



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

**DETERMINANTES DEL VOLUMEN DE EMISIONES EN EL  
CONTEXTO INTERNACIONAL. EVALUACIÓN DE IMPACTOS POR  
ZONAS GEOGRÁFICAS.**

**DETERMINANTS OF THE VOLUME OF EMISSIONS IN THE  
INTERNATIONAL CONTEXT. ASSESSMENT OF IMPACTS BY  
GEOGRAPHICAL AREA.**

Autor

**Ángel Ceballo Aguirán**

Directora

**Rosa Duarte Pac**

Facultad de Economía y Empresa

2020-2021

## **RESUMEN**

En este trabajo se examina y se estudia la relación entre la evolución tecnológica de los países y las tendencias de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y a su vez poder conocer cuáles son los factores que afectan en mayor cuantía a dicho problema.

Este estudio se va a realizar a través de un modelo STIRPAT, modelo inspirado en la conocida identidad IPAT extendida para controlar por los distintos factores tecnológicos, siendo una especificación común para analizar los impactos de la estructura económica sobre el medio ambiente. El trabajo pretende estudiar, cómo las diferencias tanto tecnológicas, poblacionales, de GDP, etc, que hay entre los países pertenecientes a la OECD y aquellos que no son parte, afectan al nivel de contaminación de los mismos y su evolución temporal.

Frente a la opción más habitual de explicar la aportación de los distintos factores estructurales de crecimiento a través de índices, se ha optado por seguir una estrategia econométrica por su capacidad para formular test de hipótesis.

Comenzaremos explicando en que consiste este método, por quién y para qué fue creado, una vez puesto en contexto el procedimiento a utilizar durante el estudio comenzaremos a explicar y a analizar los datos obtenidos para poder comprobar cuáles son aquellas diferencias más significativas entre ambos grupos de países.

Los resultados muestran como en aquellas zonas geográficas que poseen características socioeconómicas son más avanzadas, el impacto que tienen algunas de las variables estudiadas en el volumen de emisiones son menores que en zonas que aún están en desarrollo o tienen una estructura económica débil.

## **ABSTRACT**

This paper examines and studies the relationship between the technological evolution of countries and trends in CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere and in turn is able to know what are the factors that affect the most in this problem.

This study will be carried out through a STIRPAT model, inspired by the well-known IPAT identity extended to control by the different technological factors, being a common specification to analyze the impacts of the economic structure on the environment. The study aims to study how the differences in technology, population, GDP, etc., that exist between the countries belonging to the OECD and those that are not part, affect the level of pollution of the same and their temporal evolution.

In contrast to the more common option of explaining the contribution of the different structural factors of growth through indices, it has been decided to follow an econometric strategy because of its capacity to formulate hypothesis tests.

We will begin by explaining what this method consists of, by whom and for what it was created, Once the procedure to be used during the study has been put into context, we will begin to explain and analyze the data obtained so that we can check which are the most significant differences between the two groups of countries.

The results show that in those geographical areas with socio-economic characteristics they are more advanced, the impact of some of the variables studied on the volume of emissions is smaller than in areas that are still developing or have a weak economic structure.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>ÍNDICE</b> .....	4
<b>1.0 CAMBIO CLIMATICO E IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	5
<b>2.0 MODELO STIRPAT</b> .....	8
<b>3.0 ESPECIFICACIÓN</b> .....	10
3.1. MUNDO 2005-2018 .....	14
3.2. EUROPA 2005-2018 .....	18
3.3. AMÉRICA 2005-2018 .....	21
3.4. RESTO DE PAISES DEL ESTUDIO .....	24
<b>4.0 CONCLUSIONES</b> .....	29
<b>5.0 BIBLIOGRAFÍA</b> .....	31

## 1.0 CAMBIO CLIMATICO E IMPACTO AMBIENTAL.

El tema a abordar durante el trabajo es un tema sobre el cual se ha hablado mucho durante los últimos años y sobre el que han publicado gran cantidad de informes, como por ejemplo, *Used vehicles and the environment* (ONU, 2020), *The Montreal protocol protects the terrestrial carbón sink* (Paul J. Young, Anna B. Harper, Chris Huntingford, Nigel D. Paul, Olaf Morgenstern, Paul A. Newman & Luke D. Oman, 2021) o *La evaluación del impacto ambiental y su recuperación sobre el Patrimonio Arqueológico de España* (CSIC, Maria Luisa Cerdeño, Alicia Castillo, Teresa Sagardoy, 2005). Todos ellos tenían un eje común, el único responsable del cambio climático en nuestro planeta, somos nosotros, los seres humanos, ya que las actividades que realizamos durante nuestro día a día merman gravemente la salud de nuestro planeta.

El IPCC se trata de un grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático que fue creado en 1988 para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático. Y este mismo organismo define el calentamiento global como: “El cambio del clima, tal como se entiende en relación con las observaciones efectuadas, se debe a cambios internos del sistema climático o de la interacción entre sus componentes, o a cambios del forzamiento externo debido a causas naturales o actividades humanas”. Este organismo a su vez pone énfasis en la evolución los Gases de Efecto Invernadero (GEI), por ser los principales causantes, por ejemplo, del continuo aumento de la temperatura terrestre.

Los principales gases de efecto invernadero son:

*Tabla 1. Fuente: Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Elaboración propia.*

Gas	Nomenclatura	Presencia Atmósfera Terrestre
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,04 %
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	0,00003%
Hidrofluorocarbonos	HFC	0,00000001%
Metano	CH <sub>4</sub>	0,00018%
Perfluorocarbonos	PFC	Trazas
Hexafluoruro de azufre	SF <sub>6</sub>	Trazas

La tabla muestra cuales son los gases considerados como Gases de Efecto Invernadero, como dice el Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico en su *Inventario de Gases de Efecto Invernadero 2020* (Junio 2021). La presencia atmosférica terrestre nos muestra la cantidad en forma de porcentaje en la que se encuentran estos gases en nuestro aire. Estos son principalmente preocupantes ya que la Organización Meteorológica Mundial (OMM), recordó que tendríamos que situarnos en niveles de hace tres millones de años para poder encontrar dicha presencia de estos gases. Estos son los principales causantes del aumento de la temperatura terrestre.

El cambio climático, a su vez, tiene fatales consecuencias para nuestro planeta que repercuten directamente en la vida de las personas, una de las más importantes es la subida del nivel del mar, se afirma que ocasionara inundaciones de islas tanto del Caribe como del océano Pacífico, aunque también dicha subida afectará a algunas de las ciudades más importantes del mundo como Nueva York, El Cairo y Londres. Del mismo modo se producirán grandes sequias debido a los cambios extremos en microclimas, lo que a su vez mermara las producciones agrícolas y provocara el éxodo de miles de personas hacia zonas menos azotadas por el cambio climático, esto se reflejara en grandes caídas del PIB de aquellos países más afectados, así como la acentuación de la pobreza de aquellas zonas que más la sufran. (Geographic, 2020)

La Organización Mundial de Naciones unidas tiene un departamento dedicado a cuantificar las pérdidas ocasionadas por los efectos del cambio climático, la Oficina de la Estrategia para la Reducción de Desastres cifró en el año 2012 perdidas por una cuantía de 130.000 millones de dólares (US\$), siendo América la región más afectada. Hay que añadir que cómo por todos es sabido, el cambio climático y el impacto ambiental no es igual en todos los sitios del planeta, algunos países tienen algunas características concretas como la zona geográfica en la que se encuentran, o por la situación socio-económica, lo que les hace padecer en mayor medida los efectos adversos.

Especialmente aquellos países que se encuentran en desarrollo tienen una mayor sensibilidad a los impactos ambientales, ya que además de situarse en zonas geográficas propicias a producirse catástrofes climáticas, no poseen una infraestructura necesaria para actuar en caso de emergencia o que se necesite un rescate, y la su capacidad de reestructuración de su economía no es la misma que aquellos países más desarrollados como podrían ser los Europeos.

David Eckstein, Marie-Lena Hutfils y Maik Wings (2017) han elaborado un informe en el que sitúan a los países más afectados del mundo por el cambio climático y el impacto ambiental. Para realizar dicho ranking utilizan un Índice de Riesgo Climático Global (CRI), este consiste en un análisis basado en un conjunto de datos, todos relacionados con eventos climáticos y los impactos socio-económicos que están asociados a estos.

*“El Índice de Riesgo Climático Global (CRI) es desarrollado por Germanwatch, analizando los impactos de eventos climáticos extremos -en términos de fatalidades como las pérdidas económicas ocurridas- basado en datos del Munich NatCatSERVICE, el cual es uno de las bases de datos más fiables y completas de todo el mundo en relación a este tema.”* (Eckstein, Marie-Lena Hutfils, & Maik Wings, 2017)

El ranking de los países más afectados por el cambio climático en el año 2017, es el siguiente:

Tabla 2. Fuente: GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2019 (David Eckstein, Marie-Lena Hutfils and Maik Wings). La cifra de muertos hace referencia al número de muertos causados por eventos climáticos. \*

Nº Ranking 2017 (2016)	País	Puntuación CRI	Cifra Muertos*	Muertes por cada 100.000	Pérdidas absolutas (Millones US\$)	Pérdida por unidad de GDP en %	I.D.H. 2017
				0			

				habitan-tes			
<b>1</b> (105)	Puerto Rico	1.5	2.978	90.242	82.315.240	63,328	-
<b>2</b> (4)	Sri Lanka	9.00	246	1.147	3.129.351	1,135	76
<b>3</b> (120)	Dominica	9.33	31	43.662	1.686.894	215,440	103
<b>4</b> (14)	Nepal	10.50	164	0.559	1.909.982	2,412	149
<b>5</b> (39)	Perú	10.67	147	0.462	6.240.625	1,450	89
<b>6</b> (5)	Vietnam	13.50	298	0.318	4.052.312	0,625	116
<b>7</b> (58)	Madagascar	15.00	89	0.347	693.043	1,173	161
<b>8</b> (120)	Sierra Leona	15.67	500	6.749	99.102	0,858	184
<b>9</b> (13)	Bangladesh	16.00	407	0.249	2.826.678	0,410	136
<b>10</b> (20)	Tailandia	16.33	0.255	0.255	4.371.160	0,354	83

Algunos de los más afectados como son Puerto Rico o Dominica tiene unas cifras tan altas ya que han sufrido el impacto del huracán María. Gran parte de la infraestructura de las islas fue completamente destruida, paralizando el sistema productivo y la vida cotidiana de la gente, incluso meses después de sufrir el huracán, la mayoría de las personas continuaban viviendo sin red eléctrica. Otros casos significativos como el de Sri Lanka es ocasionado por corrimientos de tierra e inundaciones debido a las intensas lluvias sufridas, trayendo consigo una gran cantidad de muertes así como el desplazamiento de miles de personas por los efectos de los monzones.

Con el fin de intentar paliar todos estos efectos adversos que acrecientan su frecuencia debido al cambio climático, la gran mayoría de países han establecido una serie de protocolos para luchar contra el cambio climático.

Uno de los principales tratados que se dio a nivel mundial fue el producido en el año 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyo objetivo era prevenir interferencias peligrosas del hombre en el clima. Este tratado consta de 197 Partes de la Convención, entre los cuales están la Unión Europea y sus países miembros.

