabajo con (Tugcu, Can Tansel), en su análisis de un modelo auto regresivo con retardos distribuidos (ADRL), se reconocieron también los efectos positivos bidireccionales entre el PIB y la ER en países del G7 compuesto por Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, Reino Unido, Estados Unidos y la Unión Europea (UE), en un periodo que cubre hasta 2009, (Tugcu et al., 2012). El único estudio que mostro un comportamiento unidireccional fue para la región de Estados Unidos en un periodo de 1960 a 2007 (Menyah & Wolde-Rufael, 2010)

Otra de las variables representativas en el crecimiento de la ER se considera a la apertura comercial, la cual es reconocida como el antecedente requerido para la liberalización de la cuenta de capital y sugiere que se debe promover el crecimiento del sistema bancario para obtener resultados positivos en el desarrollo del mercado de valores. En este sentido se comprende que a mayor nivel de apertura financiera se requiere un adecuado desarrollo legal para estimular el desarrollo del mercado de acciones.



**Fig. 2.** Red de colaboración de autores OTR-ER.

Fuente: Elaboración propia

La liberación de la cuenta de capital como uno de los tres componentes de la balanza de pagos, se ve beneficiada con la apertura comercial en las naciones, como se menciona en (Chinn & Ito, 2006) “La liberalización de la cuenta de capital puede conducir al desarrollo de los sistemas financieros a través de varios canales, puede reducir el costo del capital y aumentar su disponibilidad para los prestatarios, eliminación de los controles de capital, permite a los inversores nacionales y extranjeros participar en una mayor diversificación de cartera y eliminar las instituciones financieras ineficientes y aumentar la disponibilidad de crédito”.

**Tabla 4.** Análisis Bibliométrico, OTR Y ER

Autor	Documentos	Citas	Fuerza de enlace
Shahbaz, muhammad	24	3372	33
Yaseen, muhammad rizwan	9	291	25
Ozturk, ilhan	16	1575	23
Sinha, avik	12	969	21
Makhdum, muhammad sohail amjad	6	226	19
Usman, muhammad	8	330	17
Dogan, buhari	8	238	15
Kousar, rakhshanda	5	218	15
Al-mulali, usama	10	1397	14
Ali, qamar	7	294	14

Fuente: Elaboración propia

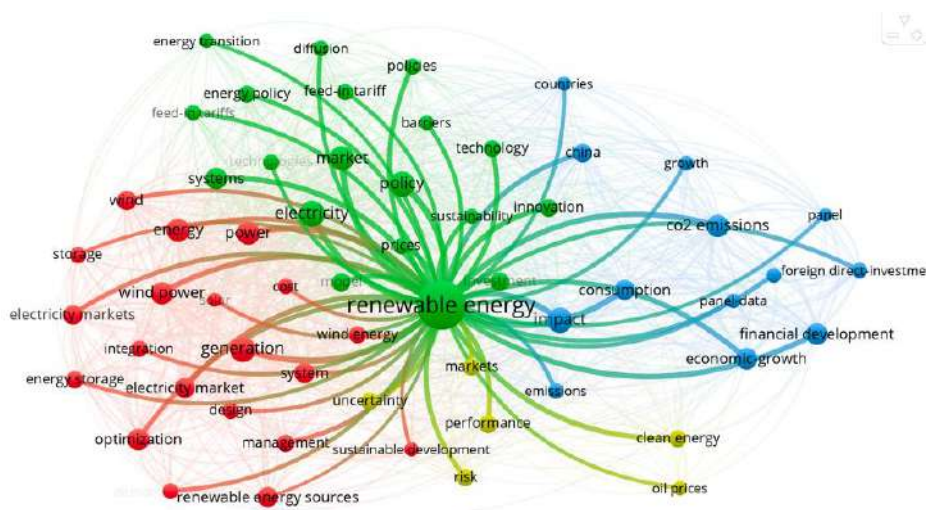
Para el caso de los mercados financieros se obtuvieron 3,113 documentos en WoS, analizando los artículos con más citas se forman principalmente 2 clúster conectados en los cuales puede distinguirse a (Shahbaz, Muhammad), nuevamente en la lista de los principales en redes de colaboración en temas de MFIN y ER, sin embargo los artículos que tienen mayor fuerza de enlace pertenecen a los cinco autores que se muestran a continuación.

**Tabla 5.** Análisis bibliométrico, MFIN Y ER

Autor	Documentos	Citas	Fuerza de enlace
Di trapani, anna maria	3	114	12
Fodera,mario	3	114	12
SgROI,filippo	3	114	12
Testa riccardo	3	114	12
Tudisca, salvatore	3	114	12

Fuente: Elaboración propia

Es reconocido en (Shahbaz et al., 2021), que el desarrollo financiero promueve la demanda de energía renovable, es decir, todo aumento en el nivel de calidad y eficiencia de los intermediarios financieros traerán beneficios en el desarrollo tecnológico de este sector, por otro lado, se considera que el crecimiento económico, es decir el aumento en el valor del PIB en un periodo, disminuye el consumo de energías renovables, su argumento final concluye que el desarrollo financiero desencadena una demanda creciente de fuentes de energía amigables.



**Fig. 3.** Red de conceptos emergentes, MFIN-ER.

Fuente: Elaboración propia

Se propone contemplar los indicadores que revelen el comportamiento referente a la evolución de los mercados financieros y las instituciones financieras, como se ha estudiado anteriormente en (Frutos-Bencze et al., 2019), la penetración en la matriz energética de las fuentes renovables requieren un análisis en la estructura financiera de los países de estudio, se concluye en

su análisis que *“el despliegue de energías renovables parece ser independiente del crecimiento económico en términos de crecimiento del PIB”*, sin embargo; en el modelo que se formula en esta investigación, el crecimiento del PIB en cada país es analizado en conjunto con las variables financieras, económicas y la inversión de cada país en I + D para revelar el papel de dichas variables en la evolución del sector energético renovable.

En la *Tabla 6* y *Fig. 4* se reconoce el comportamiento entre la evolución de las instituciones financieras y la ER en el mundo.

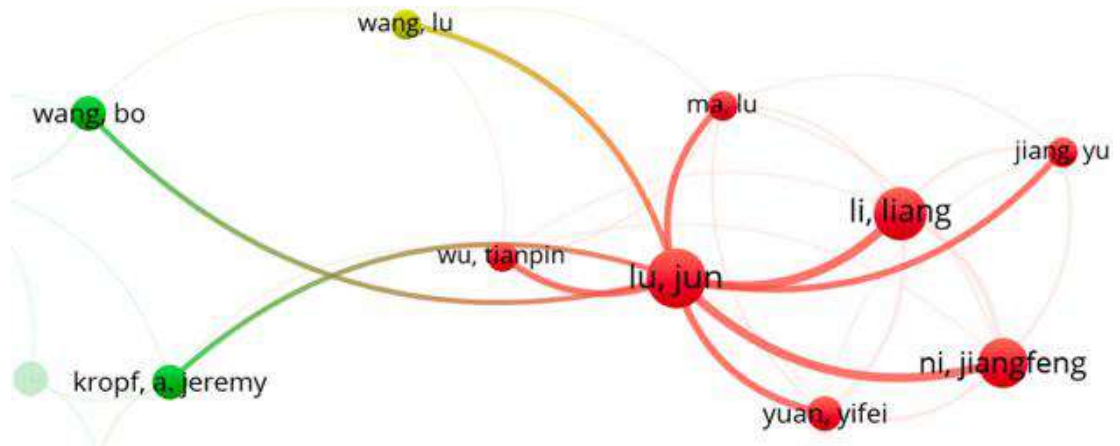
**Tabla 6.** Análisis Bibliométrico, IFIN Y ER

<b>Autor</b>	<b>Documentos</b>	<b>Citas</b>	<b>Fuerza de enlace</b>
lu, jun	13	1,326	34
li, liang	10	629	28
ni, jiangfeng	9	625	27
yuan, yifei	4	279	16
ding, jianning	5	57	13
ma, lu	3	318	13
wang, ying	7	158	13
yuan, ningyi	5	57	13
khan, hayat	7	52	12
khan, itbar	7	52	12

Fuente: Elaboración propia

Se ha señalado en diversos contextos los beneficios de la globalización para economías en desarrollo, en particular el acceso a los desarrollos tecnológicos que trae en consecuencia la creación de capacidades energéticas, como se resalta en (Koengkan et al. 2019), el desempeño económico aumenta de acuerdo al nivel de transferencia tecnológica que se encuentra al alcance de los países, por lo cual esta investigación revela de origen no solo de la participación de la globalización como motor del desempeño energético renovable en AL a partir del análisis de las variables económicas y financieras, sino del papel que juegan centros de investigación en la innovación tecnológica, lo que advierte el crecimiento en energías renovables.





**Fig. 4.** Red de colaboración de Autores IFIN-ER.

Fuente: Elaboración propia

Se argumenta en la literatura que las preferencias en inversiones por parte de sectores financieros desarrollados tienden a aumentar en sus industrias en crecimiento y disminuyen la inversión de sus industrias en declive que aquellos con sectores financieros subdesarrollados. (Chinn & Ito, 2006b).

El crecimiento de los mercados financieros, el desarrollo de las Instituciones financieras y la apertura comercial, proponen un dinamismo en el comercio internacional, que favorece al desarrollo económico regional (Wurgler, 2000).

**Tabla 7.** Análisis Bibliométrico ID Y ER

Autor	Documentos	Citas	Fuerza de enlace
saidur, r.	7	427	17
zhang, shicong	6	74	16
sun, yuanzhang	4	140	15
wu, jiang	6	42	15
xu, jian	6	205	15
yang, xinyan	5	56	15
jiang, yibo	3	123	14
liao, siyang	3	123	14
liu, kun	5	20	14
liu, zhijian	5	183	14

Fuente: Elaboración propia

Se ha verificado que el desarrollo financiero, se ha beneficiado a partir del desarrollo de instituciones, con una mayor actividad económica, reflejado en una reducción en el costo de capital, y crecimiento en sus mercados financieros más competitivos con mayor posibilidad de impulsar inversiones, lo que evidencia como mecanismo de desarrollo industrial a la mejoramiento de los

mercados financieros, reconociendo la importancia de la asignación de capital así como, el papel que juegan los mercados bursátiles a partir de las oportunidades de inversión, sin embargo; es importante destacar la importancia que juega el estado y las empresas en una asignación eficiente para el desempeño adecuado de la economía en los derechos de los inversores minoritarios y los inversores a gran escala, buscando mayor competitividad a partir de políticas adecuadas de acuerdo a los requerimientos globales.

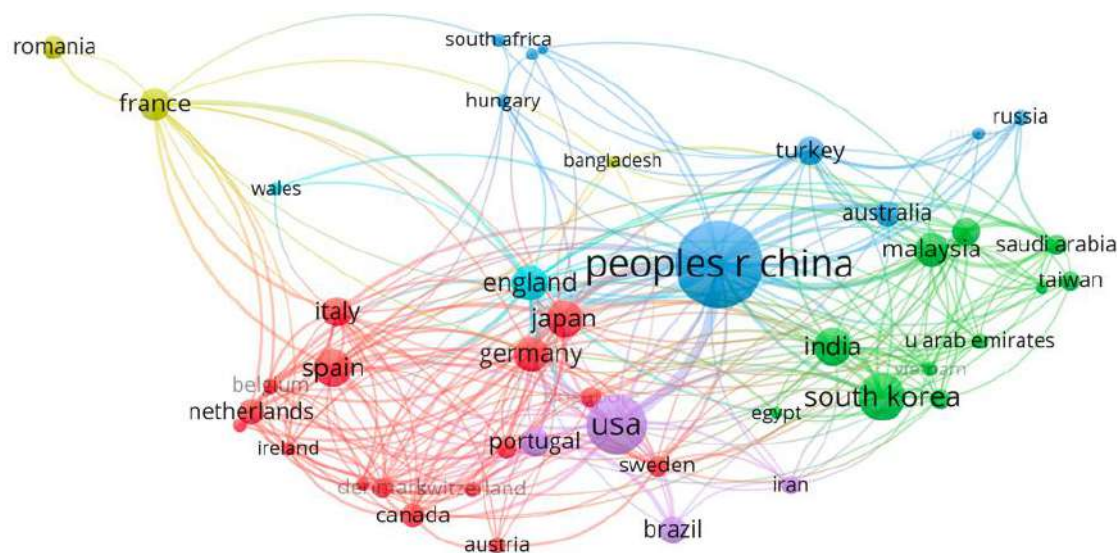


Fig. 5. Red de colaboración de países ID-ER

## 2.2 Problemática energética de fuentes renovables en AL y el mundo

En esta sección se describe el estado actual energético de AL y del mundo, tiene como objetivo plantear la situación a la cual se enfrenta AL frente a los países líderes en energéticos renovables. Para elaborar un enfoque comparativo es necesario reconocer las tendencias energéticas globales; en este sentido se reconoce un comportamiento ascendente en el consumo de energéticos en todas las escalas, desde las grandes industrias hasta los pequeños consumidores, lo que aparenta que el rumbo del abastecimiento energético requiere un planeta cada vez más electrificado. Se reconoce a continuación el comportamiento respecto a los datos más recientes entre la capacidad instalada de energía renovable en el mundo, definido para las principales seis fuentes de generación de energía renovable en 2020, y la generación de energía renovable en 2018, de acuerdo con los datos más recientes que ofrece la agencia internacional de energías renovables (IRENA. International Renewable Energy Agency, 2021)

Es importante resaltar la importancia que existe en tomar como indicador energético a la generación de energía renovable para este análisis, ya que refleja la actividad económica en ejecución a diferencia de la capacidad instalada.

La Tabla 8 refleja los principales países generadores de energía hidroeléctrica y eólica en el mundo, en el sector hidroeléctrico se destaca a Brasil como el único participante representante de

América latina en segundo lugar, superado únicamente por China con 358 [GW] poco mas de tres veces la capacidad instalada de Brasil, el resto de la matriz hidroenergética mundial lo componen USA, Canadá, y Rusia la generación de energía hidroeléctrica en China en 2020 alcanzó cerca de 1,232,000 [GWh] y obtuvo primer lugar de energía generada en contraste con Brasil en segundo lugar en 2020 con cerca de 389,000 [GWh] que representa al rededor de la cuarta parta de China, por lo que puede distinguirse una diferencia entre la comparación de la capacidad instalada y la generación de energía hidroeléctrica entre ambos países.

**Tabla 8.** Países con mayor capacidad instalada y generación de hidroenergía 2019.

<b>Hidroenergía</b>	<b>Capacidad [MW], 2019</b>	<b>Generación[GWh], 2019</b>
China	358,040.00	1,304,440.00
Brazil	109,143.07	397,877.13
USA	102,649.00	379,742.00
Canada	81,399.00	310,571.00
Russian Fed	52,294.76	197,708.81

Fuente: (IRENASTAT, 2021). Capacidad y generación. Elaboración propia.

En el caso de la energía eólica; se observa en la Tabla 9 a China como líder en la generación de energía, seguido de USA, Alemania, India y España, respectivamente, lo que se percibe como un mayor avance en la implementación de proyectos de GER y un mejor avance en el desarrollo de capacidades tecnológicas en este sector para estos países.

**Tabla 9.** Países con mayor capacidad instalada y generación eólica 2019.

<b>Energía Eolica</b>	<b>Capacidad [MW], 2019</b>	<b>Generación[GWh], 2019</b>
China	209,581.91	406,559.69
USA	103,670.00	298,200.00
Germany	60,721.00	125,894.00
India	37,505.18	62,688.88
Spain	25,583.15	55,647.00

Fuente: (IRENASTAT, 2021). Capacidad y generación. Elaboración propia

Para la energía solar se repiten las posiciones entre China y USA como representante en primer lugar y segundo lugar en la generación de energía solar.

**Tabla 10.** Países con mayor capacidad instalada y generación energética solar 2019.

<b>Energía Solar</b>	<b>Capacidad [MW], 2019</b>	<b>Generación[GWh], 2019</b>
China	204,995.80	224,541.01
USA	60,826.00	97,478.00
Japan	63,192.00	68,953.00
Germany	49,047.00	46,392.00
India	35,089.41	43,870.23

Fuente: (IRENASTAT, 2021). Capacidad y generación. Elaboración propia

Para el caso de bioenergía China representa nuevamente el primer lugar teniendo la posición de líder para las cuatro tecnologías anteriores. Es importante resaltar que en 2020 Brasil obtuvo el segundo lugar en capacidad instalada, sin embargo; en 2018 USA, tenía el segundo lugar en generación con cerca de 54,000 [GWh] generados a diferencia de Brasil quien en tercer lugar en generación generó cerca de 53,000 [GWh] como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Países con mayor capacidad instalada y generación de bioenergía 2019

Bioenergía	Capacidad [MW], 2019	Generación[GWh], 2019
China	16,537.07	82,250.00
Brazil	15,357.34	54,921.00
USA	12,057.50	63,194.00
India	10,225.42	20,027.00
Germany	9,988.00	50,221.00

Fuente: (IRENASTAT, 2021). Capacidad y generación. Elaboración propia

En la Tabla 12 se distinguen distintos actores para la energía geotérmica y energía marina en la matriz ER a diferencia con las cuatro energías anteriores, en la energía geotérmica no incluye la participación de la república China, destaca en primer lugar a USA, y seguido por Indonesia, Filipinas, Turquía y Nueva Zelanda y en particular con la energía marina la República de Corea, Francia y el Reino Unido aparecen en los principales generadores de ER, debido a las ventajas geográficas que y el aprovechamiento de este recurso.

