



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis de los efectos de los gases
contaminantes en los sectores productivos en
España (2008-2019)

Autor

Samuel Fernández Medrano

Director

Sofía Jiménez Calvo

Facultad de Economía y Empresa
2021

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. CONTEXTO.....	12
2.1 Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca.....	19
2.2. Industria extractiva.....	21
2.3. Industria manufacturera.....	23
2.4. Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y agua.....	25
2.5. Construcción.....	27
2.6. Otros servicios.....	28
2.7. Transporte y almacenamiento.....	29
2.8. Hogares.....	30
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1. Indicadores.....	32
3.2. Datos de Panel	35
3.3. Contraste de Harris-Tzavalis.....	35
3.4. Matriz Correlación.....	37
3.5. Modelo MCO.....	38
3.5.1. Contraste LM no linealidad-log.....	38
3.5.2. Contraste PE de linealidad.....	39
3.5.3. Elección del modelo mejor especificado para explicar la relación.....	39
3.5.4. Resto de Modelos.....	40
3.5.5. Casos especiales.....	40
3.5.6. Resultados.....	52
4. CONCLUSIÓN.....	55
5. BIBLIOGRAFÍA.....	57

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Evolución Emisiones GEI 2005-2019 MTCO ₂ eq	12
Gráfico 2. Emisiones GEI 1990 a 2019 y Proyecciones 2020 a 2040 MTCO ₂ eq	13
Gráfico 3. Evolución PIB España 2005-2020 en M€.	14
Gráfico 4. Emisiones GEI España 2019.....	15
Gráfico 5. Emisiones GEI España 2020 Fuente Observatorio de Sostenibilidad.....	16
Gráfico 6. Emisiones GEI 2019.....	16
Gráfico 7. Variación Producción Industrial en España 2016-2020	17
Gráfico 8. Evolución Emisiones GEI España 2008- 2019.....	18
Gráfico 9. Evolución de Emisión de partículas y gases contaminantes en España 2008-2018.	18
Gráfico 10. Emisiones NO ₂ por sectores (MTCO ₂ eq).....	19
Gráfico 11. Emisiones CH ₄ 2018.....	20
Gráfico 12. Cabezas de Ganado 2016.....	20
Gráfico 13. Toneladas Fertilizantes Nitrogenados	21
Gráfico 14. Valor de producción industria extractiva 2005-2018.....	22
Gráfico 15. Porcentaje Emisiones Gases 2018 de un total de 18.683,40 MTCO ₂ eq.....	23
Gráfico 16. Emisiones GEI 2019 Industria manufacturera.....	24
Gráfico 17. Emisiones totales CO ₂ por sectores 2019.....	24
Gráfico 18. Emisiones gases GEI 2019 suministro eléctrico gas y vapor.....	25
Gráfico 19. Generación de electricidad 2020.....	26
Gráfico 20. Emisiones GEI construcción 2019.....	27
Gráfico 21. Emisiones GEI otros servicios 2019.....	28
Gráfico 22. Emisiones GEI Transporte y almacenamiento 2019.....	30
Gráfico 23. Emisiones de Gases y Partículas contaminantes 2018.....	30
Gráfico 24. Porcentaje emisiones GEI de los Hogares 2019 en MTCO ₂ eq.....	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Gases de Efecto Invernadero.....	32
Tabla 2: Resto de gases contaminantes.....	34
Tabla 3: Variables independientes.....	35
Tabla 4: Contraste Harris-Tzavalis.....	36
Tabla 5: Matriz correlación.....	38
Tabla 6: MCO: Modelo 1.....	41
Tabla 7: MCO: Modelo 2.....	42
Tabla 8: RAUX PE.....	42
Tabla 9: Modelo MCO d_N2O con desviaciones típicas robustas.....	43
Tabla 10: Modelo MCO d_PFC.....	43
Tabla 11: Modelo MCO d_SF6.....	44
Tabla 12: Modelo MCO d_CH4.....	45
Tabla 13: Modelo MCO d_HFC, sin problemas de heterocedasticidad.....	46
Tabla 14: Modelo MCO CO2.....	46
Tabla 15: Modelo MCO PM25.....	47
Tabla 16: Modelo MCO 1_PM10.....	48
Tabla 17: Modelo MCO 1_NH3.....	48
Tabla 18: Modelo MCO CO.....	49
Tabla 19: Modelo MCO COVNM.....	50
Tabla 20: Modelo MCO 1_NOX.....	50
Tabla 21: Modelo MCO SOX.....	51
Tabla 22: Modelo MCO d_GEI.....	52

Autor: Samuel Fernández Medrano.

Director: Sofía Jiménez Calvo.

Título: Análisis de los efectos de los gases contaminantes en los sectores productivos en España (2008-2019).

Titulación: Grado en Economía.

Resumen:

En un contexto mundial de lucha contra el calentamiento global y reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI), y conforme a los acuerdos suscritos por España, especialmente el Acuerdo de París de 2015. En este trabajo se pretende analizar qué tipo de relación existe entre las variaciones del PIB en España, en el uso de energía eléctrica, el uso de energías renovables y el signo de las variaciones de emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera durante el período comprendido entre 2008 y 2018. Para ello se ha estudiado el impacto que tiene cada gas, en especial el de los gases GEI, en el medio ambiente describiendo sus efectos sobre los sectores productivos más importantes, siendo estos la industria, el transporte y los usos diversos. Una vez desarrollada la parte explicativa de los gases y los sectores se estiman los modelos en la parte econométrica y finalmente se cierra el trabajo llegando a unas conclusiones según los resultados obtenidos, observando que los aumentos de PIB relacionados con la producción, conllevan aumentos de emisiones dada la apuesta todavía importante por las energías de origen fósil y la dificultad de almacenamiento de las energías renovables.

Abstract:

In a worldwide context of fight against global warming and reduction of greenhouse gas (GHG) emissions, and in accordance with the agreements signed by Spain, especially the Paris Agreement of 2015. This paper aims to analyze what kind of relationship exists between changes in GDP in Spain, in the use of electricity, the use of renewable energy and the sign of changes in GHG emissions to the atmosphere during the period between 2008 and 2018. For this purpose, the impact of each gas, especially that of GHG gases, on the environment has been studied, describing its effects on the most important productive sectors, these being industry, transport and miscellaneous uses.

Once the explanatory part of the gases and the sectors has been developed, the models are estimated in the econometric part and finally the work closes with some conclusions according to the results obtained, observing that the increases in GDP related to production, entail increases in emissions given the still important bet on fossil fuels and the difficulty of storing renewable energies.

1. INTRODUCCIÓN

La humanidad se ha enfrentado a lo largo de su historia a grandes retos socioeconómicos, que han impulsado un cambio en su estructura social, en sus modelos económicos o en su forma política. Hechos históricos como la abolición de la esclavitud, las dos grandes Guerras Mundiales o la Revolución Rusa de 1917, entre otros, produjeron cambios profundos que marcaron el devenir histórico que rige la actualidad en el orden mundial.

Pero mientras las sociedades avanzan, si bien es cierto, en distintos grados de desarrollo, hay amenazas que acechan al futuro del planeta y por extensión a toda la humanidad, como es el calentamiento global del planeta.

Fue con motivo de la celebración de la denominada Cumbre de la Tierra (1972) que tuvo como sede Estocolmo, y en la que participaron 113 países, en la que se le otorgó la consideración de problema global al cambio climático y en su declaración se propusieron más de 100 recomendaciones para controlar las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero.

Por lo tanto, este cambio climático, en parte provocado fundamentalmente por el incremento en las últimas décadas de emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono, ha provocado un aumento significativo de fenómenos atmosféricos adversos derivados de este calentamiento global del planeta, con las olas de calor, sequías, huracanes e inundaciones cada vez más intensos. Ante estos desastres, diversos estudios científicos pronostican que, como consecuencia del ascenso de la temperatura global, se producirá un aumento del nivel del mar, persistentes sequías, así como intensas migraciones desde el hemisferio sur hacia el hemisferio norte en no mucho tiempo.

Timothy M. Lenton (2019) publicaba en la revista *Nature* un estudio en el que exponía que estamos ante una emergencia climática en el que peligra la estabilidad y la resiliencia del planeta, e indicaba que los actuales niveles de CO₂ se encuentran a niveles del período Plioceno, datado alrededor de hace 4 millones de años, concluyendo que nos encaminamos a niveles del Eoceno donde la temperatura era de media 14 °C superior a la del período preindustrial.

Por otra parte, Carrington, D (2019) publicó un artículo en *The Guardian* en el que analizaba cómo en la actualidad los glaciales se deslizan al mar cinco veces más

rápido que en la década de los 90, y de cómo el espesor de los mismos debido al calentamiento del mar había disminuido en algunas regiones hasta 100 metros.

Otros estudios científicos, ya alertaban en la década del 2000 de que el cambio climático estaba afectando a la biodiversidad del planeta, alterando los ecosistemas y proveyendo la propagación de enfermedades transmitidas por vectores como la malaria o el dengue, y que podrían provocar pandemias que afectarían a la salud de la población y a las economías mundiales.

Si bien la amenaza climática es global, no todos los países están comprometidos en la lucha para disminuir gradualmente la emisión de gases contaminantes. Las distintas conferencias sobre el clima, desde la primera en Estocolmo (1972) hasta la más reciente (COP25), organizada por Naciones Unidas, y celebrada en Madrid, ni la transcendental (COP21) Cumbre del Clima de París de 2015, se han saldado con grandes discrepancias o con acuerdos laxos que en poco comprometen a los países más contaminantes y mayores emisores de gases efecto invernadero, o bien, se alinean con las teorías negacionistas del cambio climático o ven graves riesgos económicos para el mantenimiento de su poder hegemónico mundial, como sucedió con la administración Trump o con el gobierno de China que mantienen su apuesta por las centrales térmicas en base al carbón.

Los mecanismos para lograr una disminución de emisiones de gases han variado a lo largo del tiempo en función de los grados de compromisos y conciencia del peligro para la sostenibilidad del planeta. Tras las recomendaciones consensuadas en Estocolmo (1972) no fue hasta la cumbre de Kioto (1997), en donde inicialmente 81 países firmaron unos compromisos concretos, así como un calendario para disminuir sus emisiones de los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbono (HFC) y perfluorocarbono (PFC)). En este acuerdo, establecía un mercado de carbono por el que se marcaban unos denominados derechos de emisión que se podían comprar o vender según las necesidades de cada país con objeto de equilibrar su balanza de emisiones netas de CO₂.

En este sentido, para poder establecer una medida estándar de emisiones para todos los países, se desarrolló un modelo de cálculo global de emisiones a través del Modelo económico Input-Output creado por Wassily Leontief (1905-1999), y que se

aplica a las emisiones ligadas al comercio internacional, en el que se evalúan las emisiones de los 6 gases de efecto invernadero que establecía la Conferencia de Kioto y a 3 gases de contaminación ambiental local (óxidos de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y amoníaco (NH₃)). En este modelo económico, tenemos que considerar, tal y como defienden los economistas Muskgard y Pedersen (2001) el computo de las emisiones de cada país desde dos perspectivas, por un lado, las atribuibles a su papel como productor de bienes y servicios, que tiene un carácter predominante en la exportación, y por otro lado, a la demanda interior de los consumidores finales, en la que predomina la importación de bienes.

En este sentido es importante subrayar, las controversias expresadas por diferentes economistas, en relación a si el desarrollo económico de un país, es decir, si al aumento de la riqueza tiene una influencia en el aumento o reducción de emisiones. Para ello, se desarrolló la Curva de Kuznets Ambiental (CAK), en la que se relaciona la calidad ambiental y el nivel de renta per cápita. Esta curva marca una clara trayectoria de U invertida, por la que concluye que en el corto plazo existe un deterioro del medio ambiente ante un aumento de renta per cápita, pero que a largo plazo la tendencia se invierte y mejora la calidad ambiental.

Según datos del INE, España no es un ejemplo de esta curva ya que en 1990 tenía una renta per cápita que ascendía a 10.331 euros con una emisión total de 286 millones de toneladas de gases de efecto invernadero, sin embargo, en 2018 la renta ascendía a 25.770 euros mientras que las emisiones lejos de disminuir, y a pesar del recorte respecto a los altos niveles registrados del 2004 al 2007, el total de emisiones era de 340 millones de toneladas.

Si bien un aumento de la riqueza nacional permite la inversión en tecnologías y la gestión de residuos, no es menos cierto, que la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero no va a la misma velocidad.

Pero no debemos obviar, que estos compromisos firmados tras las distintas Cumbres están provocando una disminución en la dependencia del petróleo y del carbón y una apuesta por la inversión en energías limpias, con el objetivo de modificar los mix energéticos para impedir que siga elevándose la temperatura del planeta.

Pero existe también la incertidumbre de calcular el coste de pérdida de PIB que supone esta transición energética y la duda de hasta qué punto los avances tecnológicos

en el desarrollo de energía renovables lograrán suplementar la energía proveniente de los combustibles fósiles.

El economista Jeffrey Sachs (2007) tras estudiar la evolución del PIB de la economía estadounidense, concluía que el gasto adicional respecto al costo normal de energía, suponía tan solo un incremento de entre 1 y 2% del PIB anual hasta 2050, nada comparado con el incremento del gasto en un 43% del PIB que supuso la Segunda Guerra Mundial.

La trayectoria de España en relación con la implantación e inversión en tecnologías para el desarrollo de energía renovables ha tenido muchos vaivenes legislativos, en gran medida provocados por la crisis económica del 2008 y por la necesidad de incrementar los ingresos del estado, que modificó toda la estrategia energética iniciada desde el 2004.

Si bien es cierto, que la apuesta del gobierno en el 2004 buscaba el desarrollo tecnológico de energías mediante la incentivación y primas a la generación de electricidad mediante la energía limpias, sobre todo a través de fuentes eólica y solar, este hecho generó un crecimiento exponencial de la deuda tarifaría que ascendía en mayo del 2013 a 26.062 millones de euros, según datos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Este déficit, según la misma fuente, estaba provocado por que los ingresos no cubrían los costes del sistema, debido especialmente a las primas concedidas a las renovables y a la amortización de la deuda.

Es por ello, que en el año 2014 se promulgó un RD 413/2014, por el que se regulaba la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables, cogeneración y residuos en el que se regulaban los regímenes retributivos, estableciendo el concepto de rentabilidad razonable.

Pero a pesar de vaivenes legislativos, (fuente Red Eléctrica Española) si en 2010 el peso de las energías renovables en la generación de electricidad suponía un 33,2%, en 2019 ascendía hasta el 37,5%.

Además, las energías no emisoras de CO₂, entre las que incluimos la nuclear, suponían el 54,8% de la producción de electricidad en 2010, alcanzando el 59,6% diez años después.

Lo que se ha conseguido claramente en esta última década es una caída de la dependencia del carbón de un 13% a un 5% siendo sustituido, principalmente por el ciclo combinado, en cierto modo, motivado por un descenso en los precios de los combustibles fósiles lo que abarata el uso del gas natural como energía base de la producción y a que el precio del carbón se mantiene entorno a 90 euros (2019) y a que continua siendo la energía más contaminante generando una tonelada de CO₂ por cada MWH que se produce frente a 450 kg que produce el gas utilizado en el ciclo combinado.

Pero, a esta amenaza climática se le ha unido los estragos que está provocando la pandemia por COVID-19, y que nos retraen a las crisis socio-económicas de 2008 o a la de Gran Depresión de 1929.

Existe el peligro de que las grandes potencias mundiales vuelvan a la utilización de energías fósiles contaminantes en detrimento de energías limpias en busca de un rápido restablecimiento a niveles pre-pandemia de su economía.

En este trabajo se pretende realizar un estudio de cómo está compuesto el mix energético español, de cómo han evolucionado las emisiones de gases de efecto invernadero y partículas contaminantes en España en los últimos años, significando que sectores son los más contaminantes y concluyendo con una aproximación a los datos del año 2020 en los que observaremos cómo y en qué sectores, ha influido el COVID-19 en la evolución de emisiones de estos gases.

2. CONTEXTO

Cuando a instancias de las Naciones Unidas en 2015 se celebró la Cumbre del Desarrollo Sostenible en New York, los gobiernos más influyentes del mundo conocían los retos a los que la humanidad se enfrentaba debido a las consecuencias, cada vez más evidentes, derivadas del calentamiento global como a consecuencia del cambio climático.