Posteriormente el conocido como Acuerdo de París realizado en 2015, fue el primer acuerdo a nivel mundial que se realizó sobre el clima. La parte central de dicho tratado fue el establecimiento de un marco global en el que se limite el calentamiento global muy por debajo de los 2 grados centígrados, llamando a la realización de esfuerzos para conseguir ponerle un techo en 1,5 grados centígrados. Otro de los objetivos esenciales de este tratado es el impulso de la capacidad de los países para hacer frente a los impactos causados por el cambio climático. Todo ellos para poder conseguir un mundo climáticamente neutro a mediados de siglo. Este acuerdo fue ratificado por 190 países de todo el mundo, comprometiéndose a reunirse cada 5 años para evaluar los logros conseguidos y de la misma forma realizar un seguimiento informado se entre sí del progreso hacia sus compromisos. Cabe destacar que uno de los países que no ha firmado dicho tratado es Arabia Saudí uno de los mayores exportadores y productores de petróleo del mundo.

El protocolo con mayor relación con este trabajo es el Protocolo de Kyoto, cuyo primer acuerdo en virtud de la CMNUCC se produjo en 1997. Este es el único instrumento jurídico a nivel mundial para reducir las emisiones de efecto invernadero (GEI), los gases expuestos en la tabla 2 anteriormente mostrada. Dicho protocolo ha sido firmado por 192 Partes de la CMNUCC, sin embargo, existe un grave problema dentro de este protocolo, algunos de los países que más emisiones realizan no forman parte del mismo, lo que significa que solo cubre el 18% de las emisiones globales. Es importante destacar dentro de este acuerdo, que existen dos periodos en los que fijarse ya que se marcan distintos objetivos en cada uno de ellos:

- Periodo 2008-2012: En dicho periodo los países se comprometieron a reducir sus emisiones un promedio del 5% por debajo de los niveles de 1990, hay que destacar que la Unión Europea y sus países miembros fijaron un porcentaje algo más ambicioso, comprometiéndose a bajarlas un 8% con respecto a los mismos niveles de 1990. Se calcula que durante este periodo, de media la UE-15 fue de un 11,7% de reducción a nivel nacional.
- Periodo 2013-2020: Este periodo marca el inicio de un nuevo acuerdo global en el año 2020, los países de la Unión Europea junto a Australia se han propuesto reducir a un más su nivel de emisiones, fijándose la reducción del 20% del nivel de emisiones con respecto a los niveles de 2020. En este nuevo periodo se establece una nueva forma de contabilizar las emisiones del uso de la tierra y de la silvicultura, y a su vez se incluye un nuevo gas dentro de los ya conocidos, este es el trifluoruro de nitrógeno (NF3), este gas está presente en la fabricación de pantallas planas de cristal líquido, también se está utilizando para sustituir el uso de los perfluorocarbonos.

La consecución de los objetivos marcados en este segundo periodo del protocolo de Kyoto viene dado a través de la implantación de un paquete energético, el cual consiste en un conjunto de leyes a través de las cuales se garantizara que se cumplan dichos objetivos. Europa lanza el “Paquete energético y clima 2020” tiene tres pilares clave, la reducción de gases de efecto invernadero (20%), uso cada vez más frecuente de las energías renovables (20% de la energía), y la mejora de la eficiencia energética. Con el fin de alcanzar una transición ecológica más eficiente hacia el aprovechamiento de recursos así como la posibilidad de tener una estructura económica más respetuosa con el medio ambiente.

Una vez conocida la influencia que tiene el impacto climático, y las acciones que han realizado los países durante los últimos años para intentar paliarlo, es hora de comenzar al estudio de los datos obtenidos y poder sacar conclusiones sobre las características de las emisiones de los países.

## **2.0 MODELO STIRPAT**

La mayor percepción social sobre el cambio climático y sus efectos sobre la economía y la sociedad ha dado también lugar al desarrollo, durante las últimas décadas, de

importante literatura que trata de estudiar las relaciones entre el funcionamiento de los sistemas económicos y sus impactos ambientales desde distintas perspectivas.

Uno de los métodos utilizados para medir las consecuencias del sistema económico sobre el medioambiente es el modelo econométrico STIRPAT. Con el fin de poder conocer un poco más de este modelo, y lo que nos aporta, hemos de conocer de donde proviene y de qué tipo de modelo se trata.

Algunos de los modelos que se utilizan para el estudio del medioambiente y del impacto ambiental son aquellos que nos permiten denominar al medioambiente como un conjunto de factores, estos modelos son los de descomposición de índices. Sin embargo, se va a utilizar es un modelo econométrico, lo que este modelo nos permite es adherir un valor a cada parámetro del mismo, y calcular el valor promedio de la variable endógena dado para cada valor concreto de las variables exógenas. Es necesario disponer de una gran cantidad los datos o muestra de observaciones los cuales hemos recopilado de las instituciones internacionales.

Entorno a la década de los años 70 del siglo XX es cuando se comenzó a tener en cuenta lo que era el impacto ambiental y de la forma en la que este afectaba a la sociedad. De esta manera para poder conocerlo mejor había que encontrar cuales eran los factores que influían en el mismo.

El profesor universitario, biólogo y político estadounidense Barry Commoner (*The environmental cost of economic growth*, 1972), junto a Paul Ralph Ehrlich y Jhon Holdrem (*The Impact of Population Growth*, 1971), afirmaban tras la consecución de una serie de artículos y debates a comienzos de 1970, que el impacto que tenía el ser humano sobre el medio ambiente se podía medir a través de una función:

$$I = P \times A \times T$$

Siendo la I, el impacto que tenía el ser humano sobre el medio ambiente, es decir, el número de emisiones, la P que se refería a la población, el número de habitantes era influyente en el impacto ambiental como en numerosos libros publica Paul R. Ehrlich, la letra A se refiere directamente el consumo de recursos por persona y por último la letra T que referida a la tecnología. Juntando todos estos factores se creó el que fue el “predecesor” del modelo STIRPAT. Esta ecuación, sirvió para ayudar a comprender el origen de los impactos ambientales y para que posteriormente se utilizara como base para otro tipo de modelos y enfoques más elaborados.

Como se acaba de mencionar, esta ecuación fue evolucionando y han ido apareciendo durante el transcurso del tiempo numerosas versiones modificadas de esta, un ejemplo de ella es la propuesta por Schulze en el año 2002, en el que además de considerar todos aquellos factores del IPAT añade el comportamiento como otro factor importante en el impacto ambiental, denominándose la nueva ecuación IPBAT (Schulze, 2002), donde la letra B (behaviour) es el comportamiento humano. De otra forma, añadiéndole otra variable al modelo, Waggoner y Ausubel, descompusieron la T que se refiere a la tecnología del modelo inicia el IPAT, la mejora tecnológica y consumo energético, postulando estos dos nuevos factores como influyentes en el impacto ambiental. La nueva ecuación se denominó ImPACT (E. Waggoner & Huntley Ausubel, 2002).

Una vez propuestos todos estos modelos, se pudo observar ciertas limitaciones que presentaba la ecuación IPAT. Una de las principales limitaciones es que se considera que todos los factores dentro de la identidad tienen el mismo efecto en esta, y el número de factores es limitado siendo únicamente P, A y T.

Rosa y Dietz (Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology, 1994) (Climate change and society: speculation, construction and scientific investigation, 1998) con la intención de poder solucionar estos problemas nombrados anteriormente se alejaron de los sistemas de descomposición como el sistema IPAT. El que proponen ellos está dentro de los modelos econométricos. Este se trata de una versión estocástica del anterior modelo, el IPAT, denominándolo STIRPAT.

STIRPAT se trata de un acrónimo que hace referencia a un modelo estadístico y conceptual cuya finalidad es conocer la influencia e impacto del ser humano en el medio ambiente, en prácticamente cualquier escala para la estrategia analítica que prueba al Teoría Ecológica Estructural Humana (SHE) (Bronfenbrenner, 1979). El objetivo de esta nueva identidad es aportar una estrategia analítica para aprobar lo propuesto por Bronfenbrenner en 1979.

La formulada utilizada en el modelo es la siguiente:

$$I = a \times P_i^b \times A_i^c \times T_i^d \times e$$

La fórmula es diferente a la del IPAT, ya que se añaden algunos aspectos como la  $e$  que se trata del término de error del modelo, y la  $i$  al número de individuos de este. La letra  $a$  se trata de la constante del modelo, y las letras  $b$ ,  $c$  y  $d$  son los exponentes de las variables ya pertenecientes al anterior modelo (P, A y T), las cuales han de ser estimadas.

La finalidad tras el cambio en la ecuación es poder analizar los determinantes de las emisiones de CO<sub>2</sub> en Europa, América y Resto de países del Mundo. De esta manera linealizando el modelo tomando logaritmos podemos conocer los coeficientes de las variables independientes y ver de qué manera afectan a la variable dependiente a través de las elasticidades. Como veremos más adelante en la interpretación de los datos, un aumento del uno por ciento en una variable explicativa con elasticidad positiva hará que nuestra variable dependiente, el volumen de emisiones de CO<sub>2</sub>, aumente en el tanto por ciento que nos indique el coeficiente. Y de la forma contraria ocurrirá si la elasticidad es negativa. Pudiendo así hacer análisis económicos más exhaustivos que los que podíamos realizar con la identidad anterior.

### **3.0 ESPECIFICACIÓN**

En el estudio que se va a realizar a continuación, tiene como objetivo el determinar cómo y en qué medida son más influyentes unos factores que otros en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Así, la variable de interés, (las emisiones de CO<sub>2</sub> en kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera per cápita) se ponen en relación con indicadores representativos de crecimiento económico, (el PIB per cápita), y de características estructurales tales como, el gasto

realizado por cada uno de estos países en Investigación y Desarrollo, la Capacidad Instalada (la capacidad que estos países tienen para renovar y reutilizar la energía que utilizan) y el consumo eléctrico (KwH), todas ellas en términos per cápita.

Para poder estudiar la evolución reciente de estas variables, y de cara a poder sacar conclusiones una vez realizado el estudio sobre posibles escenarios de evolución futura, se han buscado datos de 2005-2018. En dicho periodo se concentran gran parte de las políticas y avances tecnológicos destinados a combatir el cambio climático. Además en este periodo una gran cantidad de países comienzan a ver el problema climático como algo real, con graves consecuencias. Debido a esto, el actuar de forma conjunta a través de tratados internacionales se convierte en algo esencial.

Hay que resaltar que, los datos recogidos para tres variables, en este caso el Gasto en Investigación y Desarrollo (R&D), Capacidad Instalada y Consumo Eléctrico, en aquellos periodos de tiempo más lejanos no se han encontrado datos y lo mismo ocurre en algunos años más cercanos al actual, ya que los países no aportan esos datos a las agencias internacionales.

