



**Universidad  
Zaragoza**

# Trabajo Fin de Grado

Análisis de la Curva de Kuznets para el CO<sub>2</sub>: el caso de Italia.

Autor

M.<sup>a</sup> Jesús Peribáñez Pamplona

Directores

Majed Atwi Saab

Facultad de Economía y Empresa. Universidad de Zaragoza

Curso 2019-2020

**Título:** Análisis de la Curva de Kuznets para el CO2: el caso de Italia / Kuznets curve analysis for CO2: Italy's case.

## **RESUMEN**

Cada día que pasa, el mundo se enfrenta a nuevos retos medioambientales que ponen en duda la sostenibilidad de nuestro planeta. Es por ello que existe un elevado interés en analizar cómo el crecimiento económico afecta a nuestra calidad ambiental, en busca de una solución al problema para lograr un futuro más sostenible.

La curva de Kuznets ambiental (CKA) es la hipótesis que relaciona la renta y la degradación ambiental, explicando una forma de U invertida. Al principio, el crecimiento económico aumenta, al igual que la degradación, hasta llegar a un punto donde cuanto más se incrementa la renta, menor es el impacto negativo ambiental.

Resulta interesante, en el contexto de esta hipótesis, tratar de averiguar si el desarrollo económico afecta de forma positiva o negativa a las emisiones de CO2, teniendo en cuenta distintas variables como el consumo eléctrico u otras exógenas como la evolución tecnológica o el seguimiento de políticas medioambientales (implícitas en una variable de tendencia temporal).

Nuestro trabajo analiza la relación de las emisiones de CO2 en Italia respecto a su renta, y para ello, utilizamos datos temporales entre el periodo 1971-2017.

Los resultados de la estimación son concluyentes, pues los modelos analizados nos indican que efectivamente en un primer estado habría CKA, pero que al seguir aumentando el PIBpc del país, la curva cambiaría de tendencia y las emisiones volverían a crecer indicando una curva en forma de N.

## ABSTRACT

The world faces new environmental dangers everyday that call into question the sustainability of our planet. This is why interest has grown to analyze how economic growth affects our environmental quality, looking for a solution to the problem to achieve a more sustainable future.

The Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesizes the relationship between income and environmental degradation follow an inverted U-shape. At first, economic growth increases, as well as degradation, until the achievement of a turning point, where the more income increases, the lower degradation impacts.

In the context of this hypothesis, it is interesting try to find out if the economic development affect positively or negatively to the CO<sub>2</sub> emissions, taking into account different variables such as total electricity consumption or other exogenous ones such as technological developments or monitoring environmental policies (included in a time trend variable).

Our work analyses the CO<sub>2</sub> ratio emissions in Italy to their income, and for this, we use temporary data between 1971-2017 period.

The results of the estimation are conclusive. The models analyzed indicate that there would actually be a EKC in a first state, but as the country's GDP continues increase, the trend curve would change and emissions would grow again indicating an N-shaped curve.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	3
2.1. Fundamentos de la CKA .....	6
i) La elasticidad renta de la demanda.....	6
ii) Efectos escala, composición y tecnología.....	7
iii) El comercio internacional.....	8
iv) El marco institucional.....	8
2.2. Relación ingreso-emisión CO2.....	9
CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDIO.....	11
3.1. Fuentes estadísticas.....	11
3.2. Aspectos económicos y estructurales.....	12
3.3. Comparativa internacional.....	16
3.4. Suministro energía primaria Italia-España.....	21
CAPÍTULO IV. MODELO ECONOMETRICO DE LA CKA .....	23
4.1 Modelo 1.....	24
4.2 Modelo 2.....	28
4.3 Modelo 3.....	31
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....	34
BIBLIOGRAFÍA y WEBGRAFIA.....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Curva de Kuznets ambiental.....	5
Datos 3.1. Unidades medida de las variables.....	12
Figura3.2. PIB per cápita Italia 1971-2017.....	13
Figura 3.3. Estructura sectorial año 2017.....	13
Figura 3.4. Emisiones Co2 por sector, 2017.....	14
Figura 3.5. Evolución del PIB pc y la emisión de CO2pc para el periodo 1971-2017.....	15
Figura 3.6. Diagrama de dispersión relativo al periodo 1971-2017 .....	16
Figura 3.7. Evolución PIBpc, PPA .....	18
Figura 3.8. Evolución emisiones CO2pc de quema combustible total.....	19
Figura 3.9 Fuente de energía primaria y emisiones CO2 1971-2017 España-Italia.....	22
Tabla 4.1 El Modelo 1 estimado por MCO.....	25
Cuadro 4.1 Contrastes Modelo 1.....	25
Tabla 4.2 El Modelo 2 estimado por MCO.....	28
Cuadro 4.2 Contrastes modelo 2.....	29
Figura 4.2. Correlograma de los residuos modelo 2.....	29
Cuadro 4.2.1 El Modelo 2 estimado por MCO con desviaciones típicas robustas a autocorrelación.....	30
Tabla 4.3. El Modelo 3 estimado por MCO .....	31
Tabla 4.4 Cuadro 4.3. Contrastes modelo 3.....	32

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

El cambio climático ya no es una amenaza en la distancia, sino una realidad visible; el aumento de la temperatura media y la agudización de fenómenos extremos, son algunas de las consecuencias medioambientales a la que nos enfrentamos hoy en día.

Este cambio del clima global viene potenciado en su gran mayoría por la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), derivado de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) para la obtención de energía y, en menor grado, por procesos de deforestación que liberan este mismo gas en la atmósfera. Los efectos futuros no pueden saberse con exactitud, pero hay acuerdos científicos sobre que serán globalmente muy negativos y globales, y que afectarán especialmente a las poblaciones pobres que cuentan con menos recursos para adaptarse a los cambios.

En los últimos años ha habido un cambio de tendencia. Las emisiones en 2014 fueron algo menores que en la década de los 90 (1990 como año de referencia en el protocolo de Kyoto), y sin duda parte de la explicación se debe a los esfuerzos de los países por aplicar políticas de mitigación respecto a los problemas medioambientales, aunque también hay otros factores que explican este cambio.

Las crisis económicas que han sufrido todos los países del mundo (en 1993 y 2005), provocaron una significativa reducción en las emisiones de muchos países ricos, Italia entre ellos, y la creciente globalización, ha comportado una mayor “transferencia” de emisiones desde muchos países ricos a países menos ricos de los que se importan muchos bienes.

Es un hecho que en la actualidad y por el ritmo de crecimiento económico, demográfico y social, las emisiones de CO<sub>2</sub> sean cada vez mayores y que planteen un serio reto para buscar alternativas que generen menor contaminación.

Las investigaciones sobre la relación entre medio ambiente y economía empezaron a aumentar en la década de los setenta. En esta época se comenzó a preocupar por el tema medioambiental, intensificándose el número de eventos relativos a los problemas ambientales y futuros desafíos.

El primero fue la conferencia de las Naciones Unidas celebrada en Estocolmo en 1972, donde se concluyó por primera vez la existencia de un problema ambiental relacionado

al desarrollo económico. En este acontecimiento se planteó la necesidad de crear pautas comunes y un compromiso político para lograr un desarrollo sostenible, que en Europa se hizo visible en las políticas posteriores y directrices ambientales, además de promover la creación del programa de naciones unidas sobre medio ambiente (PNUMA).

Más adelante se efectuaron diversas investigaciones e informes asociados a la problemática desarrollo-medioambiente, donde destaca por su gran repercusión y polémicos datos el informe de los límites del crecimiento (Meadows et. al., 1972). Este informe sugirió que, si se mantiene el continuo crecimiento de la población, capital industrial, producción de alimentos, consumo de recursos y contaminación, se alcanzarán los límites absolutos de crecimiento de la Tierra durante los próximos 100 años, donde el resultado sería un declive súbito de la población y de la capacidad industrial.

Los informes, relacionando el desarrollo económico con el problema de sustentabilidad fueron aumentando y animando a las naciones a tomar medidas y a promover grandes tratados y protocolos, destacando entre ellos:

Los informes de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), apoyados con sus datos para establecer políticas ambientales y para las negociaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Clima y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

El protocolo de Kyoto, adoptado en 1997, fue el primer compromiso internacional contra el calentamiento global, y en la Conferencia de París sobre el Clima en 2015, se acordaron, entre otras cosas, delimitar el objetivo a largo plazo de mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2C° sobre los niveles preindustriales. (Comisión Europea).

En Europa, el Marco sobre el clima y energía para 2030, o estrategias a largo plazo como la búsqueda de una Europa climáticamente neutra de aquí a 2050.

Estos relevantes tratados y normativas son un claro ejemplo de cómo el mundo y en concreto Europa, toma conciencia sobre nuestra situación ambiental actual.

Uno de los instrumentos más aclamados y utilizados para investigar cómo el efecto del desarrollo económico afecta al medioambiente es la llamada Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

Por ello, en este trabajo se pretende contrastar la veracidad empírica de la CKA para las emisiones de CO<sub>2</sub> en Italia.

En el Capítulo II se hace una revisión de la literatura en donde se explican los fundamentos de la CKA y qué factores influyen en ella. En el Capítulo III se describen datos y variables de análisis. Posteriormente, el Capítulo IV ofrece los resultados del modelo econométrico planteado y, por último, en el Capítulo V se exponen las principales conclusiones.

## **CAPITULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

Simón Kuznets (1901-1985), fue premio Nóbel de Economía en 1971 por los estudios realizados en materia de estructura económica y social de los procesos de desarrollo.

Utilizó contrastes empíricos apoyados en las ideas de J.M Keynes en un principio, (posteriormente los rediseño), y se dedicó al estudio de los ciclos económicos e identificó el ciclo de construcción (con una duración de entre 15 y 25 años), que fue bautizado con su nombre.

Su planteamiento acerca de la conexión entre crecimiento económico y desigualdad lo plasmó en su artículo "Economic Growth and Income Inequality" y arrojó interesantes resultados que hasta día de hoy son puestos a debate.

A partir de esos estudios son muchos los investigadores que tratan de esclarecer el vínculo que puede haber entre el crecimiento de un país y su mejora o empeoramiento en el nivel de calidad ambiental.

Desde principios de la década de 90, y a partir de una serie de trabajos y estudios pioneros en el tema, entre los que se destacan Shafik y Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993), y Grossman y Krueger (1995), la discusión acerca de la relación entre crecimiento



económico y medio ambiente se ha centrado en esta hipótesis conocida como Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

La hipótesis sostiene la existencia de una relación de U invertida entre el crecimiento económico y la degradación ambiental, en el que el deterioro ambiental es una función creciente del nivel de actividad económica hasta un determinado nivel crítico de renta o “turning point” a partir del cual mayores niveles de renta se asocian a niveles progresivamente mayores de calidad ambiental. Grossman y Krueger (1995).