**Tabla 12.** Países con mayor capacidad instalada y generación de energía geotérmica 2019.

Energía Geotérmica	Capacidad [MW], 2019	Generación[GWh], 2019
USA	2,586.80	18,773.00
Indonesia	2,130.70	14,019.00
Philippines	1,928.10	10,435.31
Turkey	1,613.22	7,430.98
New Zealand	984.00	7,976.00

Fuente: (IRENASTAT, 2021). Capacidad y generación. Elaboración propia

**Tabla 13.** Países con mayor capacidad instalada y generación energética Marina 2019

Energía Marina	Capacidad [MW], 2019	Generación[GWh], 2019
Korea Rep	256	457
France	214	479
United Kingdom	20. 4	14
China	4	7
Canada	20	1

Fuente: IRENASTAT (2021). Capacidad y generación. Elaboración propia

En la Fig. 6 se muestra la capacidad instalada por país de AL donde se observa a Brasil como líder, seguido por México, mientras que República Dominicana tiene la menor participación. Se

considera para este estudio, 16 países en la región de AL, compuesta por América del sur, América central y el caribe, como bloque de análisis en la región que servirá como comparación ante el comportamiento de la GER entre AL y el mundo.

**Tabla 14.** Capacidad instalada en América latina 2020

<b>América Latina, Capacidad instalada, [MW]</b>	
Brazil	150.0470
Mexico	28.3580
Venezuela	16.5980
Argentina	14.0720
Colombia	13.5490
Chile	12.7940
Paraguay	8.8320
Peru	6.6500
Ecuador	5.2980
Uruguay	3.7320
Costa Rica	3.1240
Guatemala	2.8700
Panama	2.2960
Honduras	1.8520
El Salvador	1.5070
R. Dominicana	1.4130

Fuente: (IRENASTAT, 2021). Capacidad y generación. Elaboración propia



**Fig. 6.** Capacidad instalada ER [MW]. América latina 2020.

Fuente: (IRENASTAT, 2021). Capacidad y generación. Elaboración propia

### 3. Metodología

Siguiendo los estudios (Khezri et al. 2021) se analizan las variables energéticas como variables dependientes a partir de cinco variables explicativas que analizan el comportamiento económico, financiero y de inversión en investigación y desarrollo capaces de explicar la evolución y tendencias de las energías renovables, en este sentido, es necesario reconocer los impulsores y barreras para su desarrollo.

En esta investigación se distingue la relevancia de cada una de las variables económicas y energéticas en su conjunto, mas allá de la adopción de metodologías previas, en esta investigación se lleva a cabo un análisis para una muestra estadística en particular distinta a las actuales, ya que contempla la evolución en la generación de seis energías renovables en AL comparada con los países que cumplan con un mayor desempeño en cada una de ellas al rededor del mundo, actualizando además el periodo de estudio a 2019, y complementa las metodologías anteriores con una interpretación adicional a partir de los resultados obtenidos en las observaciones que ofrecen las correcciones de los coeficientes en los modelos estudiados. Se desarrolla un modelo empírico a partir de un análisis econométrico, con datos de panel que permiten emplear autor regresiones en términos de error que incluyen una variable rezagada. Las estadísticas de las variables que serán utilizadas para determinar la auto correlación en los modelos se obtienen a por mínimos cuadrados ordinarios MCO. Posteriormente se verifican que se cumplan los supuestos de Gauss-Markov, que consideran que en el modelo exista covarianza entre las variables igual a cero a partir de la linealidad en los parámetros, media nula y exogeneidad estricta, es decir; independiente a las perturbaciones aleatorias. En la Tabla 15, se observan los cuatro pasos para el análisis para cada una de las tecnologías en AL y el mundo.

**Tabla 15.** Lista de pasos utilizadas en el estudio.

Pasos		
A	Prueba de Ramsey	No multicolinealidad exacta, homocedasticidad
B	Contraste de Durbin-Watson	Autocorrelación de primer orden AR(1)
C	Breusch-Godfrey (prueba LM)	Autocorrelación de orden superior AR(q)
D	Chocrane-Orcutt	Corrección alternativa a cada estimador

Fuente: Elaboración propia

El paso A consiste en determinar si el modelo cumple con no multicolinealidad exacta, que garantice la independencia lineal entre las variables explicativas, homocedasticidad que brinda mayor confianza cuando la varianza de los errores es constante a lo largo de las observaciones y confirma que las variables no deberán estar autocorrelacionadas para que se considere como un estimador lineal insesgado óptimo también llamado ELIO es decir; que las variables que componen al modelo son las únicas que explican a la variable dependiente, determinan la dependencia estructural de los parámetros y establece si la forma funcional es la adecuada y de este modo

considerar que el modelo esta especificado de manera adecuado, a partir de la pruebas de especificación, Ramsey (Ramsey, 1969). El paso B consiste en reconocer la auto correlación de primer orden AR (1), en los residuos de modelo econométrico a partir del contraste Durbin-Watson (DURBIN & WATSON, 1950), (Rutledge & Barros, 2002) (Jović, 2016). Ver Notas complementarias 1.

La autocorrelación es un caso particular en el modelo de regresión ordinario que se produce cuando las perturbaciones del modelo presentan correlaciones entre ellas. Durbin-Watson permite evaluar el nivel de significatividad de rho y con ello es posible determinar si existe autocorrelación serial de primero orden, Ver Notas complementarias 1. En el paso C se utilizan multiplicadores de LaGrange, se aplica la prueba LM, para detectar autocorrelaciones en los residuos de orden superior AR(q), a partir de la prueba de auto correlación Breusch-Godfrey (BREUSCH, 1978), (Godfrey, 1978). La prueba de Breusch-Godfrey, consiste en estimar una regresión auxiliar con MCO y hacer un contraste sobre los parámetros de la regresión. Ver Notas complementarias 1. Finalmente, en el paso D se realiza la corrección del modelo a partir de la estimación Cochrane-Orcutt (Wooldridge, 2012), (Dufour et al., 1980) que nos permite eliminar la autocorrelación que existan y que confirma que los errores del modelo sean aleatorios.

### 3.1 Datos

La importancia de identificar de manera adecuada el comportamiento de las variables del modelo econométrico que describen la evolución de la energía renovable en el mundo y AL toma un papel fundamental en el desarrollo de esta investigación y provienen de relacionar la capacidad de generación energética per capita, por seis tecnologías de generación renovable con cinco variables económicas y financieras y parte del planteamiento en (Khezri et al. 2021),

Para iniciar el análisis de los datos, se desarrolla, un programa elaborado en Visual Basic, que permite obtener a partir de un modelo de panel la generación de energía renovable per capita para cada país en cada periodo de tiempo en cada una de las tecnologías energéticas. Los datos obtenidos son modelados a partir de las aproximaciones logarítmicas correspondientes, (Wooldridge, 2012), Ec. (1), Ec (2).

$$\Delta x = 100 * \log (x) \quad (1)$$

$$\Delta x = \log (1 + REN it). \quad (2)$$

El logaritmo se utiliza para diferentes aplicaciones, en econometría por la capacidad de eliminar el efecto de las unidades de las variables sobre los coeficientes, permiten agregar mayor estabilidad en los regresores y disminuir los errores atípicos para mayores aproximaciones. Cuando los cambios son pequeños se utiliza  $100 * \log (x) = \Delta x$ . Ec. (1). (Wooldridge, 2012). El dato que se utiliza para determinar la correlación de los valores son los residuos o términos de error asociados a las perturbaciones alrededor de la media de cada tecnología en cada periodo en sus términos logarítmicos. Los resultados de los coeficientes calculados son elasticidades.

Para detectar correlaciones entre las perturbaciones, las variables que se utilizan son medidas a partir de una regresión de sus residuos mínimos cuadráticos y se obtienen las estadísticas de las variables en estudio donde se reconocen los datos que serán utilizadas para conocer los residuos de los errores rezagados en el tiempo, con ello se obtiene la base de datos de 31 países por 19 años para 11 variables en estudio.

### 3.2 Declaración de Variables.

Por medio de las variables;  $HYD_{it}$ ,  $SOL_{it}$ ,  $WIN_{it}$ ,  $BIO_{it}$ ,  $GEO_{it}$  y  $MAR_{it}$ , se recupera la información que representa la generación de energía renovable en el periodo  $t$ , para cada país  $i$ , en el periodo de 2000 a 2019 para los cinco países con mayor participación en la matriz energética mundial y los 16 países que tienen mayor participación en la generación de energía renovable en AL en 2019. Para las variables energéticas, la generación de energía renovable en el mundo y en AL se toman en consideración la población de cada país y su crecimiento en cada periodo (anual) de 2000 a 2019 como se muestran en el apéndice A.1 (World Bank Group - International Development, Poverty, & Sustainability, 2021). Fue necesario obtener la generación de energía por cada una de las seis fuentes renovables. Generación de energía hidroeléctrica, apéndice A.2 (IRENA. International Renewable Energy Agency, 2021). Generación de energía eólica, apéndice A.3 (IRENA. International Renewable Energy Agency, 2021). Generación de energía solar, apéndice A.4 (IRENA. International Renewable Energy Agency, 2021). Generación de bioenergía, apéndice A.5 (IRENA. International Renewable Energy Agency, 2021). Generación de energía geotérmica apéndice A.6 (IRENA. International Renewable Energy Agency, 2021). Generación de energía marina, apéndice A.7 en AL y el mundo. Las variables por estudiar son, la generación de energía hidroeléctrica, solar, eólica, bioenergética, marina y geotérmica, a partir de cinco variables económicas y financieras. Tabla 16.

**Tabla 16.** Variables construidas

Variable	Variable construida	Fuente
$Ln HYD_{it}$	$Ln HYD_{it} = \log(1 + HYD_{it})$	ODS
	$HYD_{it} = \text{Energía hidroeléctrica per cápita}$	
$Ln WIN_{it}$	$Ln WIN_{it} = \log(1 + WIN_{it})$	ODS
	$WIN_{it} = \text{Energía eólica per cápita}$	
$Ln SOL_{it}$	$Ln SOL_{it} = \log(1 + SOL_{it})$	ODS
	$SOL_{it} = \text{Energía solar per cápita}$	
$Ln BIO_{it}$	$Ln BIO_{it} = \log(1 + BIO_{it})$	ODS
	$BIO_{it} = \text{Energía bioenergética per cápita}$	
$Ln GEO_{it}$	$Ln GEO_{it} = \log(1 + GEO_{it})$	ODS
	$GEO_{it} = \text{Energía geotérmica per cápita}$	
$Ln MAR_{it}$	$Ln MAR_{it} = \log(1 + MAR_{it})$	ODS
	$MAR_{it} = \text{Energía marina per cápita}$	
$Ln PIB_{it}$	$Ln PIB_{it} = \log(PIB_{it})$	WDI
	$PIBP_{it} = \text{PIB per cápita}$	



$Ln OTR_{it}$	$Ln OTR_{it} = \log (OTR_{it})$	WDI
	$OTR_{it} = \text{Apertura comercial}$	
$Ln RD_{it}$	$Ln RD_{it} = \log (RD_{it})$	WDI
	$RD_{it} = \text{Gasto en investigación y desarrollo}$	
$Ln FI_{it}$	$Ln FI_{it} = \log (100 \times FI_{it})$	FMI
	$FI_{it} = \text{Desarrollo de la institución financiera}$	
$Ln FM_{it}$	$Ln FM_{it} = \log (100 \times FM_{it})$	FMI
	$FM_{it} = \text{Desarrollo del mercado financiero}$	

Fuente: Elaboración propia

Los datos para reconocer el comportamiento de la apertura comercial, el PIB, I + D, la os mercados e instituciones financieras en los países que han tenido mayor participación en GER en el mundo y en AL, se obtienen de las estadísticas de los indicadores de desarrollo mundial de datos de (*World Bank Group - International Development, Poverty, & Sustainability, 2021*) y del (*Fondo Monetario Internacional, 2021*) Los datos del PIB per capita, para cada país puede consultarse en el *apéndice B.1.* para las variables de apertura comercial (OTR), *apéndice B.2.* Índice de desarrollo de mercados financieros, *apéndice B.3.* Índice de desarrollo de instituciones financieras, *apéndice B.4.* Gasto en investigación y desarrollo, *apéndice B.5.* Las seis tecnologías de GER , son descritas como función del logaritmo del PIB ,  $Ln PIB_{it}$ , el logaritmo de apertura comercial  $Ln OTR_{it}$ , el logaritmo del porcentaje de PIB invertido en actividades de I+D  $Ln RD_{it}$ , el desarrollo financiero, reflejado en el crecimiento de los mercados financieros  $Ln FM_{it}$ , y el desarrollo de las instituciones financieras  $Ln FI_{it}$ , para el caso de las variables energéticas la aproximación utilizada corresponde a la *Ec. (2)*, donde *REN*, se refiere a cada una de las seis tecnologías de GER en estudio. La variable  $PIB_{it}$ , aporta al modelo el comportamiento de una nación referente al valor de mercado de sus bienes y servicios producidos dentro del país,  $OTR_{it} = \text{Apertura comercial}$ , se consideran las exportaciones e importaciones divididas por el PIB,  $FM_{it} = \text{Desarrollo del mercado financiero}$ ,  $FI_{it} = \text{Desarrollo de la instituciones financieras}$ , el desarrollo del mercado de valores , la inversión extranjera directa y el fortalecimiento de las instituciones financieras estimulan el uso de energía renovable.  $RD_{it} = \text{Gasto en investigación y desarrollo (\% del PIB)}$ . Mide el desarrollo de capacidades tecnológicas a partir de las inversiones destinadas a las actividades de (I + D) correspondientes a cada país medidas como porcentaje del PIB.

## 4. Modelo Empírico

Los resultados se obtienen a partir de la *Ec. (3)*, donde las variables energéticas dependen de las estadísticas de las variables económicas, financieras y de inversión en I+D como variables explicativas de cada modelo y provienen de calcular el comportamiento de seis tecnologías principales de GER en el mundo y AL con el fin de reconocer los factores que promueven o limitan el desarrollo de capacidades energéticas.

$$Ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ln PIB_{it} + \beta_2 Ln FM_{it} + \beta_3 FI_{it} + \beta_4 Ln RD_{it} + \beta_5 Ln OTR_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$Ln Y_{it}$  = Valor observado. GER para cada tecnología, en cada país y en cada periodo.

$\beta_0$  = Efectos debidos a factores fijos

$\beta_n$  = Vector de parámetros correspondiente a cada ER. (Coeficientes estandarizados)

$\varepsilon_{it}$  = Efectos debidos a factores no controlados

#### 4.1 Resumen y Estadísticas de variables construidas AL y en el mundo.

Se utilizan datos de los principales países del mundo en GER durante 2000-2019 para evaluar los factores que afectan el desarrollo para los cinco países con mayor participación en la matriz energética mundial y los 16 países que tienen mayor participación en GER en AL.

En la Tabla 17. Se muestran los datos correspondientes para la generación de energía hidroeléctrica en el mundo de 2000 a 2019.

**Tabla 17.** GER hidroeléctrica [GWh] en el mundo (2000- 2019).

Generación de electricidad [GWh]						
Año	HYD	PIB	MFIN	IFIN	I + D	OTR
2000	2.880	3.750	1.810	1.751	2.137	3.620
2001	2.899	3.758	1.793	1.781	2.160	3.611
2002	2.868	3.771	1.764	1.797	2.166	3.615
2003	2.869	3.824	1.783	1.805	2.173	3.627
2004	2.840	3.896	1.790	1.804	2.166	3.647
2005	2.825	3.971	1.801	1.822	2.169	3.647
2006	2.813	4.041	1.824	1.827	2.172	3.645
2007	2.807	4.117	1.859	1.831	2.184	3.636
2008	2.797	4.181	1.852	1.835	2.189	3.645
2009	2.783	4.147	1.866	1.834	2.220	3.569
2010	2.781	4.220	1.842	1.846	2.210	3.599
2011	2.760	4.289	1.852	1.854	2.202	3.611
2012	2.758	4.303	1.819	1.865	2.204	3.608
2013	2.754	4.317	1.812	1.866	2.211	3.604
2014	2.755	4.313	1.816	1.863	2.222	3.602
2015	2.763	4.243	1.824	1.861	2.229	3.597
2016	2.741	4.236	1.810	1.872	2.229	3.573
2017	2.734	4.281	1.806	1.864	2.216	3.576
2018	2.732	4.295	1.824	1.866	2.207	3.602
2019	2.729	4.299	1.816	1.873	2.207	3.588

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de los modelos que representan el comportamiento de la GER en el mundo se consideran los principales países para cada tecnología, es decir; para el caso de hidroenergía los países con los cuales realizamos el estudio corresponden a China, Brasil, USA, Canadá y Rusia ver

apéndice (C.1-C3). Con ello las variables económicas, y financieras relacionadas al modelo (ver apéndice (C.4- C.7)) consideran el comportamiento de estos cinco países como líderes en la evolución del sector.