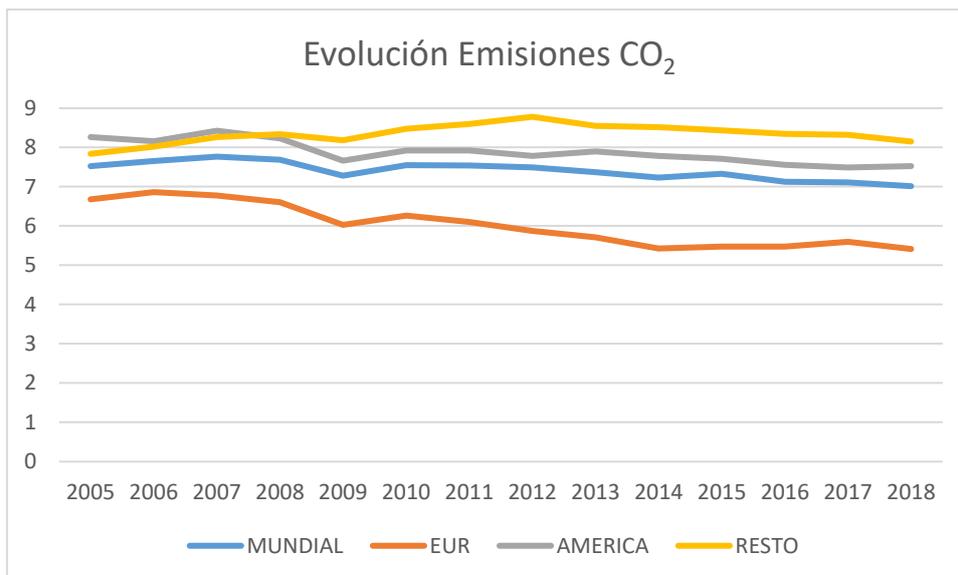
El trabajo ha considerado una muestra extensa de países, la mayor parte de los cuales pertenecientes a la OECD, desde Australia hasta los Estados Unidos. No obstante, se ha incluido también en la muestra un conjuntos de economías que no forman parte de la OECD, pero son considerados como las mayores potencias del así como otros países menos desarrollados para así de esta forma poder determinar y ver de manera más clara la heterogeneidad del impacto ambiental entre países y las posibles variables explicativas de las diferencias encontradas.

La lista de países sobre los que se realiza el estudio, es la siguiente:

Australia, Canadá, Chile, Denmark, France, Germany, Israel, Japan, Latvia, Lituania, Mexico, Slovenia, Spain, Sweden, Turkey, United States Argentina, Brazil, Bulgaria, China, India, Indonesia, Russia, Saudi Arabia y South Africa.

Para poder contextualizar en un futuro las conclusiones a las que se llega tras la realización de los modelos, un análisis empírico de los nos muestra la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita a nivel mundial, que claramente nos muestra la eficacia de las políticas realizadas a lo largo de los años y una concienciación mundial del problema. Aunque los datos no son los mismos según en la zona de estudio:

*Gráfico 1. Evolución del volumen de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita a nivel mundial. Elaboración propia.*



La ecuación de interés que se va a presentar en el modelo es la siguiente:

$$\ln CO_2 = \beta_0 + \beta_1 (\ln GDP) + \beta_2 (\ln GRD) + \beta_3 (\ln CINST) + \beta_4 (\ln CELEC) + \beta_5 (\ln GDP)^2 + e$$

Como se ha comentado antes se han tomado logaritmos con el propósito de poder observar el efecto de la elasticidad en la variable dependiente. Esta ecuación es la que se ha utilizado para estimar las diferentes  $\beta$  en los distintos modelos realizados. El  $\ln GDP$  representa el PIB per cápita de cada país (current US\$),  $\ln GRD$  representa el gasto per cápita realizado en cada país (current US\$),  $\ln CINST$  mide la capacidad instalada de cada país en términos per cápita de cada país, el  $\ln CELEC$  nos indica el consumo eléctrico per cápita de cada país. Por último la  $e$  es el término de error.

Los datos son de tipo panel, al tratarse de una especificación econométrica se ha de tener en cuenta esta característica, ya que hay dimensión temporal y espacial de los datos disponibles. Estos permiten interpretar y comprender de manera más fácil la dinámica del cambio, también proporcionan información que nos permiten reducir los problemas de multicolinealidad respecto a los modelos de serie temporal, y conocer algunos fenómenos más complejos como es el cambio tecnológico. Existen a su vez algunos problemas, ya que como sucede en algún periodo de este trabajo para algunos países se tiene más información que de otros, lo que nos da un panel no equilibrado.

Debido a la gran cantidad de países presentes en este estudio, se ha dividido el estudio en 3 bloques, ya que las características que tienen los países son más afines con aquellos que comparten zona geográfica. Es necesario hacer este sesgo ya que aspectos tan fundamentales como el estilo de vida, el modelo productivo, la cultura del trabajo, la concienciación con el medio ambiente... son tan diversos que no sería relevante el comparar países muy diferentes entre ellos en estos aspectos. Los bloques son los siguientes:

1. Bloque 1. Países Europeos: Dinamarca, Francia, Alemania, Letonia, Lituania, Eslovenia, España, Suecia y Bulgaria.
2. Bloque 2. Países de América, incluida tanto América del Norte como América del Sur: Canadá, Chile, México, Estados Unidos, Argentina y Brasil.

3. Bloque 3: En este bloque están mezclados distintos países, aunque la mayoría de ellos se encuentran en el continente asiático: Israel, Japón, Turquía, Indonesia, China, India, Rusia, Arabia Saudí y Sudáfrica.

La especificación del modelo y la estimación de la ecuación se ha realizado utilizando distintos modelos, el primero de ellos es el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), el segundo una estimación del modelo a través de panel con Efectos Fijos (FE) y por último de una forma similar al anterior, Efectos Aleatorios (RE).

El método que se realiza al inicio, el de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) se utiliza para poder apreciar las diferencias existentes entre los valores reales y aquellos que son estimados por la recta, este será consistente siempre que los errores sean homocedásticos y no exista la presencia de autocorrelación. El segundo modelo es el de Efectos Fijos (FE) ya que al tratarse de datos de panel el estimador de efectos fijos nos permite controlar la heterogeneidad inobservable, porque en los datos hay dimensión temporal y espacial. La incorporación del modelo de Efectos Aleatorios se utiliza también debido al hecho de estar tratando datos de panel en el supuesto de que no haya efectos fijos, este se trata de un caso especial de modelo de Efectos Fijos. Como se puede apreciar en la Tabla 4 que se mostrara a continuación los datos correspondientes a la primera columna serán los del método MCO, los de la segunda columna los resultados del modelo FE y la última columna RE.

La metodología realizada es igual para todas las zonas geográficas. Comenzando por la realización del método de Mínimos Cuadrados Ordinarios, Efectos Fijos y Efectos Aleatorios. Observando la significación de los datos así como de los contrastes realizados para poder comprobar la correcta realización del modelo, posteriormente fijándonos en el coeficiente de determinación para ver si el modelo está correctamente explicado por las variables independientes. Los gráficos expuestos nos ayudan a conocer la distribución de la normalidad de los residuos y de la misma manera conocer la relación entre la variable observada y la estimada por el modelo.

El primer contraste que se observa es el que afecta directamente al modelo de Efectos Aleatorios, y es el test de Breusch-Pagan, este se utiliza para determinar la heterocedasticidad de un modelo de regresión lineal, nos permite conocer si la varianza del término de error es distinta de 0. La hipótesis nula de este test nos indica si la varianza del error específico a la unidad es igual a 0, de manera que esta será rechazada si su p-valor es inferior a 0,05 y por lo tanto hay heterocedasticidad en el modelo. Con el fin de conocer la presencia de heterocedasticidad en el modelo de Efectos Fijos se realiza el test de Wald, cuya hipótesis nula consiste en que las unidades tienen la misma varianza de la perturbación habiendo homocedasticidad en el modelo, si nos da un p-valor superior al 5% (0,05) se aceptará que las unidades tienen la misma varianza que la perturbación.

Otro contraste referido a la heterocedasticidad, es el test de White, nos permite comprobar la presencia de heterocedasticidad en el modelo, unifica en una sola ecuación los cuadrados y los productos cruzados de todas las variables independientes de la regresión. La hipótesis nula se basa en el cumplimiento de la homocedasticidad, de esta manera, si el p-valor es menor al 5% (0,05) se rechazaría la hipótesis nula y por lo tanto se rechaza la presencia de homocedasticidad en el modelo.

El Test de Hausman, este sondea la consistencia del estimador de efectos aleatorios, dicha hipótesis nula se puede interpretar como que estas estimaciones son consistentes. Dado que contrasta la ortogonalidad, podemos concluir que si su p-valor es menor el 5% (0,05) existen efectos aleatorios.

Con el fin de poder medir también la autocorrelación entre las variables del modelo se ha realizado el contraste de Wooldridge de auto correlación en datos de panel. La auto correlación de produce cuando las perturbaciones del modelo presentan correlaciones entre ellas, eso supone que la matriz de varianzas y covarianzas de las perturbaciones presentan valores distintos de cero en los elementos que están fuera de la diagonal principal. Si el p-valor de dicho contraste de autocorrelación es superior al 5% (0,05) no se rechazaría la hipótesis nula, la cual es la “No presencia de correlación” y de esta manera se afirmarían que no hay correlación en el modelo.

Otro test realizado, únicamente para el modelo de MCO, es el test de Reset-Ramsey, este sirve para poder verificar si las combinaciones de los valores ajustados ayudan a explicar la variable de respuesta. Si el p-valor es inferior al 5% (0,05) significa que la explicación de la variable de respuesta está bien explicada por los valores ajustados.

En los siguientes apartados discutimos los principales resultados obtenidos y las implicaciones que se deducen de los mismos.

### 3.1. MUNDO 2005-2018

En este apartado presentamos los resultados obtenidos para la muestra de países completa, incluyendo las tres zonas geográficas que posteriormente se estudiarán de forma más individualizada.

La estimación relaciona todos estos países mencionados con un conjunto de variables, como son el logaritmo del PIB per cápita, el logaritmo del Gasto en R&D per cápita, el logaritmo de la Capacidad Instalada per cápita, el logaritmo del Consumo Eléctrico per cápita y por último el cuadrado del logaritmo del PIB per cápita. El añadir logaritmos a las variables nos permite eliminar el efecto de la unidad de las variables sobre los coeficientes, con el objetivo de aportar estabilidad en los regresores. Además a la hora de hacer el análisis de los datos obtenidos, la interpretación es más clara.

*Tabla 3: Determinantes de las emisiones de CO2 en el total de países de la muestra, periodo de tiempo: 2005-2018. Significatividad: \*\*\* 1% \*\* 5% \* 10%.*

	<b>MCO</b>	<b>FE</b>	<b>RE</b>
<b>CONSTANT</b>	-5,645 **	-7,385 ***	-7,304 ***
<b>L_GDP</b>	0,959 *	1,695***	1.62389 ***
<b>L_GRD</b>	0,084 **	0,07***	0,090 ***
<b>L_CINST</b>	-0,054	-0,124 ***	-0,129 ***
<b>L_CELEC</b>	0,122 ***	-0,001	-0.0002
<b>Sq_L_GDP</b>	-0.036	0,081 ***	-0.0765 ***
R2	0,618	0,991	
Valor P ( de F )	4.66e-31	2.7e-133	
Breusch-Pagan			3.97937e-104

Hausman			0.0926035
Autocorrelación	2.90476e-018	3.75326e-008	3.75326e-008
Heterocedad	5,11112E-16	0	
Reset-Ramsey	3.49941e-008		

El estudio se ha realizado para la muestra completa de países, para así posteriormente poder apreciar como los datos obtenidos cambian en función de la zona geográfica en la que nos encontremos. Esto se debe esencialmente en que hay profundas diferencias entre algunos de los países del estudio. Las características que presentan los países Europeos en lo que respecta a políticas ambientales son muy distintas a aquellos pertenecientes al Resto del Mundo, ya que muchos de ellos no han llegado a formar parte de ningún acuerdo vinculante con otras partes para la consecución de objetivos relacionados con el impacto climático. Dejando a un lado las características ambientales, si nos referimos a otras características como los modelos productivos, el aprovechamiento de recursos, la eficiencia energética, la calidad de vida... las características también difieren unos de otros. Produciéndose un sesgo de información si no se tienen en cuenta.

