

CAPÍTULO II. CAMBIOS MEDIOAMBIENTALES PRODUCIDOS POR EL CONSUMO DE LOS HOGARES^{iv}

2.1. Introducción

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, s.f), el aumento del gasto en el consumo de bienes y servicios en Europa provoca un impacto ambiental a escala global, siendo necesario modificar los patrones de consumo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a partir de nuevos procesos de producción y de una mayor innovación en la tecnología para mitigar el calentamiento global. Entre los principales sectores de producción responsables de la contaminación atmosférica y emisiones de GEI se encuentra la electricidad, ya que, al generarla en centrales térmicas, se queman combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo o el gas. Según el informe elaborado del Parlamento Europeo basado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) el 80,7% del total las emisiones se producen para generar energía, el 10,1% lo produce la agricultura, el 8,72% los procesos industriales y el uso de productos y el 2,75% la gestión de residuos (Parlamento Europeo, 2017).

El transporte es el responsable de más de la cuarta parte de las emisiones contaminantes, debido a los motores de combustión diésel o gasolina que necesitan los vehículos para movilizarse, ya sean coches, camiones, autobuses y barcos. Es relevante indicar que el ratio de emisiones por pasajero es muy alto en el transporte aéreo, correspondiendo al 2% de las emisiones de contaminación globales, según la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA). El retorno paulatino del crecimiento del turismo y de los viajes aéreos, tras la pandemia, contribuirá de nuevo al calentamiento global, ya que la demanda del transporte aéreo esperaba triplicarse en el periodo 2020 - 2050. El porcentaje de la población mundial que viajó en avión fue del 11% en el año 2018, correspondiendo un máximo del 4% a vuelos internacionales (Gössling and Humpe, 2020).

También son sectores destacables como contaminantes, además del consumo de agua y la utilización de productos químicos, el sector de la moda, que también produce importantes emisiones de GEI; de hecho, la última Conferencia de la ONU sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 2021) indicó a la in-

^{iv} Trabajo publicado como artículo el 11 septiembre 2021, en la Revista *Energies*. Q2 - SJR.

industria de la moda como la segunda más contaminante del mundo. Por último, otro de los sectores con más emisiones es el sector alimentario, en donde las actividades procedentes de la producción agrícola, ganadería o silvicultura y la pesca, han aumentado en un 200% en las últimas cinco décadas con un pronóstico de un 30% más para el año 2050, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Con el objetivo de disminuir las emisiones provocadas por el transporte se están desarrollando nuevas tecnologías que han sido analizadas por diferentes autores. Por ejemplo, la promoción de políticas relacionadas con el uso de biocombustibles contribuye a una economía verde reduciendo las emisiones de carbono, como lo demuestra un estudio realizado en la región de Yunnan, China (Wang, Wei, Calderon, and Liao, 2019). Los sistemas impulsados por la energía de biomasa son esenciales para mitigar el uso de la energía fósil y reducir las emisiones de CO_2 , como se demuestra con el sistema combinado de refrigeración, calefacción y energía (CCHP) a microescala para la utilización doméstica (Wang, Li, Zhang, Wang, Du and Fang, 2020). Los autores Mohan, Yang, Raman, Sivasankaralingam, and Chou (2014) realizan un estudio en el que se utiliza un biodiesel renovable para optimizar los motores diesel estacionarios que generan energía en aplicaciones domésticas y comerciales, y reducir así las emisiones. Además, las estrategias de políticas locales destinadas a mitigar el cambio climático reducen la huella de carbono en el consumo de los hogares, como lo demuestran los autores Ottelin, Heinonen y Junnila (2018) en un estudio realizado en el área metropolitana de Helsinki, con una reducción de emisiones de carbono de más del 7% del año 2006 al 2012, y a pesar del aumento del gasto del 1%.

El éxito de la industria europea en los últimos años en la reducción de las presiones medioambientales y las emisiones de carbono, así como en el aumento de la eficiencia energética, se produce a partir de cambios en los sistemas de producción, el comercio internacional y los patrones de consumo. La evolución de las emisiones industriales de CO_2 fue muy similar en todos los países, pero fue mejor en la producción industrial que en el consumo de los hogares tras la crisis económica (Kopidou and Diakoulaki, 2017). De ahí la importancia de estudios como el presente, enfocados en el análisis de las emisiones provocadas por el consumo de los hogares.