De hecho, en esa Cumbre se aprobó un plan denominado Agenda 2030 cuyos objetivos abarcan, de forma global, todos los problemas que acechan al planeta y a la población, buscando luchar contra las desigualdades, favoreciendo el desarrollo económico sin poner en peligro la sostenibilidad del planeta, en resumen, hacer un mundo habitable, en los que todos tengan acceso a los recursos básicos para la supervivencia, más productivo y menos contaminante.

España como firmante de esta Agenda 2030 está comprometida con sus 17 objetivos, del que el decimotercer objetivo apuesta de forma decidida por la adopción de medidas urgentes con el fin de combatir los efectos del cambio climático, consecuencia de este objetivo, en la Cumbre del Clima de París de 2016 se adoptó el compromiso de limitar el aumento de la temperatura del planeta a menos de 2 °C.

En esta gráfica podemos observar la evolución histórica de España del total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los distintos sectores productivos.

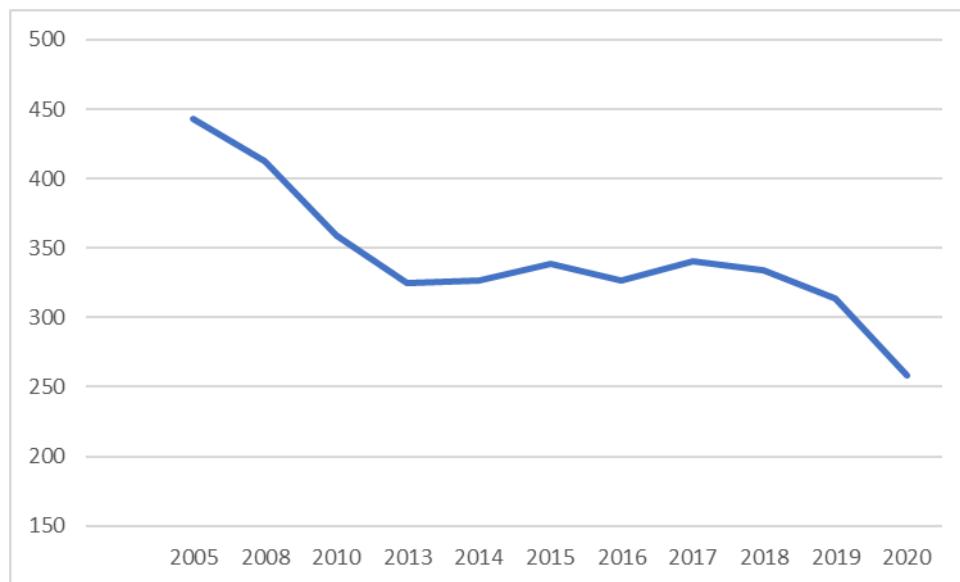


Gráfico 1. Evolución Emisiones GEI 2005-2019 MTCO₂eq Fuente INE y Observatorio de Sostenibilidad.

Si bien, analizando esta serie histórica, se observa que desde el 2005 se ha ido produciendo un suave descenso, España está todavía muy lejos de una cuota de emisiones cero, reto fijado por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico para el año 2030. La reducción en las emisiones de un 6,2% en el año 2019 respecto al anterior, es un avance, aunque insuficiente en aras al objetivo marcado.

Las proyecciones realizadas por el citado ministerio quedan reflejadas en el siguiente gráfico en el que se observa la evolución histórica desde 1990, así como la previsión WeM, que representa un escenario tendencial, que difiere de la previsión WaM, que incluye medidas adicionales, y que refleja una importante disminución de emisiones en 2040. Hay que significar, que el Ministerio no ha tenido en cuenta a la hora de realizar estas proyecciones las variaciones provocadas por el impacto en la economía del COVID 19.

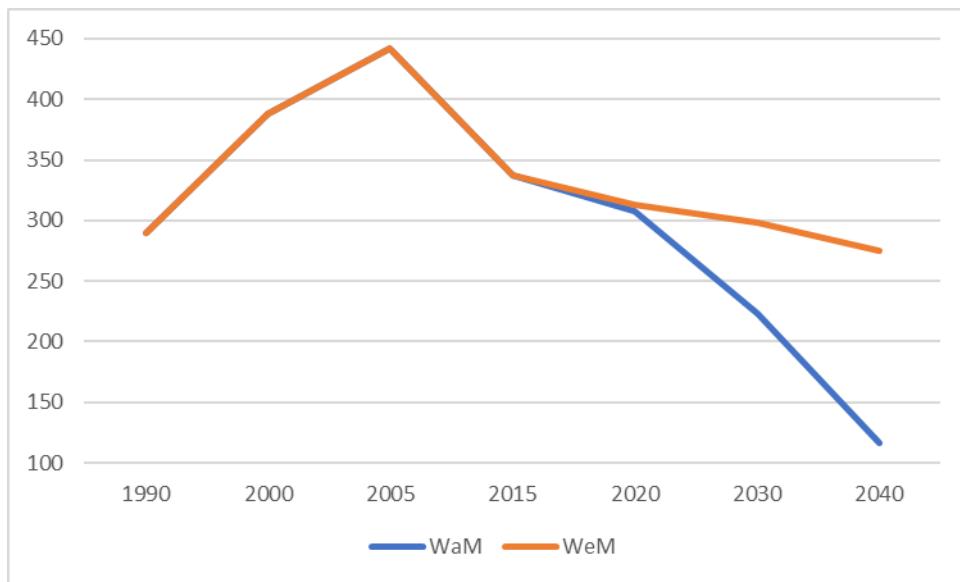


Gráfico 2. Emisiones GEI 1990 a 2019 y Proyecciones 2020 a 2040 MTCO₂eq Fuente: Ministerio Transición Ecológica y Reto Demográfico

España ha firmado distintos compromisos con el objetivo de reducir las emisiones GEI, las políticas ambientales en España han estado muy condicionadas por la realidad económica, basada en una alta dependencia del petróleo, con un escaso peso de la energía nuclear y con una importante industria cementera y urbanística que ha servido junto al turismo de motores de la economía en los momentos de mayor

crecimiento. Si a esto, le añadimos la importancia del sector primario, especialmente la agricultura y la ganadería, con el uso de fertilizantes e importantes explotaciones de vacuno y porcino, una política de transporte con un importante peso del transporte por carretera, con un parque automovilístico de más de diez años y una escasa implantación de vehículo eléctrico, podemos comprobar que los niveles de emisiones GEI están muy por encima de lo comprometido.

En este sentido, las mayores caídas de emisiones GEI corresponden con períodos de crisis económica, con una importante reducción de la actividad económica y del comercio interior e importantes crecimientos en el desempleo.

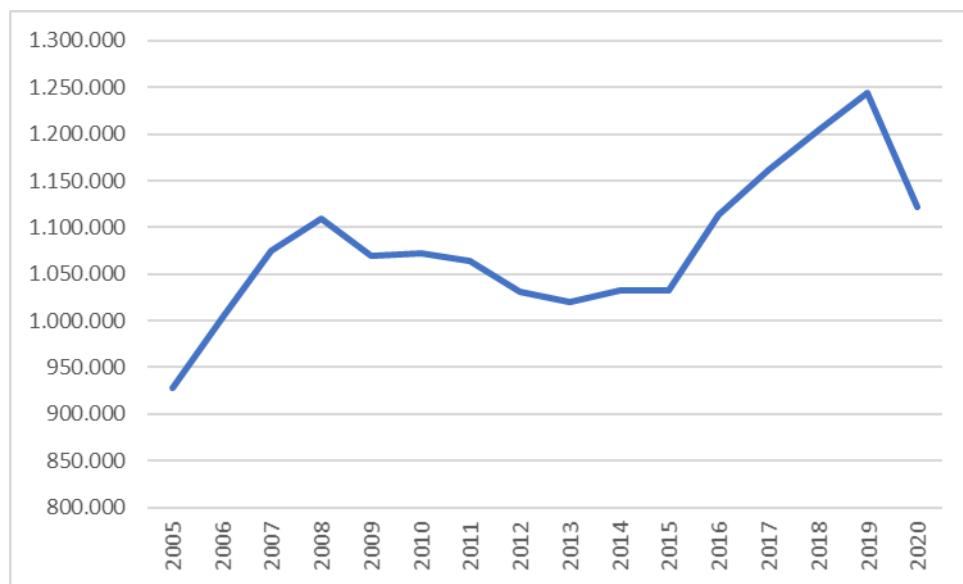


Gráfico 3. Evolución PIB España 2005-2020 en M€. Fuente INE

Si bien, el informe realizado por el GTM (Grupo de Trabajo Multidisciplinar que asesora y apoya al Ministerio de Ciencia e Innovación en materias científicas) a solicitud del Gobierno, ya apreciaba para el año 2020 una ralentización del crecimiento económico, de hecho, la crisis económica derivada de la COVID19 ha provocado un descenso de la actividad económica consecuencia de los confinamientos y una grave caída de la producción industrial. España ha sido una de las economías más afectadas por la pandemia, tanto por el número de contagiados y fallecidos, como por la intensidad de personal afectados por ERTE y desempleo, así como por la caída de la actividad económica.

Cuando en marzo del 2020, el Banco de España describía los tres posibles escenarios económicos para España ante el COVID19, resultó ser el tercer escenario, el más gravoso, el que más se acerca a la realidad, dado que presenta una economía en donde se ha producido una normalización incompleta, con restricciones o cierre en los sectores de la hostelería y el ocio a finales de año, que ha afectado a la dinamización económica, dada la gran dependencia del turismo. Si bien, este organismo preveía una caída del PIB en 2020 de hasta un 13,6% finalmente fue del 11%.

Si comparamos la distribución por tipos de gases las emisiones GEI en el año 2019 que ascendían a 323,2 MTCO₂eq con la de 2020 se observa una escasa diferencia en porcentaje, no así en la cantidad total estimada por el Observatorio de Sostenibilidad que sitúa las emisiones totales en 258,1 MTCO₂eq, es decir una caída del 17,9%.

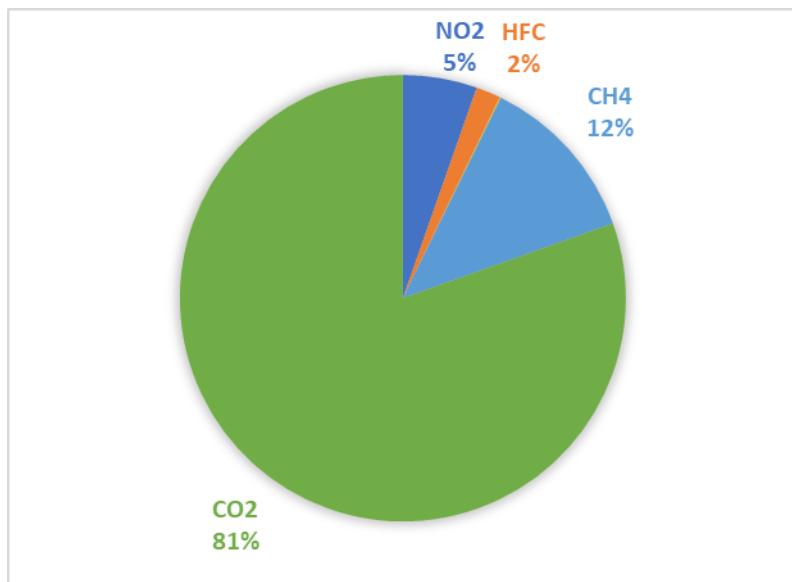


Gráfico 4 Emisiones GEI España 2019. Fuente INE

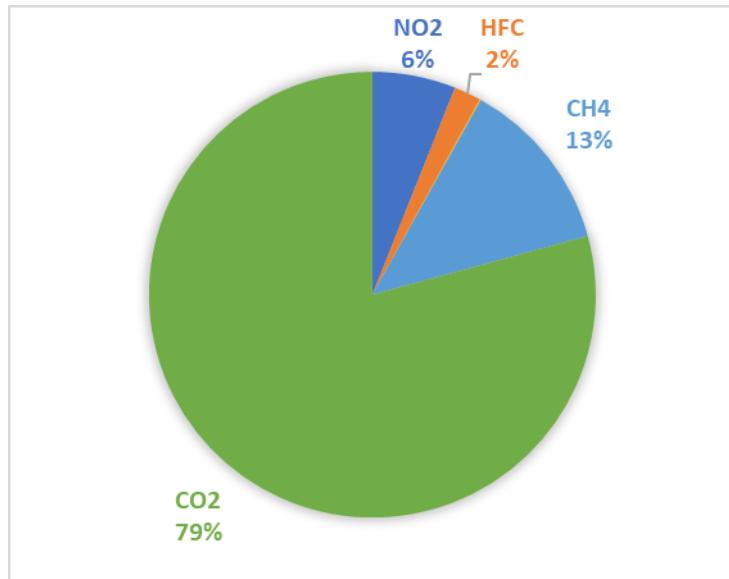


Gráfico 5- Emisiones GEI España 2020 Fuente Observatorio de Sostenibilidad

Siendo su distribución en el año 2019 por sectores productivos de la siguiente forma:

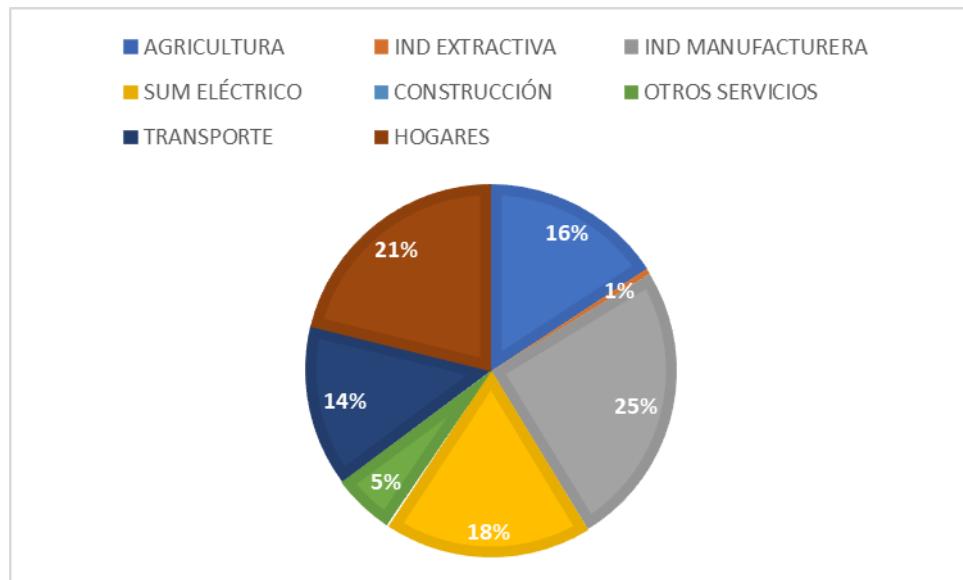


Gráfico 6. Emisiones GEI 2019 Fuente: INE

Pero si observamos la variación de la Producción Industrial en España, podemos constatar que la importante caída provocada por las restricciones COVID19 han producido variaciones en el peso de los sectores. Si analizamos el PIB del segundo trimestre, se observa como sectores como la agricultura, ganadería y pesca lejos de

decrecer aumentó un 3,6% y sectores como la construcción descendió un 21,9% no habiendo sido afectada por estrictas restricciones, o la industria en un 19,1% o los servicios con un descenso del 18,3%.

Por otro lado, el consumo de petróleo descendió alrededor de un 18,5% y el del gas natural un 9,8%, entre otras causas provocado por la caída de demanda eléctrica.

A su vez, las exportaciones cayeron un 33,4% y por su parte las importaciones descendieron un 29,5%.