Si atendemos al tamaño de las variables todas ellas oscilan en valores similares. Las únicas que superan la unidad son las elasticidades de la variable GDP, lo que muestra como esta variable es la que más importancia tiene con respecto al volumen de emisiones, ya que el aumento del GDP de los países trae consigo numerosas consecuencias económicas no recogidas en este estudio que también pueden afectar a las emisiones de CO<sub>2</sub>. Otras variables, como son la Capacidad Instalada o la inversión en I+D tienen tamaños reducidos ya que aquí afectan todos los países del estudio, siendo de un tamaño superior en unas zonas, como el caso de Europa ya comentado, frente a otras en las que estos esfuerzos son inferiores.

Los signos de las elasticidades son iguales en los modelos de Efectos Fijos y Efectos Aleatorios, exceptuando para la variable del cuadrado de ln\_GDP. La mayoría de las variables de estos modelos tiene una relación directa con la variable dependiente, sin embargo, la variable Capacidad Instalada se consolida como una variable a tener en cuenta, es la única que cuando se produce un aumento en esta, las emisiones disminuyen. Lo que se pretende poner en contexto aquí es que los datos están sesgados ya que al juntar todos los datos en un mismo estudio no nos permite alcanzar conclusiones relevantes sobre la influencias de las variables independientes.

Los coeficientes obtenidos en todos los modelos, en su mayoría son significativos al 1% en el caso de Efectos Fijos y Efectos Aleatorios, y como mínimo al 10% en el modelo de MCO. Salvo la variable de Consumo Eléctrico para aquellos modelos que utilizan datos de tipo panel y la Capacidad Instalada y el GDP al cuadrado para el modelo de MCO.

El R<sup>2</sup> representa el porcentaje de variación de la endógena que queda explicado por el modelo. Cuanto mayor sea el R<sup>2</sup>, mejor se ajusta el modelo a los datos. En los modelos mostrados previamente se puede apreciar como el modelo de Efectos Aleatorios tiene un R<sup>2</sup> muy cercado a 1, lo que indica que el modelo está perfectamente ajustado. Sin embargo en el caso del modelo MCO, el ajuste de bondad no es llamativamente alto ya que apenas supera el 0,5 con un 0,618, lo que nos indica que prácticamente queda explicado por las variables independientes el 62% del modelo. El hecho de que el tipo de datos sea de panel

y no de una pool de datos puede ser uno de los motivos por los que queda mejor explicado por el modelo FE.

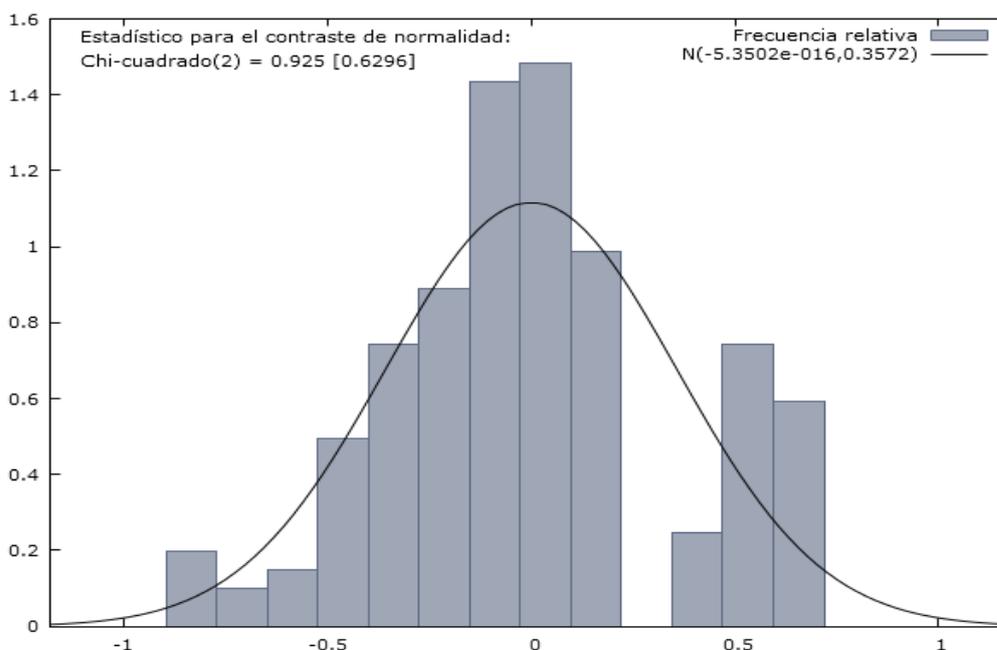
Atendiendo a los p-valor obtenidos para el contraste sobre la autocorrelacion (Wooldridge), podemos afirmar la presencia de autocorrelacion en todos los modelos realizados. Hemos de rechazar la hipótesis nula, aceptando que hay presencia de autocorrelación en primer orden para los tres modelos.

Para el estudio sobre la presencia de heterocedasticidad en los modelos estudiados se ha utilizado el test de Withe para el modelo de MCO, el test de Wald para el modelo de Efectos Fijos (FE), y el test de Breusch-Pagan para el modelo de Efectos Aleatorios (RE). Para los tres modelos, el p-valor obtenido es inferior a 5% (0,05), y de esta forma hemos de rechazar en todos ellos la hipótesis nula. Una vez rechazada la hipótesis nula se puede llegar a la conclusión que la presencia de heterocedasticidad es una característica común para los tres modelo estudiados.

El modelo de Efectos Aleatorios queda descartado en este estudio si nos fijamos en el test de Hausman. La hipótesis nula del test de Hausman nos indica que los estimadores de Mínimos Cuadrados Generales son constantes, y al tener un p-valor superior al 5% (0,05) hemos de aceptar dicha hipótesis, y rechazar la presencia de efectos aleatorios en el modelo.

Los gráficos que se mostraran a continuación corresponden al modelo de Efectos Fijos, este es el que hemos elegido por la tipología de los datos, y los resultados obtenidos en el modelo. El primer gráfico nos permite ver lo los errores se mueven entorno a una distribución normal, y el segundo de ellos, nos comparara los datos incluidos en el modelo con aquellos estimados por el mismo.

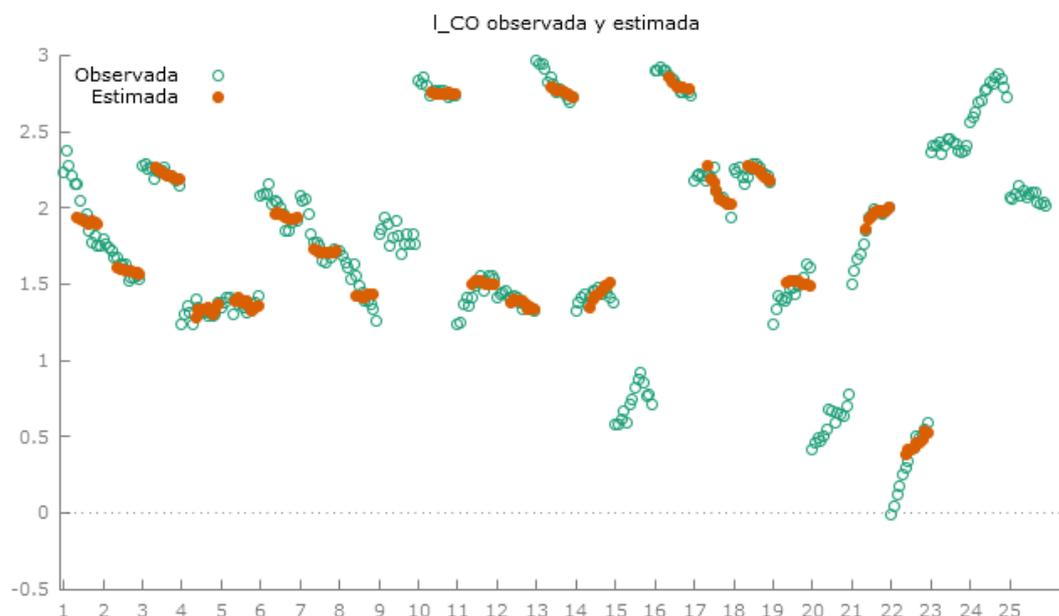
Gráfico 2. Contraste de normalidad de los residuos para el modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.



El contraste de normalidad de los residuos nos permite ver que la mayoría del error se mueve en torno a una distribución normal, sin embargo, también se aprecia como algunos

de los datos sobrepasan la curva por encima llegando a valores de alrededor de 1,5. Y con una oscilación máxima de 1 puntos.

Gráfico 3. Gráfico de variable observada y estimada por número de observación correspondiente al Modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.



En este gráfico se puede comprobar como la realización del modelo es correcta ya que la aproximación que tiene la estimación a los datos incluidos es muy similar. En todos los casos la tendencia que sigue la estimada es la misma que la observada. Por lo que se puede concluir que el modelo de Efectos Fijos hace una correcta estimación.

A la hora de interpretar los datos, como ya hemos ido comentando anteriormente, el modelo elegido es el modelo de Efectos Fijos, ya que es aquel que nos es más relevante para el estudio. Los datos se pueden interpretar de la siguiente forma:

- La variable que más peso tiene dentro de este modelo, es GDP con una elasticidad superior a la unidad y un signo positivo, indicando que cuando el GDP aumenta en un 1% el volumen de emisiones per cápita lo hace un 1,695%. Las inversiones realizadas en R&D (I+D) tienen un tamaño muy reducido debido a la cohesión de datos de todos los países del mundo, aunque se ha de destacar la relación directa con la variable dependiente. Cuando GRD aumenta un 1% las emisiones lo hacen un 0,07%. La Capacidad Instalada es la primera variable dentro de nuestro estudio con una relación negativa, indicando que todos los esfuerzos destinados a ella van a repercutir en un descenso de las emisiones. Cuando aumenta un 1% las emisiones disminuyen un 0,124%. Y por último, el Consumo Eléctrico, es llamativo que esta variable tenga un signo negativo, aquí es donde podemos ver que se produce el sesgo de información, ya que en los estudios anteriores es distinta la interpretación de esta variable. Si aumenta el Consumo Eléctrico un 1%, las emisiones bajan un 0,001%, es lo que indica este modelo.

### 3.2. EUROPA 2005-2018

En este apartado presentamos los resultados obtenidos para la muestra de países europeos. Más concretamente, disponemos información para Dinamarca, Francia, Alemania, Letonia, Lituania, Eslovenia, España, Suecia y Bulgaria.

Tabla 4: Determinantes de las emisiones de CO2 en los países de la Unión Europea, periodo de tiempo: 2005-2018. Significatividad: \*\*\* 1% \*\* 5% \* 10%.