De igual manera para cada tecnología se consideran las variables económicas y financieras correspondientes a los cinco países líderes en cada una de ellas, los datos calculados se observan en el apéndice (D.1- D.3), (E.1- E.3), (F.1- F.3), (G.1- G.3), (H.1- H.3).

Para el estudio en AL se consideraron 16 países para un total de 20 periodos de tiempo, lo que nos permite tener 320 observaciones para cada una de las tecnologías renovables, así como para cada variable económica y financiera ver apéndice (I.1-I.3).

Una vez elaborada la base de datos, se presenta la Tabla 18 referente a la GER en AL per capita en el periodo de 2000 a 2019 y el resumen de los indicadores económicos y financieros que serán utilizados para la obtención de los modelos en dicha región.

En la Tabla 18 se muestra el resumen de estadísticas de las variables en estudio para AL.

Tabla 18. Resumen de las variables. América Latina 2000-2019

Año	Hyd	Win	Sol	Bio	Geo	Mar	PIB	MFIN	IFIN	I + D	OTR
2000	3.098	2.158	3.729	3.301	1.030	0.000	3.489	0.876	1.418	0.779	3.735
2001	3.122	2.434	4.101	3.715	1.029	0.000	3.486	0.879	1.442	0.871	3.730
2002	3.114	2.436	4.057	4.094	1.038	0.000	3.439	0.870	1.424	0.878	3.752
2003	3.112	2.341	4.019	4.023	1.023	0.000	3.444	0.915	1.418	0.878	3.773
2004	3.114	2.706	3.999	4.719	1.023	0.000	3.500	0.881	1.457	0.877	3.795
2005	3.079	2.708	4.523	4.585	1.029	0.000	3.571	0.876	1.478	0.995	3.799
2006	3.076	2.613	4.497	4.543	1.030	0.000	3.626	0.906	1.492	1.054	3.808
2007	3.068	2.995	4.962	4.477	1.008	0.000	3.691	0.900	1.521	1.210	3.809
2008	3.060	3.282	5.513	4.449	1.006	0.000	3.756	0.881	1.540	1.236	3.821
2009	3.084	3.176	5.525	4.391	1.007	0.000	3.742	0.887	1.536	1.242	3.738
2010	3.056	3.107	5.324	4.375	1.011	0.000	3.809	0.878	1.555	1.220	3.768
2011	3.053	3.746	6.329	4.350	1.013	0.000	3.858	0.867	1.557	1.181	3.792
2012	3.055	3.906	6.910	4.285	1.014	0.000	3.881	0.880	1.568	1.175	3.782
2013	3.057	4.155	6.381	4.143	1.015	0.000	3.898	0.933	1.581	1.213	3.767
2014	3.058	3.758	6.057	4.108	1.012	0.000	3.911	0.923	1.584	1.260	3.751
2015	3.082	3.931	5.659	4.075	1.015	0.000	3.629	0.913	1.591	1.248	3.493
2016	3.069	3.873	5.491	4.028	1.013	0.000	3.630	0.925	1.593	1.245	3.483
2017	3.026	3.926	5.268	4.013	1.678	0.000	3.658	0.982	1.614	1.284	3.487
2018	3.054	3.767	5.068	3.987	1.623	0.000	3.661	0.991	1.617	1.270	3.508
2019	3.122	3.688	4.863	3.966	1.615	0.000	3.654	0.986	1.614	1.271	3.503

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis para los principales países del mundo se obtienen los datos de cada tecnología de GER apéndice (J.1-J.3), con los datos correspondientes a las variables económicas, financieras y de I+D de los países que sean líderes en generación en el mundo, se ofrece también un resumen de cada una de las seis tecnologías de GER con los datos de las variables explicativas que serán utilizadas para la construcción del (ELIO), apéndice (K.1-K.6).

**Tabla 19.** Estadísticas de las variables construidas en América latina per capita

Variable construida		Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	D. Est.	Obs.
E. hidroeléctrica	$\ln HYD_{it} = \log(1 + HYD_{it})$	3.078	3.047	4.066	2.002	0.023	320
E. eólica	$\ln WIN_{it} = \log(1 + WIN_{it})$	3.235	4.069	8.897	0.000	0.634	320
E. solar	$\ln SOL_{it} = \log(1 + SOL_{it})$	5.114	6.389	9.992	0.000	1.235	320
Bioenergía	$\ln BIO_{it} = \log(1 + BIO_{it})$	4.181	4.575	6.765	0.000	0.363	320
E. geotérmica	$\ln GEO_{it} = \log(1 + GEO_{it})$	1.112	0.000	5.462	0.000	0.132	320
E. marina	$\ln MAR_{it} = \log(1 + MAR_{it})$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	320
PIB	$\ln PIB_{it} = \log(PIB_{it})$	3.667	3.803	4.272	0.000	0.319	320
Mercados financieros	$\ln FM_{it} = \log(100 * FM_{it})$	0.907	0.768	1.813	-0.215	0.032	320
Instituciones financieras	$\ln FI_{it} = \log(100 * FI_{it})$	1.530	1.545	1.829	0.927	0.027	320
Inversión en I+D	$\ln RD_{it} = \log(RD_{it})$	1.119	1.307	2.128	0.000	0.075	320
Apertura comercial	$\ln OPE_{it} = \log(OPE_{it})$	3.705	3.759	4.222	0.000	0.316	320

Fuente: Elaboración propia

A título ilustrativo, en “Notas complementarias, apartado 3”, se describe el procedimiento en la obtención de los modelos, las pruebas de especificación y autocorrelación empleadas, así como el procedimiento para calcular el modelo corregido para hidroenergía en AL.

La base de datos elaborada se exporta al programa (R- Studio, 2021) en el cual se obtiene un modelo para cada tecnología en AL y el mundo, y es posible realizar pruebas de especificación a cada uno, a fin de reconocer si existen problemas de autocorrelación, heterocedasticidad o normalidad y determinar si cumple con ser un ELIO. En las “Notas complementarias, apartado 3” se observa el modelo obtenido por MCO para el caso de GER hidroeléctrica en el mundo, se muestra la ecuación corregida por el método de Cochrane-Orcutt para generación de energía hidroeléctrica en el mundo.

Con relación a la idea anterior, también a título ilustrativo se muestra también en “Notas complementarias, apartado 3” la obtención de los modelos y las pruebas de especificación y autocorrelación, así como obtención del modelo corregido propuesto para hidroenergía en este caso y para los principales GER por cada tecnología en el mundo.

Criterios de Valoración, p-valor < 5 %, Zona de rechazo de H0.

Prueba Ramsey  $\left\{ \begin{array}{l} H_0 = \text{Especificación correcta.} \\ H_a = \text{Especificación incorrecta.} \end{array} \right.$

Prueba Breusch-Godfrey  
Prueba Cochrane- Orcutt  $\left\{ \begin{array}{l} H_0 = \text{No autocorrelacionado.} \\ H_a = \text{Correlacionado.} \end{array} \right.$

## 5. Resultados

El objetivo de este apartado consiste en exponer los resultados y conocer el comportamiento de las variables en conjunto y de la influencia de cada uno de los factores que componen el modelo de crecimiento en GER, de 2000 al 2019 y contrastar los resultados entre las regiones de AL con los principales países generadores en cada tecnología alrededor del mundo, lo que permite discutir las investigaciones previas con los hallazgos revelados en los resultados.

### 5.1 Estadísticas del modelo obtenido por MCO en el mundo

En la siguiente sección se muestran los resultados obtenidos al calcular cada uno de los modelos de regresión lineal múltiple obtenida por MCO para AL y el mundo apéndice (L.1, L.2), en la Tabla 20, se muestran los coeficientes calculados y el resultado de aplicar la prueba Ramsey a cada modelo, a fin de identificar aquellos que estén mal especificados, ya sea por heterocedasticidad, no normalidad o autocorrelación, apéndice (M.1- M.6).

**Tabla. 20.** Coeficientes MCO en el mundo.

Variable	PIB	MFIN	IFIN	ID	OTR	B (0)	Reset	p-value
HYD	-0.182	0.042	-0.700	0.568	0.441	1.915	0.244	0.787
WIN	-3.094	2.715	-0.288	-1.366	1.712	8.742	4.444	0.036
SOL	-8.328	7.858	-29.128	15.086	5.373	23.948	4.822	0.029
BIO	-1.012	0.769	-1.947	-2.262	0.475	13.571	5.577	0.019
GEO	0.252	-2.189	-3.564	-0.186	0.340	11.765	3.395	0.068
MAR	-3.384	6.254	-8.441	21.821	2.625	-34.987	9.955	0.003

Fuente: Elaboración propia

El primer punto a considerar para identificar si el modelo es un (ELIO), consiste en reconocer si el *p-valué* es menor que el nivel de significancia, en este caso se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y el modelo podría considerarse como mal especificado para la energía hidroeléctrica y geotermia se obtienen un valor mayor al nivel de significancia establecido que en este caso considera un valor de 5%, lo que podría suponer que los coeficientes y el modelo obtenido es adecuado; sin embargo para garantizar la ausencia de autocorrelación de primer orden y de orden superior, se realizan las pruebas de correlación de Durbin-Watson y de Breusch-Godfrey. Las ecuaciones que representan el comportamiento de las seis tecnologías renovables en el mundo obtenidas por MCO son:

$$\ln HYD_{it} = 1.915 - 0.182 \ln PIB_{it} + 0.042 \ln FM_{it} - 0.700 \ln FI_{it} + 0.568 \ln RD_{it} + 0.441 \ln OTR_{it} \quad (4)$$

$$\ln WIN_{it} = 8.742 - 3.094 \ln PIB_{it} + 2.715 \ln FM_{it} - 0.288 \ln FI_{it} - 1.366 \ln RD_{it} + 1.712 \ln OTR_{it} \quad (5)$$

$$\ln SOL_{it} = 23.948 - 8.328 \ln PIB_{it} + 7.858 \ln FM_{it} - 29.128 \ln FI_{it} + 15.086 \ln RD_{it} + 5.373 \ln OTR_{it} \quad (6)$$

$$\ln BIO_{it} = 13.571 - 1.012 \ln PIB_{it} + 0.769 \ln FM_{it} - 1.947 \ln FI_{it} - 2.262 \ln RD_{it} + 0.475 \ln OTR_{it} \quad (7)$$

$$\ln GEO_{it} = 11.765 + 0.252 \ln PIB_{it} - 2.189 \ln FM_{it} - 3.564 \ln FI_{it} - 0.186 \ln RD_{it} + 0.340 \ln OTR_{it} \quad (8)$$

$$\ln MAR_{it} = -34.987 - 3.384 \ln PIB_{it} + 6.254 \ln FM_{it} - 8.441 \ln FI_{it} + 21.821 \ln RD_{it} + 2.625 \ln OTR_{it} \quad (9)$$

### 5.1.1 Estadísticas Durbin-Watson y Breusch-Godfrey en el mundo.

Una vez establecidos los modelos que caracterizarían el comportamiento se realizan las pruebas de autocorrelación. En el caso (AR1) autocorrelación de primer orden la obtenemos a partir del estimador Durbin-Watson, en el cual los puntos críticos  $dl=0.792$  y  $du= 1.91$  a un nivel de 0.5 % de significancia determinan si existe o no autocorrelación. *ver apéndice (7)*. En este caso se observa que todos los valores de  $DW$  de las tecnologías renovables en el mundo se encuentran en la zona de indecisión entre  $dl=0.792$  y  $du= 1.91$  excepto la energía eólica que se encuentra en la región de no autocorrelación, pero con un valor muy cercano de  $DW = 1.926$  a la zona de indecisión de la prueba, *apéndice P.1*

**Tabla. 21.** Durbin, y Breusch en el mundo.

Variable	Durbin -Watson (DW)	p-value	Breusch-Godfrey (LM)	p-value
<i>HYD</i>	1.656	0.031	0.518	0.472
<i>WIN</i>	1.926	0.102	0.089	0.765
<i>SOL</i>	1.727	0.039	0.540	0.462
<i>BIO</i>	1.557	0.012	0.856	0.355
<i>GEO</i>	1.591	0.019	0.847	0.357
<i>MAR</i>	1.151	0.002	6.461	0.011

Fuente: Elaboración Propia

Para confirmar la autocorrelación de orden superior se llevan a cabo las pruebas Breusch-Godfrey correspondientes para cada modelo, en los cuales reconocemos de igual manera que el  $p$ -*valué* sea menor que el valor de nivel de significancia de 5 %, que permite rechazar la  $H_0$  y garantizar la ausencia de autocorrelación.

En la *Tabla 21*. se observa que no existe auto correlación de orden superior a uno, para cinco tecnologías renovables excepto para la generación de energía por fuentes marinas ya que los valores de  $p$ -*valué* están por arriba del nivel de significancia establecido, lo que garantiza homocedasticidad normalidad y también ausencia de autocorrelación de orden superior en los coeficientes de las variables explicativas. Con relación a las pruebas expuestas se identificaron problemas de especificación en los modelos correspondientes a la generación de energía hidroeléctrica y por geotermia, por medio de la prueba Ramsey, con un  $p$ -*valué* superior al establecido de 0.05, con 0.78 y 0.068 y además al realizar las pruebas de autocorrelación de primer orden no fue posible determinar si la autocorrelación existía para ninguna tecnología renovable.

### 5.1.2 Estadísticas del modelo Corregido por Cochrane- Orcutt en el mundo.

Por último, es conveniente proponer un modelo a partir de la estimación Cochrane-Orcutt y reconocer el mejor modelo que represente de manera mas adecuada el comportamiento de las tecnologías de generación energética renovable en el mundo determinada por ausencia de heterocedasticidad, autocorrelación, no normalidad y especificidad adecuada.

En la *Tabla 22* se muestran los coeficientes corregidos de las variables explicativas para cada tecnología, y se observan el valor de *p-valoré* menor que 5% para la energía hidroeléctrica y para la energía marina, además el modelo calculado para la energía solar no converge para la estimación Cochrane-Orcutt.

Tabla. 22. Coeficientes Cochrane Orcutt. en el mundo.

Variable	PIB	MFIN	IFIN	ID	OTR	B (0)	Cochrane - Orcutt	p-value	No de interacciones	Rho
HYD	-0.036	-0.142	-1.612	0.418	0.307	4.135	1.610	0.018	15	0.191
WIN	-3.046	3.011	-1.098	-1.475	1.766	9.514	1.903	0.086	19	-0.102
SOL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000
BIO	-0.948	0.717	-2.745	-2.295	0.444	15.033	1.933	0.153	57	0.261
GEO	-0.932	0.603	-0.197	-0.891	0.639	6.342	2.090	0.370	62	0.557
MAR	-2.351	1.496	-9.999	22.362	-5.013	0.053	1.238	0.025	15	0.892

Fuente: Elaboración propia

A partir de la corrección propuesta es posible obtener los modelos que representen con mayor certidumbre el comportamiento de las energías renovables en el mundo. A continuación, se exponen los estimadores que se proponen a partir de Cochrane-Orcutt

$$\ln HYD_{it} = 4.13 - 0.36 \ln PIB_{it} - 0.14 \ln FM_{it} - 1.6 \ln FI_{it} + 0.41 \ln RD_{it} + 0.30 \ln OTR_{it} \quad (10)$$

$$\ln WIN_{it} = 9.51 - 3.04 \ln PIB_{it} - 3.01 \ln FM_{it} - 1.09 \ln FI_{it} - 1.47 \ln RD_{it} + 1.76 \ln OTR_{it} \quad (11)$$

$$\ln BIO_{it} = 15.03 - 0.94 \ln PIB_{it} + 0.71 \ln FM_{it} - 2.74 \ln FI_{it} - 2.29 \ln RD_{it} + 0.44 \ln OTR_{it} \quad (12)$$

$$\ln GEO_{it} = 6.34 - 0.93 \ln PIB_{it} + 0.60 \ln FM_{it} - 1.09 \ln FI_{it} - 0.89 \ln RD_{it} + 0.63 \ln OTR_{it} \quad (13)$$

$$\ln MAR_{it} = 0.053 - 2.35 \ln PIB_{it} + 1.49 \ln FM_{it} - 9.99 \ln FI_{it} + 22.36 \ln RD_{it} - 5.013 \ln OTR_{it} \quad (14)$$

Finalmente se evalúa nuevamente la prueba Ramsey a fin de confirmar si los nuevos modelos obtenidos se encuentran bien especificados a partir de reconocer si el nivel de significancia es mayor que el valor *del p-valoré*, entonces se considera un modelo adecuado. En la *Tabla 23* se muestra el resumen de las pruebas de hipótesis aplicadas a cada una de las tecnologías renovables alrededor del mundo en función de su mayor desempeño como generadores dentro de la matriz energética mundial.