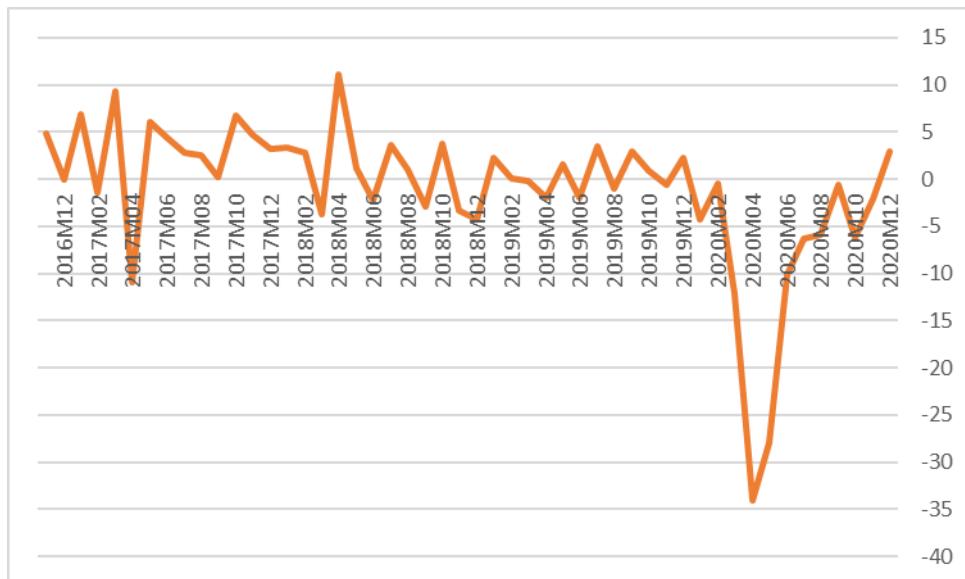


Gráfico 7. Variación Producción Industrial en España 2016-2020 Fuente: INE

Si se observa la evolución porcentual de la producción industrial se deduce como la COVID19 ha supuesto un severo correctivo a la economía española y que si bien ha provocado un descenso histórico en el nivel de emisiones ha sido a costa de una enorme crisis social y económica que todavía difícil de calcular.

Si la evolución de emisiones GEI por sectores productivos como en el caso de generación eléctrica o industria manufacturera tendía a descender, el año 2020 ha trastocado todas las tendencias.

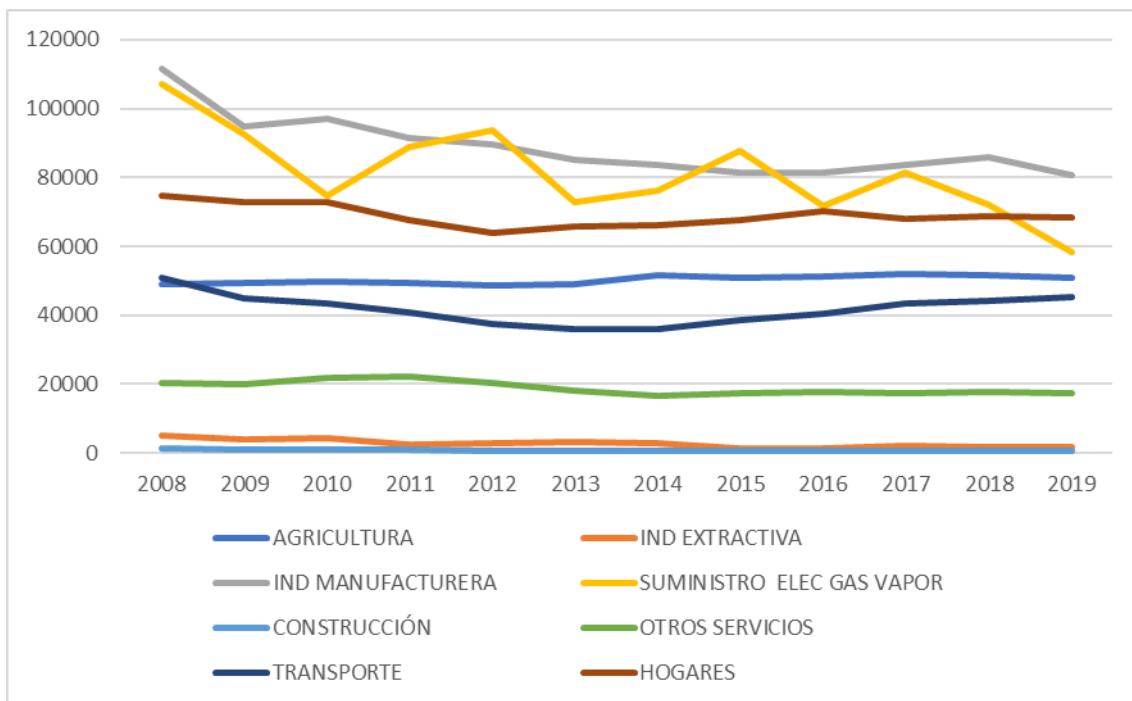


Gráfico 8. Evolución Emisiones GEI España 2008- 2019. Fuente: INE

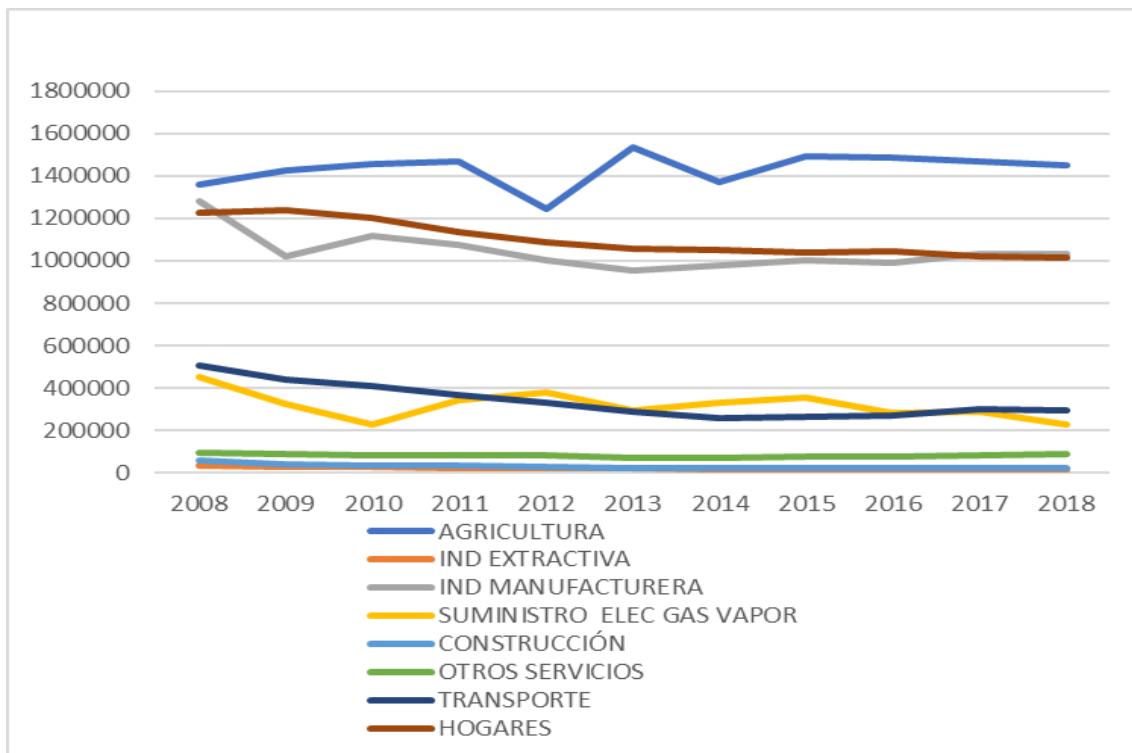


Gráfico 9. Evolución de Emisión de partículas y gases contaminantes (PM2.5, PM10, NH3, CO, COVMN, NOX, SOX) en España 2008-2018. Fuente INE

2.1. AGRICULTURA, GANADERÍA, SELVICULTURA Y PESCA

Este sector de gran importancia para la economía del país por su implantación territorial, según datos del Ministerio en 2017 aportó un 2,7% al PIB español de forma directa, al que habría que añadir otro 2,5% si incluyésemos la industria agroalimentaria.

La especial climatología, el desarrollo de regadíos y las ayudas europeas a través de PAC han posibilitado un desarrollo y modernización del sector, que va iniciándose en procesos de digitalización e innovación.

Este sector es el principal emisor de NO₂ y de NH₄. El NO₂ considerado el tercer GEI con más incidencia en el calentamiento global responde al uso de fertilizantes y abonos orgánicos en la agricultura y su efecto invernadero es superior en 310 veces al CO₂, con una permanencia en la atmósfera de alrededor de 120 años, según el IPCC.

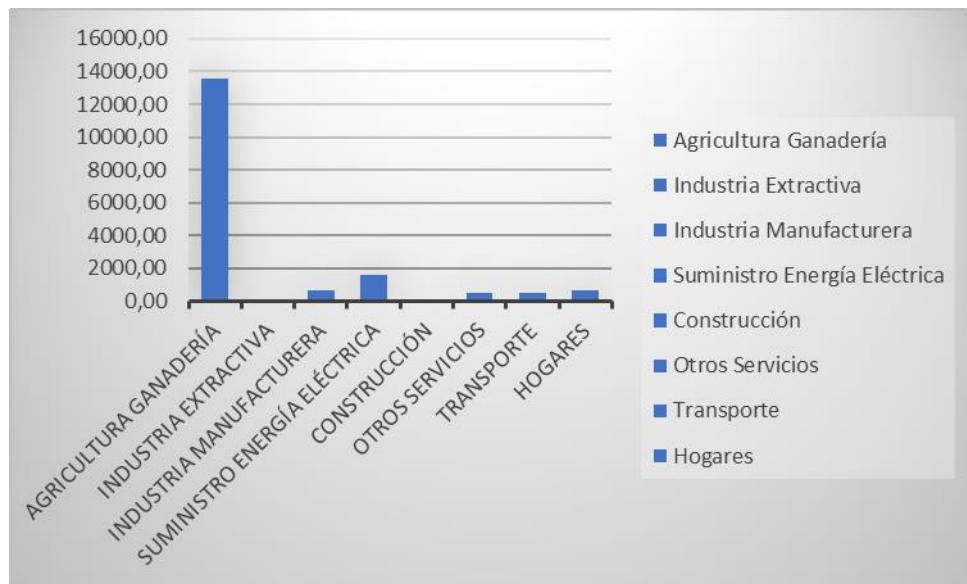


Gráfico 10. Emisiones NO₂ por sectores (MTCO₂eq) Fuente: INE

En esta gráfica se observa la diferencia cuantitativa en el peso nacional de emisiones de NO₂ de este sector. Las emisiones de NO₂ en el global de los sectores productivos ascendieron en 2019 a 17,3 millones de toneladas CO₂eq, siendo de 13,5 millones correspondientes al sector agrícola y ganadero.

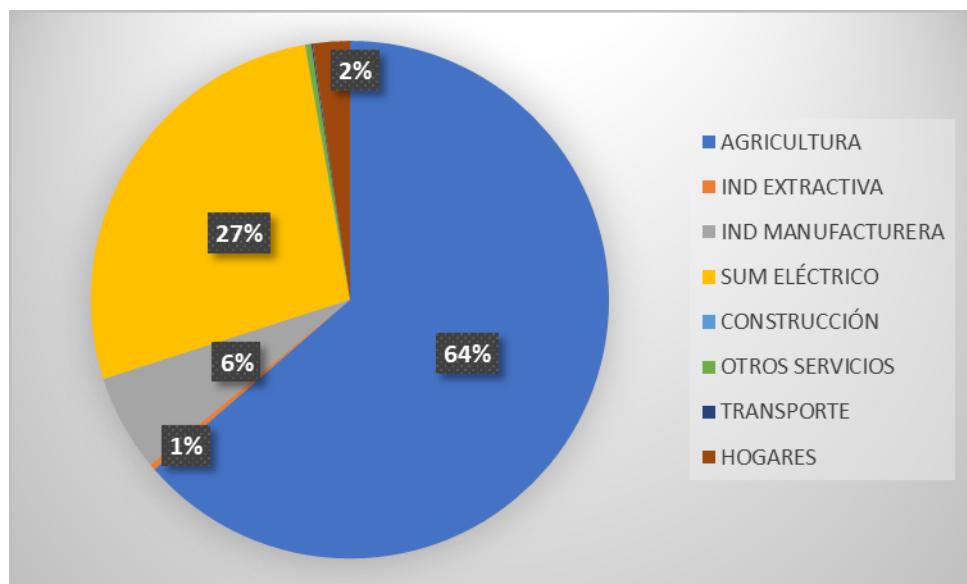


Gráfico 11. Emisiones CH₄ 2018 Fuente. INE. (MTCO₂eq)

Por su parte, el metano CH₄ es provocado principalmente por la digestión de los rumiantes. También son de destacar las emisiones de NO₂ y CH₄ producidos en la quema de biomasa y en la utilización de estiércol y en los purines de la ganadería.

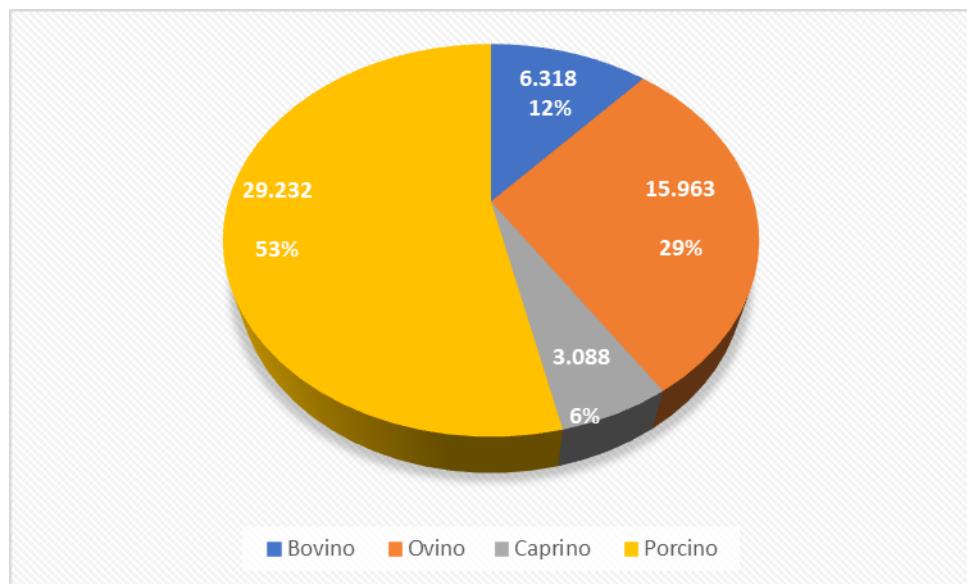


Gráfico 12. Cabezas de Ganado 2016 Fuente: INE Cabezas de ganado. Miles

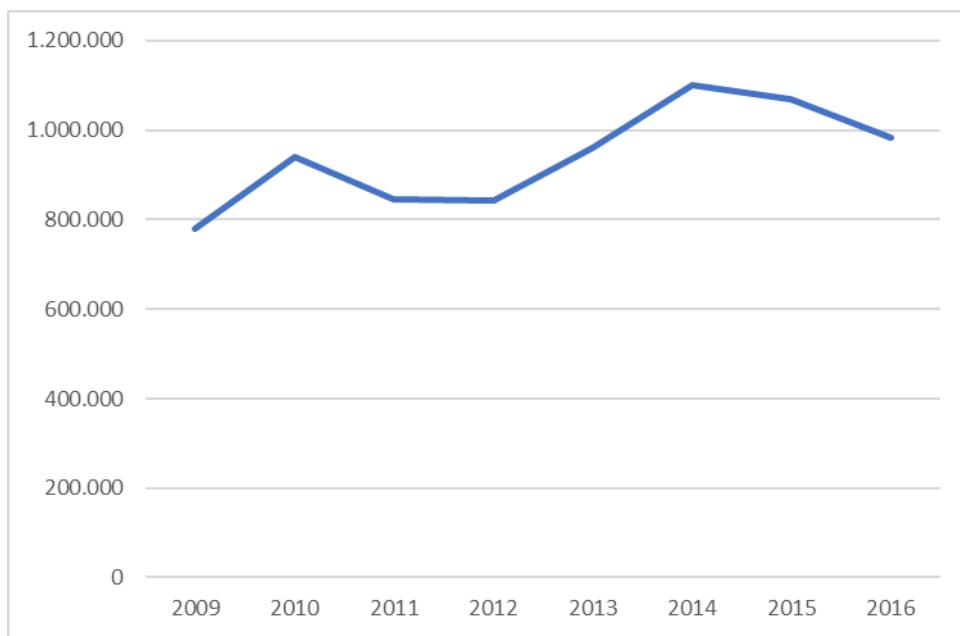


Gráfico 13. Toneladas Fertilizantes Nitrogenados Fuente (INE) M. de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

Bill Gates, destacado activista contra el cambio climático y gran inversor en tecnologías renovables, en su última publicación “Cómo evitar un desastre climático” analiza los aspectos más lesivos contra el clima, aboga por una disminución del consumo de carne y la implantación de carne vegetal, así como continuar en las investigaciones científicas para disminuir mediante vacunas o medicamentos las emisiones de metano de los animales.