Más concretamente, esto se puede explicar de la siguiente manera:

A una primera fase de crecimiento económico, un país basa su economía en el sector primario y en la explotación de los recursos naturales disponibles a su alcance, generando un fuerte impacto sobre la calidad ambiental. En esta etapa se carece de tecnologías más limpias y eficientes y se ejerce mucha presión sobre los recursos naturales.

Un aumento de la producción implica mayores emisiones de contaminantes, y es por esto que a medida que aumentan los beneficios, el deterioro ambiental también lo hace, por lo que la curva es positiva.

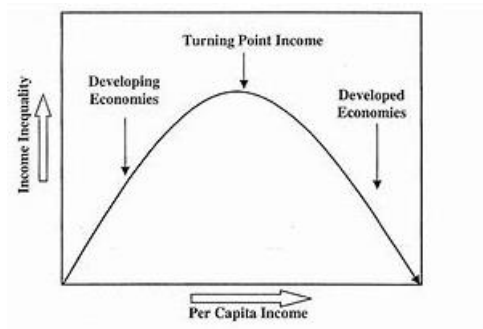
A medida que la economía crece en todos sus sectores, la participación de nuevas fuentes de energía empiezan a cambiar, con un desarrollo más sostenible, más “verdes”, y acercándose al punto crítico (developing economies), genera que la contaminación persista pero se estabilice, aunque el crecimiento económico siga creciendo.

Una vez se ha alcanzado ese “turning point”, el nivel de desarrollo ocasiona que la sociedad otorgue un mayor valor a los bienes y servicios ambientales, demandando medidas políticas ambientales, que a su vez pueden tener un efecto sobre los métodos de producción para alcanzar un medio ambiente más limpio y saludable. Esto llevará a que ante un aumento del crecimiento económico, la degradación medioambiental se enfoque en descenso.

Aparece entonces como estructura económica el sector servicios, favorable a esta hipótesis, como menor generador de residuos y, ayudado de lo anteriormente comentado, aporta crecimiento económico y una bajada de los contaminantes (developed economies).

Por estas últimas fases, la curva origina su función decreciente y comienza a verse la forma de U invertida (Grossman y Krueger; 1991) Figura 1.

**Figura 1. Curva de Kuznets Ambiental.**



No obstante, esta hipótesis contiene implicaciones importantes.

El primero es que el producto bruto interno es al mismo tiempo la causa y la cura del problema ambiental.

Para llegar al “turning point”, es necesario sufrir el coste de la degradación ambiental mientras hay crecimiento económico (aumento de PIB), pero una vez superado el nivel crítico, mayores aumentos de PIB originarán en mejoras en la calidad ambiental. (Galeotti, 2006).

El segundo es que si de manera irremediable el crecimiento económico nos lleva a la degradación medioambiental y un aumento de éste genera el punto crítico en el que hay mayor calidad ambiental, parece que la solución radica en que todas las sociedades tiendan a ser más ricas. (Beckerman, 1992).

Estas afirmaciones han sido, y siguen siendo cuestionadas por gran parte de autores, ¿es posible que todo daño ambiental pueda ser revertido?, ¿qué implicaciones tiene para los países en desarrollo?

Por ello sigue siendo tan interesante y significativo el estudio y comprobación del cumplimiento de la CKA en nuestros días.

## **2.1 Fundamentos de la CKA**

La hipótesis de la forma de U invertida de la CKA atiende a diversos motivos que se han estudiado e intentado explicar a lo largo de los años y que a continuación se exponen.

### **La elasticidad renta de la demanda**

La elasticidad renta de la demanda ambiental es una de las principales explicaciones de la pendiente de la CKA.

El principal motivo es el tipo de bien que se demanda dentro de la sociedad. En este caso, la mejora ambiental que, a diferencia de otros como la nutrición, educación y asistencia sanitaria, no es de primera necesidad.

La sociedad menos rica demandará primero estos recursos básicos, y cuando estén cubiertos, darán valor a los recursos ambientales y su disposición a pagar por ellos aumentará.

Son las sociedades más avanzadas las que tendrán el poder de exigir medidas y políticas para alcanzar niveles medioambientales más sostenibles y sanos, ya que sus necesidades básicas estarían cubiertas, tendrían un mayor poder de ejecución, y como país desarrollado, su educación les permitiría llevar a cabo el cumplimiento de la regulación (Dasgupta et al., 2002).

Está claro que al alcanzarse un nivel de renta límite, se produciría un cambio en las preferencias de los individuos donde, al aumentar la renta, estarían dispuestos a gastar mayor proporción de recursos en calidad ambiental, como si se tratase de un bien de lujo.

Hay que destacar (Ekins, 2000), que los sectores más pobres, principalmente desarrollados en zonas rurales, a menudo dependen directamente de recursos naturales y esto hace más frágil su degradación. No necesitarán ser ricos para demandar mejoras ambientales.

Por lo tanto, se debe presuponer que la elasticidad de la demanda de calidad ambiental es mayor a la unidad, puesto que se considera que una sociedad al llegar a un nivel de desarrollo elevado, prefiere demandar bienes y servicios más sustentables.

### **Efectos escala, composición y tecnología.**

En el trabajo los efectos del NAFTA del medio ambiente, Grossman y Krueger (1991) proyectaron tres efectos causantes de la pendiente de la CKA; efecto escala, técnico y composición.

El primero de ellos es el impulsor de la fase creciente de la curva. Al aumentar la actividad económica se consumen más recursos y se generan mayores residuos y daño ambiental, generando en consecuencia, a una mayor degradación ambiental.

Esto genera que, el crecimiento económico surgido de la de una producción intensiva y creación de bienes y servicios, provoque un efecto escala de impacto nocivo para el entorno.

Este desarrollo económico trae cambios en la estructura a través del efecto composición. Las economías llegadas a cierta fase de su desarrollo, cambian su estructura productiva evolucionando a una economía orientada en el sector servicios, mucho más limpio y sustentable que la industrial. Ello llevaría a la curva a repercutir de una forma positiva en el medio ambiente.

Siguiendo la línea positiva medioambiental surge el tercer efecto, siendo el impulsor de la fase decreciente de la curva a partir del “turning point”. El llamado efecto técnico se basa en que el avance tecnológico que reduce la impacto en el medio ambiente. Por un lado, cuanto más rica es una nación, mayor presupuesto destinará a la investigación y desarrollo de tecnologías limpias y eficientes, el avance tecnológico también permitirá sustituir los recursos altamente contaminantes por otros menos agresivos para la calidad ambiental, y en tercer lugar las economías menos desarrolladas, podrán aprender de los primeros en procesos y patrones a desarrollar.

Si aplicamos esto a la CKA, la superación del umbral sólo se dará cuando los efectos composición y técnico superen al efecto escala, logrando así revertir la dirección creciente de la pendiente. Que el impacto de la actividad económica sea beneficioso o nocivo para el medioambiente, dependerá de ellos (Grossman y Krueger, 1991).

### **Comercio internacional**

El comercio internacional es otra variable para explicar la pendiente de la CKA (Arrow et al. 1995; Stern et al., 1996; Dasgupta et al., 2001). La expansión del comercio desarrolla el tamaño de la economía y en consecuencia genera mayor daño ambiental a través del efecto escala.

En este caso contexto, aparecen efectos provocados por la posibilidad de importar y exportar degeneración ambiental debido a los flujos comerciales.

Una práctica común importante es la denominada trampa de la pobreza. Esto es, los países más desarrollados con una rigurosa regulación en política ambiental reubican sus industrias en países en vías de desarrollo, cuyas políticas son más débiles y flexibles. Se produce de esta forma un desplazamiento de las fuentes contaminantes, haciendo que los países desarrollados aparentemente sean más sustentables, pero siendo el problema ambiental global persistente. A este proceso de relocalización de las industrias se le denomina Haven Pollution Hypothesis (HPH) o hipótesis del Paraíso de Contaminadores, y su cumplimiento hace peligrar el impacto que la elasticidad ingreso de la calidad ambiental ejerce para curvar la pendiente de la CKA, generando desfavorables consecuencias medioambientales, ya que el ratio PIB industrial/PIB disminuirá por el traslado de la contaminación y no llevará a la curva hasta su punto crítico (Cole, 2004).

### **Marco institucional**

Las regulaciones ambientales juegan un papel importante en la explicación del patrón que sigue la CKA, y los diversos acuerdos internacionales que se han llevado a cabo son fundamentales para disminuir el impacto económico sobre el medio ambiente.

El más importante es sin duda el Protocolo de Kyoto (1998), que generó en gobiernos y organismos una actitud más activa frente a este problema.

En términos generales, las sociedades más desarrolladas están mostrando interés e inquietud acerca del medio ambiente, demandando políticas y normativas más claras y rigurosas a sus gobiernos e instituciones.

Este hecho lleva mayor atención a medidas ambientales en las regulaciones y leyes de estos países, haciendo que “a medida que los ingresos aumentan, la capacidad para invertir en mejores condiciones ambientales y la disposición a hacerlo aumentan también” (Banco Mundial, 1992), basado e influenciado por la hipótesis que Shafik y Bandyopadhyay (1992) .

Se han realizado modelos econométricos en los que se ha incluido esta variable, pero son muchos los estudios que consideran que es difícil incluirla por los efectos escala, técnico y composición por su complejidad.

Aun con ello, las instituciones ejercen un papel muy relevante en generar un desarrollo económico más sustentable, ya que son el principal propulsor de las políticas ambientales y el garante de su cumplimiento. Por ello son indispensables para solucionar el problema de la degradación ambiental.

## **2.2 La relación ingreso-emisiones de CO<sub>2</sub>**

En la revisión de la literatura de la CKA se ha hablado de la hipótesis con la relación de U-invertida entre los niveles de renta per cápita y ciertos contaminantes. Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> la teoría está clara, por ello se comenta en este breve apartado a continuación.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> proceden de la quema combustible de carbón, gas o petróleo (entre otros), como consecuencia de las necesidades de la sociedad en su vida cotidiana, comercial o industrial. Podríamos considerarlo un bien normal, puesto que es racional asumir que al incrementarse la renta per cápita también lo hace la emisión de este bien, lo que conllevaría a una elasticidad renta de la demanda positiva.

Pero, además, como señala Katz (2018), este aumento de riqueza llevaría a unas emisiones todavía mayores, debido a la posibilidad de crecimiento, que no serían posibles sin un poder adquisitivo alto.