**Tabla. 23.** Resumen en el mundo. Pruebas de hipótesis.

Variable	Ramsey (R-MCO)	Durbin -Watson (DW)	Breusch-Godfrey (LM)	Cochrane-Orcutt (CO)	Ramsey (R- CO)
HYD	0.787	Indecisión	No autocorrelación	(AR) 0.018	0.280
WIN	0.036	No autocorrelación	No autocorrelación	(NC) 0.086	0.025
SOL	0.029	Indecisión	No autocorrelación	-	-
BIO	0.019	Indecisión	No autocorrelación	(NC) 0.153	0.071
GEO	0.068	Indecisión	No autocorrelación	(NC) 0.37	0.012
MAR	0.003	Indecisión	Correlación	(AR) 0.025	0.011

Fuente; Elaboración propia

En el resumen se puede observar para la energía hidroeléctrica en el modelo obtenido por MCO el *p-valué* obtenido en la prueba de Ramsey tiene un valor por arriba del nivel de significancia, lo que dispone como un estimador bien especificado, no fue posible determinar autocorrelación de primer orden debido al valor *DW*, el cual se encuentra dentro de la zona de indecisión, además la segunda prueba de auto correlación (LM) determinó que no existía auto correlación en el modelo ya que el valor de *p-valué* es mas alto que 0.05.

Al realizar la corrección del modelo, el *p- valué* obtenido es menor que el grado de significancia lo que indica que el nuevo modelo obtenido tiene correlación serial, además al aplicar nuevamente la prueba Ramsey al modelo corregido, el nuevo *p-valué* también indica que esta bien especificado con un valor de 28 %, el cual es inferior al *p-valué* obtenido en el modelo de (R-MCO) De 78 %. El modelo mas adecuado para reconocer los efectos relacionados entre las variables económicas y financieras con relación al incremento en una unidad de la generación hidroenergética en el mundo estará dado por el estimador obtenido por MCO.

$$\ln HYD_{it} = 1.91 - 0.18 \ln PIB_{it} + 0.04 \ln FM_{it} - 0.70 \ln FI_{it} + 0.56 \ln RD_{it} + 0.44 \ln OTR_{it}$$

Para el caso de la energía eólica la prueba de Ramsey efectuada al modelo obtenido por MCO, arroja un *p-valué* de 0.036 inferior al 0.05 que se estableció como nivel de significancia, de esta manera se considera que el modelo no esta bien especificado. Una vez realizada la prueba de autocorrelación de primer orden al modelo de MCO referente a la energía eolica se obtiene un valor de 1.92 el cual se encuentra en la zona de no rechazo de la hipótesis nula  $H_0$ , que considera que el modelo no esta autocorrelacionado, sin embargo, se encuentra muy cercano al valor de la zona de indecisión del valor "*dI*" correspondiente a 1.91. Al efectuar la prueba autocorrelación de segundo orden no se detectó.

Con la corrección del modelo, se obtiene un nuevo *p-valué* de 0.086 superior al nivel de significancia, lo que nos permite garantizar que en el nuevo modelo no existe autocorrelación serial. De este modo al realizar nuevamente la prueba Ramsey, para determinar si el nuevo modelo esta bien especificado, obtenemos un nuevo *p-valué* de 0.025 inferior al *p-valué* de 0.36 obtenido por MCO (R-MCO), lo que sugiere utilizar el modelo MCO para representar los efectos en la generación de la energía eólica en el mundo a partir del comportamiento de las variables económicas y financieras.

$$\ln WIN_{it} = 8.742 - 3.094 \ln PIB_{it} + 2.715 \ln FM_{it} - 0.288 \ln FI_{it} - 1.366 \ln RD_{it} + 1.712 \ln OTR_{it}$$



La corrección al modelo obtenido por MCO correspondiente a la energía solar en el mundo, no fue posible calcularla debido a que la solución no converge, *apéndice M.3*. En este caso el modelo sugerido a utilizar corresponde al calculado por MCO.

$$\text{Ln SOL}_{it} = 23.948 - 8.328 \text{Ln PIB}_{it} + 7.858 \text{Ln FM}_{it} - 29.128 \text{Ln FI}_{it} + 15.086 \text{Ln RD}_{it} + 5.373 \text{Ln OTR}_{it}$$

Ahora bien en referencia a la bioenergía en el mundo, la prueba de especificación efectuada al la regresión obtenida por MCO, nos muestra un *p- valué* de 0.019 , inferior a la significancia establecida por lo que el modelo no esta bien especificado, al efectuar las pruebas de autocorrelación de primer orden, no es posible determinar la autocorrelación debido a que el valor de DW se encuentra en zona de indeterminación, en relación a la prueba de correlación de orden superior el valor de *p- valué* es mayor al grado de significancia por lo cual se descarta la autocorrelación. Una vez obtenida la corrección del modelo, el nuevo *p- valué*, para bioenergía en el mundo, asociado a la estimación Cochrane-Orcutt, obtenemos un valor superior al grado de significancia lo que nos refiere a ausencia de correlación. Al realizar la prueba Ramsey al nuevo modelo obtenemos el *p- valué* superior a 0.05 y podemos determinar que el modelo esta bien especificado. Por lo anterior podemos sugerir el modelo corregido por Cochrane-Orcutt para reconocer los efectos relacionados al aumento en generación de bioenergía en el mundo en función de las variables económicas y financieras analizadas.

$$\text{Ln BIO}_{it} = 15.03 - 0.94 \text{Ln PIB}_{it} + 0.71 \text{Ln FM}_{it} - 2.74 \text{Ln FI}_{it} - 2.29 \text{Ln RD}_{it} + 0.44 \text{Ln OTR}_{it}$$

Para el caso del modelo obtenido por MCO referente a la energía geotérmica, se obtuvo un *p- valué* de 0.068 lo que promueve al modelo como un estimador adecuado ya que el grado de significancia es superior al 5 %, al aplicar pruebas de autocorrelación también el valor DW cae en zona de indecisión y no es posible determinar la correlación de primer orden, a diferencia de la prueba de orden superior que nos arroja un *p- valué* superior al 5 % y determina que no existe autocorrelación de orden superior para el modelo obtenido por MCO para geotermia en el mundo. Al efectuar la corrección al modelo, el nuevo *p- valué* se encuentra por encima de la zona de significancia y podemos determinar que el modelo corregido no tiene auto correlación, sin embargo; al efectuar la prueba "RESET" al nuevo modelo (R-CO) obtenemos un *p- valué* de 0.11 inferior al 0.68 que obtuvimos con la regresión calculada por MCO (R-MCO), por lo cual se sugiere utilizar este modelo para evaluar el desempeño y los factores que impulsan a la energía geotérmica en el ámbito económico y financiero.

$$\text{Ln GEO}_{it} = 11.765 + 0.252 \text{Ln PIB}_{it} - 2.189 \text{Ln FM}_{it} - 3.564 \text{Ln FI}_{it} - 0.186 \text{Ln RD}_{it} + 0.340 \text{Ln OTR}_{it}$$

Por último, se evalúa el modelo para la energía marina, la cual nos arroja un *p- valué* del 0.003 menor valor al 0.05 buscado para determinar que el modelo esté bien especificado, al efectuar la prueba DW, el valor nos indica que también se encuentra en zona de indeterminación y no podemos garantizar la autocorrelación de primer orden, al efectuar la segunda prueba para autocorrelaciones superiores se reconoce un valor superior al grado de significancia lo que nos permite aceptar la hipótesis nula y determinar que existe auto correlación el los residuos de los errores. Se corrige el

modelo y se determina un nuevo valor de *p-valor* de 0.25 que indica que aun existe auto correlación en el modelo; sin embargo, se efectúa nuevamente la prueba Ramsey para los nuevos coeficientes y obtenemos el nuevo *p-valor* de 0.012 (R-CO) superior 0.003 obtenido por MCO (R-MCO), lo que nos permite sugerir al modelo corregido por Cochrane-Orcutt como el estimador mas eficiente para la generación de energía por fuentes marinas en el mundo.

$$\ln MAR_{it} = 0.053 - 2.35 \ln PIB_{it} + 1.49 \ln FM_{it} - 9.99 \ln FI_{it} + 22.36 \ln RD_{it} - 5.013 \ln OTR_{it}$$

## 5.2 Estadísticas del modelo Obtenido por MCO en AL

Para AL se llevo a cabo el mismo análisis realizado a los países del mundo, en el *apéndice (L.1, L.2)*, se observan los resultados de calcular los coeficientes por MCO para cada tecnología renovable, se observan variables significativas para cada uno de los modelos. El valor de *p-valor* calculado a partir de MCO para AL en hidroenergía, energía eólica y solar es superior a 0.05 por lo tanto se considera que los modelos están bien especificados, a diferencia de la generación por bioenergía y geotermia que reflejan un valor inferior a 5%. *Tabla 24.*

**Tabla 24.** Coeficientes MCO. Modelo en América latina.

Variable	PIB	MFIN	IFIN	ID	OTR	B (0)	Reset	p-value
HYD	-0.066	0.009	-0.120	-0.029	-0.024	3.616	0.315	0.736
WIN	1.394	-1.500	9.813	-1.497	-0.827	-10.790	3.248	0.075
SOL	5.521	-6.330	1.591	-0.255	-2.375	-2.738	2.873	0.096
BIO	-5.374	-3.767	16.758	0.145	6.529	-22.687	6.620	0.012
GEO	-0.951	4.112	3.902	-0.636	0.747	-7.157	32.708	0.000
MAR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran las ecuaciones obtenidas a partir de los coeficientes calculados, para el caso de energía marina no se cuenta con datos para AL.

$$\ln HYD_{it} = 3.61 - 0.066 \ln PIB_{it} + 0.01 \ln FM_{it} - 0.29 \ln FI_{it} - 0.029 \ln RD_{it} - 0.024 \ln OTR_{it} \quad (15)$$

$$\ln WIN_{it} = -10.79 - 1.39 \ln PIB_{it} - 1.5 \ln FM_{it} + 9.81 \ln FI_{it} - 1.49 \ln RD_{it} - 0.82 \ln OTR_{it} \quad (16)$$

$$\ln SOL_{it} = -2.73 + 5.52 \ln PIB_{it} - 6.33 \ln FM_{it} + 1.59 \ln FI_{it} - 0.25 \ln RD_{it} - 2.73 \ln OTR_{it} \quad (17)$$

$$\ln BIO_{it} = -22.68 - 5.37 \ln PIB_{it} - 3.76 \ln FM_{it} + 16.75 \ln FI_{it} + 0.14 \ln RD_{it} + 6.52 \ln OTR_{it} \quad (18)$$

$$\ln GEO_{it} = 7.15 - 0.95 \ln PIB_{it} - 4.11 \ln FM_{it} - 3.90 \ln FI_{it} - 0.63 \ln RD_{it} + 0.74 \ln OTR_{it} \quad (19)$$

De igual manera se calcularon también los coeficientes de las variables explicativas, para AL por MCO, en este caso, la energía hidroeléctrica, eólica y solar tienen un *p-valor* superior al nivel de

significancia establecido lo que sugiere un modelo adecuado, sin embargo, se requiere aplicar nuevamente las pruebas de autocorrelación para asegurarlo

### 5.2.1 Estadísticas Durbin-Watson y Breusch-Godfrey en AL.

En este caso se observa e la *Tabla 25* que todos los valores de *DW* de las tecnologías renovables en AL se encuentran en la zona de indecisión entre  $dl=0.792$  y  $du= 1.91$ , *apéndice N.1* por lo tanto no es posible determinar autocorrelación de primer orden

**Tabla. 25.** Durbin - Breusch en América latina.

Variable	Durbin -Watson (DW)	p-value	Breusch-Godfrey (LM)	p-value
HYD	1.567	0.020	0.022	0.882
WIN	1.529	0.016	0.558	0.455
SOL	1.634	0.030	0.246	0.620
BIO	1.425	0.008	1.060	0.303
GEO	1.411	0.008	1.594	0.207
MAR	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

En la *Tabla 25* se puede observar el valor de *p-valué* para la prueba Breusch-Godfrey es superior a la significancia establecida, por lo tanto no existe autocorrelación de orden superior en ninguna de las tecnologías estudiadas, los valores de *p-valué* están por arriba del nivel de significancia establecido y garantiza homocedasticidad, normalidad y ausencia de autocorrelación de orden superior en los coeficientes de las variables explicativas, excepto para la generación de energía marina de la cual no existen datos en esta región. *apéndice (M.1-M.6)*.

### 5.2.2 Estadísticas del modelo Corregido por Cochrane-Orcutt en AL.

Se presentan los coeficientes calculados a partir de Cochrane–Orcutt *Tabla 26* para las variables explicativas en donde es posible determinar los modelos que brinden mayor certidumbre en sus estimaciones, a partir del valor de *p-valué* de los modelos corregidos superior a 0.05. En AL cinco tecnologías de GER superaron el valor de significancia excepto para hidroenergía.

**Tabla. 26.** Coeficientes Cochrane-Orcutt. América latina

Variable	PIB	MFIN	IFIN	ID	OTR	B (0)	Cochrane - Orcutt	p-value	No de interacciones	Rho
HYD	-0.001	0.033	-0.299	-0.043	-0.088	3.882	1.511	0.012	15.000	-0.078
WIN	2.560	-1.466	6.521	-1.821	-2.193	-4.605	2.149	0.258	12.000	0.149
SOL	7.816	-6.200	-5.309	-0.693	-5.099	9.921	2.048	0.191	20.000	0.170
BIO	-2.358	-3.189	7.778	-1.083	2.935	-5.694	2.924	0.963	33.000	0.625
GEO	-1.478	3.927	5.286	-0.395	1.341	-9.663	2.053	0.226	14.000	0.325
MAR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-	-	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculados los coeficientes de los modelos corregidos a partir de Cochrane–Orcutt se muestran a continuación las ecuaciones relacionadas.

$$\text{Ln HYD}_{it} = 3.88 - 0.01 \text{Ln PIB}_{it} - 0.033 \text{Ln FM}_{it} - 0.29 \text{Ln FI}_{it} - 0.04 \text{Ln RD}_{it} - 0.08 \text{Ln OTR}_{it} \quad (20)$$

$$\text{Ln WIN}_{it} = -4.60 - 2.5 \text{Ln PIB}_{it} - 1.4 \text{Ln FM}_{it} + 6.5 \text{Ln FI}_{it} - 1.82 \text{Ln RD}_{it} - 2.193 \text{Ln OTR}_{it} \quad (21)$$

$$\text{Ln SOL}_{it} = 9.92 + 7.81 \text{Ln PIB}_{it} - 6.20 \text{Ln FM}_{it} - 5.30 \text{Ln FI}_{it} + 0.69 \text{Ln RD}_{it} - 5.09 \text{Ln OTR}_{it} \quad (22)$$

$$\text{Ln BIO}_{it} = -5.69 - 2.35 \text{Ln PIB}_{it} - 3.18 \text{Ln FM}_{it} + 7.77 \text{Ln FI}_{it} - 1.08 \text{Ln RD}_{it} + 2.93 \text{Ln OTR}_{it} \quad (23)$$

$$\text{Ln GEO}_{it} = -9.663 - 1.47 \text{Ln PIB}_{it} + 3.92 \text{Ln FM}_{it} - 5.28 \text{Ln FI}_{it} - 0.39 \text{Ln RD}_{it} + 1.34 \text{Ln OTR}_{it} \quad (24)$$

Al realizar la prueba “Ramsey” Tabla 27 a los modelos corregidos en AL, se determina que los valores para hidroenergía, solar y eólica son superior al 5% y los estimadores planteados si están bien especificados, y cumplen con los supuestos de Gauss-Markov.

**Tabla. 27.** Coeficientes. Cochrane- Orcutt en América latina.

Variable	Prueba Reset	p-value
<i>HYD</i>	0.057	0.945
<i>WIN</i>	1.549	0.255
<i>SOL</i>	0.522	0.608
<i>BIO</i>	20.536	0.000
<i>GEO</i>	25.214	0.000
<i>MAR</i>	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 28 se muestra el resumen de las pruebas de hipótesis aplicadas a cada una de las tecnologías renovables alrededor del mundo en función de su mayor desempeño como generadores dentro de la matriz energética mundial.

**Tabla. 28.** Resumen en América latina. Pruebas de hipótesis

Variable	Ramsey (R-MCO)	Durbin - Watson (DW)	Breusch-Godfrey (LM)	Cochrane-Orcutt (CO)	Ramsey (R- CO)
<i>HYD</i>	0.7357	Indecisión	No autocorrelación	(AR) 0.01215	0.94510
<i>WIN</i>	0.0746	Indecisión	No autocorrelación	(NC) 0.2575	0.25540
<i>SOL</i>	0.0956	Indecisión	No autocorrelación	(NC) 0.1913	0.60760
<i>BIO</i>	0.0116	Indecisión	No autocorrelación	(NC) 0.9625	0.00019
<i>GEO</i>	0.00001	Indecisión	No autocorrelación	(NC) 0.2259	0.00008

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos por MCO y por Cochrane –Orcutt se proponen los mejores los estimadores para cada tecnología. Para hidroenergía en AL el estimador calculado por MCO esta bien especificado ya que reporta un *p-valor* de 0.73 en la prueba de Ramsey superior al nivel de significancia planteado, el valor calculado de *DW* no define su autocorrelación de primer orden y la prueba Breusch-Godfield expone que no existe correlación serial de segundo orden en el modelo calculado por MCO con un *p-valor* 0.88.