Ya centrados en la economía española, la crisis económica del 2008 ha provocado cambios en el patrón de consumo de alimentos de los hogares españoles reduciendo la huella de carbono (Esteve-Llorens, Moreira, Feijoo, and González-García, 2021). Además, el consumo de los hogares en bienes y servicios importados (comercio internacional) es muy desigual en función de sus ingresos, ya que mientras que los hogares con mayores ingresos importaban el 30% de su consumo total antes de la crisis, y se reducían al 20% durante la crisis; los de menor ingresos importaban sólo el 20% de su consumo y se

mantenían durante la crisis (López, Arce, Morenate, and Monsalve, 2016). Por lo que debemos analizar en profundidad estos cambios en los patrones de consumo producidos tras las crisis económicas, de cara a encauzar adecuadamente las políticas energéticas orientadas a los hogares.

En España, los planes de acción de los organismos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO, s.f) se dirigen hacia el compromiso con la lucha contra el cambio climático, y al apoyo a los acuerdos internacionales con ese fin. En el año 2005 el Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 (IDAE, 2005) supuso un impulso a la transición hacia un modelo energético con bajas emisiones de carbono mediante una serie de inversiones durante los siguientes años. Se realizó una apuesta por las energías renovables para conseguir un desarrollo sostenible, la mitigación del cambio climático y un mayor abastecimiento del consumo energético por fuentes energéticas autóctonas.

Este Plan contribuyó decisivamente a la reducción de los niveles de emisiones de GEI que forman parte de las obligaciones internacionales de España, en particular las derivadas del Protocolo de Kyoto, gracias a que las fuentes de energías renovables se incorporaron como instrumento fundamental para la reducción de las emisiones de CO₂. Posteriormente, la Comisión Europea presentó la Directiva 2009/28/CE, una directiva global sobre el uso de las fuentes de energía renovables, que contenía criterios y disposiciones para garantizar la producción y el uso sostenibles de la bioenergía. España asumió los objetivos energéticos 20-20-20 fijados por la Unión Europea y los recogió en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 (IDAE, 2011).

Actualmente, la Comisión Europea a través del Pacto Verde Europeo se ha propuesto el objetivo de mejorar las reducciones de las emisiones de GEI para el año 2030 hasta al menos el 55% con respecto a 1990. En este año 2021 se presentarán las propuestas legislativas para cumplir los objetivos políticos para la UE en materia de clima y energía para el periodo 2021-2030. Entre ellos se encuentran la ampliación de la cuota de energías renovables en un 32% y una mejora de la eficiencia energética de un 32,5%. La UE informará de los avances conseguidos adoptando una serie de normas orientadas a cumplir su compromiso internacional recogido en el Acuerdo de París (Comisión Europea, s.f). España presentará a la Comisión Europea el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC, s.f.), con el objetivo de reducir un 23% las emisiones de GEI respecto al año 1990, y cumpliendo con el Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima.

Uno de los objetivos de este capítulo consiste en conocer el impacto que la actividad económica de los sectores productivos (medido a través del consumo de los hogares) tiene en las emisiones de GEI, antes y después de una crisis

económica. Por otro lado, se realizará un análisis comparativo de los resultados obtenidos entre el periodo anterior y posterior a la crisis, destacando las emisiones de GEI producidas por el consumo de los hogares jóvenes. Los resultados de este estudio, por tanto, aportarán un valor añadido en cuanto a las emisiones producidas por el consumo de los diferentes tipos de hogares, concretamente, en el de los jóvenes, identificando los sectores productivos más representativos.

Este capítulo se divide en seis epígrafes: en este primer epígrafe se ha expuesto la introducción; en el segundo se presenta la revisión de la literatura más reciente relacionada con el tema de estudio; en el tercero se explica la metodología utilizada y se analizan las emisiones de GEI que producen los sectores productivos en el periodo anterior y posterior a la crisis económica; en el cuarto se da a conocer el impacto medioambiental provocado por el consumo de los hogares diferenciados por tramos de edad, y destacando el grupo de los jóvenes; en el quinto, se plantea una discusión finalizando con las conclusiones más relevantes, permitiendo entender la reducción de las emisiones de GEI de determinados sectores productivos principalmente producida por el consumo de los hogares jóvenes tras la crisis económica.

2.2. Revisión de la literatura

A continuación, destacamos estudios que han abordado los efectos del consumo de los hogares en las emisiones de GEI y que utilizan la metodología empleada en este trabajo, la metodología Input- Output, tanto a nivel nacional como internacional. Nos centramos primero en aquellos relacionados con la crisis económica.