	MCO	FE	RE
<b>CONSTANT</b>	-34,432 **	6,995	8,387
<b>L_GDP</b>	6,868 **	-1.349	-1.670
<b>L_GRD</b>	0,258 **	-0.044	-0.001
<b>L_CINST</b>	-0,064	-0.173 ***	-0.185
<b>L_CELEC</b>	0,055 *	0.007	0.007
<b>Sq_L_GDP</b>	-0,345 **	0.082	0.097
R2	0.495	0.969	
Valor P ( de F )	2.19e-08	5.58e-38	
Breusch-Pagan			1,13E-24
Hausman			0.659
Autocorrelación	6,44E-03	0.0004	0.0004
Heterocedad	2,24E+00	1,43E-01	
Reset-Ramsey	0.052		

Se han realizado tres modelos para este grupo de países, en los que se muestra el comportamiento de los países europeos durante el transcurso de los años. La separación por países se debe a que en el caso de la Unión Europea, las políticas y la normativa ambiental que esta tiene son menos laxas que las de otras zonas geográficas, sumándose el factor que es el conjunto de países que poseen un mayor nivel de riqueza. Se pretende constatar, que peso tienen en las emisiones de CO<sub>2</sub>, el aumento en el nivel de riqueza de las personas o bien cuanto de relevante es el aumento en la inversión en tecnología referida a los sistemas productivos.

Fijándonos en el tamaño de las variables obtenidas todas ellas tienen valores comprendidos entre 0 y 1, exceptuando el caso de GDP en el que la elasticidad es hasta 6 veces superior a la unidad según en el modelo que nos situemos. Especificando más en la zona geográfica de Europa, como antes hemos mencionado, los signos de las elasticidades cambian con respecto al estudio de los datos de todo el mundo. Especialmente en el caso del GDP ya que la relación que tiene en este estudio para los modelos FE y RE es indirecta. Esto se puede deber a los avances que ha ido consiguiendo con los años en materia de política medioambiental. Los modelos de FE y RE, tienen el mismo signo para la elasticidad en todas las variables. Las inversiones en avances tecnológicos repercuten indirectamente con el volumen de emisiones, de la misma forma que repercute directamente el Consumo Eléctrico.

Aquellos datos más significativos de entre los tres modelos, nos los da el modelo de MCO en el que todas las variables menos la Capacidad Instalada nos dan una gran significatividad.

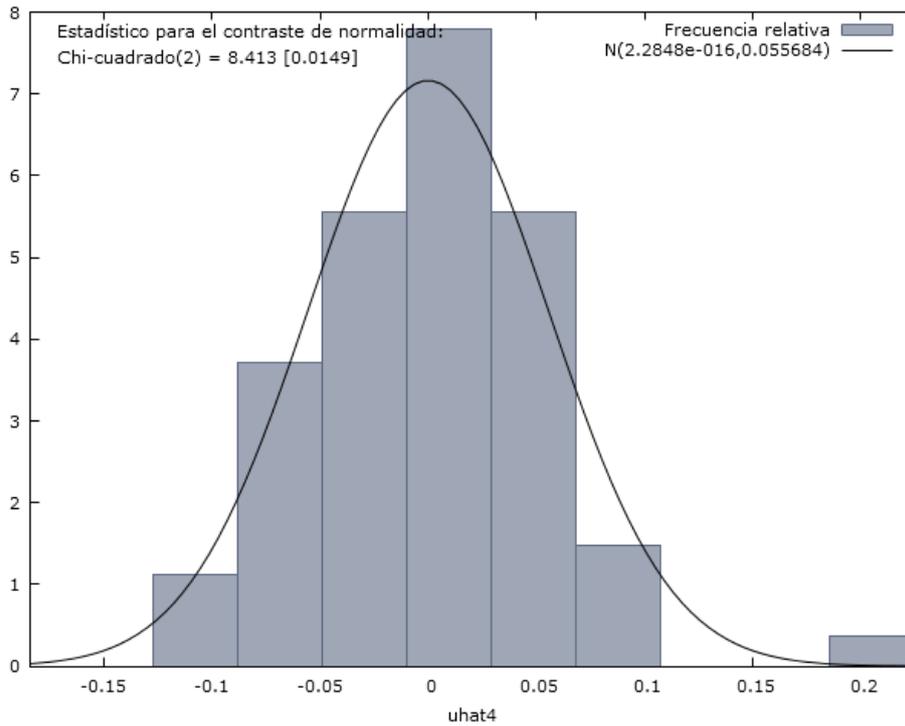
En nuestro estudio, el modelo que presenta un mejor R-cuadrado es el modelo de Efectos Fijos. Es significativamente superior al del modelo de MCO, ya que, si multiplicamos por 100 ambos, se interpreta que, el 96,9% del modelo queda explicado por las variables independientes, sin embargo, únicamente el 49,5% queda explicado por el modelo MCO.

El contraste de Wooldridge, nos indica la presencia de auto correlación en el modelo. Todos los valores obtenidos son inferiores al 5% (0,05), de modo que rechazaríamos la hipótesis nula en todos ellos, aceptando la presencia de auto correlación en ambos modelos.

Con el objetivo de poder comprobar la presencia de homocedasticidad o heterocedasticidad en el modelo se ha realiza un contraste u otro, dependiendo del modelo en cuestión. Para el modelo MCO se ha realizado el test de Withe, y dado que su p-valor es inferior a 5% (0,05), podemos constatar que sí que presenta heterocedasticidad el modelo. Para el modelo de Efecto Fijos (FE), se ha realizado el test de Wald, el hecho que su p-valor sea inferior al 5% nos permite ver que también este modelo presenta heterocedasticidad. Y por último, para observar la heterocedasticidad en el modelo de Efectos Aleatorios (RE), se mide la presencia de heterocedasticidad a través del test de Breusch-Pagan, el cual nos indica que se ha de rechazar la presencia de homocedasticidad en el modelo. Dicho problema de heterocedasticidad en ambos modelos puede resolverse con estimadores robustos o utilizando un modelo de Mínimos Cuadrados Generalizados.

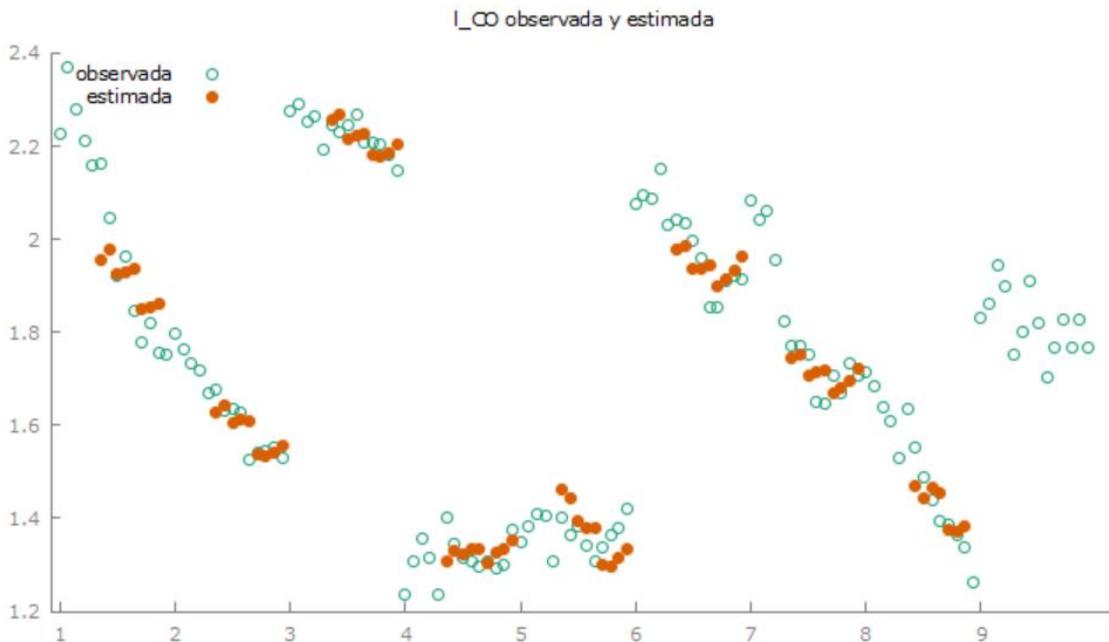
La realización del gráfico muestra el contraste de la normalidad de los residuos para así ver si los datos se mueven en torno a la normal, con una oscilación máxima entre 0,1 y 0,2 puntos. El gráfico que se muestra continuación corresponde al modelo FE, de la misma forma, para el modelo MCO los datos también son muy similares.

*Gráfico 4. Contraste de normalidad de los residuos para el modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.*



También para poder comprobar si la estimación que hace el modelo es muy dispar a los datos introducidos, el Gráfico 3 correspondiente al modelo de Efectos Fijos, nos permite observar que la tendencia que tiene la estimación del modelo es similar a la de los datos introducidos.

Gráfico 5. Gráfico de variable observada y estimada por número de observación correspondiente al Modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.



El modelo de Efectos Aleatorios queda descartado, el p-valor que obtenido en el test de Hausman, mayor de 0,05 (5%) nos indica que no existen efectos aleatorios.

El modelo escogido para la representación de la muestra es el de Efectos Fijos, este es equivalente a estimar por MCO un modelo con tantas variables ficticias como individuos, y dado que la muestra es muy extensa, es preferible la utilización del modelo FE al MCO. El R-cuadrado del modelo FE es prácticamente 1 mientras que el MCO no llega al 0,5. Una vez realizados los gráficos tanto para MCO como para FE este último es preferible al de MCO.

Tras la elección del modelo de Efectos Fijos (FE), los datos obtenidos se interpretan de la siguiente forma:

- En Europa tras la realización de este modelo, si nos referimos al GDP de los países, un incremento del 1% en el GDP se traduce en una disminución de las emisiones de CO2 per cápita de 1,34%, la elasticidad superior a la unidad y el signo negativo nos indica una relación opuesta con la variable dependiente. El aumento del Gasto en R&D de un del 1% significa una reducción de las emisiones de un 0,044%. Si dichos países incrementan la capacidad que tienen de reutilizar la energía (CINST) en un 1%, harían que las emisiones de CO2 se redujesen en un 0,17%, una variable significativa al 1% dentro del modelo. Y por último fijándonos en el Consumo Eléctrico (CELEC), es entendible y lógico que tanto las emisiones como el consumo eléctrico tengan una relación directa, por lo que si el consumo aumenta en un 1%, las emisiones lo hacen en un 0,007%. Hemos de fijarnos en aquellas variables que tiene una elasticidad negativa, ya las políticas formuladas sobre ellas nos pueden llevar a la consecución de unas políticas similares para las variables con elasticidad positiva, para así mitigar el efecto que tienen sobre el volumen de emisiones o eliminarlo.

### 3.3. AMÉRICA 2005-2018

En este apartado presentamos los resultados obtenidos para la muestra de países de América. Más concretamente, disponemos información para Argentina, Brasil, Estados Unidos, Chile, Canadá y México.

*Tabla 5: Determinantes de las emisiones de CO2 en los países de América, periodo de tiempo: 2005-2018. Significatividad: \*\*\* 1% \*\* 5% \* 10%.*

	<b>MCO</b>	<b>FE</b>	<b>RE</b>
<b>CONSTANT</b>	24,242 ***	-2,629	-8,442 ***
<b>L_GDP</b>	-6.062 ***	-0.231	0.447752
<b>L_GRD</b>	0.018	-0.004	
<b>L_CINST</b>	-0.127 ***	-0.121 ***	-0.010 **
<b>L_CELEC</b>	0.978 ***	0.655 ***	0.964 ***
<b>Sq_L_GDP</b>	0.296 ***	0.011	-0.024
R2	0.994	0.998	
Valor P (de F)	6.33e-42	1.18e-46	

Breusch-Pagan			1,09E-88
Hausman			0.922649
Autocorrelación	0.069	0.068	0.021
Heterocedad	0.168	2,94E-111	
Reset-Ramsey	9,19E-08		

Como se puede ver en la tabla 5, la realización de estos modelos corresponde a los países de la zona geográfica de América, tanto de América del Norte, América Central y América del Sur. En esta zona geográfica los datos recopilados son muy dispares cuando pasamos de un país a otro, existen grandes contrastes debido esencialmente al nivel de desarrollo asociado a cada país. De esta forma los datos obtenidos para Estados Unidos, no son muy similares a los obtenidos para México o bien incluso para países con un PIB menor como es el caso de Chile.