En el modelo corregido por Cochrane–Orcutt el *p-valor* para hidroenergía en AL, es 0.12 menor al grado de significancia, por lo que se descarta el estimador calculado ya que muestra autocorrelación serial. Por tanto, el estimador propuesto para AL es el calculado por MCO.

$$\text{Ln HYD}_{it} = 3.61 - 0.66 \text{Ln PIB}_{it} + 0.01 \text{Ln FM}_{it} - 0.29 \text{Ln FI}_{it} - 0.029 \text{Ln RD}_{it} - 0.024 \text{Ln OTR}_{it}$$

Por su parte para la energía eólica en AL, el *p-valor* obtenido en la prueba de Ramsey es superior al 5% lo que plantea una adecuada especificación del estimador obtenido por MCO, se observa que no es posible determinar autocorrelación de primer orden en el modelo planteado ya que el valor de *DW* se encuentra en la zona de indeterminación, se descarta autocorrelación de segundo orden de acuerdo con el *p-valor* obtenido de la prueba Breusch–Godfrey de 0.45 superior al valor de 0.05%.

Sin embargo, el modelo corregido para la energía eólica de acuerdo con Cochrane–Orcutt en AL no mostro autocorrelación al tener un *p-valor* de 0.25 superior a 5% y al aplicar la prueba de Ramsey al nuevo modelo arroja un *p-valor* de 0.25 superior al *p-valor* de 0.07 obtenido en la prueba de Ramsey del modelo calculado por MCO, lo que determina que el modelo esta bien especificado y no autocorrelacionadas y se propone el modelo corregido para la energía eólica en AL.

$$\text{Ln WIN}_{it} = - 4.60 - 2.5 \text{Ln PIB}_{it} - 1.4 \text{Ln FM}_{it} + 6.5 \text{Ln FI}_{it} - 1.82 \text{Ln RD}_{it} - 2.193 \text{Ln OTR}_{it}$$

En el modelo estimado por MCO para energía solar en AL, se obtuvo un *p-valor* en la prueba Ramsey de 0.096 superior a 5 %, y es posible considerar al modelo bien especificado. Con el valor *DW* no es posible determinar si existe autocorrelación de primer orden ya que el valor calculado para la energía solar esta dentro de la zona de indeterminación. Al efectuar las pruebas autocorrelación de segundo orden se obtiene un *p-valor* de 0.24 superior a la significancia antes mencionada y se determina la ausencia de auto correlación.

La corrección del modelo no muestra auto correlación serial con un *p-valor* de 0.19 mas alto que la significancia, además al efectuar la prueba de Ramsey al modelo corregido el *p-valor* es 0.6 superior al *p-valor* de 0.095 calculado por MCO para la energía solar. En este sentido, se propone el estimado obtenido por Cochrane–Orcutt para la energía fotovoltaica en AL

$$\text{Ln SOL}_{it} = 9.92 + 7.81 \text{Ln PIB}_{it} - 6.20 \text{Ln FM}_{it} - 5.30 \text{Ln FI}_{it} + 0.69 \text{Ln RD}_{it} - 5.09 \text{Ln OTR}_{it}$$

La cuarta energía analizada en AL corresponde a la bioenergía, la cual muestra en la regresión calculada por MCO un *p-valor* en la prueba de Ramsey de 0.012, inferior al 5 % de significancia, lo que determina que el modelo esta mal especificado y las variables seleccionadas no explican adecuadamente el comportamiento de la bioenergía en AL, no es posible comprobar autocorrelación

de primer orden debido al valor de  $DW$  de 1.42 que se encuentra en zona de indeterminación. Al efectuar la prueba de segundo orden se obtiene un valor de 0.3 superior a 5 %.

Al efectuar la corrección, Cochrane–Orcutt, determinamos la ausencia de autocorrelación en el modelo con un  $p$ -*valué* 0.96 superior al 0.05 necesario para garantizar la ausencia de correlación en el modelo, sin embargo, al efectuar la prueba de Ramsey al modelo se obtiene un  $p$ -*valué* cercano a cero, inferior al 5 % requerido para determinar que este bien especificado. Por lo tanto, el modelo corregido no contendría a las variables explicativas adecuadas para la bioenergía en AL. Se plantea el modelo obtenido por MCO como el mas adecuado para la reconocer el comportamiento del desarrollo de capacidades en bioenergía en AL ya que  $p$ -*valué* de la prueba de Ramsey aplicado al modelo obtenido por MCO de 0.012 es superior al  $p$ -*valué* de 0.00019 de la prueba de Ramsey obtenido por el modelo corregido de Cochrane–Orcutt para bioenergía en AL.

$$\ln \text{BIO}_{it} = -22.68 - 5.37 \ln \text{PIB}_{it} - 3.76 \ln \text{FM}_{it} + 16.75 \ln \text{FI}_{it} + 0.14 \ln \text{RD}_{it} + 6.52 \ln \text{OTR}_{it}$$

Por ultimo, analizamos el modelo calculado por MCO para la energía geotérmica en AL y se observa para la prueba Ramsey un  $p$ -*valué* de 0.000014 muy cercano a cero y muy por debajo de la zona de significancia establecida, por lo cual no es posible considerar el modelo obtenido por MCO como el mas adecuado ya que no esta bien especificado. No es posible establecer la auto correlación de primer orden para la energía geotérmica y queda descartada la autocorrelación de segundo orden en dicha tecnología para AL. En el modelo corregido al aplicar la prueba de Ramsey también se obtiene un valor muy pequeño para el  $p$ -*valué* igual a 0.00008 lo que nos permitiría concluir que el modelo tampoco esta bien especificado, y además considera que tampoco existe autocorrelación en el modelo corregido obtenido ya que el  $p$ -*valué* del modelo obtenido por Cochrane–Orcutt es 0.22. En virtud de obtener resultados menos alejados de la realidad se propone utilizar el modelo corregido para la energía geotérmica ya que el  $p$ -*valué* en la prueba Ramsey es mayor que el  $p$ -*valué* de la prueba de “Ramsey” calculado por MCO.

$$\ln \text{GEO}_{it} = -9.663 - 1.47 \ln \text{PIB}_{it} + 3.92 \ln \text{FM}_{it} - 5.28 \ln \text{FI}_{it} - 0.39 \ln \text{RD}_{it} + 1.34 \ln \text{OTR}_{it}$$

Una vez determinados los estimadores mas adecuados para cada una de las seis tecnologías de GER, en AL y en mundo se muestra a continuación en la *Tabla 29* y *Tabla 30* los coeficientes correspondientes a las variables explicativas mas adecuados de acuerdo con los contrastes de hipótesis, las pruebas de especificación y de correlación serial aplicadas.

**Tabla. 29.** Coeficientes de las variables explicativas propuesto en GER el mundo.

MUNDO	PIB	MFIN	IFIN	ID	OTR	B (0)
HYD	-0.182	0.042	-0.700	0.568	0.441	1.915
WIN	-3.094	2.715	-0.288	-1.366	1.712	8.742
SOL	-8.328	7.858	-29.128	15.086	5.373	23.948
BIO	-0.948	0.717	-2.745	-2.295	0.444	15.033
GEO	0.252	-2.189	-3.564	-0.186	0.340	11.765
MAR	-2.351	1.496	-9.999	22.362	-5.013	0.053

Fuente: Elaboración propia

**Tabla. 30.** Coeficientes de las variables explicativas propuesto en GER el AL.

<i>LATAM</i>	<i>PIB</i>	<i>MFIN</i>	<i>IFIN</i>	<i>ID</i>	<i>OTR</i>	<i>B (0)</i>
<i>HYD</i>	-0.066	0.009	-0.120	-0.029	-0.024	3.616
<i>WIN</i>	2.560	-1.466	6.521	-1.821	-2.193	-4.605
<i>SOL</i>	7.816	-6.200	-5.309	-0.693	-5.099	9.921
<i>BIO</i>	-5.374	-3.767	16.758	0.145	6.529	-22.687
<i>GEO</i>	-1.478	3.927	5.286	-0.395	1.341	-9.663
<i>MAR</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia

## 6. Discusión

Las consideraciones finales de este estudio, surgen de la discusión de los resultados, al reconocer el impacto en la GER de acuerdo al valor calculado de los coeficientes correspondiente a las variables explicativas de cada modelo propuesto, y distinguir el comportamiento de las tecnologías de GER en AL, contrastarlos con los datos obtenidos de los coeficientes de las variables independientes, financieras, económicas y de *I + D* que explican el comportamiento de la GER en los principales países en el mundo.

En primer lugar, se observa que para la energía hidroeléctrica el aumento en porcentaje del PIB per capita en AL y en mundo no reflejan un efecto positivo en el aumento en generación de hidroenergía.

Se observa también con relación a las variables financieras, que el comportamiento de los mercados financieros tiene el mismo efecto positivo en ambas regiones en AL y en el mundo, sin embargo, es posible reconocer un mayor impacto en generación de hidroenergía a partir del desarrollo de mercados financieros en los principales países generadores de hidroenergía en el mundo que en AL, de acuerdo con la magnitud del coeficiente calculado en dicha variable.

En el caso del desarrollo de las instituciones financieras en AL y en el mundo también se comportan de manera negativa en ambas regiones para hidroenergía, lo que supone que el fortalecimiento de las normas y regulaciones referentes a las instituciones financieras no promueve la generación de energía renovable en el periodo analizado.

En contraste, el coeficiente calculado para la variable que relaciona la inversión en I+D en AL tiene un efecto negativo en el aumento de generación hidroenergética en AL, a diferencia de lo que ocurre en los principales países generadores del mundo que reflejan un efecto positivo en el aumento de generación de energía hidroeléctrica a partir del aumento en inversión I+D y se reconoce un mayor impacto variable en la variable dependiente que con la variación de las demás variables explicativas para hidroenergía en el mundo.

En términos de la apertura comercial, se reconoce un dinamismo para los principales países generadores de hidroenergía en el mundo siendo la segunda variable que contribuye positivamente en el desarrollo de capacidades energéticas en el mundo a diferencia de la región de AL, que muestra un efecto negativo en el aumento de la apertura comercial y no contribuye en el aumento de hidroenergía en dicha región.

Por otro lado, la segunda tecnología analizada es la energía eólica, la cual, si muestra un efecto positivo en el aumento del PIB per capita en AL, así como el desarrollo de las instituciones financieras, que promueven principalmente el aumento de generación de energía eólica en AL.

En contraste con el comportamiento de la energía eólica en el mundo el desarrollo de los mercados financieros y la apertura comercial ha contribuido en mejor medida el desarrollo de capacidades en generación de energía por medio del viento. Para ambas regiones, el crecimiento en inversión en I+D afecta negativamente el aumento en generación de energía eólica

La energía solar fotovoltaica es la tercera tecnología estudiada y los resultados muestran un contraste mas significativo en AL y en el mundo con relación al PIB per capita en cada región, ya que en AL el aumento en el % de PIB provoca un impacto positivo mas significativo que cualquier otra variable del modelo para la energía solar en AL, de manera distinta en el mundo el aumento en PIB per capita reduce la generación de energía solar en los principales países generadores.

También el desarrollo de mercados financieros tiene un comportamiento distinto en ambas regiones, para el caso de AL el aumento en los índices del desarrollo de los mercados financieros provoca una disminución en la generación de energía solar fotovoltaica, y en el caso del comportamiento en generación de energía fotovoltaica en el mundo el aumento en el desarrollo de mercados financieros, tendrá efectos positivos en la generación de energía por dicha tecnología siendo  $M_{fin}$  la segunda variable que influye positivamente a la energía solar apoyada de la variable que involucra la inversión en  $I+D$  que tiene mayor presencia positiva en los coeficientes del modelo y promueve la participación de generación eléctrica por medio del sol en el mundo.

En el caso de AL la inversión en  $I+D$  afecta negativamente la generación energética solar. La apertura comercial no traerá fomento al aumento de generación de energía solar en AL a diferencia de los resultados positivos que traería un aumento en la apertura comercial en el mundo. Es importante resaltar que la variable que mas afecta negativamente al aumento de generación de energía solar en el mundo es el desarrollo de instituciones financieras. Bioenergía es la tecnología que se analiza en cuarto lugar y es posible distinguir para AL las variables que afectan positivamente el aumento en generación con dicha tecnología, en este caso el desarrollo de instituciones financieras impacta en mayor medida la participación de esta tecnología como alternativa de abastecimiento energético, así como el aumento en la inversión en  $I+D$  y la apertura comercial, traerá beneficios a AL para la participación de biogénéticos.

Para el caso de los principales países en el mundo en generación eléctrica por medio de bioenergía, su participación aumenta con el fomento de los mercados financieros y la apertura comercial, y se ve afectada principalmente por la inversión en  $I+D$ , es decir; un aumento en la inversión en  $I+D$  no traerá resultados directos positivos en el aumento de generación de bioenergía en el mundo. La quinta tecnología disponible para generar energía por fuentes renovables es la geotermia, para la cual se observa un comportamiento negativo en el aumento de generación de energía con este recurso cuando aumenta la inversión en  $I+D$  en ambas regiones. En el mundo la geotermia se ve beneficiada con el aumento en el PIB per capita y la apertura comercial en el caso de AL, el aumento en la apertura comercial y el desarrollo de los mercados e instituciones financieras, sugieren un aumento en la generación y participación de dicha tecnología. La sexta y ultima tecnología se refiere a la energía obtenida a partir del océano, en AL aun no representa aportes significativos dentro de la matriz energética, en esta región, por lo cual es necesario reconocer los



factores que han impulsado las dichas tecnologías en los países con mayores capacidades tecnológicas en este sector, a fin de reconocer oportunidades y promover nuevas líneas de investigación y ofrezcan perspectivas positivas para la región de Latinoamérica. De acuerdo con los resultados obtenidos para las variables explicativas que determinan el comportamiento de la generación de energía marina en los principales países del mundo, es importante destacar los efectos positivos que se han reflejan con el aumento de la inversión en *I+D* para las regiones con mayores avances en generación energética por medio de este recurso, siendo así la principal variable que promueve la generación de energía a través del mar, en el mundo. La variable que afecta negativamente en mayor medida la generación de energía por esta fuente es el desarrollo de instituciones financieras el aumento en los índices de instituciones financieras no refleja un aumento en la participación en la matriz energética mundial por medio de recursos del océano.

## **7. Conclusiones, recomendaciones y consideraciones finales.**

El valor que ofrecen los resultados de esta investigación, radican en una metodología original, que brinda, un aporte al campo de conocimiento energético, distingue el comportamiento de la generación de energía renovable (ER) en regiones que anteriormente no se habían estudiado y brinda un panorama a la región de AL, comparada con los principales países generadores de ER en el mundo, en un periodo de análisis no estudiado anteriormente, se logra reconocer con mayor desagregación el comportamiento de las seis tecnologías de ER en términos económicos financieros y de investigación.

El análisis cumple con la hipótesis principal de reconocer los efectos determinantes en el crecimiento energético renovable en América latina y en el mundo, los resultados permiten recomendar a los actores políticos de ambas regiones, destinar mayor inversión en el desarrollo de capacidades tecnológicas, crear nuevas y mejores estrategias de aplicación de los recursos económicos destinados a la generación de innovaciones energéticas renovables, principalmente en las áreas que permitan distinguir el potencial energético, además de identificar las brechas tecnológicas para desarrollo de conocimientos, en virtud de ampliar el inventario de regiones factibles, lo que requiere promover los vínculos entre centros de investigación, universidades, empresarios y el estado, a fin de fortalecer el desarrollo tecnológico enfocado en la toma de decisiones que integre la tecnología con el ambiente en un crecimiento energético sostenible.

Se pudo comprobar la relación entre las variables económicas y financieras en el crecimiento de las energías renovables, dentro de ellas, la apertura comercial juega un papel fundamental para los principales países generadores, causando un impacto positivo en todas ellas excepto en la energía marina, la cual, no muestra resultados favorables con el fortalecimiento del comercio, debido a su débil participación en la matriz energética, además de la falta de investigación y desarrollo tecnológico en este sector, sin embargo; los resultados permiten reconocer, mayor magnitud en el crecimiento de la energía marina en el mundo, con el aumento de la inversión en *I + D*, y se destaca como el factor con el mayor efecto positivo en el crecimiento de la energía marina en el mundo. En los resultados se reconoce el impacto positivo en el crecimiento de las energías renovables con una mayor apertura comercial, lo que implica una integración económica, promueve la maduración de los sistemas de generación de energía renovable, beneficia a empresarios, las naciones, por ello es

preciso recomendar la consolidación de nuevos mercados y establecer nuevos vínculos entre academia, industria y estado

Se observa en los datos obtenidos la importancia de la creación y aplicación de un marco legal que garantice a partir de las instituciones financieras la evolución comercial en las regiones. Los resultados expuestos distinguen mayor impacto en el crecimiento de las energías renovables, por medio del fortalecimiento de las instituciones financieras en AL; a diferencia de los países con mayor generación de energía renovable en el mundo, que muestran mayor crecimiento con el desarrollo de los mercados financieros y la apertura comercial. Los resultados permiten reconocer que se requiere mayor apoyo internacional, que fortalezca el crecimiento tecnológico de AL, que permita aumentar su participación en la matriz energética a un ritmo acelerado y desarrollar ventajas competitivas amigables con el ambiente.