El estudio de Ma, Chen, Guan, Meng y Zhang (2018) tiene como objetivo vincular las emisiones de CH_4 de China durante 2005- 2012 con sus determinantes socioeconómicos mediante la combinación de modelos input-output con análisis de descomposición estructural desde las perspectivas de consumo y de ingresos. Los resultados muestran que los cambios en el consumo y los ingresos de los hogares fueron los principales impulsores del crecimiento del CH_4 en China, mientras que los cambios en la eficiencia siguieron siendo el factor más importante que compensaba las emisiones de CH_4 . Después de 2007, con la crisis financiera mundial y los planes de estímulo económico, las emisiones incorporadas de las exportaciones se desplomaron, pero las de la formación de capital aumentaron rápidamente.

Liu, Wu, Wang y Wei (2011) utilizan la metodología input-output para determinar el impacto del aumento del consumo doméstico de China, distinguiendo entre urbano y rural, en las emisiones de carbono, que supuso más del 40% de las emisiones totales de carbono en el periodo 1992-2007. Concluyen que el consumo de los hogares es de gran importancia para las emisiones de CO_2 ,

que podrían mitigarse cambiando la composición de los bienes y servicios consumidos por los hogares y cambiando a un patrón de consumo de productos menos intensivos en carbono.

El objetivo del estudio de Kopidou y Diakoulaki (2017) es investigar cómo los cambios en la producción y el consumo de productos industriales afectan a las emisiones de CO₂ de las industrias en cuatro países del sur de Europa, durante el período 2000-2011, dividiendo el período examinado en dos subperíodos, 2000-2008 y 2008-2011, con el fin de investigar el impacto de la crisis económica tanto en los factores impulsores como en las emisiones industriales de CO₂. La evolución general de las emisiones industriales de CO₂ fue bastante similar en todos los países y los resultados de la descomposición de los dos subperíodos revelaron una homogeneidad sustancial entre los países. Los factores impulsores basados en el consumo contribuyeron principalmente al aumento de las emisiones de CO₂ industrial, pero no al mismo nivel que los basados en la producción. Además, la producción industrial se vio más afectada por la crisis económica que los gastos de los consumidores.

Perrier, Guivarch y Boucher (2019) cuantifican las contribuciones de diferentes factores detrás de la disminución de emisiones observada en Europa entre 2009 y 2014. Con este fin, construyen tablas input-output para cada uno de los 28 países de la UE. Este conjunto de datos permite realizar un análisis de descomposición estructural de emisiones en países europeos tras la crisis económica. Los resultados muestran que el mayor impulsor de la disminución de las emisiones ha sido la bajada en la intensidad del carbono, aunque compensada en gran medida por la recuperación económica. Sin embargo, otros impulsores menos intuitivos también jugaron un papel significativo en la disminución de las emisiones: cambios en el sistema de producción, principalmente impulsados por un aumento en las importaciones; la evolución de los patrones de demanda final; una disminución de las emisiones debido a cambios en la calefacción doméstica y el transporte privado, con una pequeña compensación del crecimiento de la población. Sin embargo, estas cifras agregadas enmascaran variaciones significativas entre países de la UE.

Martínez, Delgado, Martínez y Álvarez (2019) evalúan la huella medioambiental indirecta de los hogares españoles aplicando una combinación de encuestas de gasto de los consumidores con un análisis input-output multirregional ampliado medioambientalmente. Se estudian un total de catorce categorías de impacto ambiental desde 2006 a 2015. Todas las categorías de impacto presentan una tendencia similar, particularmente afectadas por la crisis económica. Los impactos disminuyeron de 2008 a 2013 y finalmente comenzaron a aumentar levemente nuevamente de 2014 a 2015.

El último estudio destacado relacionado con la crisis lo presentan López, Arce, Morenate y Zafrilla (2017) analizando la evolución de la huella material

de los hogares españoles en el período 2006 a 2013. El método propuesto combina un modelo input-output multirregional con datos nacionales españoles sobre el consumo de los hogares según grupo social. La huella material se ha visto afectada por la crisis económica de 2008, pues la participación de la huella material de los hogares españoles, con respecto a la huella material total, disminuyó drásticamente del 70,7% en 2006 al 50,8% en 2011. Por tipo de hogar, la huella material presenta un efecto de escala, mientras que el consumo y los niveles de ingresos crecen.

Se presentan a continuación otros trabajos no relacionados directamente con la crisis económica, pero que utilizan la metodología Input Output con el fin de conocer los efectos del consumo de los hogares en el medioambiente.

Su, B., Ang, B. W., & Li, Y. (2017) analizan las emisiones de carbono en Singapur desde el punto de vista de la demanda en el periodo del año 2000 al 2010. Demuestran que los hogares provocaron una cuarta parte de las emisiones totales de Singapur, y especifican que los hogares de mayores ingresos ocasionaron un crecimiento de las emisiones directas, mientras los de menor ingreso provocaron un aumento de las emisiones indirectas.