Sin embargo, este incremento de la renta significa, como se ha comentado ya, un acceso a tecnologías más eficientes, posibilitando ante el crecimiento de la economía, el hacerlo emitiendo el menos CO<sub>2</sub> posible con técnicas más innovadoras y eficientes.

En línea con la teoría, las emisiones de gases de CO<sub>2</sub> aumentarían en las primeras fases del desarrollo de una economía, en primer lugar, en el sector primario con alto consumo de combustibles de origen fósil, bajos niveles de eficiencia energética, así como una escasa protección de los recursos naturales y la biodiversidad. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) estima que la agricultura es responsable de cerca del 14% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), un volumen similar al originado por el sector del transporte (Stern, N. 2006).

En los últimos años, la producción agroecológica y el desarrollo de novedosos mecanismos de trabajo tanto en agricultura como ganadería hacen que no sólo emite muchos menos gases invernadero, sino que aumenta mucho la capacidad de absorción de carbono de los suelos.

Posteriormente coincidiendo con el auge de la industria y riqueza de la población, en la industrialización. Este sector adquiere un papel muy importante, puesto que es el más contaminante al requerir de muchos procesos de generación de energía, para su crecimiento.

Es importante señalar que la quema de combustibles de origen fósil es la principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub>, asociados a la demanda de energía de la industria y el transporte, principalmente. Además, factores como el precio del petróleo y las políticas energéticas en favor de combustibles de origen fósil inducen un mayor consumo y en consecuencia mayores emisiones.

Cayendo el consumo en una fase sucesiva, llegaríamos a una economía terciaria, que utilizan tecnologías más limpias, un uso más eficiente de la energía o fuentes alteñas de energía (Stern, 2003), que se traducen en menores emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **CAPITULO III. CASO DE ESTUDIO**

En este apartado se van a describir las variables que utilizaremos en el análisis econométrico, además de evaluar las variables de estudio del país seleccionado, Italia, y compararlo con los principales países del mundo, China, India, Japón, EE. UU. y la Unión Europea de los 28<sup>1</sup> en su conjunto (UE a partir de ahora).

Además, también se incluirá a España como país similar en política, demografía y riqueza al país de estudio para ver cómo han evolucionado desde un punto de partida semejante.

La razón de la elección de Italia es, por una parte, porque que existe información disponible que se quiere analizar, y por otra, porque es interesante ver su evolución en renta per cápita y su efecto en emisión de CO2 como país que se ha ido desarrollando económicamente a lo largo de los años.

También es interesante ver comparativamente la posición de los países con más poder económico en el mundo ya que su evolución ha sido, en algunos casos similar y otros muy dispar, debido a diversas diferencias, tanto culturales como económicas, y en otras ocasiones debido a normas y acuerdos internacionales.

#### **3.1 Fuentes estadísticas y datos**

Los datos se han obtenido principalmente de la página del Banco Mundial y del IEA (2019), CO2 Emissions from Fuel Combustion.

Las series de datos plasmadas en este documento abarcan el periodo de 1971 a 2017, siendo un total de 47 periodos. Las variables seleccionadas para nuestro estudio son: el Producto Interior Bruto (PIB) expresado en millones de dólares a precios constantes de 2010, corregido por la Paridad de Poder Adquisitivo (PPA) para una comparativa apropiada entre países, el total de emisiones de CO2 procedente de combustibles fósiles, el total de suministro de energía primaria, así como la población para calcular términos per cápita.

---

<sup>1</sup> Estonia, Letonia, Lituania y Eslovenia se incluyen a partir de 1990. Antes de 1990, los datos de Estonia, Letonia y Lituania se incluyen en la antigua Unión Soviética y los datos de Eslovenia en la ex Yugoslavia.



### Datos 3.1 Unidades medida variables

- Total Producto Interior Bruto, PPA (miles de millones de dólares a precios constantes de 2010).
- Total emisiones de CO2 procedentes de energía de combustibles fósiles (millones de toneladas).
- Total de suministro de energía primaria (Mtoe).
- Población

### 3.2 Aspectos económicos y estructurales

En las investigaciones y trabajos económicos de la CKA se estudia la renta per cápita como variable independiente, siendo ésta indicador de la renta y el progreso de una nación, por ello es de gran relevancia analizar el PIB per cápita del país seleccionado, Italia.

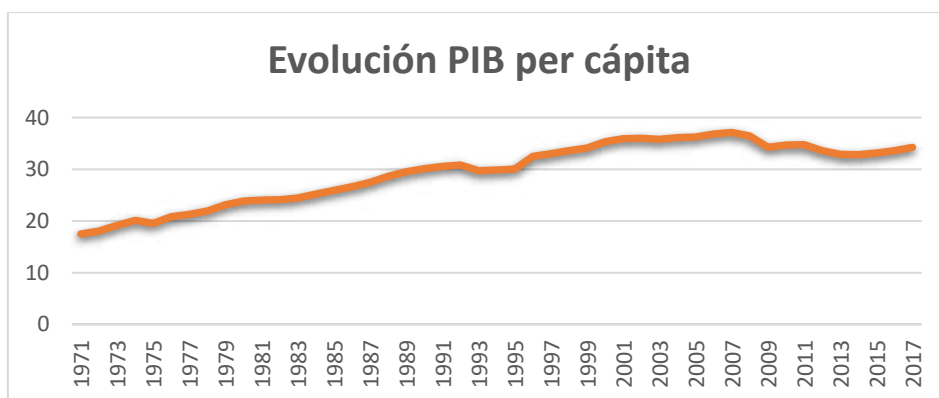
Como se observa en la figura 3.2, en 1971 el PIB pc del país era 17,47 MM\$, es evidente la tendencia creciente a lo largo del periodo estudiado, llegando a datos en 2017 de 34,21 de PIB pc.

Encontramos una importante alteración de crecimiento, en primer lugar, en 1993. Debido a la crisis económica mundial, provocada principalmente por el lento crecimiento del mundo industrializado (recesión europea), y el estallido de la guerra del Golfo en 1990 (que hizo elevar el precio del petróleo considerablemente). El PIB pc en Italia en 1993 cae un 11% y su tasa de desempleo se sitúa en el 51,4%.

Tras la recuperación, sigue una senda positiva de crecimiento, hasta el año 2009 cuando de nuevo una crisis mundial denominada “La gran recesión” y provocada por la mala regulación económica (principalmente por EE. UU.), supone la desconfianza en el mercado y crisis económica y financiera volviendo a tener caídas del 4,2% del PIB pc.

A pesar de ello, se ha seguido una senda de crecimiento económico durante este periodo.

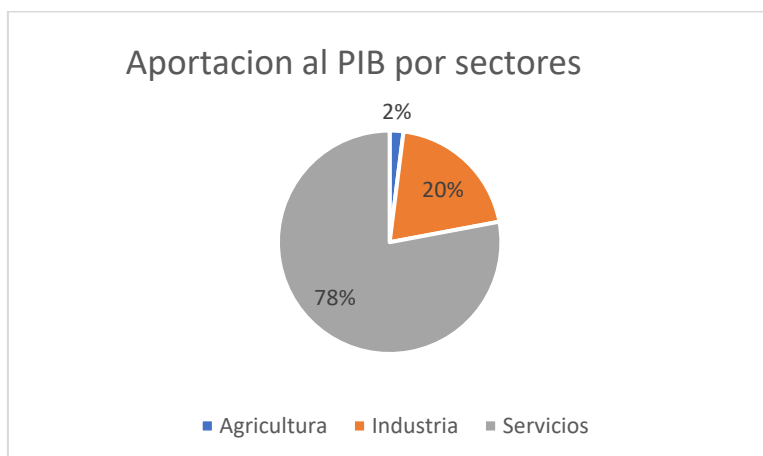
Figura 3.2 PIB per cápita Italia 1971-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA 2019

Con respecto a la estructura económica sectorial, como se observa en el gráfico 3.3, en 2017 prima la terciaria, siendo la principal aportación a la economía el sector servicios, característica propia de los países desarrollados, que en línea a Grossman y Krueger (1991) se puede deber por el efecto composición asociado al crecimiento económico.

3.3 Figura estructura sectorial, año 2017



Fuente: Datos Banco Mundial

Centrándonos un poco más en nuestra variable de estudio, el CO<sub>2</sub>, se representa en la figura 3.4 la aportación de emisiones de Co<sub>2</sub> por sector en el país en el año 2017.

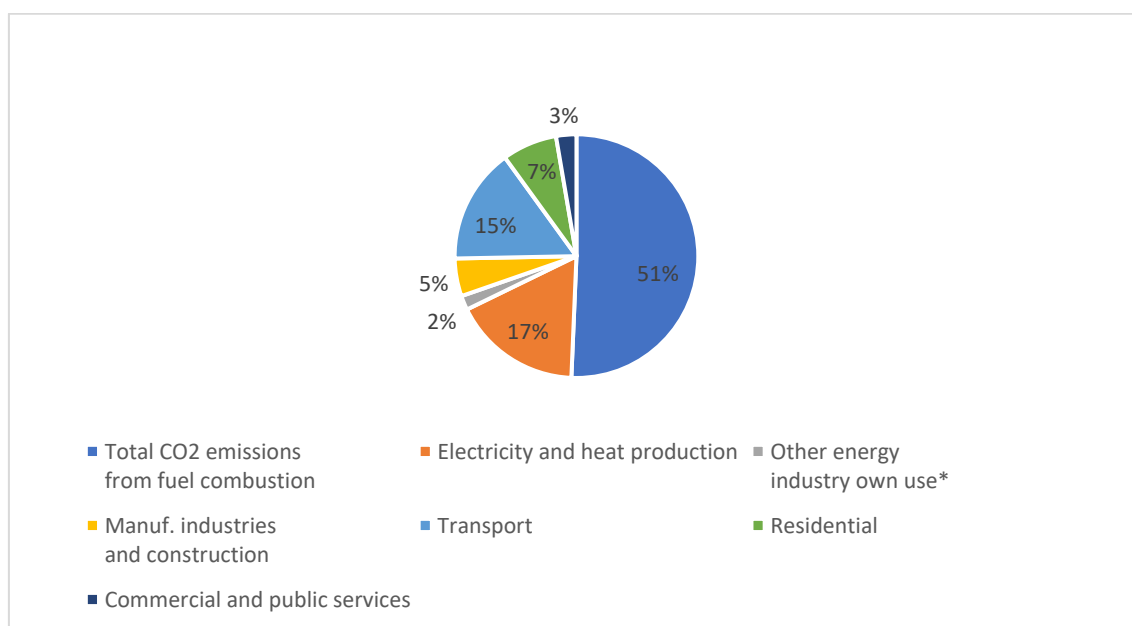
Vemos claramente que casi la mitad, un 51% de las emisiones proceden de la quema de combustible, producidas durante la combustión de carbón, gas, petróleo y varios tipos de gasolinas, procedentes de producción de energía y el transporte.