## Referencias

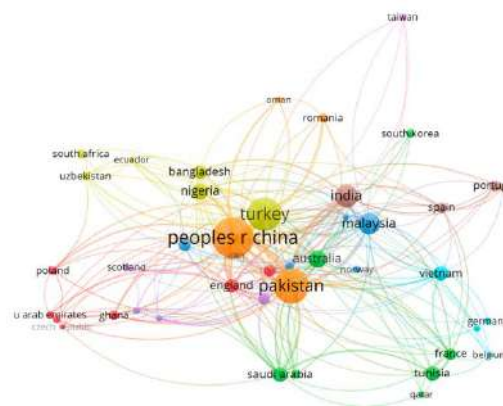
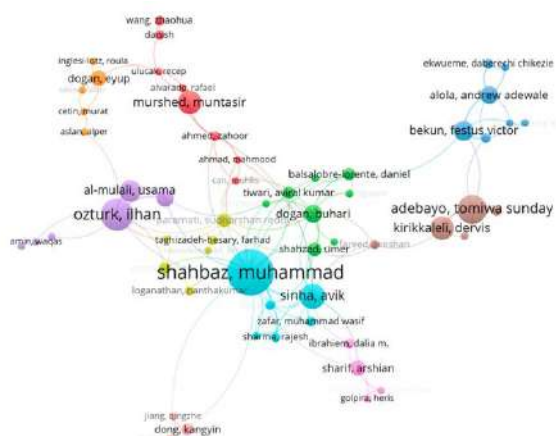
- [1] Khezri, M., Heshmati, A., & Khodaei, M. (2021). The role of R&D in the effectiveness of renewable energy determinants: A spatial econometric analysis. *Energy Economics*, 99, 105287. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105287>
- [2] Al-mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y., & Sab, C. N. B. C. (2013). Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.005>
- [3] Tugcu, C. T., Ozturk, I., & Aslan, A. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth relationship revisited: Evidence from G7 countries. *Energy Economics*, 34(6), 1942–1950. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.021>
- [4] Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). CO2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. *Energy Policy*, 38(6), 2911–2915. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.024>
- [5] Chinn, M. D., & Ito, H. (2006). What matters for financial development? Capital controls, institutions, and interactions. *Journal of Development Economics*, 81(1), 163–192. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2005.05.010>
- [6] Shahbaz, M., Topcu, B. A., Sarigül, S. S., & Vo, X. V. (2021). The effect of financial development on renewable energy demand: The case of developing countries. *Renewable Energy*, 178, 1370–1380. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.121>
- [7] Frutos-Bencze, D., Avdiu, K., & Unger, S. (2019). The effect of trade and monetary policy indicators on the development of renewable energy in Latin America. *critical perspectives on international business*, 16(4), 337–359. <https://doi.org/10.1108/cpoib-04-2018-0037>
- [8] Chinn, M. D., & Ito, H. (2006b). What matters for financial development? Capital controls, institutions, and interactions. *Journal of Development Economics*, 81(1), 163–192. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2005.05.010>
- [9] Wurgler, J. (2000). Financial markets and the allocation of capital. *Journal of Financial Economics*, 58(1–2), 187–214. [https://doi.org/10.1016/s0304-405x\(00\)00070-2](https://doi.org/10.1016/s0304-405x(00)00070-2)
- [10] IRENA. International Renewable Energy Agency. (2021). IRENA. <https://www.irena.org/>
- [11] PxWeb - Select table. (2021). IRENA. [https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/IRENASTAT\\_Power%20Capacity%20and%20Generation/](https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/IRENASTAT_Power%20Capacity%20and%20Generation/)

- [12] Ramsey, J. B. (1969). Tests for Specification Errors in Classical Linear Least-Squares Regression Analysis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 31(2), 350–371. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1969.tb00796.x>
- [13] DURBIN, J., & WATSON, G. S. (1950). TESTING FOR SERIAL CORRELATION IN LEAST SQUARES REGRESSION. I. *Biometrika*, 37(3–4), 409–428. <https://doi.org/10.1093/biomet/37.3-4.409>
- [14] Rutledge, D., & Barros, A. (2002). Durbin–Watson statistic as a morphological estimator of information content. *Analytica Chimica Acta*, 454(2), 277–295. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(01\)01555-0](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(01)01555-0)
- [15] Jović, O. (2016). Durbin-Watson partial least-squares regression applied to MIR data on adulteration with edible oils of different origins. *Food Chemistry*, 213, 791–798. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.016>
- [16] BREUSCH, T. S. (1978). TESTING FOR AUTOCORRELATION IN DYNAMIC LINEAR MODELS\*. *Australian Economic Papers*, 17(31), 334–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.1978.tb00635.x>
- [17] Godfrey, L. G. (1978). Testing Against General Autoregressive and Moving Average Error Models when the Regressors Include Lagged Dependent Variables. *Econometrica*, 46(6), 1293. <https://doi.org/10.2307/1913829>
- [18] Wooldridge, J. M. (2012). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5.a ed.). South-Western Pub.
- [19] Dufour, J. M., Gaudry, M. J., & Liem, T. C. (1980). The Cochrane-Orcutt procedure numerical examples of multiple admissible minima. *Economics Letters*, 6(1), 43–48. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90055-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90055-5)
- [20] World Bank Group - International Development, Poverty, & Sustainability. (2021). World Bank. <https://www.worldbank.org/en/home>
- [21] Fondo Monetario Internacional - Página Principal. (2021). IMF. <https://www.imf.org/es/Home>
- [22] Van Eck, N. J.; Waltman L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 523-538. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- [23] RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA [URL http://www.rstudio.com/](http://www.rstudio.com/)

**NOTAS COMPLEMENTARIAS**

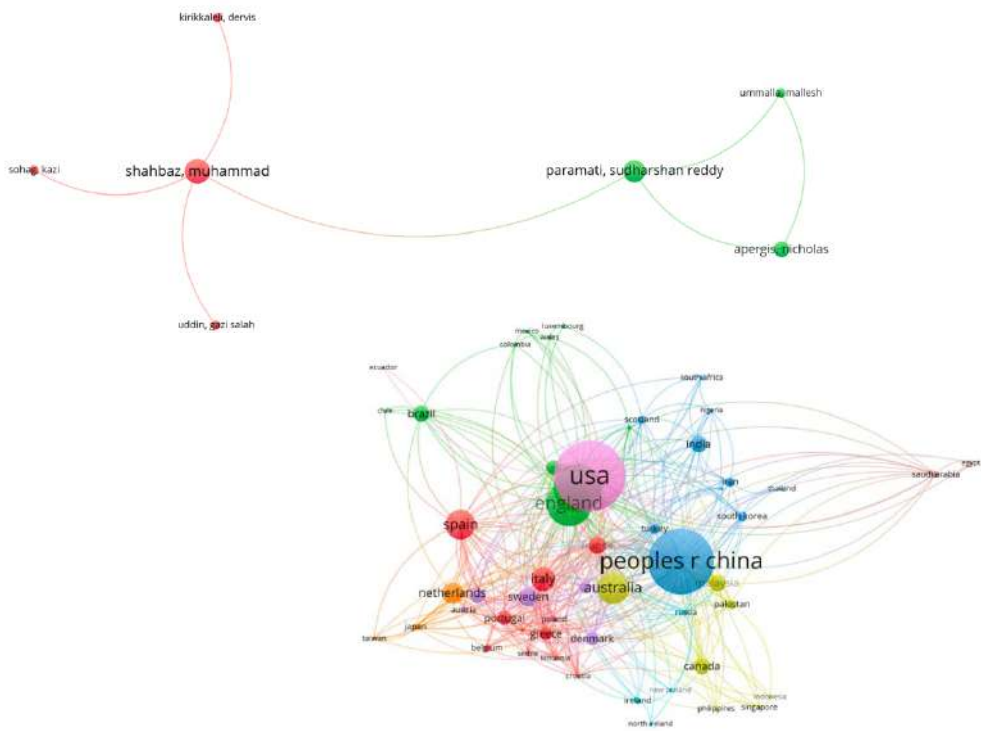
**OTR** En la primera búsqueda, se obtuvieron 666 documentos relacionados al termino, de búsqueda “Renewable energy, and, openness trade”, el la tabla.1 se observan los 10 primeros artticulos con mayor impacto

Autores	Titulo	Palabras Clave	Citas	Año de publicación
Shahbaz, Muhammad; Hye, Qazi Muhammad Adnan; Tiwari, Aviral Kumar; Leitao, Nuno Carlos	Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO2 emissions in Indonesia	ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE; CARBON-DIOXIDE EMISSIONS; UNIT-ROOT TESTS; TIME-SERIES; ELECTRICITY CONSUMPTION; POLLUTANT EMISSIONS; CAUSAL RELATIONSHIP; ERROR-CORRECTION; REAL INCOME; COINTEGRATION	646	2013
Balsalobre-Lorente, Daniel; Shahbaz, Muhammad; Roubaud, David; Farhani, Sahbi	How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO2 emissions?	ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE; FOREIGN DIRECT-INVESTMENT; NONRENEWABLE ENERGY-CONSUMPTION; CARBON-DIOXIDE EMISSIONS; FINANCIAL DEVELOPMENT; TRADE OPENNESS; AIR-POLLUTION; CLEAN ENERGY; INTERNATIONAL-TRADE; NEXUS EVIDENCE	441	2018
Dogan, Eyup; Seker, Fahri	Determinants of CO2 emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy	ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE; CARBON-DIOXIDE EMISSIONS; FOREIGN DIRECT-INVESTMENT; CONSUMPTION-GROWTH NEXUS; ECONOMIC-GROWTH; ELECTRICITY CONSUMPTION; TIME-SERIES; PANEL-DATA; FINANCIAL DEVELOPMENT; CAUSALITY ANALYSIS	410	2016
Dogan, Eyup; Seker, Fahri	The influence of real output, renewable and non-renewable energy, trade and financial development on carbon emissions in the top renewable energy countries	ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE; CONSUMPTION-GROWTH NEXUS; FOREIGN DIRECT-INVESTMENT; MITIGATE CO2 EMISSIONS; ECONOMIC-GROWTH; ELECTRICITY CONSUMPTION; DIOXIDE EMISSIONS; CAUSALITY ANALYSIS; EKC HYPOTHESIS; MIDDLE-EAST	411	2016
Shahbaz, Muhammad; Lean, Hooi Hooi; Shabbir, Muhammad Shahbaz	Environmental Kuznets Curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality	CARBON-DIOXIDE EMISSIONS; ENERGY-CONSUMPTION; ECONOMIC-GROWTH; CO2 EMISSIONS; TIME-SERIES; UNIT-ROOT; ELECTRICITY CONSUMPTION; ERROR-CORRECTION; FREE-TRADE; INCOME	359	2012
Al-mulali, Usama; Weng-Wai, Choong; Sheau-Ting, Low; Mohammed, Abdul Hakim	Investigating the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation	GREENHOUSE-GAS EMISSIONS; ECONOMIC-GROWTH; ENERGY-CONSUMPTION; CO2 EMISSIONS; PANEL-DATA; FINANCIAL DEVELOPMENT; CARBON EMISSIONS; COAL CONSUMPTION; TRADE OPENNESS; LATIN-AMERICA	354	2015
Li, Ke; Lin, Boqiang	Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption.CO2 emissions: Does the level of development matter?	CARBON-DIOXIDE EMISSIONS; INSTRUMENTAL VARIABLE ESTIMATION; CO2 EMISSIONS; ECONOMIC-GROWTH; ELECTRICITY CONSUMPTION; TRADE OPENNESS; URBAN FORM; PANEL-DATA; SUSTAINABLE DEVELOPMENT; EMPIRICAL-EVIDENCE	324	2015
Sebri, Maamar; Ben-Salha, Ousama	On the causal dynamics between economic growth, renewable energy consumption, CO2 emissions and trade openness: Fresh evidence from BRICS countries	NONRENEWABLE ENERGY; ELECTRICITY CONSUMPTION; ERROR-CORRECTION; NEXUS EVIDENCE; COINTEGRATION	319	2014
Salahuddin, Mohammad; Alam, Khorshed; Ozturk, Ilhan; Sohag, Kazi	The effects of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO2 emissions in Kuwait	CARBON-DIOXIDE EMISSIONS; LONG-RUN RELATIONSHIP; ENERGY-CONSUMPTION; EMPIRICAL-EVIDENCE; TRADE OPENNESS; MIDDLE-EAST; URBANIZATION; NEXUS; COUNTRIES; CHINA	311	2018
Destek, Mehmet Akif; Sinha, Avik	Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries	ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE; CO2 EMISSIONS; HETEROGENEOUS PANELS; ERROR-CORRECTION; CHINA; SUSTAINABILITY; HYPOTHESIS; RESOURCE; IMPACT; LEVEL	299	2020



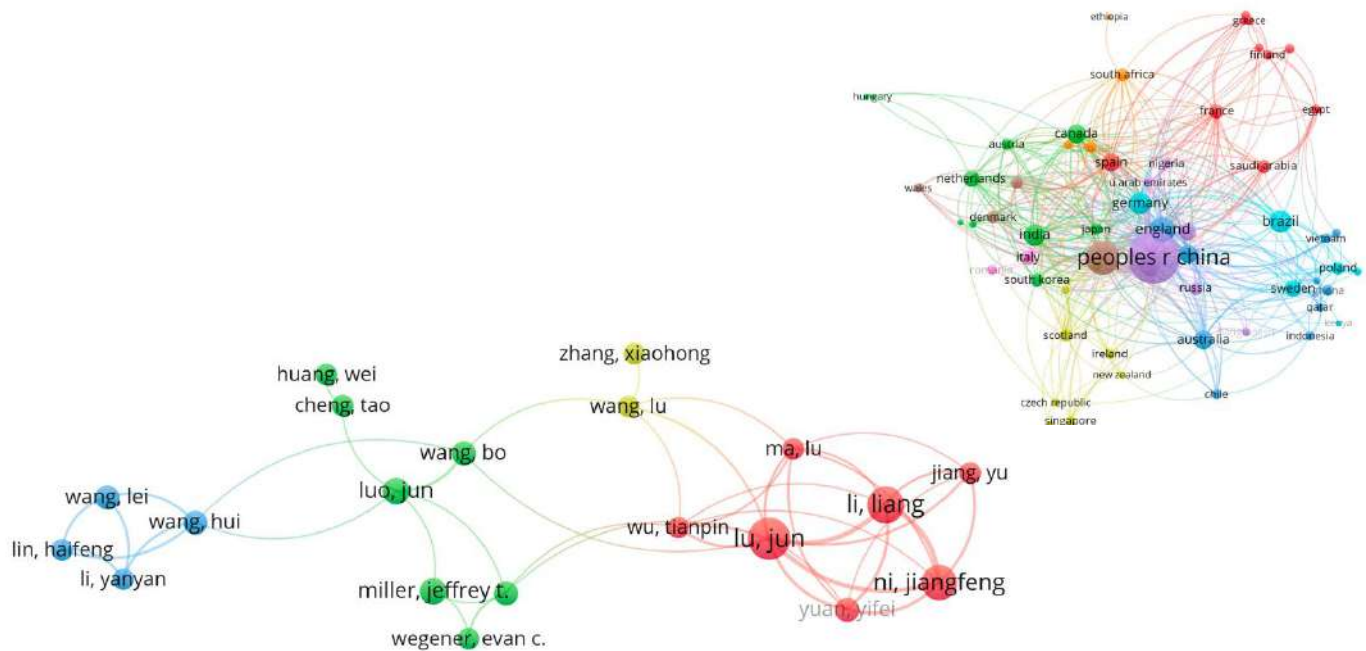
**MFIN**

Autores	Titulo	Palabras Clave	Citas	Año de publicación
Wang Jinzhou	Financial Support for the Energy Market Research Industry Development of Renewable		3	2015
Chebotareva, Galina S.; Strielkowski, Wadim; Blaginin, Viktor A.	The renewable energy market: Companies' development and profitability	WIND POWER; POLICY; CHOICE; RISKS; FOCUS; MODEL	2	2019
Liu, Yang; Yang, Xueqing; Wang, Mei	Global Transmission of Returns among Financial, Traditional Energy, Renewable Energy and Carbon Markets: New Evidence	AUTOREGRESSIVE TIME-SERIES; IMPULSE-RESPONSE ANALYSIS; VOLATILITY SPILLOVERS; STOCK-PRICE; PHASE-II; EU	0	2021
Kim, Jeayoon; Park, Kwangwoo	Financial development and deployment of renewable energy technologies	STOCK MARKETS; GROWTH; INNOVATION	95	2016
Alsagr, Naif; van Hemmen, Stefan	The impact of financial development and geopolitical risk on renewable energy consumption: evidence from emerging markets	ECONOMIC-GROWTH; PANEL-DATA; CO2 EMISSIONS; ELECTRICITY CONSUMPTION; AIR-POLLUTION; INVESTMENT; PRICES;	16	2021
Owen, AD	Renewable energy: Externality costs as market barriers	DAMAGE COSTS; CARBON	164	2006
Tao, Ye; Xu, Zhiwei	Coordination of Renewable Energy and Flexible Loads in Electricity Markets via Financial Tools		0	2015
Ziaei, Sayyed Mahdi	The impacts of household social benefits, public expenditure on labour markets, and household financial assets on the renewable energy sector	ECONOMIC-GROWTH; CO2 EMISSIONS; PANEL-DATA; NUCLEAR-ENERGY; CONSUMPTION; OECD; COUNTRIES; NEXUS;	3	2022
Langniss, O	Instruments to foster renewable energy investments in Europe - A survey under the financial point of view		17	1996
Raisch, Veit	Financial assessment of mini-grids based on renewable energies in the context of the Ugandan energy market		5	2016