Cellura, Longo y Mistretta (2012) afirman que el mayor consumo de los hogares italianos en el periodo anterior a la crisis del año 2008 se produce en el sector de los servicios y el de la electricidad, gas y vapor. Por ello, sugieren estrategias destinadas al ahorro de energía en estos sectores. Además, los sectores que más emisiones provocan son la agricultura, la caza y la silvicultura y el transporte por carretera.

Existen numerosos estudios sobre las emisiones provocadas por el consumo final de los hogares diferenciados entre rurales y urbanos, entre los cuales destacamos el de los autores Zhang, Yu, Cai y Wei (2017). Su estudio analiza el periodo 2007 – 2012 especificando que las emisiones provocadas por el consumo de los hogares urbanos de China son casi dos veces más que las del consumo de los hogares rurales. Por otro lado, los autores Pang, Meirelles, Moreau, V y Binder (2019) analizan los hogares de Suiza en los años 2008, 2011 y 2014, destacando que las emisiones directas son menores en los hogares urbanos que en los rurales, mientras que las indirectas son más altas. El estudio de Muñoz, Zwick y Mirzabaev, (2020) diferencia entre tres lugares de residencia revelando que la huella de carbono de los hogares de Austria es más baja en los hogares urbanos que en los rurales y los semiurbanos, y más baja en los semiurbanos que en los rurales.

Los autores Lévy, Vanhille, Goedemé y Verbist (2021) relacionan la huella de carbono provocada por el consumo de los hogares belgas con sus características socioeconómicas, destacando el ingreso y el tamaño del hogar como

las principales variables relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero. Destaca una mayor intensidad de las emisiones del consumo de los hogares más pobres, debido a que su gasto es mayor en productos intensivos en emisiones.

Lin, Pan, Qi, Ren, Sharp, y Ma (2021) analizan los factores que impulsan la utilización de la energía renovable en China en el periodo de 2010 a 2016. Los factores determinantes son los cambios en la estructura de consumo, el progreso tecnológico, y la demanda final. Además, la proporción de la energía renovable utilizada por los hogares ha disminuido. Por ello, sugieren promover el uso de la energía renovable tanto en la producción como a nivel de los hogares. En el caso de Japón, y según Shigetomi, Nansai, Kagawa y Tohno (2014), el consumo de los hogares reducirá las emisiones en el año 2035 en un 4,2% con respecto al año 2005.

2.3. Fuentes y metodología

2.3.1. Emisiones de GEI de los sectores productivos

Antes de presentar la modelización realizada y mostrar los resultados, se describen los datos utilizados especificando sus fuentes y se realiza un análisis descriptivo-comparativo de las emisiones de GEI que se emiten en España por cada sector productivo y en los años referidos: 2005 y 2015, observando su reducción tras la crisis económica a pesar del aumento en la producción.

En cuanto a los datos, se consideran los del año 2005, año de crecimiento económico que representa el nivel pre-crisis; y los proporcionados del año 2015, año de finalización de la crisis, que representa la post-crisis. Por esta razón, en el modelo se utilizarán como bases de datos las tablas simétricas Input-Output (TIO) de los años 2005 y 2015, publicadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE, s.f.a). Estas tablas recogen 73 y 64 actividades o ramas productivas, respectivamente, según la Clasificación de Productos por Actividad (CPA) y se desagregará el consumo privado de los hogares para cada una de las ramas de actividad identificando a los tipos de hogares agrupados por tramos de edad. Esta desagregación se obtiene a partir del gasto total de los hogares por tramos de edad, para los años de referencia, y son datos agrupados en 12 grupos de consumo que provienen de la Encuesta de Presupuestos Familiares, según las variables de clasificación COICOP (3 dígitos), y son facilitados también por el INE (s.f.a).

La disposición de los datos provenientes de las distintas clasificaciones supone que la correspondencia entre los grupos y códigos de gasto y las ramas o sectores productivos no es directa o unívoca, provocando la dificultad de la distribución de la demanda final de los hogares en las ramas o sectores

productivos, diferenciándola por grupos de edad. Por ello, se hace necesario construir una matriz de conversión que relacione los grupos de consumo con las ramas de actividad, a partir de la matriz creada por los autores Cai y Vandick (2020), con el fin de conseguir una correspondencia entre los grupos de consumo de los hogares (clasificados según COICOP) y las ramas productivas (clasificadas según CPA).