Es el sector comercial y servicios públicos, el más “limpio” con tan solo un 3% de aportación al total de emisiones.

Dado que, viendo la estructura económica sectorial del país este sector supone la mayor parte de PIB, se consideraría que se está haciendo una fuerte inversión para minimizar los efectos de la contaminación, se encontraría en el llamado efecto tecnología.

Es, por tanto, en el sector industrial en el que se observan menores medidas para frenar el impacto medioambiental, ya que supone 20% parte de la aportación del PIB del país, pero su aportación en emisiones de CO<sub>2</sub> es casi un 40%.

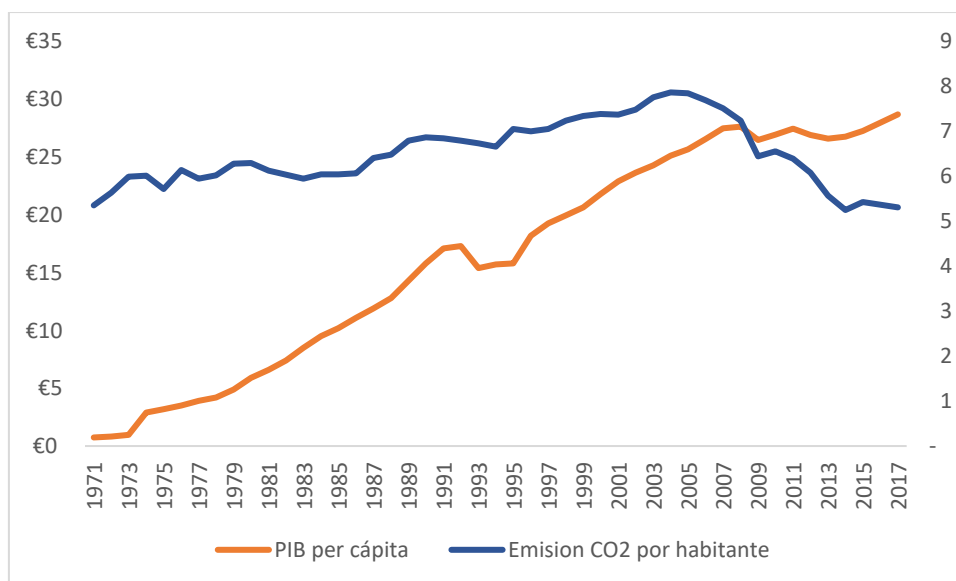
Figura 3.4 Emisiones Co<sub>2</sub> por sector, 2017.



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA 2019

En este análisis resulta interesante plasmar en un gráfico la relación entre la evolución del PIB y la emisión CO<sub>2</sub> per cápita.

Figura 3.5. Evolución del PIBpc y la emisión de CO2pc para el periodo 1971-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de datos en IEA 2019

En la Figura 3.5, se observa que en los primeros años la evolución sigue la misma tendencia creciente, tanto en el PIB pc como en emisiones CO2.

En la crisis de 1993, con la bajada del PIB pc como consecuencia de la crisis económica, también hay una pequeña bajada de las emisiones, como consecuencia de la disminución de producción y el crecimiento económico.

Es en la segunda gran crisis de 2009 cuando se observa un cambio significativo, donde las toneladas de emisión de CO2 por habitante disminuyen pese al continuo aumento de la renta por persona.

Si observamos el gráfico, es partir de 2005 cuando se invierte la curva de emisiones (más acentuada a partir de 2008), que coincide con el Protocolo de Kyoto, en el que cual Italia se compromete a bajar un 6,5% sus emisiones totales medias para 2020, respecto de los datos de 1990.

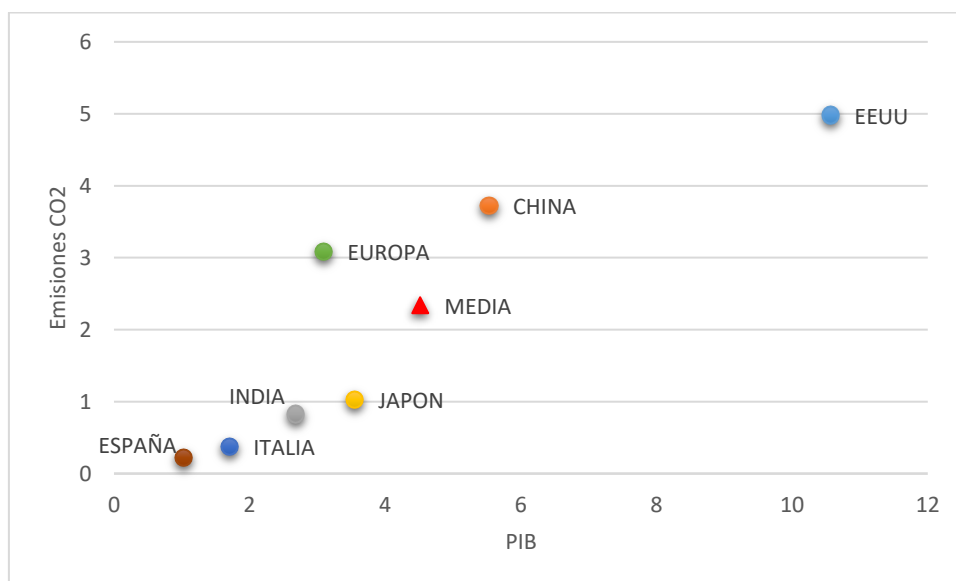
Es a partir de este periodo cuando se toman decisiones políticas para que siga esta tendencia decreciente en emisiones de CO2 en el país. Inversión en desarrollo tecnológico, energías renovables y eficiencia energética en su industria. Transición hacia

transporte público eficiente, renovación de sus vehículos e infraestructuras y un desarrollo de una red de recarga eléctrica eficiente.

### 3.3 Comparativa internacional

Con la intención de analizar la correlación de nuestras variables en Italia con respecto de los principales países del mundo, China, EE. UU., India, Japón y la UE en su conjunto, se elabora un diagrama de dispersión. (Figura 3.6), el que se cruza el PIB(PPA) del periodo y la emisión de CO2 por país en valores medios del periodo. Se ha añadido España por similitud con el país de estudio, y la media de todos ellos como referencia para explicar su evolución a lo largo del periodo. (Datos ver Anexo 1)

Figura 3.6 Diagrama de dispersión relativo al periodo 1971-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de datos en IEA 2019

En primer lugar, existe una correlación positiva entre las variables, es decir, a medida que un país es más rico, más emisión de CO2 total tiene.

En segundo lugar, se aprecian grupos de países cuya relación renta-emisión de CO2 siguen un patrón muy parecido estando por debajo de la media, India, Japón, Italia y

España, aun siendo muy evidente su diferencia en cuanto a demografía, política y desarrollo económico, sobre todo en los dos primeros.

Esto es debido a que, al estar calculando valores medios, unos periodos compensan a los otros sobre todo en el caso de India, que, partiendo de ser un país en desarrollo, en los últimos años ha tenido un crecimiento muy importante tanto en riqueza como en emisiones de CO<sub>2</sub> debido a su crecimiento industrial e inversión extranjera, generando PIBs máximos de 8.436,88 MM\$ en 2017 respecto de los 4.827,65 de Japón. También se observa en el valor de la desviación estándar como es la más alta de los países analizados, 2.181,63MM\$, dejando ver que es un país que ha sufrido variaciones muy desiguales a lo largo del tiempo.

En el caso de Japón, si lo comparamos con Europa con prácticamente el mismo PIB, habría aportado 2 veces menos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto es debido a que a lo largo del periodo Europa ha sumado más millones de toneladas de CO<sub>2</sub> alcanzando los 145.128Mto frente a los 48.276Mto de Japón. Las diferencias culturales de ambos países han llevado a la población a reaccionar de manera diferente a lo largo del periodo, a favor de este último, aunque en los últimos años, la UE está siendo un referente en cuanto a acciones para reducir sus emisiones. También hay que destacar que a lo largo de los años que la UE ha sido principal exportador al país asiático de maquinaria y equipos de transporte (31%), productos químicos (14%), o productos agrícolas (11%), por lo que el peso de la producción industrial y por tanto de las emisiones generadas caían en éste. Desde 2006 las exportaciones han disminuido ligeramente.

Son EE. UU. y China los que se desmarcan muy por encima de los valores de la media. Desde 1971 su riqueza ha estado por encima de la media, y aunque es cierto (como veremos posteriormente en el caso de EE. UU.), que su reducción en emisiones ha tomado un ritmo decreciente, en valores medios siempre ha sido el más emisor derivado de sus crecientes economías.

No así en el caso de China, que sus valores de emisión de CO<sub>2</sub> han seguido una tendencia ascendente, lo que lleva a pensar que se encuentran en pleno proceso de efectos de escala.

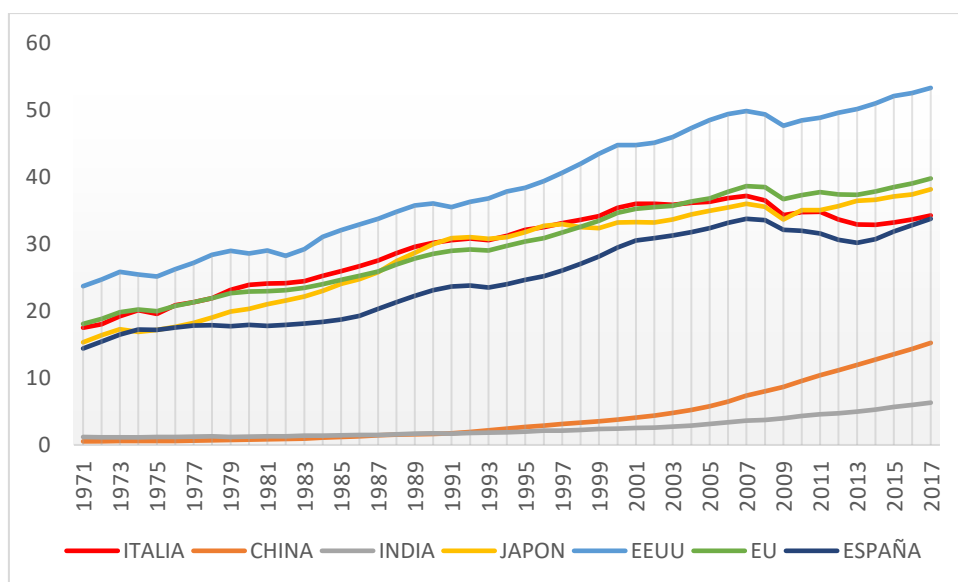
Es interesante ver como España e Italia están muy por debajo de los valores de la UE en su conjunto. En promedio, se han mantenido muy similares, a menor PIB, menores

emisiones. Europa se encuentra en valores medios de emisión de 3.000 y España e Italia se sitúan en torno a los 300. Hay que tener en cuenta que ambos países se encuentran en la media de riqueza de la UE, por lo que en valores medios son otros países los que dispersan el valor de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para ver la evolución histórica de cada uno de ellos vemos por separado cómo han evolucionado históricamente cada una de las variables a lo largo del periodo analizado.