2.2. INDUSTRIA EXTRACTIVA

La industria extractiva representó en 2018 el 0,6% de la facturación del sector industrial y el 0,8% del personal ocupado en España.

El valor estratégico de este sector industrial es prioritario como abastecedor de materias primas básicas al resto de la industria. Desde el 2008 el objetivo marcado para este sector desde la Unión Europea es la de potenciar su desarrollo para reducir la dependencia en materias primas de terceros países, dando un salto cualitativo en el 2017 donde los planes estratégicos europeos van dirigidos al desarrollo de baterías, que impidan la dependencia tecnológica respecto a otros países, así como favorecer la inversión y explotar las posibilidades de empleo y crecimiento de este sector.

En este sentido, es importante destacar que España cuenta con importantes reservas de litio estimadas en 1.3 millones de toneladas en los yacimientos de Cáceres y de 70.000 toneladas de tierras raras en Galicia y Ciudad Real, fundamentales para la fabricación de baterías o aparatos digitales.

También es importante la reducción de emisiones de gases, así como el tratamiento de los residuos. En este proceso de descarbonización en el que estamos comprometidos como país, es fundamental el desarrollo de energías renovables y limpias, así como la apuesta por favorecer las inversiones en tecnologías limpias.

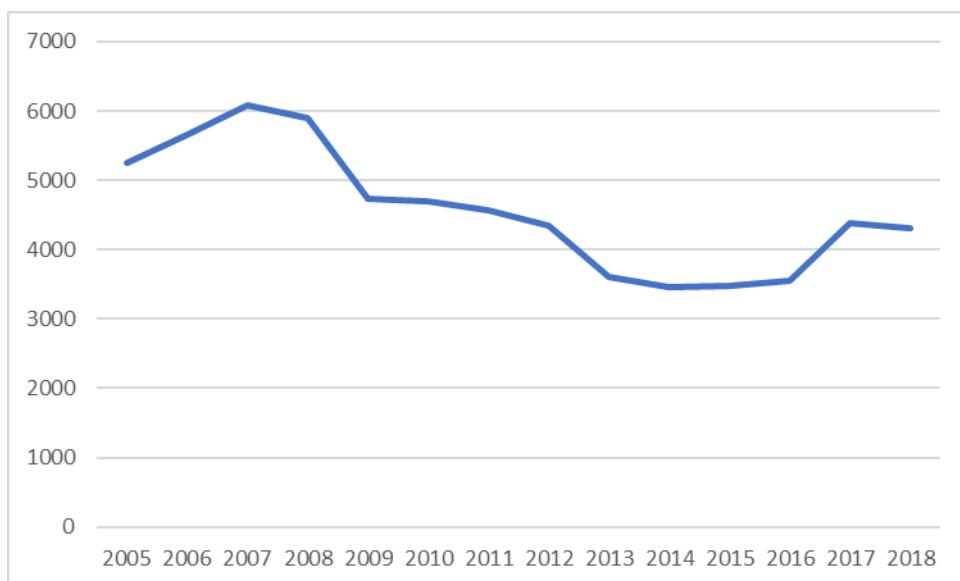


Gráfico 14. Valor de Producción Industria Extractiva 2005-2018 Fuente: NACE Rev2 INE

Si analizamos las emisiones totales en las que además de las GEI, observamos una tendencia descendente en los últimos años, con un repunte en el año 2017 respecto al 2016.

La industria extractiva supone el 1% del total emisiones GEI a la atmósfera, principalmente debido a las extracciones minerales y de la industria cementera. Estás industria, a pesar de que en 2019 han disminuido en 7,1% sus emisiones respecto al año anterior, sin embargo, suponen un importante foco de emisión de partículas contaminantes PM10 y PM2.5, así como emisiones de gases NOX y SOX muy nocivas para la salud y para la calidad ambiental.

Si analizamos otros contaminantes nocivos, en los que incluimos los siguientes: PM2.5, PM10, NH3, CO, COVMN, NOX y SOX, observamos que en el 2019 las MTCO₂eq de gases ascendía a 1,6% el total de emisiones contaminantes superando los 18,5 millones.

También la industria siderúrgica, gran consumidora de electricidad, elevó sus emisiones un 13,3% en 2018, aprobándose por parte del Ministerio un plan de Economía Circular, con el fin de mitigar su impacto climático.

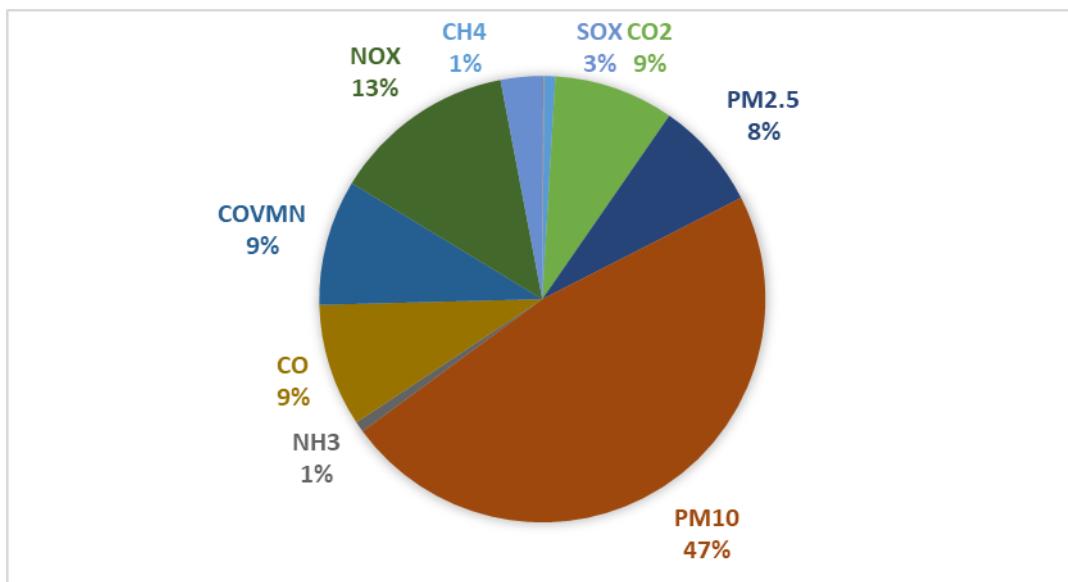


Gráfico 15. Porcentaje Emisiones Gases de la Industria Extractiva en 2018 de un total de 18.683,40 MTCO₂eq. Fuente: INE

2.3. INDUSTRIA MANUFACTURERA

La industria manufacturera representó en 2018 el 82,1% de la facturación total del sector industrial y dio empleo al 89,6% del personal de este sector.

En 2019 emitió un 25% de los gases GEI, que a pesar de un descenso de un 5,8% respecto al año anterior mantiene los niveles globales de 2018.

La industria manufacturera representa el sector productivo que más emisiones de CO₂ emite a la atmósfera con una cifra de casi 7,5 millones de toneladas CO₂eq, que supone el 93% del total de las emisiones del sector.

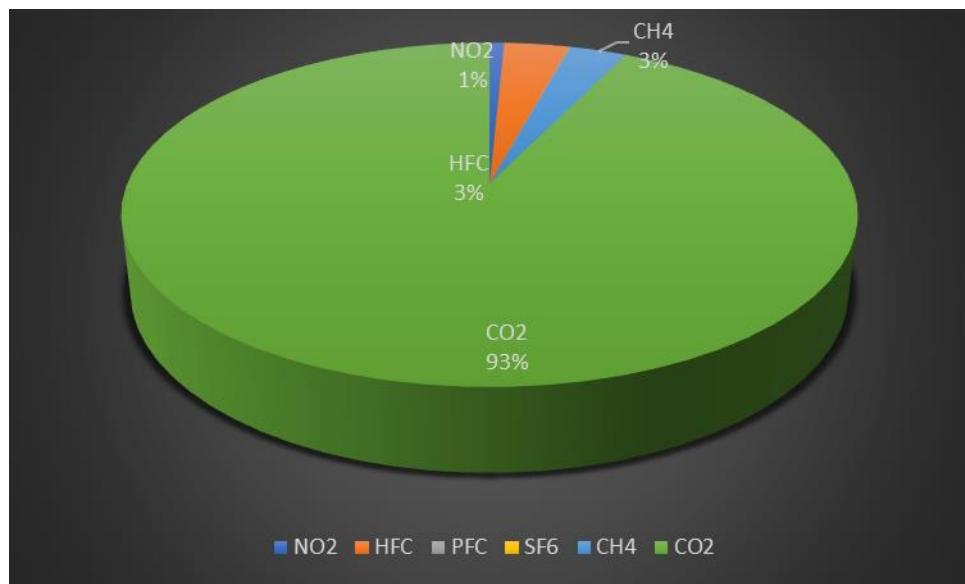


Gráfico 16. Emisiones de GEI 2019 Industria Manufacturera Fuente: INE

En este gráfico podemos comprobar los niveles de emisiones de CO₂ en 2019 de cada sector productivo.

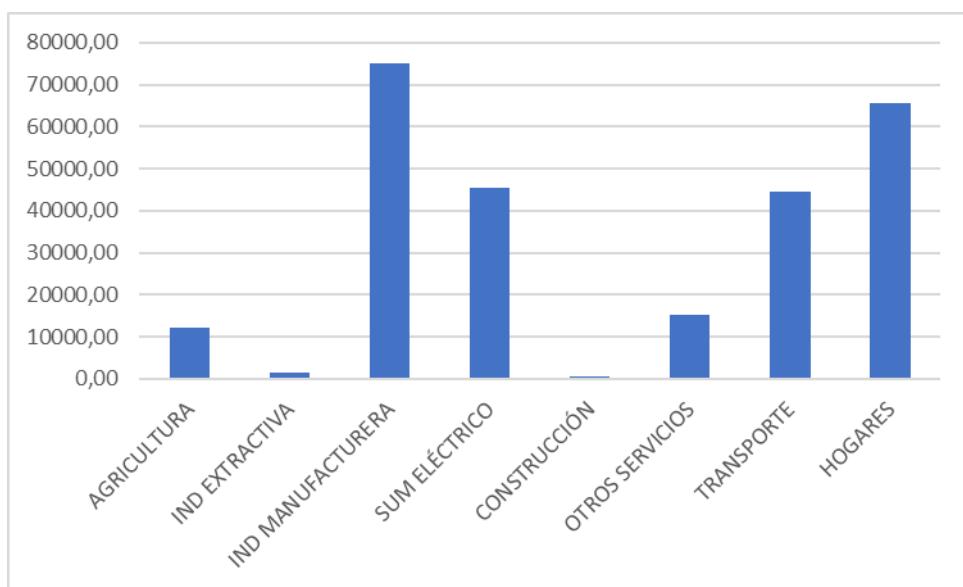


Gráfico 17. Emisiones Totales CO₂ por sectores 2019 Fuente: INE MTCO2e

2.4. SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, GAS, VAPOR Y AGUA

En este sector se incluyen las empresas relacionadas con el suministro de electricidad, gas natural, vapor y agua caliente mediante una red de conductos y tuberías.

Principalmente emite CO₂, muy por debajo de la industria manufacturera, pero a nivel del sector transporte con 4,5 millones de toneladas de CO₂eq. También es emisor de metano CH₄, principalmente procedente de la combustión del gas.

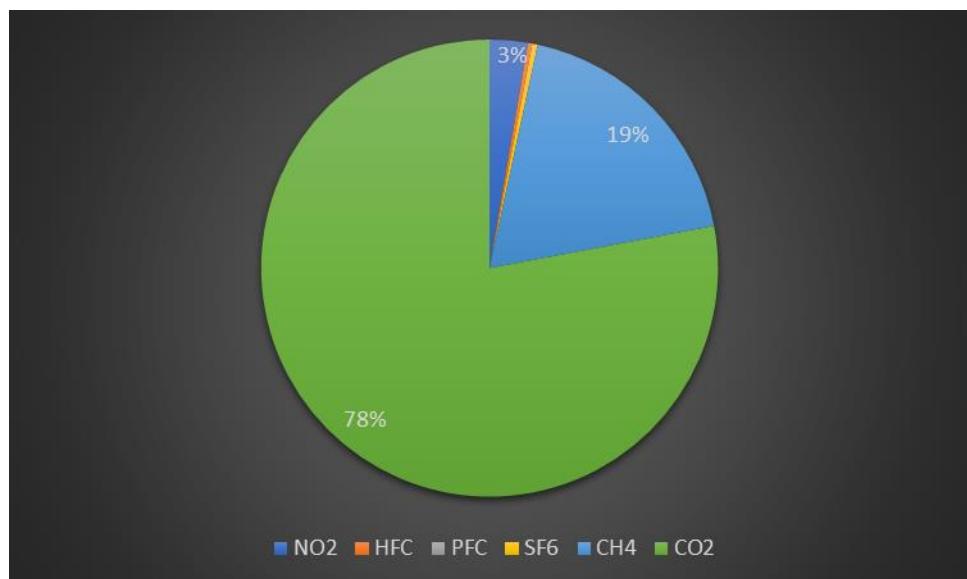


Gráfico 18. Emisiones Gases GEI 2019 Suministro eléctrico, gas y vapor

Fuente: INE

Las emisiones de gases GEI de este sector están muy condicionadas por la climatología, ya que un año con muchas horas de sol, abundantes lluvias e intenso viento, permiten la de generación de energía eléctrica a través de energías renovables, disminuyendo la actividad de las de centrales de ciclo combinado o de las centrales térmicas de carbón. Las emisiones GEI sufrieron un importante descenso del 19% en 2019 respecto al año anterior, con unas condiciones meteorológicas, en las que las temperaturas se situaron 1,2°C por encima de lo normal y el nivel de las precipitaciones fue considerado normal, según AEMET.

En el 2020 esta cuota se ha reducido en otro 27,3%, debido entre otras cosas, a unas condiciones climáticas óptimas de viento y sol, y a un incremento en la potencia en los parques de energía eólica y solar fotovoltaica.

El peso principal de la generación de electricidad a partir de tecnologías renovables, según REE, ascendió por primera vez hasta el 43,6%, un 11,6% superior al año 2019, siendo los mayores generadores las centrales eólicas con un 20,8%, seguida de un 12% de las hidráulicas y de un 6% de la solar fotovoltaica.

En este sentido es de destacar la reducción en un 55% respecto al año 2019, del peso del carbón en la generación de energía eléctrica, situándose en tan solo un 2% del total en el mix español.

Las emisiones de CO₂ suponen el 78% de un total de emisiones GEI que asciende a 58.215,90 MTCO₂eq.