Tabla 1. Ramas productivas de las tablas input-output utilizadas

A	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca
B	Industrias extractivas
C	Industria manufacturera
D	Suministro de energía eléctrica, gas, vapor y aire acondicionado
E	Suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación
F	Construcción
G	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas
H	Transporte y almacenamiento
I	Hostelería
J	Información y comunicaciones
K	Actividades financieras y de seguros
L	Actividades inmobiliarias
M	Actividades profesionales, científicas y técnicas
N	Actividades administrativas y servicios auxiliares
O	Administración Pública y defensa; Seguridad Social obligatoria
P	Educación
Q	Actividades sanitarias y de servicios sociales
R	Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento
S	Otros servicios
T	Actividades de los hogares como empleadores de personal doméstico; actividades de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio

Fuente: EUROSTAT: Clasificación europea de actividades económicas NACE Rev.2 (Ajustada a la Clasificación de Productos por Actividades: CPA)

Por otro lado, se utilizará el total de las emisiones de gases de efecto invernadero (en miles de toneladas de CO₂ equivalente) para cada rama productiva de las tablas IO de los años estudiados, obtenidas a partir de las Cuentas de Emisiones a la Atmósfera proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística (s.f.b).

Las tablas input output simétricas con las que se va a trabajar se han agregado a 20 ramas de actividad (Tabla 1), acorde a la Clasificación de Productos por Actividad (CPA, 2005 y 2015) de Eurostat.

Los años de referencia objeto de estudio nos permiten comparar las emisiones de GEI antes y después de la crisis del 2008, para cada una de las ramas productivas. Previamente, se relaciona en la siguiente tabla la producción total de la economía española con las emisiones totales de GEI.

Como se observa en la Tabla 2 existe una relación inversa entre las emisiones de GEI y la producción de la economía española, tras la crisis del año 2008. Mientras las emisiones experimentan un descenso del 37,2%, la producción total de la economía crece en un 15%. Esto

se debe al papel importante que ha jugado el incremento de las energías renovables y las mejoras en la eficiencia energética, promovidas por los planes nacionales e internacionales, con el objetivo de mitigar el cambio climático.

Tabla 2. Producción total (millones de euros) y emisiones totales de CO₂ equivalente (miles de toneladas) en el periodo 2005-2015 y sus variaciones (porcentajes)

	2005	2015	Variación
Emisiones Totales	442.075	277.835,9	-37,2%
Producción Total	2.043.441	2.341.366	15%

Fuente: Elaboración propia a partir de cuentas de emisiones a la atmósfera (INE) y las tablas IO 2005 y 2015

En la tabla 3, se presenta la desagregación del total de emisiones de CO₂ equivalente de los años de referencia que se producen en cada sector productivo.

Observamos que las emisiones se han reducido en todos los sectores excepto en el sector Actividades inmobiliarias (L). Particularmente, uno de los sectores que más ha reducido sus emisiones ha sido el de las Industrias extractivas (B) con un 76,6%. Este considerable descenso se debe a la mayor utilización de las energías renovables como fuente de energía primaria en detrimento de la extracción de materias primas que se utiliza para la generación eléctrica. El siguiente sector que más ha reducido las emisiones de GEI ha sido el de la Construcción (F) con un 72,1%, provocado en gran parte por ser este

sector uno de los más afectados por la crisis de 2008. Además, las emisiones de GEI provocadas por Otros servicios (S), la Industria manufacturera (C), el Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas (G), y el Transporte y almacenamiento (H) se han reducido en un 54%, 43,1%, 41,7 % y 40,4%, respectivamente.

Tabla 3. Emisiones de CO₂ equivalente (miles de toneladas) en el periodo 2005-2015 y sus variaciones (porcentajes)

Sectores	Emisiones 2005	Emisiones 2015	Variación
A	62.760,4	50.816,1	-19,0%
B	6.292,4	1.471,6	-76,6%
C	142.949,1	81.385,8	-43,1%
D	119.926,7	73.590,6	-38,6%
E	17.109,4	13.986,7	-18,3%
F	1.761,5	492,2	-72,1%
G	10.663,2	6.215,1	-41,7%
H	64.892,2	38.648,5	-40,4%
I	903,5	702,9	-22,2%
J	762,5	580,0	-23,9%
K	346,9	288,9	-16,7%
L	749,3	757,2	1,1%
M	921,8	748,1	-18,8%
N	885,6	703,3	-20,6%
O	5.762,2	4.046,8	-29,8%
P	713,6	697,6	-2,2%
Q	1.822,6	1.205,3	-33,9%
R	289,3	249,5	-13,8%
S	2.392,7	1.099,5	-54,0%
T	170,2	150,2	-11,8%
Total	442.075,0	277.835,9	-37,2%

Fuente: Elaboración propia a partir de cuentas de emisiones a la atmósfera (INE) y las tablas IO 2005 y 2015

Por otro lado, los sectores productivos que menos han reducido sus emisiones durante el periodo de crisis económica han sido Educación (P) con una reducción del 2,2%, Actividades de los hogares (T) con una reducción del 11,8%, Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento (R) con una reducción del 13,8% y Actividades financieras y de seguros (K) con una reducción del 16,7%.