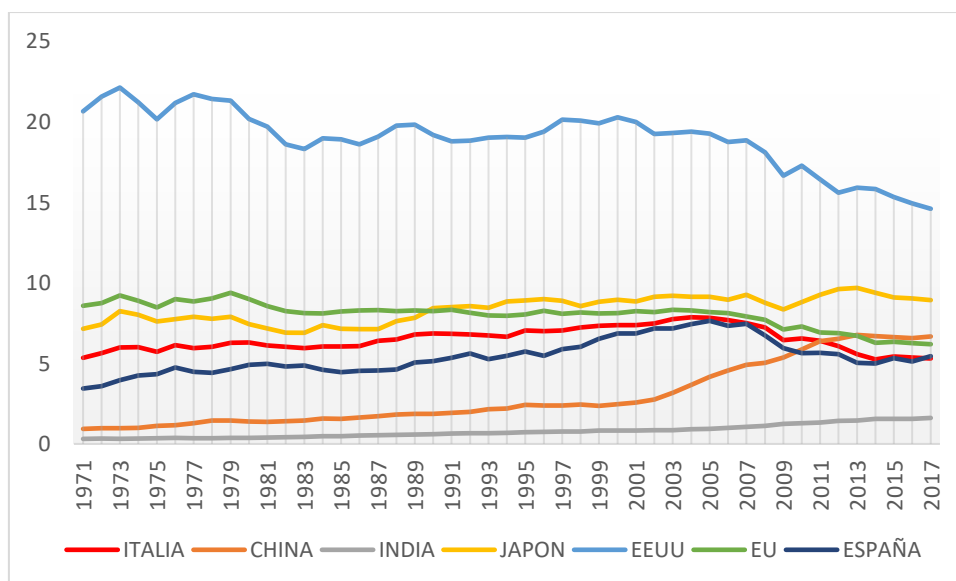
En este caso lo calcularemos en términos per cápita para determinar el nivel de vida para los individuos dentro de cada nación y como eso influye en las emisiones.

Figura 3.7. Evolución PIBpc, PPA (en dólares a precios constantes de 2010) 1971-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA 2019

Figura 3.8. Evolución emisiones CO<sub>2</sub>pc de quema combustible total 1971-2017



Fuente: Elaboración propia a partir de IEA 2019

En la figura 3.7 vemos que, en términos generales todos los países han creado riqueza para sus habitantes.

Cabe destacar China e India, que es a partir de 1993 y tras la crisis mundial cuando su crecimiento económico se ve más acentuado. Partiendo de las reformas económicas aplicadas después de 1991 que introdujeron competencias exteriores y llevaron a la privatización de ciertas industrias que hasta el momento pertenecían al sector público, se produce una expansión en la producción de los bienes de consumo.

El resto de los países han seguido una línea ascendente en línea con su evolución histórica.

Partiendo del primer gráfico, observamos en la figura 3.8 como han cambiado las emisiones de los países a lo largo del tiempo.

A partir de 2005 observamos un punto de inflexión descendente en EE. UU., Italia, España y el conjunto de la UE, todos ellos pertenecientes a los llamados “países del Anexo 1” (Ver Anexo 2), en el que participan en el Protocolo de Kyoto, en el cual quedan obligados a reducir individual o conjuntamente sus emisiones de efecto invernadero.



Se observa claramente como China e India, que no participaron en dicho protocolo, siguieron sus emisiones crecientes. Mucho más acentuado en el caso de China en el que se ha disparado las emisiones a causa de su gigante crecimiento industrial.

Cabe destacar que ambos países son los primeros países del sector agrario. La agricultura y los sectores relacionados, tales como la silvicultura o la pesca, constituían un 18,6% del PIB en 2005, y ellos estaba empleado el 60% de la mano de obra total en India, y China daba de comer al 20% del mundo en 2003.

Hay que destacar que ambos tienen superpoblación, en máximos de 1.300 millones de habitantes. Hay mucha desigualdad y tienen un bajísimo nivel de vida, que lleva a que los sectores más pobres no demanden bienes y servicios ambientales si no se están cubriendo las necesidades básicas (Roca, 2003).

Por ello es por lo que no hay inversiones de los países en políticas y medidas medioambientales y tecnológicas, y es por esto mismo que la curva de mejora de calidad ambiental no se ha comenzado a invertir.

Se encuentran en etapas de efectos a escala, generados por la necesidad de usar la electricidad y transporte para sus procesos industriales de expansión en el que hay un deterioro de la calidad ambiental para poder sostener el crecimiento del producto (Grossman y Krueger, 1991).

Por otro lado, y muy importante, es la inversión extranjera que se está haciendo en ambos países. Bajo regulaciones débiles, mano de obra barata y recursos naturales que explotar, son un foco de atracción a capitales extranjeros. Esto genera efectos negativos respecto del comercio internacional, generando nuevos estudios de relocalización de emisiones como se plantea en el marco de la HPH (Cole y Elliot, 2005; MacDermott, 2009; Lan et al., 2011)

Si nos centramos en la UE, España ha estado, en términos de PIBpc de media 3 puntos por debajo de Italia, mientras éste se ha mantenido por encima o muy similar al conjunto de la UE. No obstante, la tendencia histórica a partir de 2005, como se ha comentado anteriormente es descendente, ya que todos los países de la UE han invertido en recursos y tecnología para que así sea, y la población valora y demanda un medio ambiente más limpio.

Además de Kyoto, es importante destacar el esfuerzo de la UE por reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, creando políticas propias. El denominado “Marco climático y energético de 2030” adoptado en 2014 y que incluye objetivos políticos a escala de la UE para el período comprendido entre 2021 y 2030.

Al menos un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (a partir de los niveles de 1990), al menos el 32% de participación en las energías renovables, y al menos un 32,5% de mejora en la eficiencia energética. (European Commission Website).

Esto hace de la UE pionera en la lucha contra el cambio climático.

### **3.4 Suministro energía primaria Italia-España**

Profundizando un poco más en una de nuestras variables, las fuentes de energía primaria, comparamos el caso de Italia con España por su similitud en evolución histórica en las variables de estudio, como hemos podido observar en los gráficos anteriores.

Como vemos en la figura 3.9, es interesante ver dada nuestra variable de análisis el CO<sub>2</sub>, cómo, aunque a lo largo del período las fuentes de energía primaria se han ido utilizando cada vez en mayor porcentaje (más en el caso de Italia), la tendencia general de emisiones de Co<sub>2</sub> generadas por éstas a lo largo del periodo ha sido descendente.

En 2017 España usa como fuentes de energía primaria el petróleo en mayor porcentaje (44%), seguido por el gas natural con el 21%, y con un 13% las energías renovables y residuos (aprovechando las características del país la eólica, solar o biomasa), 12% la energía nuclear y 10% el carbón.

Por su parte en Italia, las principales fuentes de energía primaria para ese mismo periodo son el petróleo con un 40%, otro 40% correspondería a gas natural, un 18% a energías renovables y un 2% a electricidad.

Como vemos comparativamente, Italia está apostando porque el gas natural tenga peso en su cadena de generación de energía primaria, como fuente menos contaminante y de mayor rendimiento que el petróleo, que puede ser utilizado en hogar, sector comercial e industrial.

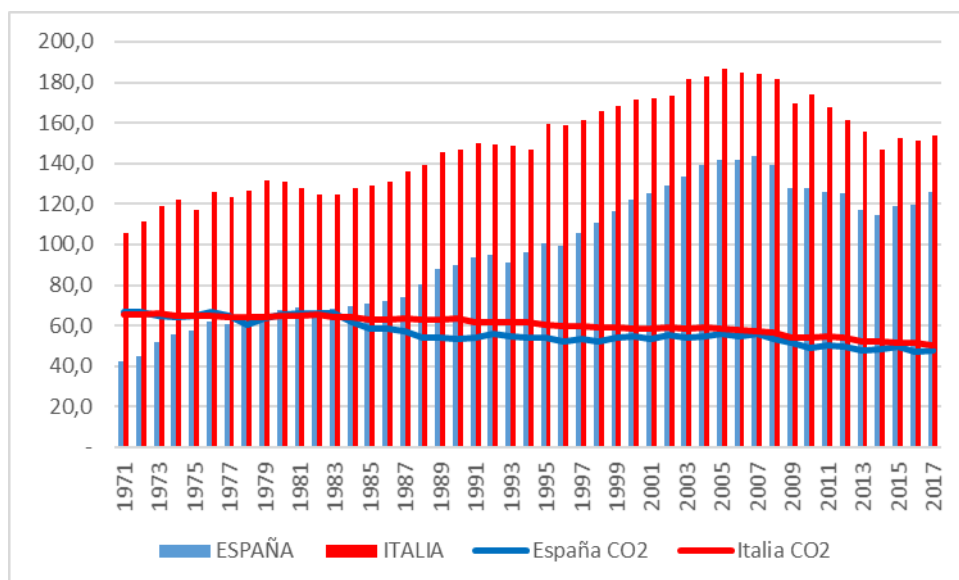
El esfuerzo de Italia ha sido mayor en el trabajo por reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que casi tiene el doble de toneladas para generar energía, pero España se mantiene prácticamente igual en las emisiones a lo largo del tiempo (debería de ser mucho menores).

Si hacemos un cálculo de emisión/suministro total de energía primaria en el periodo, para el caso de Italia sería de 2.828,8 toneladas de CO<sub>2</sub>, mientras que para España sería de 2.662,3tn.

En parte se debe a que Italia ha contado con más PIB de media, 1.702,93MM\$ frente a los 1.029,81 de España, por lo que el esfuerzo del país por reducir el efecto contaminante ha sido superior.