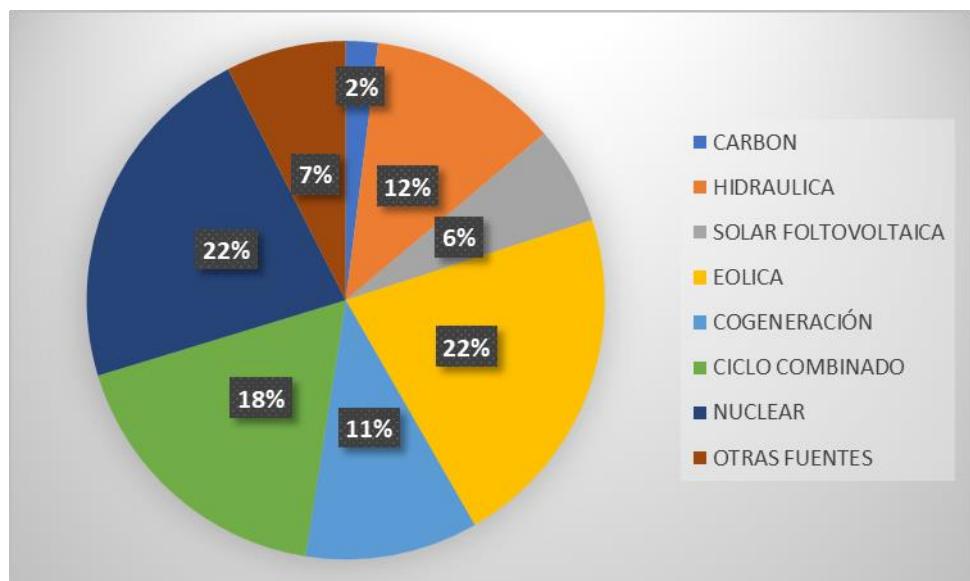


Gráfico 19. Generación de Electricidad 2020 Fuente: REE

Además, estos datos, publicados a finales del año 2020, se producen en el contexto de una pandemia que contrajo en un 5,6% la demanda nacional de electricidad, siendo en determinados momentos hasta un 20% inferior al año anterior.

España cuenta con importantes empresas eléctricas como Iberdrola, Endesa o Naturgy o Repsol, que se han comprometido con la energía verde y, por ejemplo, han presentado importantes inversiones para proyectos para el desarrollo del hidrógeno verde en España, para descarbonizar el sector del automóvil o la industria del acero.

2.5. CONSTRUCCIÓN

En este sector se incluyen entre otras actividades, la construcción general de inmuebles y obras de ingeniería civil, las instalaciones y acabados de edificios y obras, así como el alquiler de equipos de construcción y demolición.

Es un sector vertebrador y esencial para la economía española y se ha convertido en el motor de la economía tras los periodos de crisis, gracias a que tiene un efecto multiplicador en la economía.

De hecho, en tiempos de COVID 19 ha sido uno de los sectores que a pesar de las restricciones no se ha detenido y ha continuado prestando servicios de mantenimiento y reparación de infraestructuras básicas, así como en la construcción de hospitales como el Isabel Zendal de Madrid.

Su contribución al PIB representó en 2019 un 5,9% del total y su desarrollo está íntimamente relacionado con la producción de cemento para consumo interior.

Es emisor fundamentalmente de CO₂ y de HFC, hidrofluorocarbonos que son utilizados en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, en las bombas de calor y en disolventes y en productos espumantes utilizados en las estructuras de yeso y hormigón.

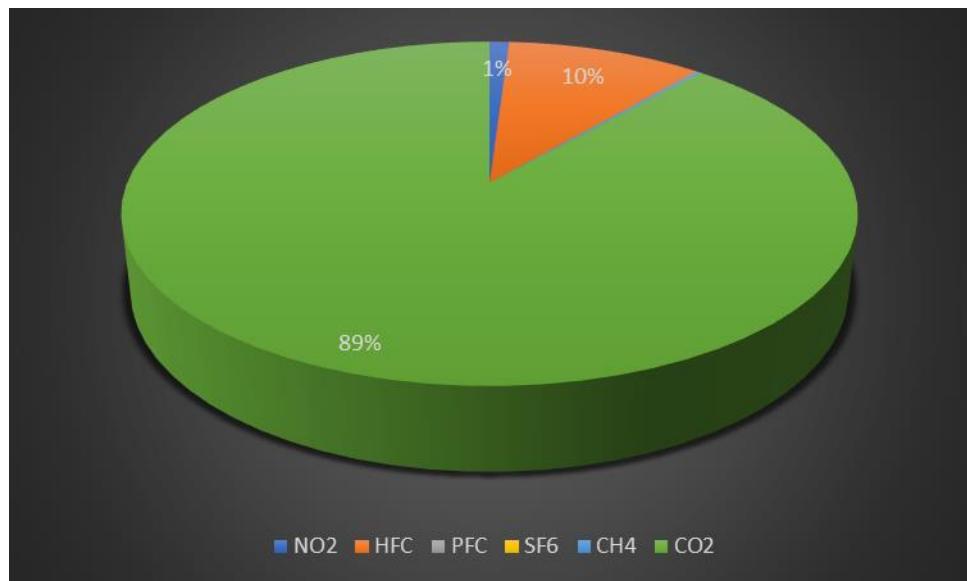


Gráfico 20. Emisiones GEI construcción en 2019 Fuente: INE

La evolución de emisiones GEI en la construcción tuvo una caída muy contundente en los años de la crisis inmobiliaria del 2008 y en los últimos años desde el 2016 se aprecia una ligera recuperación, pero muy lejos de los niveles precrisis.

El CO₂ es su principal gas de efecto invernadero que representa el 89% de un total de 575,30 MTCO₂eq.

2.6. OTROS SERVICIOS

Este sector agrupa una variedad de actividades de servicio como el comercio, el turismo, las actividades relativas a las tecnologías de la información, así como las inmobiliarias o los servicios a empresas, bien sean jurídicos, de investigación o publicitarios, entre otros. Además de aquellas actividades religiosas, políticas, culturales o educativas, o cualquier actividad no incluida en el resto de sectores productivos.

Su aportación al PIB en el año 2019 ascendió al 67,87%, muy por encima de la industria con un 20,2%.

Respecto a las emisiones GEI, emite principalmente CO₂ y en un porcentaje menor HFC. Es significativo que la evolución de emisiones de CO₂ no ha variado de manera significativa desde la serie temporal del 2008, mientras que en el mismo periodo las emisiones de HFC han disminuido en un 70%, que si bien no destruye la capa de ozono si tiene un importante efecto invernadero y que se encuentra presente en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado y en los aerosoles.

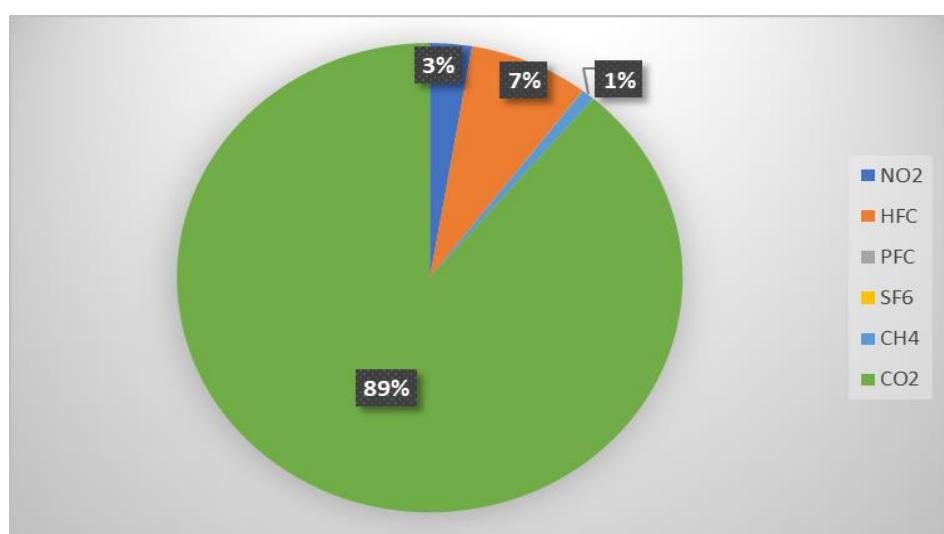


Gráfico 21. Emisiones GEI 2019 Otros servicios. Fuente: INE

Las emisiones de gases GEI se han mantenido estables desde el 2014 con un pequeño repunte, destacando las emisiones de CO₂ que representan el 89% de un total de 17.312,70 MTCO₂eq.

2.7. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Este sector incluye los transportes terrestres, marítimos, aéreos, así como las actividades relacionadas con el transporte.

La importancia de este sector radica, por un lado, en que contribuye al transporte de personas y mercancías, y por otro lado, en el desarrollo, mejora y creación de nuevas infraestructuras públicas, tales como carreteras, autopistas, puertos, aeropuertos..., además de generar inversiones para acometer estas obras.

Si bien, es un sector altamente contaminante, dado que usa principalmente combustibles fósiles, los avances tecnológicos en el desarrollo de los motores de combustión, como las políticas de apoyo a la electrificación del transporte terrestre, o el desarrollo de los motores de hidrógeno, buscan una significativa reducción de emisiones. Es un sector, tiene un importante valor añadido, que vertebría el país mediante la implantación estratégica de centros logísticos y tecnológicos, o la construcción de nuevas infraestructuras que impulsan económicamente una región.

El sector transporte es muy sensible a los ciclos económicos sufriendo importantes retrocesos en períodos de recesión, que además de en el empleo, se observan en los niveles de emisión de gases GEI, principalmente debido a las emisiones del transporte por carretera de CO₂ o de gases NOX procedentes de los motores de combustión, siendo las emisiones del resto de transportes minoritario.

Las emisiones totales de gases GEI han sufrido descensos más relacionados con los períodos de crisis económicas, que a la mejora de los motores que impulsan los transportes. De hecho, la recuperación económica que se produce a partir del 2015 refleja un aumento de emisiones.

Durante el año 2020 se calcula que las emisiones de gases GEI correspondientes al transporte por carretera disminuyeron en un 17,5% respecto al 2019.

El gas predominante GEI que emite el sector transportes es el CO₂ con un 99% del total que asciende a 45.261,00 MTCO₂eq.

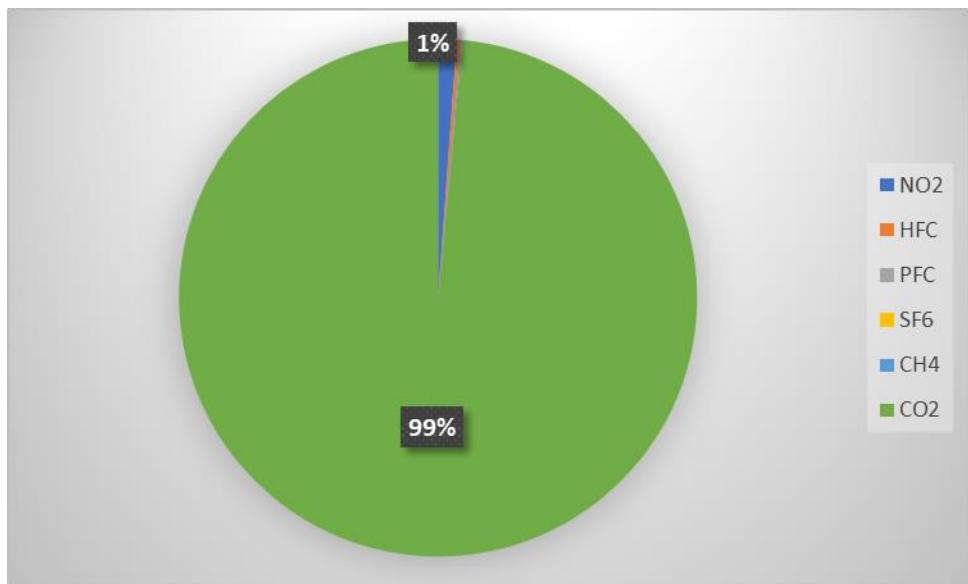


Gráfico 22. Emisiones GEI 2019 Transporte y Almacenamiento Fuente: INE

Además de estas emisiones de gases GEI los transportes emiten gases y partículas contaminantes muy perjudiciales para la salud, destacando el NOX con el 68% que corresponde con 200.397,10 y el CO con el 19% que asciende a 56.361,90 MTCO₂eq de un total de 296.973,90 MTCO₂eq.

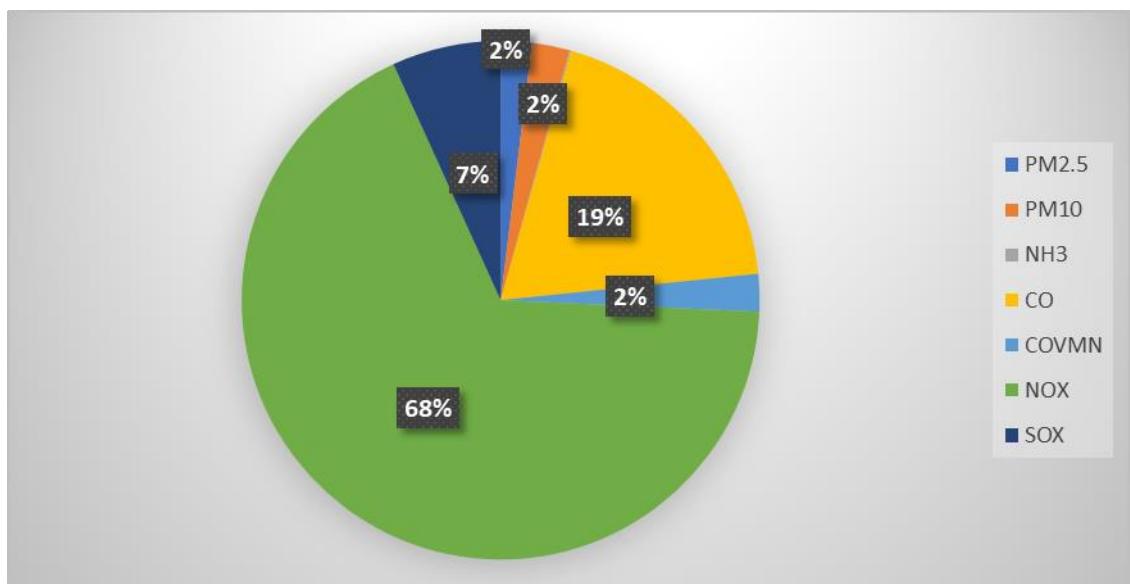


Gráfico 23. Emisiones Gases y Partículas Contaminantes 2018 Fuente: INE

2.8. HOGARES

Los hogares, entendidos de manera general, como poseedores de propiedades generadoras de emisiones, como son la vivienda, el coche o moto, así como de la

compra de bienes de consumo. Su peso es significativo, ya que las emisiones GEI generadas por los hogares en 2019 representó el 21% del total.

En un primer término los hogares son responsables directos de las emisiones producidas como consecuencia de su vivienda, tales como cocinas o calefacción. Del mismo modo son responsables de las emisiones provocadas por la utilización de transportes privadas para desplazamientos.

Por ello, son determinantes aspectos como: el nivel económico, el estilo de vida, o sus hábitos de consumo, así como, la ubicación geográfica y antigüedad de su vivienda, o los vehículos en propiedad y sus motorizaciones.

La evolución de emisiones de los hogares está muy relacionada con el poder adquisitivo de los ciudadanos y con los períodos de recesión económica. La mejora de las emisiones depende en gran medida de la eficiencia energética exigida a las viviendas de nueva construcción en los últimos años, así como a la antigüedad del parque móvil, con la adquisición de vehículos nuevos que deben adecuar sus emisiones a las normas de UE.

El gas de efecto invernadero predominante es el CO₂, que representa el 96% de los 68.433,70 MTCO₂eq que emiten los hogares.

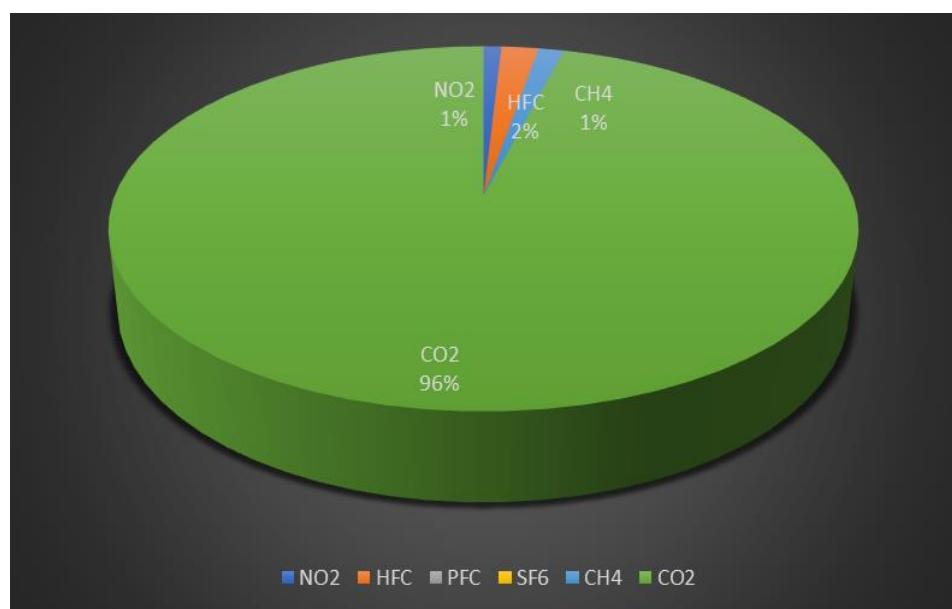


Gráfico 24. Porcentaje emisiones GEI de los Hogares 2019 en MTCO₂eq

Fuente: INE

3. METODOLOGÍA

La razón de este trabajo es un estudio de cómo afectan las energías renovables, la energía eléctrica y el PIB a los distintos gases contaminantes en los diferentes sectores de la economía durante el período que comprende los años 2008 a 2019. Dichos gases serán los ya comentados en el contexto, destacando los gases GEI.