Una vez analizado el total de las emisiones de GEI y su distribución en cada uno de los sectores productivos, se procede a realizar la modelización para conocer el impacto de las variaciones en el consumo de los hogares españoles en las emisiones de GEI, diferenciado por tramos de edad, y destacando el grupo de los jóvenes.

2.3.2. Metodología

Actualmente, los sistemas de contabilidad nacional se han generalizado en la mayoría de las economías ofreciendo una información de gran valor sobre la situación económica de un país. Por ello, se ha recurrido a la utilización de las tablas input-output, que sirven como base de datos principal del análisis económico realizado. Utilizando una modelización multisectorial (Miller y Blair, 2009) sobre las tablas input-output (TIO) publicadas por el INE (s.f.a), se conocerá el impacto del consumo de los hogares, diferenciados por tramos de edad, en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se trabaja con un modelo de demanda expresado en unidades físicas, en concreto, gases de efecto invernadero (GEI) medidos en toneladas de CO₂ equivalente.

En una tabla input-output podemos distinguir la matriz de consumos intermedios, la matriz de factores primarios y la matriz de demanda final. Cada columna de la matriz de consumos intermedios nos muestra los productos intermedios empleados por cada rama productiva para desarrollar su actividad productiva. La matriz de demanda final desglosa en varias operaciones (consumo privado, consumo público, formación bruta de capital y exportaciones) el exceso de recursos de cada rama sobre la demanda intermedia realizada por todas las ramas. A partir de estas matrices se construye un modelo input-output en el que las demandas de factores son independientes de sus precios, los precios de los factores primarios son exógenos, la demanda final es también exógena y los precios de los productos son independientes de la estructura de la demanda.

Un modelo input-output define la producción sectorial (X_n) asumiendo una estructura lineal de consumos intermedios ($x_{n1} + x_{n2} + \dots + x_{nm}$) más una demanda final sectorial exógena (D_n), donde x_{nj} son el consumo intermedio del sector j de productos del sector n .

El modelo input-output utilizado consiste en un sistema de ecuaciones lineales, cada una de las cuales describe la distribución de los productos de un sector en toda la economía. Estos modelos son modelos multisectoriales lineales en los que los sectores productivos se expresan como funciones lineales de la matriz de demanda. Definiendo los coeficientes técnicos input-output (a_{ij}) como la relación entre el consumo intermedio (x_{ij}) y el pro-

ducto sectorial total (x_j) ($a_{ij} = x_{ij}/x_j$), la producción total de cualquier sector puede expresarse como la suma de las transacciones con el resto de los sectores, y las transacciones a través de la demanda final. De este modo se obtiene la siguiente ecuación matricial:

$$X_n = A_{nn} \cdot X_n + D_n \quad [1]$$

siendo D_n una matriz de orden $n \times 1$ (n es el número de sectores productivos) que contiene la demanda final, X_n una matriz de orden $n \times 1$ formada por el output total de los sectores y A_{nn} una matriz de orden $n \times n$ formada por las propensiones medias al gasto de los sectores productivos (matriz de coeficientes técnicos input-output).

Resolviendo la ecuación:

$$X_n = (I - A_{nn})^{-1} \cdot D_n \quad [2]$$

donde $(I - A_{nn})^{-1}$ es la matriz inversa de Leontief. Cada elemento c_{ij} de la matriz inversa muestra el cambio en el output del sector i si el sector j recibe una unidad monetaria adicional desde la demanda final. La matriz resultante X_n es la matriz que indica el grado en que una variación exógena en el sistema afecta a los ingresos totales de los sectores.

Partiendo de la ecuación matricial [2], cualquier variación en los ingresos de los sectores (debido a una variación de su demanda final) se verá reflejada en una variación de la matriz de producción como describe la siguiente ecuación:

$$\Delta X_n = (I - A_{nn})^{-1} \cdot \Delta D_n \quad [3]$$

La expresión $(I - A_{nn})^{-1}$ incluye los impactos directos e indirectos en la producción cuando se produce una modificación de la demanda final. Un aumento/disminución de la demanda final en un sector generará un aumento/disminución en su producción para cubrir la nueva demanda (impacto directo), lo que a su vez hará que dicho sector aumente/disminuya sus compras al resto de sectores (impacto indirecto).