No obstante, ambos países han seguido una senda similar, como hemos analizado a lo largo de este apartado. Sus similitudes culturales y adaptación a normativas y acuerdos internacionales comunes han generado que la dinámica general esté llevando al cuidado por seguir creciendo económicamente, pero intentando aportar cada vez menor % de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

Figura 3.9. Fuente de energía primaria y emisiones CO<sub>2</sub> 1971-2017 España-Italia



Fuente: IEA 2019

## CAPITULO IV. APLICACIÓN ECONOMETRICA DE LA CKA

La metodología utilizada para contrastar la CKA es bastante similar en todos los estudios empíricos, compartiendo características, pero han sido varios los autores que han demostrado en sus estudios que la curva puede tomar formas distintas.

Shafik y Bandyopadhyay (1992) encontraron una relación únicamente creciente; otros quedeshmontan su existencia como Carson et al., 1997; Grossman y Krueger, 1993 y 1995, Torras y Boyce, 1998; Vincent, 1997. Moomaw y Unruh (1997) encontraron relaciones en forma de N; Roberts y Grimes (1997) encontraron diferencias en formas entre los países ricos (U invertida) y no tan ricos o pobres (Relación creciente) y autores como Egli (2002) o Pauli (2003) no encontraron conclusiones claras.

La forma funcional del modelo econométrico en términos de logaritmos que utilizaremos será el siguiente:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln X_t + \beta_2 \ln X_t^2 + \beta_3 \ln X_t^3 + \beta_4 Z_t + \beta_5 T_t + u_t$$

Con  $t=1971, \dots, 2017$ , y  $u_t$  término error del modelo que engloba otras variables que no aparecen explícitamente en el modelo, pero pueden afectarlo.

La variable endógena Y representa el CO2 per cápita, la exógena X el PIB per cápita, la Z como variable de control el consumo eléctrico per cápita y la T como variable de la tendencia temporal.

$\beta$  representa los coeficientes de las variables que afectan a Y, donde  $\beta_0$  representa el término constante.

Las posibles relaciones que pueden surgir de nuestra ecuación dependiendo de los signos que tomen nuestros parámetros son:

- i)  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ , no existe relación entre crecimiento económico y degradación ambiental
- ii)  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ . Relación creciente entre  $X_t$  e  $Y_t$
- iii)  $\beta_1 < 0$  y  $\beta_2 = \beta_3 = 0$ . Relación decreciente
- iv)  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  y  $\beta_3 = 0$  Relación en forma de U invertida (CKA)
- v)  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$  y  $\beta_3 = 0$  Relación en forma de U

vi)  $\beta_1 > 0$ ,  $\beta_2 < 0$  y  $\beta_3 > 0$  Relación en forma de N

vii)  $\beta_1 < 0$ ,  $\beta_2 > 0$  y  $\beta_3 > 0$  Relación en forma de N invertida

En el caso en el que hubiera relación de U invertida (CKA, en apartado iv), el punto de máximo (turning point) explicado por Grossman y Krueger (1991), expresado en esta fórmula:

$$X^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

A partir del programa econométrico “Gretl”, se procede a estimar el modelo especificado. El modelo irá cambiando en función de nuestros resultados hasta que finalmente lleguemos a una forma que nos lleve a tomar conclusiones.

#### 4.1 Modelo 1

El primer modelo que hemos estimado es el siguiente:

$$l\_CO2pc = -19,91 + 18,54 * l\_PIBpc - 5,42 * l\_PIBpc^2 + 0,53 * l\_PIBpc^3 + 0.004 * ELECtcpc - 0,02 * time$$

Donde:

$l\_CO2pc$ : logaritmo neperiano de CO2 per cápita.

$l\_PIBpc$ : Logaritmo neperiano de PIB per cápita.

$l\_PIBpc^2$ : Logaritmo neperiano de PIB per cápita al cuadrado.

$l\_PIBpc^3$ : Logaritmo neperiano de PIB per cápita al cubo.

$ELECtcpc$ : consumo eléctrico per cápita

$Time$ : tendencia temporal.

Se ha incluido la variable de tendencia temporal, debido a que de esta manera se garantiza la representación de los efectos de otras variables exógenas a largo plazo dependientes del tiempo, como el cambio de las políticas ambientales, el cambio tecnológico, los cambios en los gustos de los consumidores o manufacturas de productos y cambios en las preferencias de calidad ambiental.

Tabla 4.1 El Modelo 1 estimado por MCO

	<i>coeficiente</i>	<i>desv. Típica</i>	<i>estadístico-t</i>	<i>p-valor</i>
<b>constante</b>	-19,9126	9,76109	-2,04	0,0478**
<b><i>l_PIB pc</i></b>	18,5399	9,18215	2,019	0,05*
<b><i>l_PIB pc2</i></b>	-5,41608	2,87704	-1,883	0,0669*
<b><i>l_PIBpc3</i></b>	0,523452	0,301935	1,734	0,0905*
<b><i>ELEctcpc</i></b>	0,00387959	0,00043228	8,975	3,18e-011***
<b><i>time</i></b>	-0,0214768	0,00081111	-26,48	2,10e-027***
<b>R2</b>	0,985631	<b>R2 corregido</b>	0,983878	

**T=47** (Datos extraídos del modelo a partir de Gretl)

Cuadro 4.1 Contrastes Modelo 1

Contraste	Estadístico	P-valor	Valor del estadístico	valor crítico al 5%
<b>Forma funcional -RESET</b>				
H <sub>0</sub> : Especificación adecuada	F (2,39)	0,444	0,829075	3,24
H <sub>a</sub> : Especificación inadecuada				
<b>Heterocedasticidad-White(sólo cuadrados)</b>				
H <sub>0</sub> : Modelo homocedástico	LM	0,401678	9,394565	16,92
H <sub>a</sub> : Modelo heterocedástico				
<b>Heterocedasticidad-Breusch-Pagan</b>				
H <sub>0</sub> : Modelo homocedástico	LM	0,75361	2,650944	11,07
H <sub>a</sub> : Modelo heterocedástico				
<b>Normalidad-Jarque Bera</b>				
H <sub>0</sub> : El error se distribuye normalmente	Chi-cuadrado (2)	0,630887	0,921257	5,99
H <sub>a</sub> : El error no se distribuye normalmente				
<b>ARCH(1) y ARCH(2)</b>				
H <sub>0</sub> : Homocedasticidad (no hay efecto ARCH (1)/(2))	LM	0,44/0,67	0,598256/0,78	3,84/5,99
H <sub>a</sub> : Heterocedasticidad (hay efecto ARCH (1)/(2))				
<b>Chow (observación 2007)</b>				
H <sub>0</sub> : No hay cambio estructural	F (6,35)	0,4774	0,942711	2,37
H <sub>a</sub> : Hay cambio estructural				
<b>Autocorrelación-Breusch-Godfrey</b>				
H <sub>0</sub> : No hay autocorrelación	Chi-cuadrado (1/2)	0,14/0,0702	2,173873/5,313930	3,84/5,99
H <sub>a</sub> : Hay autocorrelación				

Fuente. Elaboración propia Excel y datos Gretl.

Mediante el contraste de RESET podemos determinar que el modelo tiene una especificación adecuada, ya que su  $p$ -valor=0,444 es superior a 0,05, por lo que aceptamos la hipótesis nula.

A través de los contrastes de White y Breusch-Pagan llegamos a la conclusión de que el modelo es homocedástico, ya que sus  $p$ -valor son superiores a 0,05, lo que implica que la varianza de los errores es constante a lo largo del tiempo.

El contraste de Jarque Bera indica que las perturbaciones del modelo se distribuyen como una normal ya que nos da un  $p$ -valor de 0,630887, muy superior al 5%, lo que nos lleva a aceptar la hipótesis nula.

A través del contraste de ARCH, tanto de orden uno como de orden dos, los  $p$ -valor son superiores a 0,05, por lo que, aceptamos la hipótesis nula de normalidad de las variables del modelo.

Chow nos indica que no existe cambio estructural para el año 2007 (crisis económica), y al hacer el contraste de Breusch-Godfrey de orden uno y orden dos, se obtiene un estadístico de contraste de 2,17 y 5,31 y un  $p$ -valor de 0,14 y 0,07 que permite aceptar la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación a nivel de significación 0,05. Concluimos por tanto que este modelo tiene no tiene ningún problema de autocorrelación.

En cuanto a la significatividad individual de los parámetros correspondientes al PIBpc, vemos que el  $l\_PIBpc$ , su término al cuadrado y su término al cubo tienen significatividad al 10%, ninguna de ellas es menor al nivel de significatividad del 5%.

Es importante destacar que la variable time es significativa al nivel de significación del 5% y nos da un coeficiente de -0,02, lo que significa que a largo plazo las emisiones de CO2 disminuyen, explicadas por las variables exógenas que representa.

En cuanto a la bondad del ajuste del modelo, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el cual mide la capacidad explicativa del modelo, en nuestro caso, nos señala que el 98% de la variación total de la variable dependiente, las emisiones de CO2, viene explicada por las variables explicativas del modelo.

Dichos parámetros apuntan a que las emisiones de CO2 tienden a aumentar con la renta alcanzando un máximo, pero después se revierte al aumentar el PIB por habitante, siendo

esto compatible con una CKA. Al volver a aumentar la renta, las emisiones alcanzarían un mínimo y volverían a crecer, por lo que nos salimos del objetivo de Kuznets, y la curva vuelve a incrementarse tomando forma de N.

### ***Turning point***

Tal y como hemos comentado, para este modelo nos encontraremos dos turning points, un máximo y un mínimo, que se corresponderán con los puntos en forma de N que arrojan los resultados.

Para el cálculo nos valemos de las derivadas. A partir de la primera derivada parcial de nuestra función en función del neperiano del PIBpc, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{dl_{CO2pc}}{dl_{PIBpc}} = \beta_1 + 2\beta_2 l_{PIBpc} + 3\beta_3 l_{PIBpc}^2$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado  $ax^2+bx+c=0$ , donde  $X=l_{PIBpc}$ , encontramos que la función tiene un máximo en el punto 3,15048 y un mínimo en 3,747417, es decir, que  $e^{3,15048}$  y  $e^{3,747417}$  nos genera una equivalencia de 23,35 y 42,41 miles de dólares per cápita.

El primer valor de 23,35 miles de dólares entra dentro de nuestro rango muestral del PIBpc, y estaría entre los años 1979 y 1980, en los que tenemos PIBpc de 23,1 y 23,9 miles de dólares respectivamente.

Por lo tanto, las emisiones de CO2 parecen crecer hasta el valor de 23,35 miles de dólares per cápita, y a partir de este valor, comenzarían a disminuir. Es decir, este es el primer punto de inflexión de la curva.