En esta zona geográfica se pretende conocer si la presencia de países menos desarrollados hace que las variables independientes afecten más, afecten menos o apenas tengan relevancia en las emisiones de CO<sub>2</sub>. El añadir logaritmos a las variables hace que esta tarea de comparación sea mucho más ilustrativa dado que refleja porcentajes.

Para los tres modelos, prácticamente el tamaño de las variables es muy similar, todas se mueven entre 0 y 1, únicamente el caso del GDP en el modelo MCO es claramente diferente y desentona con el respecto el resto de datos obtenidos. Hay que destacar que el tamaño de la variable de Consumo Eléctrico en los tres modelos es muy cercana a la unidad, teniendo en los tres casos una elasticidad positiva. Mostrando así que el consumo eléctrico va a ser una variable relacionada de forma directa con el aumento de emisiones en la zona de América. El caso contrario ocurre con el signo de las elasticidades de la variable Capacidad Instalada, con una relación inversa con la variable dependiente en los tres modelos.

Aquel modelo con mayor cantidad de variables significativas es el modelo MCO en el que todas las variables son significativas al 1% excepto el logaritmo del Gasto en R&D.

En el caso de Efectos Fijos (FE) las variables más significativas son la Capacidad Instalada y el Consumo Eléctrico, ambas significativas al 1%.

En el modelo de Efectos Aleatorios (RE) hay una peculiaridad, y es que no se ha podido incluir en el modelo la variable GRD ya que suponía un problema para la realización del modelo y este no se podía estimar, porque no podía realizarse la regresión de medias de grupos. Las variables más significativas dentro de este modelo son la Capacidad Instalada y el Consumo Eléctrico, significativas al 5% y al 1% respectivamente.

El R<sup>2</sup> de ambos modelos es prácticamente similar siendo ligeramente superior el R<sup>2</sup> del modelo de Efectos Fijos (FE). Ambos ajustes de bondad indican que los modelos están explicados en su totalidad por las variables del modelo. Nos quedaríamos con el modelo de Efectos Fijos en este caso, ya que como ocurre anteriormente, el hecho de que los datos sean de panel hace más propicio y efectivo el uso de este tipo de modelos.

En los contrastes de autocorrelación de ambos modelos nos salen valores también prácticamente similares, dichos valores nos muestran que al tratarse de p-valores superior

al 5% (0,05), se ha de aceptar la hipótesis nula del test de Wooldridge, la cual indica que no existe autocorrelación de primer grado en ninguno de los dos modelos.

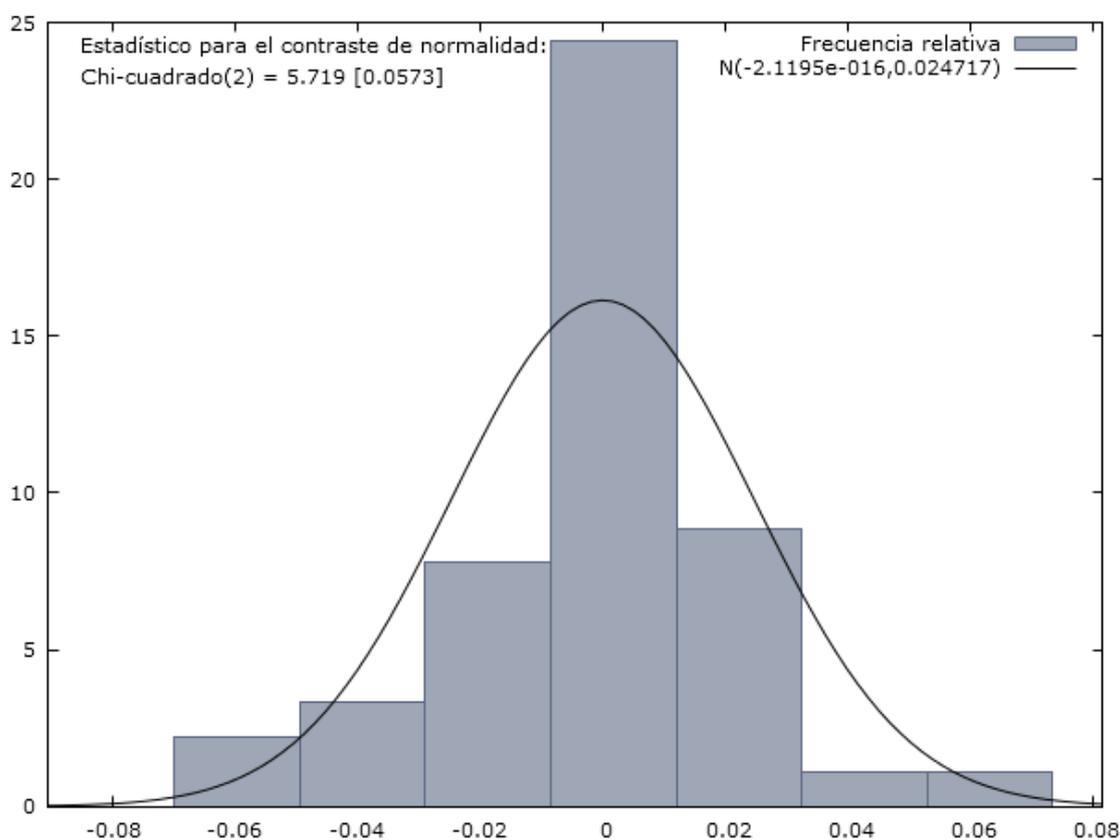
En la heterocedasticidad de los modelos es donde nos encontramos datos más dispares, en el modelo de MCO a través del contraste de Withe aceptamos la no presencia de heterocedasticidad en el modelo ya que el p-valor obtenido es mayor de 0,05.

En el modelo de Efectos Fijos, con la realización del Test de Wald, nos da un p-valor por el cual rechazamos la presencia de homocedasticidad en el modelo y por tanto aceptamos la presencia de heterocedasticidad.

El modelo de Efectos Aleatorios (RE), se descarta tras el estudio del test de Hausman en el cual su hipótesis nula nos dice que no hay efectos aleatorios en el modelo, y al ser su p-valor superior al 5% (0,05), que en este caso es 0,92, se acepta la hipótesis nula.

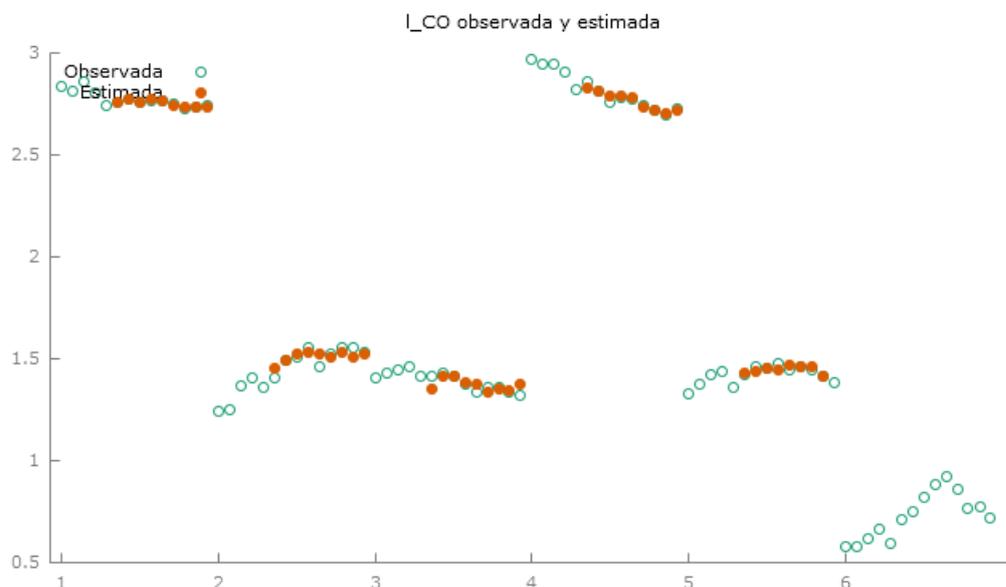
De la misma manera que en para los países Europeos se va a presentar a continuación dos gráficos, uno de ellos de la distribución de los residuos y otro de ellos en el que se compara los datos introducidos con los estimados por el modelo, en ambos casos del modelo de Efectos Fijos:

Gráfico 6. Contraste de normalidad de los residuos para el modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.



Los residuos se mueven en torno a la normal, con una oscilación máxima, en este caso, superior que la obtenida para los países Europeos, pero no muestra datos muy dispares y sigue una tendencia muy similar a la de la distribución normal. La hipótesis nula del contraste de normalidad de los residuos nos indica que  $H_0 =$  “El error tiene distribución normal”, y al tener un p-valor de 0,057, no se puede rechazar la hipótesis nula de manera que afirmamos que tiene una distribución normal.

Gráfico 7. Gráfico de variable observada y estimada por número de observación correspondiente al Modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.



Estudiando los distintos tipos de contrastes, test realizados y gráficos se ha concluido que el modelo que debemos utilizar es el modelo de Efectos Fijos, a través del cual podemos sacar las siguientes conclusiones:

- El aumento progresivo de la renta per cápita de América no supone un problema según el modelo con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que un incremento del 1% en el GDP supone una disminución de 0,23% el volumen de emisiones per cápita. El incremento del gasto en técnicas de R&D es beneficioso según el modelo, ya que si se aumenta en un 1% el gasto en R&D las emisiones per cápita disminuyen un 0,004%. La Capacidad Instalada, una variable significativa al 1%, nos indica que si aumenta en un 1%, las emisiones disminuyen en un 0,12%. Y la última variable a la que nos referimos en el modelo, que está relacionada de manera directa con el volumen de emisiones en el Consumo Eléctrico, cuyo incremento en un 1% se traduce en un aumento del 0,65% de las emisiones per cápita.

Si ponemos en relación tanto el estudio realizado en Europa, como el realizado con América podemos fijarnos que al comparar ambos modelos existen diferencias, como ejemplo el caso de lo que disminuye la emisión de gases con respecto al incremento del GDP. En el caso de Europa esta disminuye en un 1,34% frente al 0,23% que disminuye en la zona de América, esto se puede deber esencialmente en que las políticas medioambientales que se ha ido implantando de años atrás en Europa están siendo más efectivas que las realizadas en América, y por lo tanto para aminorar el impacto ambiental sería necesario que dichas políticas se asemejaran a las de Europa.

### 3.4. RESTO DE PAISES DEL ESTUDIO

En este apartado presentamos los resultados obtenidos para la muestra de países del Resto del Mundo. Estos no se sitúan en una zona concreta, sin embargo, se consideran interesantes a la hora de realizar el estudio por algunas características que tienen, las

cuales mostraremos a continuación. Estos países son: Australia, Israel, Japón, Turquía, Indonesia, India, China, Rusia, Arabia Saudí y Sudáfrica.