Además del impacto en la producción, estos modelos nos permiten obtener el impacto sobre otras macromagnitudes, así como expresar el impacto en unidades físicas como, en el caso de este trabajo, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Para ello, se utiliza la modelización anterior con el fin de valorar el impacto de los cambios en el consumo de los hogares sobre las emisiones de GEI, provocados por las variaciones de la actividad económica (cambios en la

producción) que suponen los cambios modelizados en el consumo de los hogares.

Esta información se obtiene utilizando los coeficientes unitarios de emisiones de GEI definidos por la relación entre las emisiones en términos físicos (E_i) y la producción total del sector i en términos monetarios (X_i). Usando esta definición, podemos reescribir la Expresión [3] premultiplicando la matriz inversa del modelo por un vector de coeficientes unitarios de emisiones atmosféricas diagonalizado, $E_n = \text{diag}(E_i/X_i)$, que muestra las emisiones atmosféricas de un sector por unidad de su producción. De este modo se obtienen los efectos medioambientales provocados por los cambios en el consumo de los hogares.

$$EMI_n = E_n(I - A_{nn})^{-1} \cdot D_n \Rightarrow \Delta EMI_n = E_n(I - A_{nn})^{-1} \cdot \Delta D_n \quad [4]$$

Así se pueden calcular las modificaciones en las emisiones de GEI, ΔEMI_n , directas e indirectas, provocadas por la variación de la actividad económica asociada a las variaciones en el consumo de los hogares.

2.4. Resultados de la modelización

Los cambios en los patrones de consumo de los hogares que se han producido tras los años de crisis económica repercuten en las emisiones de GEI asociadas a dicho consumo. Disponer de los datos de consumo de los hogares desagregados por tramos de edad nos permite realizar un análisis exhaustivo de cómo han variado dichas emisiones en función del tipo de hogar responsable de ellas. El total de las emisiones de GEI distribuidas para cada rama de actividad y la desagregación del consumo privado de los hogares por tramos de edad explicada en el epígrafe metodológico, permite realizar una modelización multisectorial, en concreto, un modelo de demanda expresado en unidades físicas, en este caso, emisiones de GEI medidos en toneladas de CO₂ equivalente, para cada grupo de edad de los años 2005 y 2015. Los resultados obtenidos cuantifican el impacto medioambiental provocado por el consumo de cada tramo de edad, mostrando una comparativa de los efectos medioambientales producidos antes y después de la crisis económica.

Una vez obtenidos los datos de emisiones de CO₂ equivalente para cada una de las ramas productivas (Tabla 1), se realizará la modelización para cuantificar el impacto del consumo de los diferentes tipos de hogares por tramos de edad en los años 2005 y 2015 sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. Para ello, sobre el modelo de demanda (ecuación [2]), se modifica el vector de demanda (ecuación [3]) incluyendo únicamente el consumo de cada uno de los tramos de edad en los que se ha desagregado el consumo de los hogares. De este modo obtenemos (ecuación [4]) solamente las emi-

siones de gases de efecto invernadero provocadas por el consumo de cada uno de los tramos de edad.

Este proceso se repetirá para cada tramo de edad reflejando las emisiones de GEI que provocan los sectores productivos debidas al consumo de cada tipo de hogar. Finalmente, se realizará un análisis comparativo que revelará los efectos medioambientales que se produjeron antes y después de la crisis económica, destacando las diferencias significativas en las emisiones provocadas por los sectores productivos, en función de qué grupo de edad sea el responsable del consumo en dichos sectores.

En la siguiente tabla, se presenta la variación de las emisiones totales producidas por los sectores productivos más representativos debidas al consumo de los hogares. Los sectores que se han destacado son aquellos en los que las variaciones son más altas, detallando las tablas completas en los Anexos 1, 2 y 3.

Los resultados obtenidos en la Tabla 4 muestran que la mayor caída de las emisiones de GEI se encuentra en el grupo de los hogares entre los 16 y 29 años, con una reducción total del 66,6%. El siguiente grupo de edad que provoca una mayor reducción de las emisiones de GEI es el tramo entre 30 y 49 años, con un 49,6%. Le siguen los hogares con edad entre 50 y 64 años, con una caída del 39,9 %, y por último, los mayores de 65 años que representan una reducción del 13,9%. Por tanto, se constata que a mayor edad del sustentador principal menor es la reducción de emisiones asociadas a su consumo. También constatamos que los sectores con una mayor reducción de emisiones han sido, por este orden, las Industrias extractivas (B), la Construcción (F), la Industria manufacturera (C), el Comercio al por mayor y menor (G) y el Transporte y almacenamiento (H).