El segundo valor de mínimo en 42,41 miles de dólares está fuera de nuestro rango muestral de PIBpc, lo que nos indica que cuando se llegue a ese nivel de renta, la curva cambiará de tendencia y comenzarán a incrementarse las emisiones de CO2.

En nuestra muestra, y muy cercano al punto que nos da el modelo, el PIBpc máximo que encontramos es 37,1 miles de dólares, que coincide con 2007, año de crisis económica en la que las acciones y políticas se desvían para paliar los efectos económicos del momento,



dejando en un segundo plano las mejoras medioambientales, y como consecuencia de ello generando aumentos de CO<sub>2</sub> que vendrían explicados por ese punto.

## 4.2 Modelo 2

Bajo este primer modelo, procedemos a estimar un segundo en el que busquemos que nuestras variables de análisis, el PIBpc, adquieran significatividad individual al 5% y nos lleven a arrojar resultados positivos en contrastes y nos ayuden a explicarla CKA.

Para ello, incluimos la variable consumo eléctrico en logaritmo neperiano, con el objetivo de reducir la sensibilidad de la estimación a las observaciones extremas o atípicas que pueda haber en sus datos.

Tabla 4.2 El Modelo 2 estimado por MCO

	<i>coeficiente</i>	<i>desv. Típica</i>	<i>estadístico-t</i>	<i>p-valor</i>
<b>constante</b>	-45,7686	9,6608	-4,738	2,60e-05***
<b><i>l_PIB pc</i></b>	40,0722	9,07479	4.416	7,17e-05***
<b><i>l_PIB pc2</i></b>	-12,9508	2,79349	-4,636	3,59e-05***
<b><i>l_PIBpc3</i></b>	1,37937	0,287189	4,803	2,11e-05***
<b><i>l_ELEctcpc</i></b>	1,2706	0,161095	7,887	9,49e-010***
<b><i>time</i></b>	-0,0205352	0,00080917	-25,38	1,09e-026***
<b><i>R2</i></b>	0,983078	<b>R2 corregido</b>	0,981014	

(Datos extraídos del modelo a partir de Gretl)

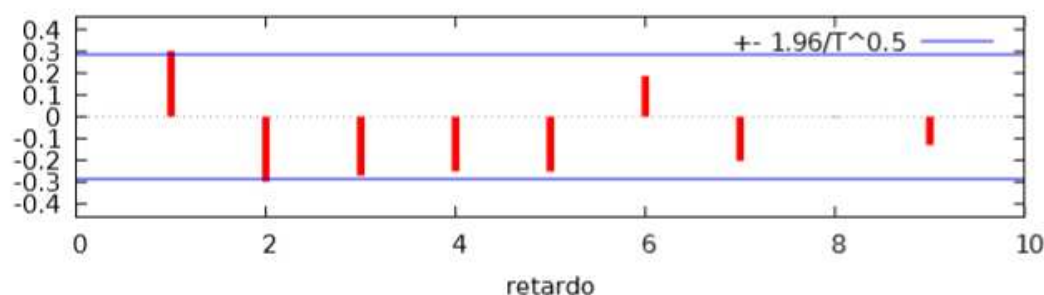
Los contrastes aplicados en este modelo son positivos, excepto el de autocorrelación que nos da problemas, su p-valor tanto de orden 1 como 2, son menores al 5%, por lo que rechazamos la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación a nivel de significación 0,05.

Cuadro 4.2 Contrastes modelo 2

Contraste	Estadístico	P-valor	Valor del estadístico	valor crítico al 5%
<b>Forma funcional -RESET</b>				
H <sub>0</sub> : Especificación adecuada	F (2,39)	0,591	0,53352	3,24
H <sub>a</sub> : Especificación inadecuada				
<b>Heterocedasticidad-White (sólo cuadrados)</b>				
H <sub>0</sub> : Modelo homocedástico	LM	0,196194	12,313741	16,92
H <sub>a</sub> : Modelo heterocedástico				
<b>Heterocedasticidad-Breusch-pagan</b>				
H <sub>0</sub> : Modelo homocedástico	LM	0,277316	12,6177	11,07
H <sub>a</sub> : Modelo heterocedástico				
<b>Normalidad-Jarque Bera</b>				
H <sub>0</sub> : El error se distribuye normalmente	Chi-cuadrado (2)	0,424272	1,71476	5,99
H <sub>a</sub> : El error no se distribuye normalmente				
<b>ARCH(1) y ARCH(2)</b>				
H <sub>0</sub> : Homocedasticidad (no hay efecto ARCH (1)/(2))	LM	0,055/0,0713	3,66/5,28	3,84/5,99
H <sub>a</sub> : Heterocedasticidad (hay efecto ARCH (1)/(2))				
<b>Chow (observación 2007)</b>				
H <sub>0</sub> : No hay cambio estructural	F (6,35)	0,5037	0,903287	2,37
H <sub>a</sub> : Hay cambio estructural				
<b>Autocorrelación- Breusch-Godfrey</b>				
H <sub>0</sub> : No hay autocorrelación	Chi-cuadrado (1/2)	0,0374/0,015	4,332011/8,395717	3,84/5,99
H <sub>a</sub> : Hay autocorrelación				

Fuente. Elaboración propia Excel y datos Gretl

Figura 4.2 Correlograma de los residuos modelo 2



Fuente. Programa Gretl.

Llegamos a la conclusión de que debido a la naturaleza de nuestros datos (series temporales), y con el fin de realizar una inferencia estadística válida, procedemos a estimar el modelo con mínimos cuadrados ordinarios con desviaciones típicas robustas a autocorrelación. De esta forma podremos eludir los problemas de autocorrelación que nos limitan a la hora de realizar inferencias estadísticas.

Cuadro 4.2.1. El Modelo 2 estimado por MCO con desviaciones típicas robustas a autocorrelación.

	<i>coeficiente</i>	<i>desv. Típica</i>	<i>estadístico-t</i>	<i>p-valor</i>
<b>constante</b>	-45,7686	8,87775	-5,155	6,79e-06***
<b><i>l_PIB pc</i></b>	40,0722	8,38173	4,781	2,26e-05***
<b><i>l_PIB pc2</i></b>	-12,9508	2,61269	-4,957	1,29e-05***
<b><i>l_PIBpc3</i></b>	1,37937	0,271919	5,073	8,87e-06***
<b><i>l_ELECTcpc</i></b>	1,2706	0,189474	6,706	4,29e-08***
<b><i>time</i></b>	-0,2	0,000759	-27,03	9,47e-028***
<b>R2</b>	0,983078	<b>R2 corregido</b>	0,981014	

$$l\_CO2pc = -45,77 + 40,07 * l\_PIBpc - 12,95 * l\_PIBpc^2 + 1,37937 * l\_PIBpc^3 + 1,2706 * l\_ELECTcpc - 0,02 * time$$

Como puede observarse, el cambio obtenido gracias al cálculo con desviaciones típicas robustas se encuentra en el estadístico t, habiendo conseguido con ello que nuestras variables sí sean significativas individualmente. En cuanto a nuestros contrastes, apenas existe variación y por tanto seguimos obteniendo los mismos resultados, solo que, en este caso, eludimos los problemas de autocorrelación.

### ***Turning point***

Resolviendo de nuevo la ecuación de segundo grado, encontramos que la función tiene un máximo en el punto 2,7942 y un mínimo en 3,4663, es decir, que  $e^{2,7942}$  y  $e^{3,4663}$  nos genera valores de 16,35 y 32,01 miles de dólares per cápita.

El primer valor de 16,35 miles de dólares es inferior al primer dato de PIBpc de nuestro rango muestral (1971=17,5 PIBpc), lo que nos lleva a pensar que, para Italia, ya habría superado el punto crítico.

El mínimo obtenido en nuestro modelo correspondería con la inversión de la curva de emisiones de manera creciente.

En este caso se sigue manteniendo una curva en forma de N, pero sus puntos críticos llegarían con rentas menores.

### 4.3 Modelo 3

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, hemos decidido estimar un nuevo modelo a partir del primero, pero obviando el logaritmo neperiano del PIB pc al cubo, que nos genera una curva en forma de N, y ver cómo se comportan el resto de las variables.

Primeramente, podemos decir que a primera vista se observa claramente una forma funcional lineal decreciente como ya se podía intuir. El primer modelo de forma cúbica no cumplía las significatividades de las variables, en este como se puede observar todas son significativas individualmente al 1%.

El nuevo modelo que proponemos es el siguiente:

$$I\_CO2pc = -3,11 + 2,6801 * I\_PIBpc - 0,434 * I\_PIBpc^2 + 0,0043 * ELECTcpc - 0,02 * time$$

Tabla 4.3 El Modelo 3 estimado por MCO

	<i>coeficiente</i>	<i>desv. Típica</i>	<i>estadístico-t</i>	<i>p-valor</i>
<b>constante</b>	-3,11949	1,23268	-2,531	0,0152**
<b>I_PIB pc</b>	2,68011	0,807747	3,318	0,0019***
<b>I_PIB pc<sup>2</sup></b>	-0,43389	0,13984	-3,103	0,0034***
<b>ELECTcpc</b>	0,00427844	0,00037461	11,42	1,87e-014***
<b>time</b>	-0,02223	0,00070058	-31,73	5,60e-031***
<b>R<sup>2</sup></b>	0,984577	<b>R<sup>2</sup> corregido</b>	0,983108	

Fuente. Programa Gretl.

Cuadro 4.3. Contrastes modelo 3

Contraste	Estadístico	P-valor	Valor del estadístico	valor crítico al 5%
<b>Forma funcional -RESET</b>				
H0: Especificación adecuada	F (2,40)	0,403	0,928747	3,23
Ha: Especificación inadecuada				
<b>Heterocedasticidad-White (sólo cuadrados)</b>				
H0: Modelo homocedástico	LM	0,627883	5,263161	14,07
Ha: Modelo heterocedástico				
<b>Heterocedasticidad-Breusch-pagan</b>				
H0: Modelo homocedástico	LM	0,593414	2,790844	9,49
Ha: Modelo heterocedástico				
<b>Normalidad-Jarque Bera</b>				
H0: El error se distribuye normalmente	Chi-cuadrado (2)	0,424272	1,71476	5,99
Ha: El error no se distribuye normalmente				
<b>ARCH(1) y ARCH(2)</b>				
H0:Homocedasticidad(no hay efecto ARCH (1)/(2))	LM	0,8598/0,979	0,0312/0,041	3,84/5,99
Ha: Heterocedasticidad (hay efecto ARCH (1)/(2))				
<b>Chow (observación 2007)</b>				
H0: No hay cambio estructural	F (5,37)	0,2325	1,44146	2,47
Ha: Hay cambio estructural				
<b>Autocorrelación- Breusch-Godfrey</b>				
H0: No hay autocorrelación	Chi-cuadrado (1/2)	0,0988/0,0921	2,724339/4,769824	3,84/5,99
Ha: Hay autocorrelación				

Fuente. Elaboración propia Excel y datos Gretl

Como se observa en el cuadro 4.3, el modelo cumple con todos los contrastes a un nivel de confianza del 95%. Además, no parece existir problemas de autocorrelación atendiendo al contraste de Breusch-Godfrey de autocorrelación. Por último, debemos comentar que las variables utilizadas constan de p-valores muy cercanos a cero, por lo que se entiende que son significativas individualmente.