Tabla 6: Determinantes de las emisiones de CO2 en los países del Resto del Mundo, pertenecientes a este estudio, periodo de tiempo: 2005-2018. Significatividad: \*\*\* 1% \*\* 5% \* 10%.

	MCO	FE	RE
CONSTANT	-2,644 ***	-5,830 ***	-5,096
L_GDP	-1,590 ***	0.571	0.412 ***
L_GRD	-0.144 ***	0.070	
L_CINST	-0.016	-0.068 **	0.0004
L_CELEC	1,728 ***	0.646 ***	0.651 ***
Sq_L_GDP	0.065 ***	-0.039 **	-0.025 ***
R2	0.988	0.998	
Valor P (de F)	4.12e-41	8.19e-52	
Breusch-Pagan			3,07E-136
Hausman			0.001
Autocorrelación	0.006	0.070	0.0007
Heterocedad	0.400	0.013	
Reset-Ramsey	0.216		

La relevancia que tiene estudiar estos países es, que muchos de ellos son considerados súper potencias económicas, pero de la misma forma son reacios a ser parte de tratados internacionales contra el cambio climático. Por lo tanto, muchos de los países que se encuentran en este grupo también se encuentran también entre los más contaminantes del mundo. Los signos que presenten las elasticidades son interesantes, de la misma forma que el tamaño que toman las variables, para así poder conocer que variables son más relevantes con respecto al volumen de emisiones. Se pone como ejemplo el caso de India, es de los países que menos recursos destina per cápita a I+D, con valores en torno a 10\$ per cápita de media, frente a los 1700\$ per cápita de media que destina Dinamarca.

El tamaño de las variables en este estudio es algo dispar, ya que en algunas como el GDP o el Consumo Eléctrico las elasticidades son próximas a 1, en algún caso llegando a superarlo. En cambio para el resto de variables, aquellas referidas esencialmente a la inversión en la disminución del impacto climático, el tamaño es muy pequeño, muy próximas a 0.

El signo de las elasticidades presenta diferencias con respecto al caso anterior, ya que variables como el GDP tiene signo positivo mientras que en las otras dos zonas geográficas tiene signo negativo, indicando que es más relevante para el volumen de emisiones el aumento del GDP en los países del resto del mundo que en América o Europa, cuyos coeficientes son de -0,23 y -1,349 respectivamente (Modelo de Efectos Fijos).

La significatividad de los datos es alta en los tres modelos, en el caso del modelo de MCO todos los datos exceptuando la Capacidad Instalada, tienen una significatividad del 1% todas las demás variables.

Refiriéndonos al modelo de Efectos Fijos también nos proporciona unos datos significativos, no tanto como el modelo MCO, pero variables como la Capacidad Instalada, el Consumo Eléctrico y el cuadrado del GDP tiene una significatividad mínima del 5%. Y por último el caso del modelo de Efectos Aleatorios es difícil conocer si la significatividad que se presenta en la tabla es la correcta ya que el  $I\_GRD$  es una variable que si se incluía en el modelo este no podía ser estimado.

El ajuste de bondad ( $R^2$ ) como se puede comprobar es excelente para ambos modelos, ya que en ambos se aproxima al 100% siendo ligeramente superior el de Efectos Fijos (FE) con un 99,85% frente al de MCO con un 98,8%, de esta forma el ajuste del modelo a la variable que se intenta explicar es prácticamente perfecto. El Valor P de F, nos indica con valores muy próximos a 0 que ambos modelos están correctamente realizados.

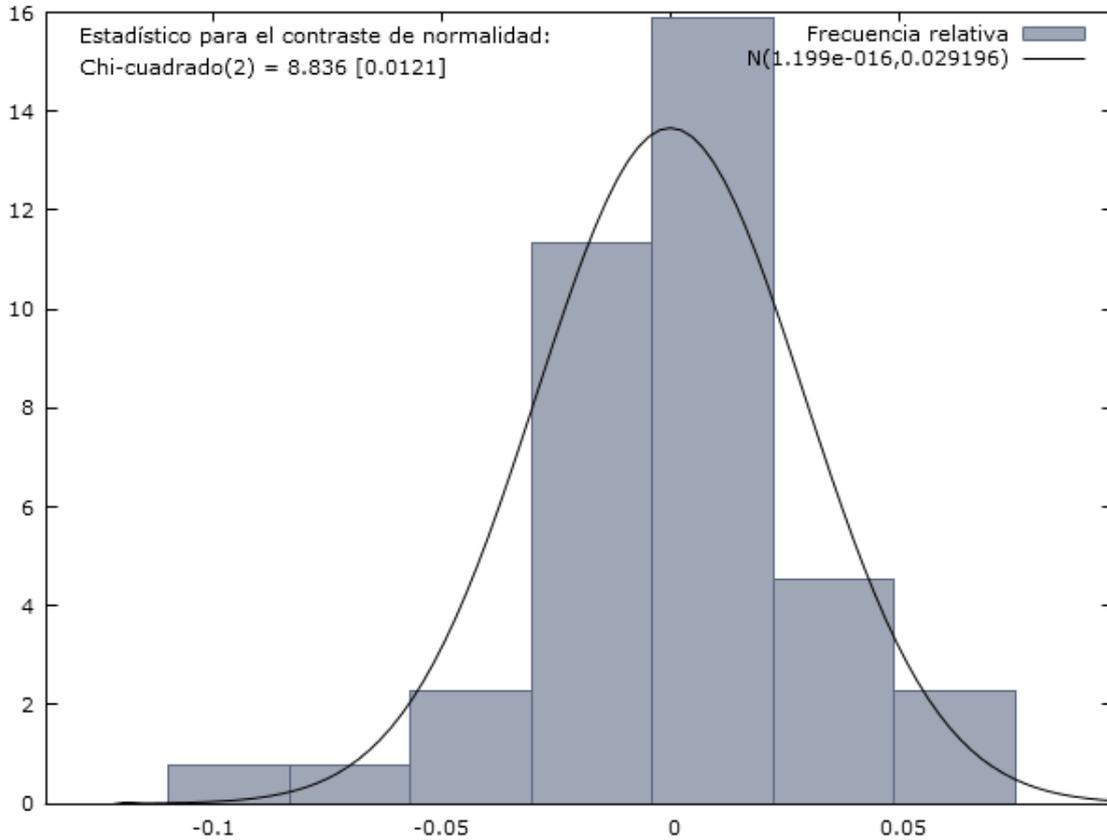
La autocorrelación que presentan ambos modelos es diferente según el modelo en el que nos situemos, en el caso del modelo de MCO nos encontramos un p-valor para la autocorrelación que es inferior al 5% (0,05) rechazando así la hipótesis nula que presenta el test de Wooldridge, se rechaza la no presencia de autocorrelación de primer grado pudiendo concluir que el modelo de MCO presenta autocorrelación. El caso contrario ocurre con el modelo de Efectos Fijos (FE), ya que el p-valor que nos da el test de Wooldridge es superior a 0,05 y por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis nula, dicho modelo no presenta autocorrelación de primer grado.

Un caso similar al de la autocorrelación es el que nos encontramos cuando estudiamos la presencia de heterocedasticidad o homocedasticidad. Para el modelo MCO el estudio de la heterocedasticidad, realizado por el test de Withe, nos da un p-valor que es superior al 5% (0,05) de modo que no se puede rechazar la hipótesis nula, la cual nos indica que no hay heterocedasticidad en el modelo. El test de Wald realizado para el modelo de Efectos Fijos nos indica la presencia de heterocedasticidad en el modelo ya que el p-valor obtenido es inferior al 5% (0,05) y por lo tanto se rechaza que las unidades tienen la misma varianza de la perturbación.

La realización del test de Hausman para el modelo de Efectos Aleatorios nos permite conocer la presencia de efectos aleatorios en este modelo, ya que se rechazaría la hipótesis nula de no presencia de efectos aleatorios. Sin embargo, como antes hemos mencionado, el hecho de que no se haya podido incluir una variable en el modelo nos condiciona a la hora de la interpretación de dicho resultado.

A continuación, el Gráfico 6 y Gráfico 7 muestran los datos tanto de la distribución de los Residuos como de la comparación de la estimación del modelo, para así poder comprobar la correcta realización del modelo. El modelo al que pertenecen es el de Efectos Fijos:

*Gráfico 8. Contraste de normalidad de los residuos para el modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.*



La distribución de los residuos para este modelo, si nos fijamos en el contraste realizado, el p-valor que obtenemos es inferior al 5% (0,05), en este caso 0,01, de esta manera se rechazaría la hipótesis nula la cual nos dice que la distribución de los residuos es normal. Se puede apreciar que los datos no son muy dispares con respecto a una distribución normal, con una oscilación máxima de 0,1 puntos.

Gráfico 9. Gráfico de variable observada y estimada por número de observación correspondiente al Modelo de Efectos Fijos. Elaboración propia.

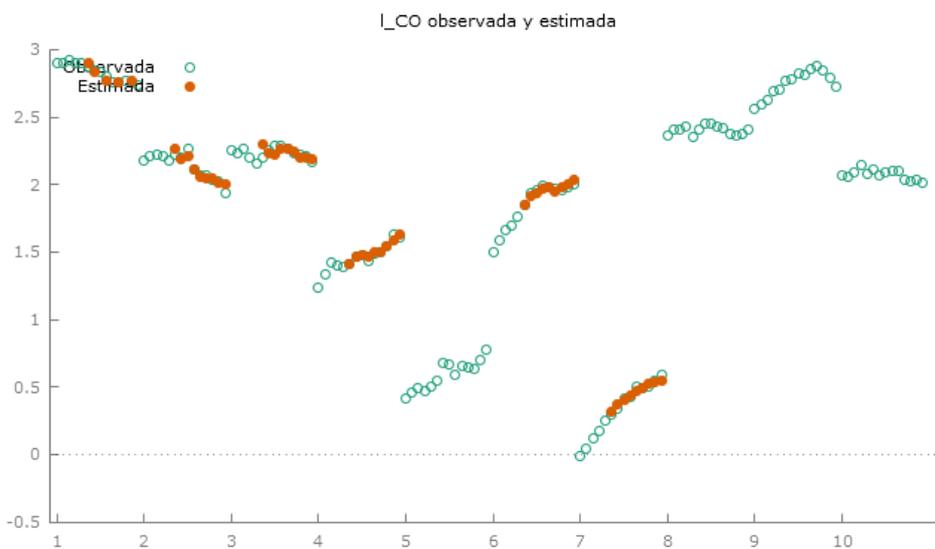
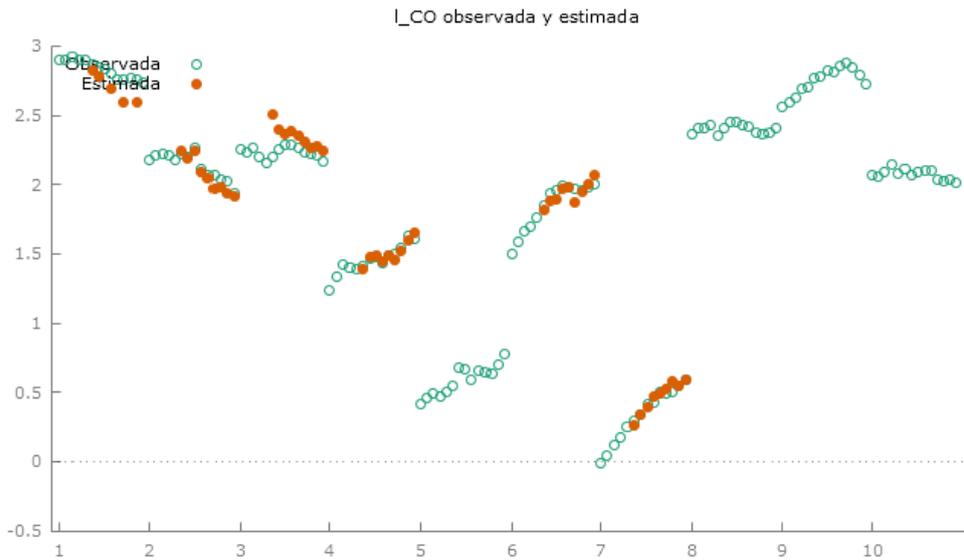


Gráfico 10. Gráfico de variable observada y estimada por número de observación correspondiente al Modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios. Elaboración propia.