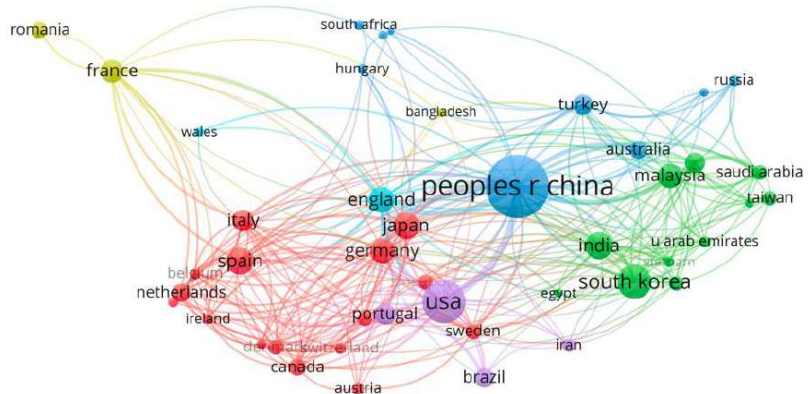
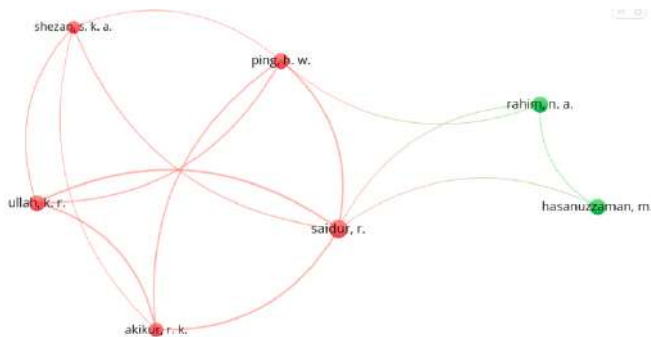
IFIN  
745 Resultados

Autores	Título	Palabras Clave	Citas	Año de publicación
Habiba, Umme; Cao Xingang; Ahmad, Rahil Irfan	The influence of stock market and financial institution development on carbon emissions with the importance of renewable energy consumption and foreign direct investment in G20 countries	ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE; LOWER CO2 EMISSIONS; ECONOMIC-GROWTH; TRADE OPENNESS; CLEAN ENERGY; ELECTRICITY CONSUMPTION; PANEL ANALYSIS; LONG-RUN; FDI; IMPACT	6	2021
Koksal, Cihat; Katircioglu, Setareh; Katircioglu, Salih	The role of financial efficiency in renewable energy demand: Evidence from OECD countries	ECONOMIC-GROWTH; CONSUMPTION; PANEL; URBANIZATION; MECHANISMS; CHINA	12	2021
Chen, Chaoyi; Pinar, Mehmet; Stengos, Thanasis	Determinants of renewable energy consumption: Importance of democratic institutions	ECONOMIC-GROWTH NEXUS; FOREIGN DIRECT-INVESTMENT; UNIT-ROOT TESTS; PANEL-DATA; CO2 EMISSIONS; ELECTRICITY CONSUMPTION; INTERNATIONAL-TRADE; NUCLEAR-ENERGY; DYNAMIC PANELS; POLLUTION	16	2021
Bhattacharya, Mita; Churchill, Sefa Awaworyi; Paramati, Sudharshan Reddy	The dynamic impact of renewable energy and institutions on economic output and CO2 emissions across regions	KUZNETS CURVE HYPOTHESIS; GROWTH EVIDENCE; PANEL-DATA; CONSUMPTION; ELECTRICITY; POLICY; EUROPE; TESTS	241	2017
Canh Phuc Nguyen; Schinckus, Christophe; Thanh Dinh Su; Chong, Felicia Hui Ling	The energy consumption: the global contributions from financial development and institutions	ECONOMIC-GROWTH; RENEWABLE ENERGY; INDUSTRIALIZATION; EMISSIONS; QUALITY; DEMAND; IMPACT; URBANIZATION; DETERMINANTS; POPULATION	0	2022
He, Lingyun; Liu, Rongyan; Zhong, Zhangqi; Wang, Deqing; Xia, Yufei	Can green financial development promote renewable energy investment efficiency? A consideration of bank credit	FREE CASH FLOW; OVER-INVESTMENT	69	2019
Navarro, Manuel Padeira; Catalao-Lopes, Margarida	A structured financial product applied to renewable energies		0	2019
Saadaoui, Haifa	The impact of financial development on renewable energy development in the MENA region: the role of institutional and political factors	ECONOMIC-GROWTH; NONRENEWABLE ENERGY; CO2 EMISSIONS; ELECTRICITY CONSUMPTION; ENVIRONMENTAL-QUALITY; EMPIRICAL-EVIDENCE; DEPLOYMENT; DRIVERS; MATTER; TRADE	1	2022
Nulambeh, Ndzembanteh Aboubakary; Eryigit, Kadir Yasin	Exploring the energy-environment growth nexus in francophone Africa in presence of institutions	ECONOMIC-GROWTH; RENEWABLE ENERGY; PANEL-DATA; CONSUMPTION; QUALITY; GMM	0	
Sheraz, Muhammad; Deyi, Xu; Mumtaz, Muhammad Zubair; Ullah, Atta	Exploring the dynamic relationship between financial development, renewable energy, and carbon emissions: A new evidence from belt and road countries	ECONOMIC-GROWTH NEXUS; CO2 EMISSIONS; ENVIRONMENTAL-QUALITY; PANEL-DATA; CONSUMPTION; GLOBALIZATION; IMPACT; TRADE; CORRUPTION; INCOME	4	2022



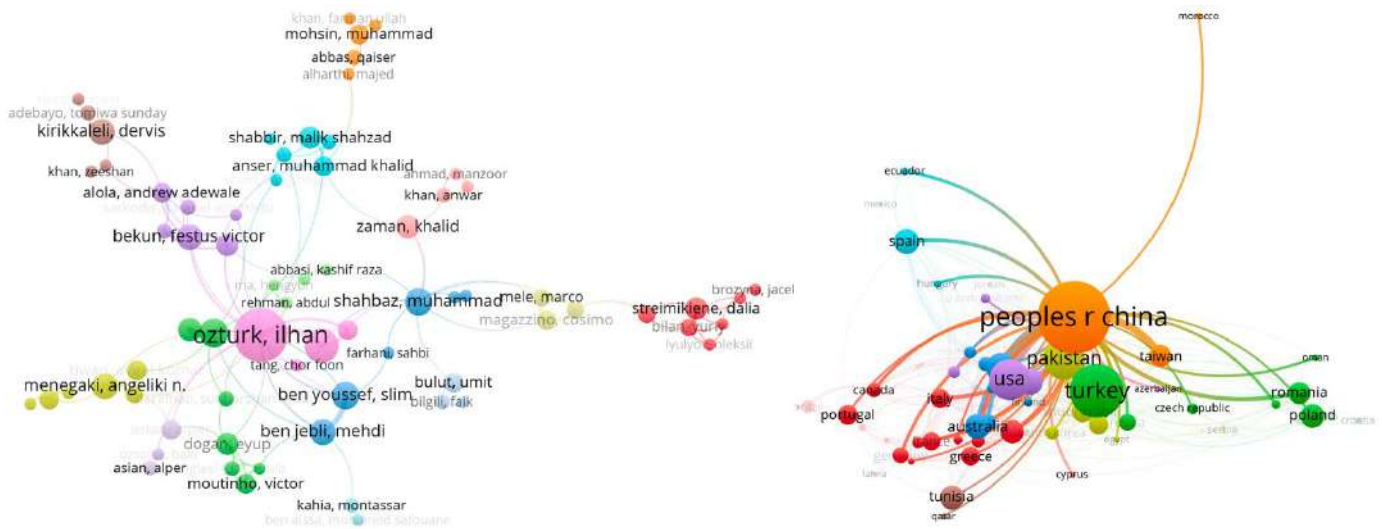
R&D 9,282

Autores	Título	Palabras Clave	Citas	Año de publicación
Chachuli, Fairuz Suzana Mohd; Mat, Sohif; Ludin, Norasikin Ahmad; Sopian, Kamaruzzaman	Performance evaluation of renewable energy R & D activities in Malaysia	ELECTRICITY-GENERATION; ALTERNATIVE ENERGY; EFFICIENCY; SECTOR; SUSTAINABILITY; OPTIMIZATION; PERSPECTIVES; BENCHMARKING; FEASIBILITY; BARRIERS	12	2021
Woo, C.; Chun, D.	R&D performance and relevant factors of renewable energy projects: separating innovation and economic perspectives	EFFICIENCY	0	
Lee, Deok Joo; Kim, Kyung-Taek; Park, Sung-Joon	Economic Evaluation of Renewable Energy R&D in Korea using Real Option		0	2011
Kocsis, Imre; Kiss, Judit T.	RENEWABLE ENERGY CONSUMPTION, R&D AND GDP IN EUROPEAN UNION COUNTRIES	CAUSAL RELATIONSHIP; ECONOMIC-GROWTH; OUTPUT; TESTS	10	2014
Khezri, Mohsen; Heshmati, Almas; Khodaei, Mehdi	The role of R&D in the effectiveness of renewable energy determinants: A spatial econometric analysis	ECONOMIC-GROWTH NEXUS; FINANCIAL DEVELOPMENT; CO2 EMISSIONS; NONRENEWABLE ENERGY; TECHNOLOGICAL-INNOVATION; ELECTRICITY CONSUMPTION; INTERNATIONAL-TRADE; IMPACT; OUTPUT; PANEL	2	2021
Grafstrom, Jonas; Soderholm, Patrik; Gawel, Erik; Lehmann, Paul; Strunz, Sebastian	Government support to renewable energy R&D: drivers and strategic interactions among EU Member States	PANEL-DATA; DEVELOPMENT INVESTMENT; KNOWLEDGE SPILLOVERS; DEPLOYMENT POLICIES; INNOVATION; TECHNOLOGY; CONVERGENCE; INDUSTRY; GROWTH; LESSONS	3	
Kim, Taegu; Lee, Deok-Joo; Koo, Sanghoi	Determining the scale of R&D investment for renewable energy in Korea using a comparative analogy approach	TECHNOLOGY DIFFUSION; FRAMEWORK; GROWTH; MODELS	11	2014
Churchill, Sefa Awaworyi; Inekwe, John; Ivanovski, Kris	R&D expenditure and energy consumption in OECD nations	PANEL-DATA MODELS; RENEWABLE ENERGY; TECHNOLOGICAL-CHANGE; DEVELOPMENT INVESTMENT; ECONOMIC-GROWTH; CO2 ABATEMENT; POLICY; DETERMINANTS; INNOVATION; EMISSIONS	6	2021
Sun, Inkyoung; Kim, So Young	Energy R&D towards Sustainability: A Panel Analysis of Government Budget for Energy R&D in OECD Countries (1974-2012)	NATIONAL INNOVATIVE CAPACITY; POLICY IMPLICATIONS; RENEWABLE ENERGY; INDUSTRY; DETERMINANTS; ENVIRONMENT; SPILLOVERS; INVESTMENT; FRAMEWORK; SECURITY	6	2017
Plank, Josef; Doblinger, Claudia	The firm-level innovation impact of public R&D funding: Evidence from the German renewable energy sector	DEVELOPMENT SUBSIDIES; KNOWLEDGE SPILLOVERS; EMPIRICAL-EVIDENCE; TECHNOLOGY; PATENTS; PERFORMANCE; INCENTIVES; RESOURCES; LESSONS; POLICY	50	2018



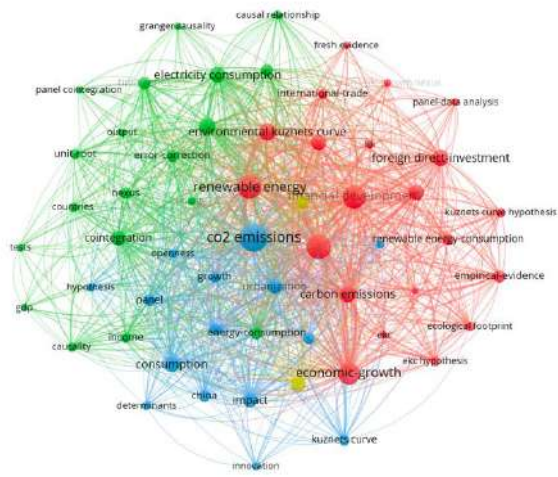
GDP 1869

Autores	Título	Palabras Clave	Citas	Año de publicación
Al-mulali, Usama; Fereidouni, Hassan; Gholipour; Lee, Janice Ym; Sab, Che Normee Binti Che	Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth	ECONOMIC-GROWTH; ELECTRICITY CONSUMPTION; CAUSAL RELATIONSHIP; COAL CONSUMPTION; NEXUS EVIDENCE; PANEL-DATA; AMERICA EVIDENCE; COUNTRIES; COINTEGRATION; CHINA	155	2013
Kocsis, Imre; Kiss, Judit T.	RENEWABLE ENERGY CONSUMPTION, R&D AND GDP IN EUROPEAN UNION COUNTRIES	CAUSAL RELATIONSHIP; ECONOMIC-GROWTH; OUTPUT; TESTS	10	2014
Chien, Taichen; Hu, Jin-Li	Renewable energy: An efficient mechanism to improve GDP	TECHNOLOGIES; SCENARIO; FUTURE; SYSTEM	105	2008
Formanek, Tomas	Semiparametric spatio-temporal analysis of regional GDP growth with respect to renewable energy consumption levels	ELECTRICITY CONSUMPTION; ECONOMIC-GROWTH; MODELS	0	2020
Menegaki, Angeliki N.; Ozturk, Ilhan	Renewable energy, rents and GDP growth in MENA countries	ECONOMIC-GROWTH; REVISITED EVIDENCE; CONSUMPTION	17	2016
Simionescu, Mihaela; Bilan, Yuriy; Krajnakova, Emilia; Streimikiene, Dalia; Gedek, Stanislaw	Renewable Energy in the Electricity Sector and GDP per Capita in the European Union	ECONOMIC-GROWTH EVIDENCE; SUSTAINABLE DEVELOPMENT; CONSUMPTION; SYSTEM; POLICY; EFFICIENCY; EMISSIONS; COUNTRIES; IMPACT; COSTS	36	2019
Ben Mbarek, Mounir; Saidi, Kais; Amamri, Mounira	The relationship between pollutant emissions, renewable energy, nuclear energy and GDP: empirical evidence from 18 developed and developing countries	UNIT-ROOT TESTS; ECONOMIC-GROWTH; PANEL-DATA; TIME-SERIES; ENVIRONMENTAL DEGRADATION; KUZNETS CURVE; CO2 EMISSIONS; CONSUMPTION; COINTEGRATION; HYPOTHESIS	10	2018
Amri, Fethi	The relationship amongst energy consumption (renewable and non-renewable), and GDP in Algeria	ECONOMIC-GROWTH NEXUS; ELECTRICITY CONSUMPTION; TIME-SERIES; CAUSAL RELATIONSHIP; PANEL-DATA; UNIT-ROOT; COUNTRIES; COINTEGRATION; EMISSIONS; TRADE	48	2017
Senadjki, Abdelhak; Mohd, Saidatulakmal; Nathan, Thurai Murugan	Decomposing the Relationship between Renewable Energy Sources, CO2 Emission and GDP per capita: ARDL Approach for OECD Countries	ECONOMIC-GROWTH; ELECTRICITY CONSUMPTION; CAUSALITY; INCOME	0	2014
Dogan, Eyup	CO2 Emissions, Real GDP, Renewable Energy and Tourism: Evidence from Panel of the Most-Visited Countries	ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE; CARBON-DIOXIDE EMISSIONS; ECONOMIC-GROWTH EVIDENCE; TIME-VARYING LINKAGES; ELECTRICITY CONSUMPTION; INTERNATIONAL TOURISM; FINANCIAL DEVELOPMENT; OIL PRICES; COINTEGRATION; HYPOTHESIS	6	2017