### ***Turning point***

Para este modelo, observamos que, a partir de un cierto nivel crítico de la renta per cápita, la degradación medioambiental es una función decreciente de la renta, es decir, mayores niveles de renta provocarían mejoras en la calidad medioambiental. A continuación, calculamos el Turning Point: Cabe destacar que conocemos la existencia de este punto crítico debido a la forma funcional especificada y los signos de los parámetros de nuestro modelo. Como comentábamos al inicio de este trabajo, el hecho de tener un  $\beta_1 > 0$  y un

$\beta_2 < 0$  hace de la función una parábola con forma de “U” invertida. De ahí que ya nos dé a entender esta forma.

Para el cálculo nos valemos de las derivadas. A partir de la primera derivada parcial de nuestra función en función del neperiano del PIBpc, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\frac{dl\_CO2pc}{dl\_PIBpc} = \beta_1 + 2\beta_2 l\_PIBpc$$

Despejando y sustituyendo los parámetros por los valores estimados obtenemos que el óptimo se encuentra en  $l\_PIBpc^* = 3,0884556$ . Comprobando con la segunda derivada obtenemos un valor tal que  $-0,86778 < 0$  luego sí y solo sí,  $l\_PIBpc=3,0884556$  es máximo de nuestra función. Es decir,  $e^{3,0884556}$ , se correspondería con 21,943 miles de dólares per cápita en su punto crítico. A partir de este valor, las emisiones de CO2 disminuirían.

Esto significa que a partir de ese punto la curva tiene una forma decreciente, y que Italia, como economía desarrollada, aporta reducción en las emisiones de CO2 conforme aumenta su economía.

Es importante destacar que la variable time nos da un coeficiente de -0,02, que significa que a largo plazo las emisiones de CO2 disminuirían.

Si comparamos este modelo con el modelo 1, observamos que los turning point encontrados son muy similares (23,35 y 21,94). Cabe destacar en comparativa, que en el modelo 1, al incorporar el término del PIBpc al cubo, genera que las emisiones de CO2 per cápita vuelvan a aumentar.

Esto puede ser debido a que, tras un giro en la curva contaminante y la tendencia negativa de la misma, el país tiende a relajarse o no sabe o puede mantener las políticas medioambientales, la eficiencia en el uso de combustibles fósiles, la inversión en tecnologías eficientes o en la cantidad de ahorro de energía.

Es un ejemplo también de que quizás la capacidad de energías renovables, políticas públicas, o inversión en transportes más ecológicos (como híbridos o eléctricos) en los que Italia apuesta, no son lo suficientemente grandes como para cubrir el crecimiento en la demanda global de mejoras medioambientales.

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES**

Este trabajo ha tenido como objetivo contrastar el cumplimiento de la curva ambiental de Kuznets, relacionando la renta per cápita y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el periodo 1971-2017, para el país de Italia.

Llegamos a la conclusión de que todos los modelos calculados confirman que, ante el aumento de la renta per cápita del país, las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyen, de ser así, estaría explicada la CKA.

Si observamos la variable de control analizada de consumo eléctrico, en ninguno de los modelos nos indica que esté relacionado de forma negativa con las emisiones, lo que nos advierte que el país no ha buscado alternativas para que a lo largo del tiempo cambie esa tendencia y que es una fuente de energía que seguirá siendo contaminante cuando más riqueza tenga el país.

Sin embargo, otras muestran que las mejoras ambientales no dependen solo del crecimiento económico, como nos muestra la variable de tendencia temporal, que engloba mejoras tecnológicas, políticas ambientales... y que adquiere forma negativa en todos nuestros modelos, y que además es estadísticamente significativa. Esto nos indica que a largo plazo y con factores exógenos que no hemos analizado en este estudio, las emisiones de Co<sub>2</sub> disminuirían. Indica que el progreso técnico, en el contexto de una regulación adecuada, es fundamental para reducir los niveles de contaminación (Anderson y Cavendish, 2001).

Italia muestra una reducción de los niveles de emisiones con una estructura de la economía apoyada principalmente en los servicios, una mejor eficiencia energética, moderados niveles de consumo de combustibles de origen fósil y una mayor preocupación por los temas ambientales.

Sin embargo, como hemos visto en el modelo 1, la tendencia al seguir aumentando el PIBpc del país genera una curva en forma de N, lo que indicaría que los beneficios que se puedan lograr, en cuanto a la disminución de emisiones de co<sub>2</sub>, debido a un mayor crecimiento económico y un aumento en la eficiencia tecnológica son transitorias. Las opciones de reducción de emisiones se agotan o bien sus costos tienden a incrementarse, y en consecuencia no se logran reducciones significativas en la degradación ambiental.

También, se genera un traslado de los de los procesos de producción que generan emisiones, de países de mayor ingreso hacia países que no aplican una regulación estricta en materia ambiental (Rothman, 1998).

Finalmente, debe considerarse que las regulaciones ambientales tienden a ser más estrictas en un contexto donde aquellos que son afectados por la degradación ambiental tienen mecanismos claros de defensa y compensación (Torras y Boyce, 1998). Por tanto, no es exclusivamente en los períodos de crecimiento económico en donde las regulaciones ambientales son efectivas, sino que debe considerarse la capacidad institucional de los gobiernos para lograr reducciones significativas en el deterioro ambiental.



## **BIBLIOGRAFÍA y WEBGRAFIA**

GROSSMAN, G. y KRUEGER, A. (1991): "*Environmental impacts of North American free trade agreement*". Cuadernos de economía, Vol. 35, N° 97, páginas 43- 54.

KUZNETS, S. (1955): "Economic growth and income inequality". American Economic Review N° 49, páginas 1-28

PANAYOTOU, T. (1993): "Empirical Test and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development". Working Paper WP238 Technology and Employment Programme, Geneva: International Labour Office.

SHAFIK, N. y BANDYOPADHYAY, S. (1992): "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence". Policy Research Working Paper, World Development Report, WPS 904

IEA (2019), CO2 Emissions from Fuel Combustion (database)

IEA (2019), World Energy Balances (database)

BECKERMAN, W. (1992): "Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?". World Development, Vol. 20, N° 4, páginas 481-496

ZILIO, M. (2012): "Curva de Kuznets ambiental: la validez de sus fundamentos en países en desarrollo". Cuadernos de economía N° 35, páginas 43-54.

**Web Comisión Europea;** <https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030#tab-0-0>

**Datos Banco Mundial,** <https://databank.bancomundial.org/home.aspx>

**Convención Marco de Naciones Unidas (1992),** <https://unfccc.int/>

**ANEXO 1. Estadísticos básicos de variables utilizadas en el trabajo**

<b>ITALIA</b>	Máximo	Minimo	Media	Desviación típica
CO2 total	456,43	289,40	372,74	43,48
CO2 pc	7,87	5,25	6,50	0,74
PIB total	2.182,05	944,69	1.702,93	375,14
PIB pc	37,12	17,47	29,56	5,93
Población	60,79	54,07	57,36	1,75
Total de suministro de energía primaria	186,37	105,40	149,02	22,27

<b>CHINA</b>	Máximo	Minimo	Media	Desviación típica
CO2 total	9.301,97	789,41	3.723,73	2.855,61
CO2 pc	6,77	0,93	2,96	1,95
PIB total	21.200,55	445,01	5.533,13	6.021,10
PIB pc	15,21	0,53	4,25	4,30
Población	1.393,79	845,15	1.165,86	167,23
Total de suministro de energía primaria	3.077,45	394,09	1.307,08	863,48

<b>JAPON</b>	Máximo	Minimo	Media	Desviación típica
CO2 total	1.234,05	751,00	1.027,15	140,16
CO2 pc	9,69	6,91	8,36	0,80
PIB total	4.827,65	1.605,91	3.545,83	1.016,64
PIB pc	38,10	15,30	28,62	7,13
Población	128,05	104,98	122,40	6,40
Total de suministro de energía primaria	524,20	267,53	424,81	77,73

<b>INDIA</b>	Máximo	Minimo	Media	Desviación típica
CO2 total	2.161,57	181,06	822,98	596,79
CO2 pc	1,61	0,32	0,78	0,40
PIB total	8.436,88	655,06	2.679,37	2.181,63
PIB pc	6,30	1,13	2,50	1,47
Población	1.339,18	566,23	946,48	238,73
Total de suministro de energía primaria	881,95	151,84	408,36	220,10

<b>UE</b>	Máximo	Mínimo	Media	Desviación típica
CO2 total	3.440,52	2.613,27	3.087,82	191,02
CO2 pc	9,39	6,19	8,04	0,78
PIB total	3.440,52	6.401,66	3.087,82	191,02
PIB pc	39,71	18,04	29,86	6,86
Población	421,97	354,86	385,59	19,43
Total de suministro de energía primaria	1.571,18	1.058,74	1.357,21	141,28

<b>EEUU</b>	Máximo	Mínimo	Media	Desviación típica
CO2 total	5.729,87	4.289,04	4.982,30	443,89
CO2 pc	22,13	14,61	18,99	1,84
PIB total	17.348,63	4.915,41	10.562,55	3.910,07
PIB pc	53,22	23,67	38,58	9,35
Población	325,98	207,69	265,11	36,89
Total de suministro de energía primaria	2.337,47	1.587,62	2.007,03	224,99

<b>ESPAÑA</b>	Máximo	Mínimo	Media	Desviación típica
CO2 total	337,86	119,09	223,49	56,75
CO2 pc	3,44	3,44	3,44	1,06
PIB total	1.568,02	497,74	1.029,81	346,87
PIB pc	33,71	14,38	24,75	6,33
Población	46,77	34,62	40,76	3,72
Total de suministro de energía primaria	143,83	42,61	96,78	30,30

## ANEXO 2

<b>Países participantes en el Protocolo de Kioto</b>
EEUU
Unión Europea
Argentina
Canadá