Para estos datos se muestra la comparación que se ha ido haciendo para el resto de modelos previamente realizados. Como se puede apreciar ambos gráficos son muy similares, prácticamente iguales. En el modelo de Efectos Fijos (FE) la estimación que realiza es ligeramente mejor con respecto a los datos introducidos que la que hace el modelo MCO.

Tras la elección del modelo de Efectos Fijos (FE), los datos obtenidos se interpretan de la siguiente forma:

- Para el Resto de los países estudiados tras la realización de este modelo, si nos referimos al GDP de los países, un incremento del 1% en el GDP se traduce en un aumento de un 0,57% en las emisiones de CO<sub>2</sub>. En referencia al gasto de los países en R&D (I+D), el aumento en un 1% de esta variable supone un aumento del 0,07% de emisiones de CO<sub>2</sub>, dicha inversión se debería reflejar en una menor cantidad de emisiones a la atmosfera. Si se aumenta en un 1% la Capacidad Instalada de los países, la cual hace referencia a la cantidad de energía que estos con capaces de reciclar y reutilizar, las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyen en un 0,068%. Y por último la variable con una significatividad del 1% dentro del modelo, el Consumo Eléctrico, un aumento del 1% en el consumo eléctrico repercute en un aumento de forma directa de las emisiones en un 0,64%.

Si lo comparamos con los modelos de las otras zonas geográficas, se pueden apreciar diferencias sustanciales como el impacto del GDP en la cantidad de emisiones, como ya hemos descrito anteriormente. Otra relación relevante es la que tiene esta zona geográfica con la inversión en I+D (GRD), siendo en las otras zonas una relación inversa, en esta es una relación directa. El hecho de que no se vea reflejada la inversión que hacen los países en Investigación y Desarrollo en la disminución del volumen de emisiones puede llevarnos a la conclusión de que dichas inversiones se han realizado hace un tiempo relativamente cercano y que en un futuro dicha elasticidad revertirá su signo, siendo estas políticas correctas en la aproximación a los objetivos de reducción de impacto ambiental.

## **4.0 CONCLUSIONES**

En este estudio se ha analizado la relación existente entre la evolución de distintos factores económicos y estructurales y la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En concreto, estamos interesados en estudiar cómo es la influencia de las distintas variables incluidas, dependiendo de la zona geográfica en la que se encuentren.

Con la finalidad de poder relacionar las variables estudiadas y el impacto ambiental, el modelo más oportuno para realizar dicho estudio era el desarrollado por Dietz y Rosa en 1997, denominado STIRPAT, el cual relaciona variables como el nivel de riqueza, la población y el nivel tecnológico con el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, para nuestro estudio hemos ido más allá, ya que se han incluido en el modelo variables como el nivel de Gasto en I+D, la Capacidad Instalada y el Consumo Eléctrico de los países, todos ellos en términos per cápita para seguir teniendo presente el factor de la población.

Con estas variables, se construye una especificación empírica que se estima econométricamente para una muestra de 25 países pertenecientes a distintas zonas geográficas, Europa, América y Resto del Mundo (esta última categoría corresponde a diversos países tales como China, India, Rusia o Sudáfrica) en el periodo 2005-2018.

En relación a la estrategia empírica, se ha realizado diferentes estimaciones, Mínimos Cuadrados Ordinarios, Efectos Fijos y Efectos Aleatorios, cuya adecuación se contrasta en un contexto de datos de panel ya que estos nos permiten un mejor seguimiento de los datos a lo largo del tiempo y nos permite una mejor apreciación de la dinámica del cambio en los mismos.

Una vez estimados los modelos los resultados obtenidos muestran comportamientos distintos especialmente según a la variable a la que nos referimos, como a continuación mostraremos.

Los datos más similares los encontramos si comparamos Europa con América, ya que la elasticidad tiene el mismo signo en todas las variables de estudio. Sin embargo, tiene una mayor incidencia en la variable endógena en el caso de Europa, ya que como se aprecia en el caso del Gasto en I+D, el volumen de emisiones desciende en Europa en un 0,04% por cada 1% que aumenta dicha variable, frente al 0,004% que desciende en el caso de América. Los países del Resto del Mundo presentan signo positivo en la elasticidad de esta variable aumentando el volumen de emisiones en un 0,07% por cada 1% que aumentan el Gasto en I+D, esto puede deberse a un efecto rebote, el cual pretende explicar que un aumento en la eficiencia productiva puede llevar al abaratamiento de costes y por lo tanto un aumento de la demanda, lo que significa que el aumento de la eficiencia energética en lugar de servir para reducir el impacto ambiental puede hacer que se produzca más, lo que conlleva a que el impacto ambiental sea mayor. (Jevons, 1985)

Hay que destacar la variable de la Capacidad Instalada como una variable importante dentro de los estudios, ya que para las tres zonas geográficas presenta un signo negativo en su elasticidad, mostrando que cuanto mayor sea la capacidad de los países para poder reutilizar la energía, más repercute en la disminución de las emisiones. La realización de este tipo de inversiones viene dado principalmente por los protocolos y objetivos marcados por los distintos países firmantes, ya que los usos de distintas energías, la

modernización de las técnicas referentes al modelo productivo... viene todo dado por programas y planes marcados en los tratados internacionales.

Estos resultados nos pueden llevar a la conclusión de que las políticas medioambientales llevadas a cabo esencialmente por Europa son eficaces, siendo consecuentes así con los protocolos que firmaron como el de Kioto, en el que fueron la región más ambiciosa con respecto a los objetivos a alcanzar de disminución del impacto climático. Se puede apreciar que dichas políticas adaptadas por Europa pueden servir de referencia para la realización de políticas de corte medioambiental para otros países los cuales han de tener presente adicionalmente sus características demográficas, de estructura productiva y de inversión en avances tecnológicos relacionados con el medioambiente.

Si nos referimos a cada variable en concreto, el caso de PIB per cápita (GDP), vemos que esta es la variable que más impacto tiene en las tres zonas geográficas. Dado que el GDP no es una variable perteneciente a las políticas ambientales directamente, el incremento de esta y el desarrollo a futuro que tiene va directamente relacionado con el nivel de industrialización de cada país, el cual puede desarrollar distintas políticas para mejorar la industrialización respetando a su vez el impacto medioambiental que esta tenga. Tanto las políticas referidas al aumento de inversión en I+D, como de aumento de la Capacidad Instalada son aquellas en la que más esfuerzos han de poner los países, ya que estas están relacionadas directamente con la disminución de emisiones contaminantes, bien sea por el número de avances tecnológicos relacionados con el medioambiente que consigan o por la capacidad de aprovechamiento de recursos energéticos ya utilizados.

Como prueba está que la imposición de normas y objetivos por parte de los países, funciona, y hace que estos cada vez sean más eficientes y menos contaminantes. Lo que se tiene que conseguir en un futuro próximo es, que aquellos países que no son firmantes de este tipo de tratados, algunos de ellos recogidos en los países del Resto del Mundo, formen parte de la concienciación global de reducción del impacto ambiental.

Además en este trabajo se muestra como los países más avanzados tecnológicamente tiene una capacidad mayor de adaptación a las medida ambientales. Aquellos países en vías de desarrollo o con menor capacidad tecnológica son los que más problemas tienen a la hora de reducir el impacto ambiental. De esta manera, estos últimos han de intentar seguir un modelo de crecimiento similar al de Europa, ya que se ha conseguido unir el desarrollo de la economía con unas políticas ambientales eficaces.

Por parte de las instituciones internacionales dedicadas a consecución de este tipo de objetivos medioambientales, tendrían que desarrollar programas con objetivos medioambientales adaptados a los países menos avanzados tecnológicamente para ayudarlos en la adopción de sistemas de producción eficaces y eficientes medioambientalmente hablando, y que en un futuro no demasiado lejano pueda situarse en niveles próximos a aquellos países más avanzados.

Para concluir, la realidad que nos muestra este trabajo es que hay diferencias muy significativas según en la zona geográfica que nos situemos. Es importante considerar que hay muchos factores que no se han estudiado en este trabajo y tienen relación con el impacto climático, sin embargo, aquí se pueden tomar como referencia algunos aspectos en los que han de involucrarse más los países con el fin de adaptarse a la actualidad. En la que en muchos casos la concienciación medioambiental apenas existe, principalmente

aquellas que no son parte de acuerdos internacionales. Todos los países han de perseguir un objetivo común y establecer políticas y medidas en consecuencia que conlleven resultados satisfactorios.

## **5.0 BIBLIOGRAFÍA**

Bronfenbrenner. (1979). *The Ecology of Human Development: Experiments by Nature and Design* Cambridge.

Cerdeño, M., Castillo, A., & Sagardoy, T. (2005). *La evaluación del impacto ambiental y su recuperación sobre el Patrimonio Arqueológico*.

Commoner, B. (1972). *The environmental cost of economic growth*.

Commoner, B., Corr, M., & Stamler, P. (1971). *The causes of pollution". Environment: Science and Policy for Sustainable Development*,.

Commoner, B. (1972). *The environmental cost of economic growth*.

Datos, B. M. (2021). *Emisiones CO2 per cápita*.

Datos, B. M. (2021). *kWh per cápita*.

Datos, B. M. (2021). *PIB per cápita (current US\$)*.

E. Waggoner, P., & Huntley Ausubel, J. (2002). *A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity*.

Eckstein, D., Marie-Lena Hutfils, & Maik Wings. (2017). *Indice de Riesgo Climático*.

Europea, W. O. (2021). *Acuerdo de París*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/>

Europea, W. O. (2021). *Protocolo Kioto*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/>

Geographic, N. (2020). *Aumento del Nivel del Mar*.

IRENA. (2020). *Estadísticas de Capacidad Renovable*.

J. Young, P., B. Harper, A., Huntingford, C., D. Paul, N., Morgenstern, O., & A. Newman, P. (2021). *The Montreal Protocol protects the terrestrial carbon sink*.

Jevons, S. (1985). *The Coal Cuestion*.

OCDE. (2021). *Banco Estadístico, Gasto R&D*.

OCDE. (2021). *Banco Estadístico, Población*.

Ralph Ehrlich, P., & Paul Holdren, J. (1971). *The Impact of Population Growth*.

Rosa, E., & Dietz, T. (1994). *Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology*.

Rosa, E., & Dietz, T. (1998). *Climate change and society: speculation, construction and scientific investigation*.

Schulze, P. C. (2002). *I = PBAT*.

Stirpat, W. O. (2021). *Web Oficial Stirpat*. Obtenido de <http://stirpat.msu.edu/>

Unidas, O. d. (2020). *Used Vehicles and the environment* .