Utilizando datos estadísticos sacados del Instituto Nacional de Estadística (INE), se obtiene el impacto de las emisiones a la atmósfera por agregación de ramas de actividad y hogares como consumidores finales, sustancias contaminantes y período. Las diferentes ramas de actividad¹ fueron agrupadas en los tres principales sectores de la economía: Industria, transporte y usos diversos.

Tras esto se trajeron datos estadísticos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) para obtener el uso de energía eléctrica, de energías renovables en los tres sectores de la economía para el período a estudiar.

Por último, a partir de los datos estadísticos del INE se recogió el PIB mediante el valor añadido a precios básicos por rama de actividad.

Después se agruparon las diferentes ramas de actividades en los tres principales sectores.

3.1 Indicadores

Una vez recogidos todos los datos estadísticos se procedió a la creación de la base de datos:

Tabla 1: Gases de Efecto Invernadero.

GAS	ABREVIATURA	UNIDADES	PERÍODO	FRECUENCIA	FUENTE
Óxido nitroso	N2O	Miles de toneladas de CO2 equivalente	2008-2018	Anual	INE

¹ Ramas de actividad: Agricultura, ganadería, selvicultura y pesca. Industrias extractivas, industria manufacturera. Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y agua. Construcción. Otros servicios. Transporte y almacenamiento. Hogares

GAS	ABREVIATURA	UNIDADES	PERÍODO	FRECUENCIA	FUENTE
Hidrofluoro carbonos	HFC	Miles de toneladas de CO2 equivalente	2008-2018	Anual	INE
Perfluorocarbonos	PFC	Miles de toneladas de CO2 equivalente	2008-2018	Anual	INE
Hexafluoruro de azufre	SF6	Miles de toneladas de CO2 equivalente	2008-2018	Anual	INE
Metano	CH4	Miles de toneladas de CO2 equivalente	2008-2018	Anual	INE
Dióxido de carbono	CO2	Miles de toneladas de CO2 equivalente	2008-2018	Anual	INE
Gases Efecto Invernadero	GEI	Miles de toneladas de CO2 equivalente	2008-2018	Anual	INE

Tabla 2: Resto de gases contaminantes.

GAS	ABREVIATURA	UNIDADES	PERÍODO	FRECUENCIA	FUENTE
Partículas de diámetro menor o igual a 2,5 μm	PM2.5	Toneladas	2008-2018	Anual	INE
Partículas de diámetro menor o igual a 10 μm	PM10	Toneladas	2008-2018	Anual	INE
Amoniaco	NH3	Toneladas	2008-2018	Anual	INE
Monóxido de carbono	CO	Toneladas	2008-2018	Anual	INE
Compuestos orgánicos volátiles no metánicos	COVNM	Toneladas	2008-2018	Anual	INE
Óxidos de nitrógeno	NOX	Toneladas de NO2 equivalentes	2008-2018	Anual	INE
Óxidos de azufre	SOX	Toneladas de SO2 equivalentes	2008-2018	Anual	INE

Tabla 3: Variables independientes.

VARIABLE	ABREVIATURA	UNIDADES	PERÍODO	FRECUENCIA	FUENTE
Producto Interior Bruto	PIB	Millones de Euros (precios constantes)	2008-2018	Intertrimestral (cuarto trimestre de cada año)	INE
Energía Eléctrica	Eléctrica	Kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep)	2008-2018	Anual	IDAE
Energías Renovables	Renovables	Kilotoneladas equivalentes de petróleo (Ktep)	2008-2018	Anual	IDAE

3.2 Datos de Panel:

Como disponemos de información de los tres principales sectores y existen observaciones de los mismos durante el período comprendido entre 2008-2018, será necesaria la utilización de datos de panel. El panel de datos se organizará según secciones cruzadas apiladas estructurado con 3 unidades de sección cruzada y 12 períodos temporales.

3.3 Contraste Harris-Tzavalis

Lo primero que se llevó a cabo fue analizar si las variables eran estacionarias o si era necesario diferenciar alguna variable para convertirla en estacionaria. Al tratarse de datos de panel no se pudo realizar el contraste de Dickey Fuller. Por ello, se optó por utilizar el contraste Harris-Tzavalis:

Tabla 4: Contraste Harris-Tzavalis.

(Nivel de significación 5% / $\delta=0,05$)			
SERIE	HIPÓTESIS	P-VALOR	CONCLUSIÓN
N20	H0:No estacionaria- I(1)	0.2253	No estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		Añadir primeras diferencias.
HFC	H0:No estacionaria- I(1)	0.4983	No estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		Añadir primeras diferencias.
PFC	H0:No estacionaria- I(1)	0.2684	No estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		Añadir primeras diferencias.
SF6	H0:No estacionaria- I(1)	0.5010	No estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		Añadir primeras diferencias.
CH4	H0:No estacionaria- I(1)	0.7178	No estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		Añadir primeras diferencias.
CO2	H0:No estacionaria- I(1)	0.0218	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
PM25	H0:No estacionaria- I(1)	0.0000	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
PM10	H0:No estacionaria- I(1)	0.0001	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
NH3	H0:No estacionaria- I(1)	0.0000	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
CO	H0:No estacionaria- I(1)	0.0000	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
COVNM	H0:No estacionaria- I(1)	0.0000	Estacionaria.

	HA: Estacionaria- I(0)		
NOX	H0:No estacionaria- I(1)	0.0230	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
SOX	H0:No estacionaria- I(1)	0.0054	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
PIB	H0:No estacionaria- I(1)	0.0000	Estacionaria.
	HA: Estacionaria- I(0)		
GEI	H0:No estacionaria- I(1)	0.0207	Estacionaria. Al aceptarse la H0 a un nivel de significación del 1%, se va a considerar diferenciar esta variable.
	HA: Estacionaria- I(0)		
ELÉCTRICA	H0:No estacionaria- I(1)	0.4125	No estacionaria. Añadir primeras diferencias.
	HA: Estacionaria- I(0)		
RENOVABLES	H0:No estacionaria- I(1)	0.2447	No estacionaria. Añadir primeras diferencias.
	HA: Estacionaria- I(0)		

3.4 Matriz correlación.

Una vez averiguado qué variables son estacionarias y qué variables estarán diferenciadas, se procede a hacer la matriz de correlación, para comprobar si hay problemas de colinealidad. Los valores son $<0,7$ por lo que no existen problemas de colinealidad. Ver resultados en tabla 5.

Tabla 5: Matriz correlación

Coeficientes de correlación, usando las observaciones 1:02 - 3:11 (se ignoraron los valores ausentes) Valor crítico al 5% (a dos colas) = 0.3388 para n = 34			
PIB	d_Eléctrica	d_Renovables	PIB
1.0000	-0.0133	-0.0132	d_Eléctrica
	1.0000	0.2111	d_Renovables

3.5 Modelo MCO:

Se procedió a la estimación del primer modelo MCO (modelo lineal) para poder observar la relación que hay entre la variable dependiente que en este caso serán los diferentes gases de efecto invernadero y demás gases contaminantes, con el uso de energías renovables, el uso de energía eléctrica y el PIB:

Modelo 1: $d_{N20} = \beta_1 + \beta_2 d_{Electrica} + \beta_3 d_{Renovables} + \beta_4 PIB + u$

Se comprobó si había problemas de heterocedasticidad mediante el uso del contraste de heterocedasticidad de White, rechazando la hipótesis nula de homoscedasticidad. También se realizó el contraste de normalidad de los residuos, rechazando la hipótesis nula de distribución normal. Esto puede deberse a que haya observaciones atípicas o problemas en la especificación del modelo. Para ello se usa el contraste RESET, siendo la hipótesis nula una correcta especificación del modelo 1 contra la hipótesis alternativa de que el modelo está mal especificado. Se rechazará la hipótesis nula, el modelo está mal especificado.

Para solucionar la mala especificación del modelo, se analizarán varias formas funcionales posibles:

3.5.1 Contraste LM no linealidad-log:

El primer contraste va a consistir en comprobar si es mejor un modelo especificado con la parte de las variables explicativas en logaritmos o el modelo en forma lineal.

$H_0:$ Modelo 1: $d_{N20} = \beta_1 + \beta_2 d_{Electrica} + \beta_3 d_{Renovables} + \beta_4 PIB + u \rightarrow$ Modelo lineal

Ha: Modelo 2: $d_{N20} = \beta_1 + \beta_2 d_{1_Electrica} + \beta_3 d_{1_Renovables} + \beta_4 I_PIB + u \rightarrow$
 Modelo lineal-log

Aceptándose la H_0 de que es mejor el modelo lineal. No se estimará la parte de las variables explicativas con logaritmos.

El modelo aparecerá en la Tabla 6.

3.5.2 Contraste PE de linealidad:

El segundo contraste consistirá en comprobar si es mejor un modelo especificado con la parte de la variable dependiente en logaritmo o en forma lineal.

Para ello se estima la regresión auxiliar PE: Aparecerá en la Tabla 8.

$$d_{N20} = \beta_1 + \beta_2 d_{Electricidad} + \beta_3 d_{Renovables} + \beta_4 I_PIB + \alpha_{nueva} + \varepsilon$$

Siendo nueva: la diferencia entre el logaritmo del valor estimado del modelo 1 y el valor estimado del modelo 2 (modelo log-lineal). El modelo 2 aparecerá en la Tabla 7.

H_0	Ha	Estadístico de contraste (p-valor)	Conclusión	
Modelo 1 mejor	Modelo log-lineal mejor	-0.2251 (0.8269)	Aceptamos H_0	Mejor modelo lineal

3.5.3 Elección del modelo mejor especificado para explicar la relación:

Tras haber comprobado que en el modelo no es necesaria la aplicación de logaritmos en la parte de las variables explicativas mediante el contraste LM de no linealidad-log ni en la parte de la variable dependiente mediante el contraste PE de linealidad, se llegó a la conclusión de que el modelo 1 sin logaritmos es el mejor especificado. Aunque al estimarlo su contraste RESET sea muy bajo, estaría bien especificado para un nivel de significación del 1%. El modelo 1 al tener problemas de heterocedasticidad se procedió a estimarlo con desviaciones típicas robustas, dando el mismo valor en el contraste RESET aunque llegando a ser en este modelo la variable uso de energía eléctrica más significativa que en el modelo 1. Se observará el modelo en la Tabla 9.

3.5.4 Resto de modelos:

Con el resto de modelos no ha sido necesario llevar a cabo estos contrastes debido a que ya con el modelo en su forma lineal, la variable dependiente diferenciada si fuese necesario y la parte de las variables explicativas estructuradas de la siguiente forma: $\beta_1 + \beta_2 d_{\text{Electrica}} + \beta_3 d_{\text{Renovables}} + \beta_4 PIB + u$, se llega a un modelo sin problemas de heterocedasticidad, bien especificado, con un contraste RESET muy alto. Podemos ver los ejemplos en las Tablas 10, 11, 12.

3.5.5 Casos especiales:

En el caso del gas HFC el modelo exigía mediante el contraste LM de no linealidad (logaritmos) que la parte de las variables explicativas llevasen logaritmos. Llegando a tener un contraste RESET bastante alto. Ver Tabla 13. Ahora la explicación de la relación entre las variables independientes con el gas HFC será que un incremento en el uso de estas variables conllevará a una disminución del HFC en un $\beta_x / 100\%$.

En referente a los gases: CO2, PM25, PM10, NH3, CO, COVNM, tras haber probado los diferentes contrastes anteriormente realizados, los modelos mejor especificados salen con un contraste RESET muy bajo, puede ser debido a que el número de observaciones no es muy alto. Acerca de los problemas de heterocedasticidad, las variables CO2, PM25, PM10, NH3 y COVNM han necesitado especificarse con desviaciones típicas robustas mientras que la variable CO no tenía problemas de heterocedasticidad. Ver en Tablas 14, 15, 16, 17, 18 y 19.

Finalmente, en cuanto al gas NOX, ha sido necesaria la utilización de logaritmos tanto en la parte de las variables explicativas, como en la parte de la variable dependiente, logrando así estar el modelo bien especificado, sin tener problemas de heterocedasticidad. Y respecto al gas SOX, el modelo inicialmente empleado tenía un contraste RESET muy alto, aunque debido a que tenía problemas de heterocedasticidad se ha llevado al uso de las desviaciones típicas robustas. Ver en Tablas 20 y 21.

Para acabar hablando de los gases GEI, se ha tratado de especificar el modelo sin diferenciar esta variable, pero no ha sido posible lograr un modelo bien especificado, por ello, se ha especificado el modelo diferenciando la variable GEI. Al hacerlo, el

modelo: $d_GEI = \beta_1 + \beta_2 d_Electrica + \beta_3 d_Renovables + \beta_4 PIB + u$, no tiene problemas de heterocedasticidad y tiene un contraste RESET muy alto. Ver en Tabla 22.

Tabla 6: MCO: Modelo 1

Modelo 1: MCO combinados, utilizando 30 observaciones

Se han incluido 3 unidades de sección cruzada

Largura de la serie temporal = 10

Variable dependiente: d_N20

	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	-72.6769	107.710	-0.6747	0.5058
d_Electrica	0.175223	0.176222	0.9943	0.3292
d_Renovables	0.0355667	0.217628	0.1634	0.8714
PIB	0.221600	0.212752	1.042	0.3072
Media de la vble. dep.	10.84667	D.T. de la vble. dep.	336.4200	
Suma de cuad. residuos	3027509	D.T. de la regresión	341.2369	
R-cuadrado	0.077590	R-cuadrado corregido	-0.028841	
F(3, 26)	0.729015	Valor p (de F)	0.543985	
Log-verosimilitud	-215.3990	Criterio de Akaike	438.7979	
Criterio de Schwarz	444.4027	Crit. de Hannan-Quinn	440.5909	
rho	0.013327	Durbin-Watson	1.950868	

Contraste de heterocedasticidad de White -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste: LM = 22.1061

con valor p = P(Chi-cuadrado(9) > 22.1061) = 0.00854882

Contraste de normalidad de los residuos -

Hipótesis nula: [El error tiene distribución Normal]

Estadístico de contraste: Chi-cuadrado(2) = 6.90459

con valor p = 0.0316728

Contraste de especificación RESET -

Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]

Estadístico de contraste: F(2, 24) = 3.85621

con valor p = P(F(2, 24) > 3.85621) = 0.0353007

Contraste de no linealidad (logaritmos) -

Hipótesis nula: La relación es lineal

Estadístico de contraste: LM = 0.0660048

con valor p = P(Chi-cuadrado(1) > 0.0660048) = 0.797245

Tabla 7: MCO: Modelo 2

Modelo 2: MCO combinados, utilizando 30 observaciones				
Se han incluido 3 unidades de sección cruzada				
Largura de la serie temporal = 10				
Variable dependiente: d_1_N20				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	0.0183569	0.0203939	0.9001	0.3763
PIB	-3.36415e-05	4.02827e-05	-0.8351	0.4113
d_Eléctrica	4.26107e-05	3.33661e-05	1.277	0.2129
d_Renovables	4.22377e-05	4.12059e-05	1.025	0.3148
Media de la vble. dep.	0.005289	D.T. de la vble. dep.	0.065863	
Suma de cuad. residuos	0.108537	D.T. de la regresión	0.064610	
R-cuadrado	0.137231	R-cuadrado corregido	0.037681	
F(3, 26)	1.378512	Valor p (de F)	0.271397	
Log-verosimilitud	41.75983	Criterio de Akaike	-75.51967	
Criterio de Schwarz	-69.91488	Crit. de Hannan-Quinn	-73.72665	
rho	0.603638	Durbin-Watson	0.767784	

Tabla 8: RAUX PE

Modelo 3: MCO combinados, utilizando 14 observaciones				
Se han incluido 2 unidades de sección cruzada				
Largura de la serie temporal: mínimo 5, máximo 9				
Variable dependiente: d_N20				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	-275.857	352.749	-0.7820	0.4543
PIB	0.606849	0.887677	0.6836	0.5114
d_Eléctrica	0.952517	0.564726	1.687	0.1259
d_Renovables	-0.456847	1.10564	-0.4132	0.6891
nueva	-36.2070	160.821	-0.2251	0.8269
Media de la vble. dep.	23.01429	D.T. de la vble. dep.	419.0093	
Suma de cuad. residuos	1565971	D.T. de la regresión	417.1293	
R-cuadrado	0.313891	R-cuadrado corregido	0.008953	
F(4, 9)	1.029362	Valor p (de F)	0.442831	
Log-verosimilitud	-101.2399	Criterio de Akaike	212.4797	
Criterio de Schwarz	215.6750	Crit. de Hannan-Quinn	212.1839	
rho	0.048425	Durbin-Watson	1.745427	

Tabla 9: Modelo MCO con desviaciones típicas robustas.