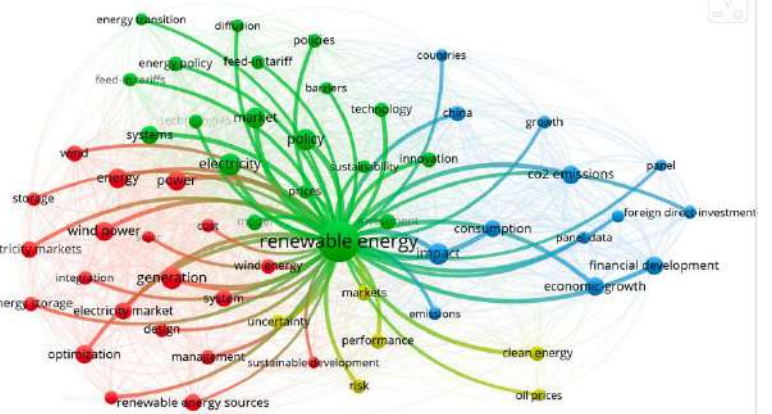




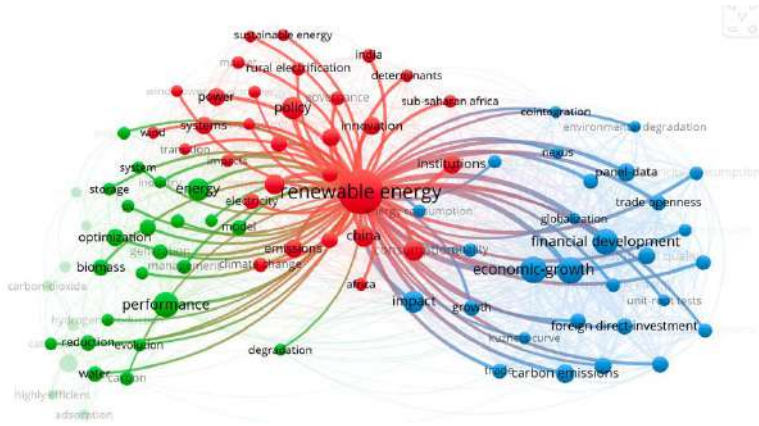
### OTR



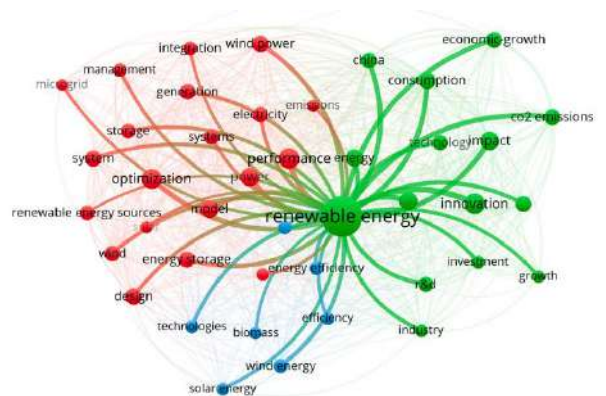
### MFIN



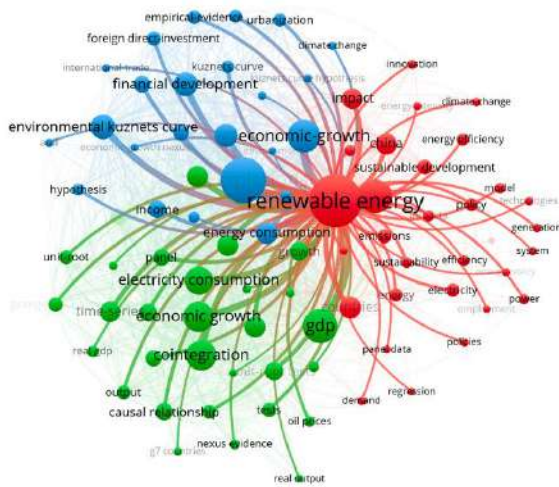
### IFIN



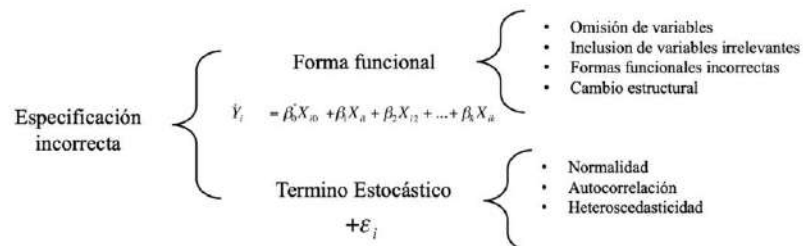
### I + D



### GDP



## 2. Pruebas de especificación. Elaboración Propia.



La autocorrelación puede definirse como “la correlación entre miembros de series de observaciones ordenadas en el tiempo” (como en datos de series de tiempo) o en el espacio (como en datos de corte transversal)” (Gujarati, 2004: 426); es decir; Planteamos la correlación como la relación existente entre la covarianza y la desviación estándar de x e y, matemáticamente la expresamos (como el cociente entre la covarianza de dos variables dividida entre la raíz cuadrada del producto de sus varianzas) de la siguiente forma:

$$\text{Ec. (1): } \rho = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} \quad \text{Donde: } \quad \gamma_s = E(e_t e_{t-1}); \quad \gamma_0 = E(e^2) = \sigma_e^2$$

$$E(e_i e_j) = 0, i \neq j$$

Durbin puede identificar la correlación espacial y la heterogeneidad espacial para analizar los efectos entre diferentes regiones y permite inspeccionar la correlación serial en datos en las variables empleadas. El análisis de tendencia se suele realizar con la prueba de Durbin-Watson en una serie temporal de residuos. [\(Jović. 2003\). Rutledge. \(2002\).](#)

El contraste de Durbin-Watson es la prueba más conocida para detectar la existencia de la autocorrelación serial. Siguiendo a [Griffiths y Judge \(1993\)](#) y [Quintana y Mendoza \(2008\)](#) podemos expresarla de la siguiente forma:

$$\text{Ec. (2): } \quad d = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{e}_t - \hat{e}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{e}_t^2} = \frac{\sum \hat{e}_t^2 + \sum \hat{e}_{t-1}^2 + 2 \sum \hat{e}_t \hat{e}_{t-1}}{\sum \hat{e}_t^2}$$

Para cada intervalo, Durbin-Watson (DW), se calcula sobre un vector de coeficientes de la regresión calculada. El método selecciona solo aquellas variables cuyos intervalos tienen una estadística de DW más baja que un cierto punto de corte óptimo.

El valor DW converge a cero si existe una fuerte correlación entre los puntos sucesivos. Si existe una correlación débil entre los puntos sucesivos, es decir, una distribución aleatoria, el valor de DW converge a 2.0. Para  $n > 100$ , la distribución es aleatoria con un intervalo de confianza del 95%, si DW está entre 1,7 y 2.3 [Durbin & Watson, 1971.](#)

si  $\hat{\rho} = -1 \therefore d \approx 4$  existe autocorrelación negativa

si  $\hat{\rho} = 0 \therefore d \approx 2$  no existe autocorrelación serial

si  $\hat{\rho} = 1 \therefore d \approx 0$  existe autocorrelación positiva

$$\text{Ec.(3): } \quad \hat{\rho} \cong 1 - DW/2$$

La regresión auxiliar para el contraste de autocorrelación hasta de orden  $p$  en los residuos tiene la forma:

Ec. (4):

$$y_t = X_t B + e_t$$

Ec. (5):

$$e_t = X_t \theta + \sum_{i=1}^p e_{t-i} + v_t$$

### 3. Modelo construido y el resumen de estadísticas de la regresión por MCO para hidroenergía

#### *Estadística de Datos MCO. Energía Hidroeléctrica America Latina*

```
Call:
lm(formula = HYD ~ PIB + MFIN + IFIN + ID + OTR)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.043521 -0.006084 -0.002501  0.007463  0.051936

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.61567    0.74686   4.841 0.000262 ***
PIB          -0.06603    0.12443  -0.531 0.603949
MFIN         0.00917    0.21531   0.043 0.966632
IFIN        -0.12040    0.50773  -0.237 0.815994
ID          -0.02869    0.10696  -0.268 0.792404
OTR         -0.02364    0.13409  -0.176 0.862604
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02096 on 14 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5717,    Adjusted R-squared:  0.4187
F-statistic: 3.738 on 5 and 14 DF,  p-value: 0.02332
```

*Fuente. Elaboración propia, Programa R- Studio.*

Modelo obtenido por MCO para el caso de la generación de energía hidroeléctrica en el mundo

$$\text{Ln HYD}_{it} = 3.61 - 0.066 \text{Ln PIB}_{it} + 0.009 \text{Ln FM}_{it} - 0.12 \text{Ln FI}_{it} - 0.028 \text{Ln RD}_{it} - 0.023 \text{Ln OTR}_{it}$$

La logica que sigue el procedimiento consiste en establecer a través de pruebas de hipótesis estadísticas, si el modelo de regresión obtenido por MCO, detecta errores de especificación, entonces el término de error tendrá una media distinta de cero, en este sentido, la hipótesis nula  $H_0$ , considera que los errores se distribuyen de acuerdo a una distribución normal con media cero y varianza constante, en caso de rechazarse la hipótesis nula  $H_0$ , la distribución de los errores es distinta de cero por lo tanto el modelo está mal especificado y la hipótesis alternativa  $H_a$ , establece que los errores están correlacionados, y se concluye que las variables explicativas seleccionadas para el modelo no son capaces de explicar a la variable independiente.

La primera prueba de hipótesis estadística se establece a partir de la prueba Ramsey para conocer la especificación del modelo, Ramsey ([Ramsey, JB \(1969\)](#)). La prueba la realizamos al modelo obtenido por MCO para la energía hidroeléctrica en el periodo de 2000 a 2019 en América Latina a fin de comprobar si la información empírica incorporada al modelo, proporciona evidencia a favor o en contra de los supuestos deterministas y aleatorios y evitar la especificación incorrecta.

- $H_0$ : El modelo si esta correctamente especificado
- $H_a$ : El modelo no esta correctamente especificado

El valor del p-value indica que el modelo esta bien especificado ya que el valor 0.73 se encuentra por arriba del valor de significancia establecido del 5 % , por lo tanto procedemos a utilizar el modelo para reconocer si es un estimador optimo insesgado a partir de eliminar la autocorrelación de primer orden.

```
RESET test
data: mcorgh1
RESET = 0.31498, df1 = 2, df2 = 12, p-value = 0.7357
```

Fuente. Elaboración propia, Programa R- Studio.

Para la detección de autocorrelación de primer y segundo orden, el modelo de estimación por mínimos cuadrados ordinarios consiste en plantear un supuesto que define a los errores como estocásticos o no correlacionados, en caso de rechazarse el supuesto  $H_0$ , existirá correlación serial, por tanto para detectar la autocorrelación en los errores se utiliza el siguiente contraste de hipótesis.

- $H_0$ : No autocorrelación serial
- $H_a$ : Autocorrelación serial

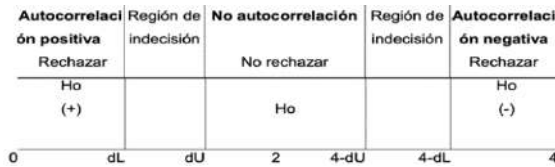
En este estudio se analizan las energías renovables a partir de cinco variables ( $K = 5$ ) económicas financieras y de inversión en I+ D a partir de una muestra de 20 observaciones para cada país ( $n = 20$ ). Al aplicar el modelo Durbin-Watson, se identifica la los puntos críticos en los cuales el estadístico Durbin-Watson toma los valores de significancia  $d_l=0.792$  y  $d_u= 1.91$  a un nivel de 0.5 % de significancia, con dichos valores es posible determinar si el valor de DW se encuentra en zona de indeterminación o si se puede confirmar autocorrelación positiva o negativa en el modelo. Gráficamente podemos expresar los criterios de rechazo y de indecisión de la hipótesis nula de la siguiente manera.

Si  $d < d_l$  existe evidencia de autocorrelación serial positiva

- Si  $d > 4-d_l$  existe evidencia de autocorrelación serial negativa
- Si  $d_u < d < 4 - d_u$  no hay evidencia de autocorrelación
- Si  $d_l < d < d_u$  o  $4-d_u < d < 4 - d_l$  la prueba no es concluyente

Para la energía hidroeléctrica en América Latina no podemos determinar si existe autocorrelación de primer orden ya que el valor obtenido de  $DW=1.567$  y se encuentra dentro del valor  $d_l=0.792$  y  $d_u= 1.91$  y corresponde a una zona de indecisión; sin embargo se prevé que existe una correlación débil entre los puntos sucesivos, es decir, una distribución aleatoria, lo cual ocurre cuando el valor de DW converge a 2.0. ( [Durbin & Watson, 1971.](#) )

Tecnología	DW	dl	du	2	4-du	4-dl	4
Hydroenergía	0	0.792	1.91	2	2.09	3.208	4



Durbin-Watson test  
 data: mcorgh1  
 DW = 1.5672, p-value = 0.02029

Fuente. Elaboración propia, Programa R- Studio.

La prueba Durbin-Watson, sólo permite detectar la autocorrelación serial de primer orden, además no permite obtener conclusiones en las regiones de indecisión, por ello el estudio se realiza la Prueba de Breusch-Godfrey (prueba LM). Se aplica una segunda prueba de autocorrelación, donde a partir del valor de p-value inferior al 5 % podría garantizar la autocorrelación de orden superior.

Para el caso de la energía hidroeléctrica en América Latina obtenemos un valor correspondiente a LM (Multiplicadores de Lagrange) LM = 0.022 correspondiente al valor crítico de chi cuadrada ( $\chi^2$ ), que representa el punto en el cual la hipótesis nula  $H_0$  se localiza en zona de rechazo y le corresponde un probabilidad de 0.88 superior al establecido como nivel de significancia de 5 % lo que permite determinar autocorrelación serial de orden superior.

Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1

data: mcorgh1  
 LM test = 0.022172, df = 1, p-value = 0.8816

Fuente. Elaboración propia, Programa R- Studio.

Una vez establecida la autocorrelación por las pruebas anteriores, se emplea una metodología que permite corregir el modelo, para ello se utiliza la estimación Chocrane- Orcutt la cual ofrece un ajuste al modelo lineal para la correlación serial en términos de error, y permite obtener los coeficientes de cada variable ajustado a la zona donde Durbin - Watson y Breuch- Godfrey descartan la correlación serial y con ello el modelo optimizado tendrá mayor fiabilidad y permite reconocer la influencia que existe entre las variables como determinantes en el desarrollo de generación de energía renovable.

Cochrane-ortcutt estimation for first order autocorrelation

Call:  
 lm(formula = HYD ~ PIB + MFIN + IFIN + ID + OTR)

number of interaction: 15  
 rho -0.078173

Durbin-Watson statistic  
 (original): 1.56719, p-value: 2.029e-02  
 (transformed): 1.51084, p-value: 1.215e-02

coefficients:  
 (Intercept) 3.882443  
 PIB -0.000529  
 MFIN 0.032866  
 IFIN -0.298518  
 ID -0.043173  
 OTR -0.088075

Fuente. Elaboración propia, Programa R- Studio.

Modelo obtenido por MCO para el caso de la generación de energía hidroeléctrica en AL.

$$\text{Ln HYD}_{it} = 3.61 - 0.066 \text{ Ln PIB}_{it} + 0.009 \text{ Ln FM}_{it} - 0.12 \text{ Ln FI}_{it} - 0.028 \text{ Ln RD}_{it} - 0.023 \text{ Ln OTR}_{it}$$

Ecuación corregida por de Chocrane - Orcutt para generación de energía hidroeléctrica en el AL.

$$\text{Ln HYD}_{it} = 3.882 - 0.001 \text{ Ln PIB}_{it} + 0.328 \text{ Ln FM}_{it} - 0.298 \text{ Ln FI}_{it} - 0.043 \text{ Ln RD}_{it} - 0.088 \text{ Ln OTR}_{it} + \varepsilon_{it}$$

Modelo obtenido por MCO para el caso de la generación de energía hidroeléctrica en el mundo

$$\text{Ln HYD}_{it} = 1.91 - 0.18 \text{ Ln PIB}_{it} + 0.04 \text{ Ln FM}_{it} - 0.70 \text{ Ln FI}_{it} + 0.56 \text{ Ln RD}_{it} + 0.44 \text{ Ln OTR}_{it}$$

Ecuación corregida por Chocrane - Orcutt para generación de energía hidroeléctrica en el mundo

$$\text{Ln HYD}_{it} = 4.13 - 0.36 \text{ Ln PIB}_{it} - 0.14 \text{ Ln FM}_{it} - 1.6 \text{ Ln FI}_{it} + 0.41 \text{ Ln RD}_{it} + 0.30 \text{ Ln OTR}_{it}$$