Modelo 4: MCO combinados, utilizando 30 observaciones Se han incluido 3 unidades de sección cruzada Largura de la serie temporal = 10 Variable dependiente: d_N20 Desviaciones típicas robustas (HAC)				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	-72.6769	97.0980	-0.7485	0.5322
d_Eléctrica	0.175223	0.0321922	5.443	0.0321 **
d_Renovables	0.0355667	0.0365544	0.9730	0.4332
PIB	0.221600	0.127014	1.745	0.2232
Media de la vble. dep.	10.84667	D.T. de la vble. dep.	336.4200	
Suma de cuad. residuos	3027509	D.T. de la regresión	341.2369	
R-cuadrado	0.077590	R-cuadrado corregido	-0.028841	
Log-verosimilitud	-215.3990	Criterio de Akaike	438.7979	
Criterio de Schwarz	444.4027	Crit. de Hannan-Quinn	440.5909	
rho	0.013327	Durbin-Watson	1.950868	
Contraste de especificación RESET - Hipótesis nula: [La especificación es adecuada] Estadístico de contraste: F(2, 24) = 3.85621 con valor p = P(F(2, 24) > 3.85621) = 0.0353007				

Tabla 10: Modelo MCO d_PFC

Modelo 6: MCO combinados, utilizando 30 observaciones Se han incluido 3 unidades de sección cruzada Largura de la serie temporal = 10 Variable dependiente: d_PFC				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	-0.806015	4.03673	-0.1997	0.8433
d_Eléctrica	0.0279211	0.00660443	4.228	0.0003 ***
d_Renovables	0.00214325	0.00815624	0.2628	0.7948
PIB	0.000895467	0.00797349	0.1123	0.9114
Media de la vble. dep.	-1.643333	D.T. de la vble. dep.	15.97871	
Suma de cuad. residuos	4252.419	D.T. de la regresión	12.78885	
R-cuadrado	0.425679	R-cuadrado corregido	0.359411	
F(3, 26)	6.423615	Valor p (de F)	0.002113	
Log-verosimilitud	-116.8788	Criterio de Akaike	241.7577	
Criterio de Schwarz	247.3625	Crit. de Hannan-Quinn	243.5507	
rho	0.074240	Durbin-Watson	1.757197	

Contraste de heterocedasticidad de White -
 Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]
 Estadístico de contraste: LM = 12.2195
 con valor p = P(Chi-cuadrado(9) > 12.2195) = 0.201216

Contraste de normalidad de los residuos -
 Hipótesis nula: [El error tiene distribución Normal]
 Estadístico de contraste: Chi-cuadrado(2) = 6.12673
 con valor p = 0.0467302

Contraste de especificación RESET -
 Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]
 Estadístico de contraste: F(2, 24) = 1.58453
 con valor p = P(F(2, 24) > 1.58453) = 0.225756

Tabla 11: Modelo MCO d_SF6

Modelo 7: MCO combinados, utilizando 30 observaciones

Se han incluido 3 unidades de sección cruzada

Largura de la serie temporal = 10

Variable dependiente: d_SF6

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	valor p	
const	-0.733823	1.62123	-0.4526	0.6546	
d_Eléctrica	0.00648941	0.00265248	2.447	0.0215	**
d_Renovables	0.00164400	0.00327571	0.5019	0.6200	
PIB	0.000830043	0.00320232	0.2592	0.7975	
Media de la vble. dep.	-0.606667	D.T. de la vble. dep.		5.488856	
Suma de cuad. residuos	685.9112	D.T. de la regresión		5.136263	
R-cuadrado	0.214934	R-cuadrado corregido		0.124349	
F(3, 26)	2.372744	Valor p (de F)		0.093349	
Log-verosimilitud	-89.51142	Criterio de Akaike		187.0228	
Criterio de Schwarz	192.6276	Crit. de Hannan-Quinn		188.8159	
rho	0.011088	Durbin-Watson		1.941272	

Contraste de heterocedasticidad de White -
 Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]
 Estadístico de contraste: LM = 6.90946
 con valor p = P(Chi-cuadrado(9) > 6.90946) = 0.646546

Contraste de normalidad de los residuos -
 Hipótesis nula: [El error tiene distribución Normal]
 Estadístico de contraste: Chi-cuadrado(2) = 14.1056
 con valor p = 0.000864999

Contraste de especificación RESET -

Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]
 Estadístico de contraste: $F(2, 24) = 0.506318$
 con valor $p = P(F(2, 24) > 0.506318) = 0.609005$

Tabla 12: Modelo MCO d_CH4

Modelo 8: MCO combinados, utilizando 30 observaciones

Se han incluido 3 unidades de sección cruzada

Largura de la serie temporal = 10

Variable dependiente: d_CH4

	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	-90.2573	168.633	-0.5352	0.5970
d_Eléctrica	-0.270089	0.275897	-0.9789	0.3366
d_Renovables	0.120223	0.340723	0.3528	0.7270
PIB	0.0742149	0.333089	0.2228	0.8254
Media de la vble. dep.	-39.99667	D.T. de la vble. dep.		515.8247
Suma de cuad. residuos	7420966	D.T. de la regresión		534.2488
R-cuadrado	0.038259	R-cuadrado corregido		-0.072711
F(3, 26)	0.344768	Valor p (de F)		0.793172
Log-verosimilitud	-228.8475	Criterio de Akaike		465.6950
Criterio de Schwarz	471.2998	Crit. de Hannan-Quinn		467.4880
rho	-0.048662	Durbin-Watson		1.997010

Contraste de heterocedasticidad de White -

Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]

Estadístico de contraste: LM = 9.65463

con valor $p = P(\text{Chi-cuadrado}(9) > 9.65463) = 0.379161$

Contraste de normalidad de los residuos -

Hipótesis nula: [El error tiene distribución Normal]

Estadístico de contraste: Chi-cuadrado(2) = 3.57819

con valor $p = 0.167112$

Contraste de especificación RESET -

Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]

Estadístico de contraste: $F(2, 24) = 2.51355$

con valor $p = P(F(2, 24) > 2.51355) = 0.102069$

Tabla 13: Modelo MCO d_HFC, sin problemas de heterocedasticidad.

Modelo 5: MCO combinados, utilizando 30 observaciones Se han incluido 3 unidades de sección cruzada Largura de la serie temporal = 10 Variable dependiente: d_HFC				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	764.303	1191.84	0.6413	0.5270
l_PIB	-197.006	206.937	-0.9520	0.3499
d_l_Eléctrica	-1366.43	2978.29	-0.4588	0.6502
d_l_Renovables	-158.991	844.014	-0.1884	0.8520
Media de la vble. dep.	-363.6467	D.T. de la vble. dep.	914.5755	
Suma de cuad. residuos	23334717	D.T. de la regresión	947.3590	
R-cuadrado	0.038021	R-cuadrado corregido	-0.072976	
F(3, 26)	0.342543	Valor p (de F)	0.794754	
Log-verosimilitud	-246.0320	Criterio de Akaike	500.0640	
Criterio de Schwarz	505.6688	Crit. de Hannan-Quinn	501.8570	
rho	-0.095730	Durbin-Watson	2.136633	
Contraste de heterocedasticidad de White - Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad] Estadístico de contraste: LM = 9.38504 con valor p = P(Chi-cuadrado(9) > 9.38504) = 0.402517				
Contraste de especificación RESET - Hipótesis nula: [La especificación es adecuada] Estadístico de contraste: F(2, 24) = 0.84594 con valor p = P(F(2, 24) > 0.84594) = 0.441555				

Tabla 14: Modelo MCO CO2

Modelo 9: MCO combinados, utilizando 30 observaciones Se han incluido 3 unidades de sección cruzada Largura de la serie temporal = 10 Variable dependiente: CO2 Desviaciones típicas robustas (HAC)				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	-52193.8	126666	-0.4121	0.7203
d_l_Renovables	-7244.59	13553.9	-0.5345	0.6465
l_PIB	25765.1	22378.9	1.151	0.3687
d_l_Eléctrica	-143411	79796.0	-1.797	0.2141
Media de la vble. dep.	93413.72	D.T. de la vble. dep.	45214.66	
Suma de cuad. residuos	3.90e+10	D.T. de la regresión	38753.16	

R-cuadrado	0.341386	R-cuadrado corregido	0.265392
Log-verosimilitud	-357.3707	Criterio de Akaike	722.7413
Criterio de Schwarz	728.3461	Crit. de Hannan-Quinn	724.5344
rho	0.942813	Durbin-Watson	0.125056

Contraste de especificación RESET -
 Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]
 Estadístico de contraste: $F(2, 24) = 13.3328$
 con valor $p = P(F(2, 24) > 13.3328) = 0.000127636$

Tabla 15: Modelo MCO PM25

Modelo 10: MCO combinados, utilizando 30 observaciones					
Se han incluido 3 unidades de sección cruzada					
Largura de la serie temporal = 10					
Variable dependiente: PM25					
Desviaciones típicas robustas (HAC)					
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>	
const	-228738	69179.5	-3.306	0.0806	*
l_PIB	47926.3	12225.9	3.920	0.0593	*
d_1_Eléctrica	77661.7	39226.4	1.980	0.1863	
d_1_Renovables	8530.52	9870.85	0.8642	0.4786	
Media de la vble. dep.	43812.91	D.T. de la vble. dep.	45653.54		
Suma de cuad. residuos	1.18e+10	D.T. de la regresión	21323.39		
R-cuadrado	0.804413	R-cuadrado corregido	0.781846		
F(3, 2)	5.24e+13	Valor p (de F)	1.91e-14		
Log-verosimilitud	-339.4484	Criterio de Akaike	686.8969		
Criterio de Schwarz	692.5017	Crit. de Hannan-Quinn	688.6899		
rho	0.907081	Durbin-Watson	0.169645		
Contraste de especificación RESET -					
Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]					
Estadístico de contraste: $F(2, 24) = 97.3649$					
con valor $p = P(F(2, 24) > 97.3649) = 3.04537e-012$					

Tabla 16: Modelo MCO 1_PM10

Modelo 11: MCO combinados, utilizando 30 observaciones					
Se han incluido 3 unidades de sección cruzada					
Largura de la serie temporal = 10					
Variable dependiente: 1_PM10					
Desviaciones típicas robustas (HAC)					
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>	
const	1.59274	0.135529	11.75	0.0072	***
1_PIB	1.55275	0.0246539	62.98	0.0003	***
d_1_Eléctrica	0.144415	0.185039	0.7805	0.5168	
d_1_Renovables	0.272563	0.0336489	8.100	0.0149	**
Media de la vble. dep.	10.41759	D.T. de la vble. dep.		1.354332	
Suma de cuad. residuos	0.455168	D.T. de la regresión		0.132312	
R-cuadrado	0.991443	R-cuadrado corregido		0.990456	
F(3, 2)	2.12e+16	Valor p (de F)		4.71e-17	
Log-verosimilitud	20.25613	Criterio de Akaike		-32.51225	
Criterio de Schwarz	-26.90746	Crit. de Hannan-Quinn		-30.71923	
rho	0.499622	Durbin-Watson		0.774082	
Contraste de especificación RESET -					
Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]					
Estadístico de contraste: F(2, 24) = 5.08071					
con valor p = P(F(2, 24) > 5.08071) = 0.0144579					

Tabla 17: Modelo MCO 1_NH3

Modelo 12: MCO combinados, utilizando 30 observaciones					
Se han incluido 3 unidades de sección cruzada					
Largura de la serie temporal = 10					
Variable dependiente: 1_NH3					
Desviaciones típicas robustas (HAC)					
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>	
const	-11.5240	1.54590	-7.455	0.0175	**
1_PIB	3.61878	0.273144	13.25	0.0056	***
d_1_Eléctrica	2.00273	1.38359	1.447	0.2847	
d_1_Renovables	0.184719	0.195224	0.9462	0.4439	
Media de la vble. dep.	9.027400	D.T. de la vble. dep.		3.165852	
Suma de cuad. residuos	5.915953	D.T. de la regresión		0.477008	
R-cuadrado	0.979646	R-cuadrado corregido		0.977298	
F(3, 2)	1.12e+15	Valor p (de F)		8.91e-16	
Log-verosimilitud	-18.21498	Criterio de Akaike		44.42997	
Criterio de Schwarz	50.03476	Crit. de Hannan-Quinn		46.22299	
rho	0.913249	Durbin-Watson		0.150175	

Contraste de especificación RESET -
 Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]
 Estadístico de contraste: $F(2, 24) = 130.539$
 con valor $p = P(F(2, 24) > 130.539) = 1.26752e-013$

Tabla 18: Modelo MCO CO

Modelo 13: MCO combinados, utilizando 30 observaciones

Se han incluido 3 unidades de sección cruzada

Largura de la serie temporal = 10

Variable dependiente: CO

	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>	
const	-33096.6	28401.6	-1.165	0.2545	
d_Eléctrica	50.1847	46.4674	1.080	0.2901	
d_Renovables	7.06186	57.3855	0.1231	0.9030	
PIB	1487.90	56.0998	26.52	<0.0001	***
Media de la vble. dep.	567229.0	D.T. de la vble. dep.		451466.4	
Suma de cuad. residuos	2.11e+11	D.T. de la regresión		89979.59	
R-cuadrado	0.964387	R-cuadrado corregido		0.960277	
F(3, 26)	234.6880	Valor p (de F)		6.10e-19	
Log-verosimilitud	-382.6418	Criterio de Akaike		773.2836	
Criterio de Schwarz	778.8884	Crit. de Hannan-Quinn		775.0766	
rho	0.620809	Durbin-Watson		0.757497	

Contraste de heterocedasticidad de White -
 Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]
 Estadístico de contraste: LM = 8.21964
 con valor $p = P(\text{Chi-cuadrado}(9) > 8.21964) = 0.512173$

Contraste de especificación RESET -
 Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]
 Estadístico de contraste: $F(2, 24) = 25.785$
 con valor $p = P(F(2, 24) > 25.785) = 1.0528e-006$

Tabla 19: Modelo MCO COVNM

Modelo 14: MCO combinados, utilizando 30 observaciones				
Se han incluido 3 unidades de sección cruzada				
Largura de la serie temporal = 10				
Variable dependiente: COVNM				
Desviaciones típicas robustas (HAC)				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	49150.1	108534	0.4529	0.6950
d_Eléctrica	-26.5442	20.9488	-1.267	0.3327
d_Renovables	-30.5173	34.1673	-0.8932	0.4660
PIB	388.184	144.376	2.689	0.1150
Media de la vble. dep.	205683.5	D.T. de la vble. dep.		143509.7
Suma de cuad. residuos	2.02e+11	D.T. de la regresión		88047.51
R-cuadrado	0.662521	R-cuadrado corregido		0.623581
F(3, 2)	2.39e+15	Valor p (de F)		4.18e-16
Log-verosimilitud	-381.9906	Criterio de Akaike		771.9812
Criterio de Schwarz	777.5860	Crit. de Hannan-Quinn		773.7742
Contraste de especificación RESET -				
Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]				
Estadístico de contraste: F(2, 24) = 525.943				
con valor p = P(F(2, 24) > 525.943) = 1.51825e-020				

Tabla 20: Modelo MCO 1_NOX

Modelo 15: MCO combinados, utilizando 30 observaciones				
Se han incluido 3 unidades de sección cruzada				
Largura de la serie temporal = 10				
Variable dependiente: l_Nox				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	10.9693	0.186266	58.89	<0.0001 ***
l_PIB	0.289935	0.0323409	8.965	<0.0001 ***
d_l_Eléctrica	-0.108688	0.465459	-0.2335	0.8172
d_l_Renovables	0.235471	0.131906	1.785	0.0859 *
Media de la vble. dep.	12.62461	D.T. de la vble. dep.		0.288949
Suma de cuad. residuos	0.569942	D.T. de la regresión		0.148057
R-cuadrado	0.764609	R-cuadrado corregido		0.737448
F(3, 26)	28.15144	Valor p (de F)		2.52e-08
Log-verosimilitud	16.88311	Criterio de Akaike		-25.76621
Criterio de Schwarz	-20.16142	Crit. de Hannan-Quinn		-23.97319
rho	0.738969	Durbin-Watson		0.449893

Contraste de heterocedasticidad de White -
 Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]
 Estadístico de contraste: LM = 13.8743
 con valor p = P(Chi-cuadrado(9) > 13.8743) = 0.126868

Contraste de especificación RESET -
 Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]
 Estadístico de contraste: F(2, 24) = 3.18673
 con valor p = P(F(2, 24) > 3.18673) = 0.0592385

Tabla 21: Modelo MCO SOX

Modelo 16: MCO combinados, utilizando 30 observaciones

Se han incluido 3 unidades de sección cruzada

Largura de la serie temporal = 10

Variable dependiente: Sox

Desviaciones típicas robustas (HAC)

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	valor p
const	107075	124798	0.8580	0.4813
PIB	-50.1252	165.760	-0.3024	0.7909
d_Eléctrica	-51.7270	30.4487	-1.699	0.2315
d_Renovables	-35.3989	41.0450	-0.8624	0.4793

Media de la vble. dep.	87087.51	D.T. de la vble. dep.	101306.0
Suma de cuad. residuos	2.75e+11	D.T. de la regresión	102903.1
R-cuadrado	0.074957	R-cuadrado corregido	-0.031779
F(3, 2)	1.14e+14	Valor p (de F)	8.79e-15
Log-verosimilitud	-386.6679	Criterio de Akaike	781.3359
Criterio de Schwarz	786.9407	Crit. de Hannan-Quinn	783.1289
rho	0.939065	Durbin-Watson	0.104403

Contraste de especificación RESET -
 Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]
 Estadístico de contraste: F(2, 24) = 0.667556
 con valor p = P(F(2, 24) > 0.667556) = 0.522229

Tabla 22: Modelo MCO d_GEI

Modelo 17: MCO combinados, utilizando 30 observaciones				
Se han incluido 3 unidades de sección cruzada				
Largura de la serie temporal = 10				
Variable dependiente: d_GEI				
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>valor p</i>
const	-2709.51	2429.69	-1.115	0.2750
d_Eléctrica	14.9461	3.97518	3.760	0.0009 ***
d_Renovables	2.02777	4.90920	0.4131	0.6830
PIB	1.76684	4.79921	0.3682	0.7157
Media de la vble. dep.	-2582.753	D.T. de la vble. dep.	9236.641	
Suma de cuad. residuos	1.54e+09	D.T. de la regresión	7697.546	
R-cuadrado	0.377339	R-cuadrado corregido	0.305493	
F(3, 26)	5.252085	Valor p (de F)	0.005741	
Log-verosimilitud	-308.8814	Criterio de Akaike	625.7627	
Criterio de Schwarz	631.3675	Crit. de Hannan-Quinn	627.5557	
rho	-0.124796	Durbin-Watson	2.177870	
Contraste de heterocedasticidad de White -				
Hipótesis nula: [No hay heterocedasticidad]				
Estadístico de contraste: LM = 8.34577				
con valor p = P(Chi-cuadrado(9) > 8.34577) = 0.499712				
Contraste de especificación RESET -				
Hipótesis nula: [La especificación es adecuada]				
Estadístico de contraste: F(2, 24) = 0.942692				
con valor p = P(F(2, 24) > 0.942692) = 0.403533				

3.5.6 Resultados:

Tras haber especificado correctamente los diferentes modelos podemos observar que las relaciones entre los diferentes gases contaminantes y el uso de la energía eléctrica, el uso de energías renovables y el PIB no son siempre las mismas:

En el modelo 4, con la variable d_N2O, se obtienen todas las variables explicativas con un efecto positivo sobre el gas. El uso de la energía eléctrica se manifiesta como el determinante más importante, siendo el más significativo aunque la magnitud más alta la tenga la variable PIB.

En el modelo 5, con la variable d_HFC, se obtienen todas las variables explicativas con un efecto negativo sobre el gas. El uso de la energía eléctrica vuelve a ser la variable más destacada, siendo ahora la magnitud más alta aunque con signo menos.

En el modelo 6, con la variable d_PFC, se obtienen todas las variables explicativas con signo positivo sobre el gas. El uso de la energía eléctrica vuelve a ser la variable explicativa más importante, siendo altamente significativa.

En el modelo 7, con la variable d_SF6, se obtienen también todas las variables explicativas con un efecto positivo sobre el gas. El uso de la energía eléctrica será de nuevo la variable a destacar y vuelve a ser altamente significativa.

En el modelo 8, con la variable d_CH4, se obtiene un efecto negativo en el uso de la energía eléctrica y un efecto positivo tanto en el uso de las energías renovables como en el PIB.

En el modelo 9, con la variable CO2, se obtiene un efecto negativo tanto en el uso de energías renovables como en el uso de energía eléctrica, siendo la variable PIB la única que tiene un efecto positivo sobre este gas.

En el modelo 10, con la variable PM25, se obtiene un efecto positivo de todas las variables explicativas. Siendo en este caso la variable a destacar el PIB, siendo la variable más significativa.

En el modelo 11, con la variable l_PM10, se obtiene un efecto positivo de todas las variables explicativas. Siendo la variable PIB la variable más importante, altamente significativa y con la mayor magnitud junto al uso de energías renovables que también es altamente significativa.

En el modelo 12, con la variable l_NH3, se obtiene un efecto positivo en todas las variables explicativas. Siendo en este caso el PIB la variable más importante, altamente significativa.

En el modelo 13, con la variable CO, se obtiene de nuevo un efecto positivo en todas las variables explicativas. Siendo en este caso el PIB la variable más importante, altamente significativa.

En el modelo 14, con la variable COVNM, se obtiene un efecto negativo tanto en el uso de energías renovables como en el uso de energía eléctrica aunque tiene un efecto positivo en la variable PIB, siendo esta la variable con mayor magnitud.

En el modelo 15, con la variable l_NOX, se obtiene un efecto negativo en el uso de energía eléctrica y un efecto positivo tanto en el uso de energías renovables como en el PIB. Siendo la variable PIB altamente significativa y el uso de energías renovables significativa también pero de menor importancia.

En el modelo 16, con la variable SOX, se obtiene un efecto negativo en todas las variables explicativas. Siendo la variable uso de energía eléctrica la variable con mayor importancia.

En el modelo 17, con la variable d_GEI, se obtiene un efecto positivo en todas las variables. Siendo el uso de energía eléctrica la variable más importante, altamente significativa y con mayor magnitud. Esta variable d_GEI sería el ejemplo y comportamiento que sigan los gases de efecto invernadero.

4. CONCLUSIONES

Según los principales resultados que hemos obtenido en los modelos estimados podemos explicar las diferentes relaciones que tienen los distintos gases contaminantes con el uso de la energía eléctrica, el uso de las energías renovables y el PIB.

En el caso de los modelos 4, 6, 7, 12, 13, 11, 10, 17: Vemos que todas las variables explicativas afectan positivamente tanto al N2O, PFC y SF6 esto puede ser debido:

Un mayor uso de la energía eléctrica lleva a un aumento de la emisión de gases asociado a que su producción aumenta y eso conlleva una mayor emisión de estos gases.

Un mayor uso de las energías renovables lleva a un aumento de la emisión de gases asociado a la falta de capacidad de almacenaje de esta energía, su escasa utilización o que no es una fuente de energía constante.

Un aumento del PIB lleva a un aumento de la emisión de gases asociado al aumento de la actividad de las empresas, las cuales, suelen optar por la utilización de energías no renovables.

El valor más significativo en la mayoría es el uso de energía eléctrica, excepto en los gases PM25, CO, l_NH3 donde es el PIB, llegando a ser muy significativo. El R-cuadrado no es muy alto en el modelo 4, esto puede ser debido a la pérdida de 3 muestras del conjunto de las 30 observaciones. Aunque es considerablemente alto en los modelos 6, 7, 10, 11, 12, 13 y 17 tienen una capacidad explicativa muy alta estos modelos.

El cuanto al modelo 11, el gas l_PM10 sería interesante tratarlo debido a que es muy significativo tanto en el PIB como en el uso de energías renovables.

En el caso de los modelos 5 y 16: Vemos que todas las variables explicativas afectan negativamente tanto al HFC y al SOX esto puede ser debido:

Un mayor uso de la energía eléctrica, así como de energías renovables lleva a una disminución de la emisión de gases asociado a su uso como alternativa de otras energías más contaminantes.

Un aumento del PIB lleva a una disminución de la emisión de gases debido a que el nivel de bienestar es mejor. A mayor renta, más posibilidad de elección.

Por ello, países con renta más alta se centran más en la producción cualitativa que en la cuantitativa, dado que existe una extendida conciencia social más sensibilizada por las consecuencias del cambio climático producido por un uso excesivo de gases de efecto invernadero, así como, dado que su potencial económico puede soportar mayores costes a la hora de adquirir energía renovables en sustitución de las energías fósiles.

5. BIBLIOGRAFÍA

Referencias:

BANCO DE ESPAÑA (2020) *Artículos analíticos: Boletín Económico 2/2020. Escenarios macroeconómicos de referencia para la economía española tras el covid-19*

Noam Chomsky, Robert Pollin (2020) *Cambiar o morir: Capitalismo, crisis climática y el Green New Deal*. Editorial Clave Intelectual

INE *España en cifras 2015*. Editorial INE. Madrid, desde <https://www.ine.es/prodyser/espacifras/2015/files/assets/basic-html/page-1.html>

INE *España en cifras 2016*. Editorial INE. Madrid, desde <https://www.ine.es/prodyser/espacifras/2016/files/assets/basic-html/page-1.html#>

INE *España en cifras 2017*. Editorial INE. Madrid, desde <https://www.ine.es/prodyser/espacifras/2017/index.html>

INE *España en cifras 2018*. Editorial INE. Madrid, desde <https://www.ine.es/prodyser/espacifras/2018/2/>

INE *España en cifras 2019*. Editorial INE. Madrid, desde <https://www.ine.es/prodyser/espacifras/2019/3/>

INE *España en cifras 2020*. Editorial INE. Madrid, desde https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INEPublicacion_C&cid=1259924856416&p=1254735110672&pagename=ProductosYServicios%2FPYSLayout¶m1=PYSDetalleGratuitas

Mónica Serrano, Jordi Roca (2008) “Comercio exterior y contaminación atmosférica en España: un análisis input-output”. *Publicado por Cuadernos Aragoneses de Economía*. Vol 18 nº1 p. 9-34

Jordi Roca Jusmet, Emilio Padilla Rosa (2003) *Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La Curva de Kuznets Ambiental y el Protocolo de Kyoto*. Revista Economía Industrial.

SERVICIO DE ESTUDIOS LA CAIXA (2009) Josep M. Vegara. *El cambio climático: análisis y política económica. Una introducción*.

Joaquim Vergés (2009) *El protocolo de Kyoto, y el 'mercado de emisiones de CO2*.

Confederación Sindical CCOO (2019). *Informe: Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2018)*

VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. *Nota de Prensa (8/07/2020) Avance del Inventario de Emisiones GEI*

OBSERVATORIO DE SOSTENIBILIDAD (30/05/2020) *Energía y Covid-19: Lecciones aprendidas.*

OBSERVATORIO DE SOSTENIBILIDAD. Autor: José Samarta. *Informe: Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2019).*

MINISTERIO DE POLÍTICA TERRITORIAL Y ADMINISTRACIÓN PÚBLICA. (2011) *Evaluación del Plan Español de Energías Renovables (2005-2010)*

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2015) *Perfil Ambiental de España 2014*

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. (2021). *Informe de Inventario Nacional Gases de efecto Invernadero (1990-2019)*

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO (2015). *La energía en España 2014.*

MINISTERIO DE FOMENTO (2019) *Evolución de los indicadores económicos y sociales del transporte terrestre.*

UNESID (2018) *La industria siderúrgica española 2018.*

Jeffrey D. Sachs (2015) *La era del desarrollo Sostenible.* Editorial: Ediciones Deusto
Pere Riera, Dolores García, Bengt Kriström, Runar Brännlund (2005) *Manual de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales* Editorial; Thomson Editores Spain

Ernest García (2004) *Medio Ambiente y Sociedad: La civilización industrial y los límites del planeta.* Editorial: Alianza Editorial

Antoni Espasa, José Ramón Cancelo (1993) *Métodos cuantitativos para el análisis de la coyuntura económica.* Editorial Alianza Editorial

Bill Gates (2021) *Como evitar un desastre climático.* 115-118 Editorial Plaza Janes

Harris, R. D. F, and E. Tzavalis. 1999. Inference for unit roots in dynamic panels where the time dimension is fixed. *Journal of Econometrics* 91: 201–226.

FUNDACIÓN PARA ESTUDIOS SOBRE LA ENERGIA (2010) *Energías Renovables para la generación de la electricidad en España*. Editorial Tiasa. Madrid, desde <https://www.yumpu.com/es/document/view/35404735/energa-as-renovables-para-la-generacion-de-electricidad-en-espaaa>

INE *Notas de prensa 28 de noviembre 2017 Cuentas de emisiones a la atmósfera Serie Contable 2008-20015*

INE *Notas de prensa 16 de noviembre 2016 Cuentas de emisiones a la atmósfera Serie Contable 2010 -2014*

INE *Notas de prensa 14 de noviembre 2019 Cuentas de emisiones a la atmósfera Avance 2018 y año 2017*

Páginas Web:

VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2006). STERN REVIEW: La economía del cambio climático. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/stern_conclusiones_esp_tcm30-178350.pdf (Fecha de consulta 19 de febrero 2021)

INE

https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t26/p084/base_2010/serie/10/&file=01001.px&L=0 (Fecha de consulta 19 de febrero 2021)

DIARIO EL PAÍS (2020) Las energías renovables alcanzarán este año el 43,6% de electricidad producida en España frente al 37,5% de 2019. <https://elpais.com/economia/2020-12-17/las-energias-renovables-alcanzaran-este-ano-el-44-de-electricidad-producida-en-espana-frente-al-37-de-2019.html#:~:text=En%202020%20la%20demanda%20de,menos%20que%20la%20de%202019.&text=La%20punta%20de%20consumo%20peninsular,45.450%20MW%2C%20alcanzado%20en%202007.> (Fecha de consulta 19 de febrero 2021)

OMIE (2020) Informes mensuales <https://www.omie.es/es/publicaciones/informes-mensuales?year=2020> (Fecha de consulta 19 de febrero 2021)

VICEPRESIDENCIA CUARTA DEL GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/emisiones.aspx> (Fecha de consulta 19 de febrero 2021)

RED ELECTRICA DE ESPAÑA (2020) Las renovables ponen el broche verde a la década.<https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/especial/2020/01/las-renovables-ponen-broche-verde-a-la-decada> (Fecha de consulta 19 de febrero 2021)

IDAE Consumo de Energía Final. <http://sieeweb.idae.es/consumofinal/> (Fecha de consulta 10 de febrero 2021)