Los resultados de la Tabla 4 también nos aportan información relevante sobre qué tramo de edad es más responsable de las emisiones en cada uno de los sectores productivos. En todos los sectores destaca el tramo entre 50 y 64 años como el que más emisiones provoca, seguido del tramo entre los 30 y los 49 años. El tramo de edad entre 16 y 29 años, además de ser el que menos emisiones provoca, en alguno de los sectores la diferencia con el resto de tramos de edad es considerable. Prueba de que la crisis ha impactado mayormente entre los jóvenes son los datos para 2015, donde observamos que en todos los sectores la diferencia entre las emisiones asociadas a los jóvenes y las emisiones del resto de hogares se ha incrementado considerablemente respecto a los datos del año 2005.

Una vez presentados los resultados de los impactos ambientales en los años estudiados y analizadas sus variaciones, se discuten los resultados de los sectores con mayores reducciones en las emisiones provocadas por el consumo del grupo de los hogares jóvenes tras la crisis económica.

CAPÍTULO II. CAMBIOS MEDIO AMBIENTALES PRODUCIDOS POR EL CONSUMO...

Tabla 4. Emisiones de CO₂ asociadas al consumo de los hogares por tramos de edad (miles de toneladas de CO₂ equivalente) y sus variaciones (porcentaje)

AÑO 2005	Sectores/ Edad	16 a 29	30 a 49	50 a 64	Más de 65
Emisiones Sectores	B	140	834	1.083	406
	C	3.050	18.018	23.525	8.277
	F	11	66	84	38
	G	507	2.570	3.090	733
	H	1.838	9.770	12.006	3.279
Emisiones Totales		11.350	66.711	86.320	32.448
AÑO 2015	Sectores/ Edad	16 a 29	30 a 49	50 a 64	Más de 65
Emisiones Sectores	B	16,42	145,77	225,01	120,72
	C	871,88	7.678,19	11.816,85	5.858,82
	F	1,92	17,47	26,92	16,42
	G	140,40	1.130,93	1.620,29	551,82
	H	611,07	5.036,37	7.291,06	2.733,86
Emisiones Totales		3.796,39	33.599,00	51.868,59	27.926,33
VARIACIÓN	Sectores/ Edad	16 a 29	30 a 49	50 a 64	Más de 65
Emisiones Sectores	B	-88,3%	-82,5%	-79,2%	-70,3%
	C	-71,4%	-57,4%	-49,8%	-29,2%
	F	-82,1%	-73,5%	-68,0%	-57,2%
	G	-72,3%	-56,0%	-47,6%	-24,7%
	H	-66,8%	-48,4%	-39,3%	-16,6%
Emisiones Totales		-66,6%	-49,6%	-39,9%	-13,9%

¹ Fuente: Elaboración propia.

² B: Industrias extractivas; C: Industria manufacturera; F: Construcción; G: Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas; H: Transporte y almacenamiento.

2.5. Discusión

En cuanto a los sectores productivos más representativos, el que mayor reducción de emisiones de GEI ha experimentado, es el de las Industrias extractivas (B) que supone una caída de las emisiones de GEI del 88,3%, 82,5%, 79,2% y 70,3% para cada tramo de edad, respectivamente. El uso de la tecnología de energía renovable ha sido fundamental, un ejemplo representativo de esta situación lo encontramos en una planta de procesamiento de minerales en Granada, basado en la construcción de un estanque solar de salinidad industrial que generaba calor para calentar el agua sustituyendo parcialmente la caldera de fueloil (Alcaraz, Montalà, Cortina, Akbarzadeh, Aladjem, Farran, y Valderrama, 2018). Otro ejemplo, es el uso de la energía que procede de los bosques de Asturias como alternativa al carbón, planteando la ubicación del Centro Logístico de Biomasa (BLC) en Oviedo debido a sus ventajas técnicas, económicas y geográficas (Paredes-Sánchez, García-Elcoro, Rosillo-Calle y Xiberta-Bernat, 2016). Además, el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2020)^v compromete a España a basar su sistema eléctrico en fuentes de origen renovable, por lo que preverá aprovechar las concesiones mineras abandonadas para la generación de calor procedente del interior la tierra (energía geotérmica) destinado a la calefacción y refrigeración de los edificios circundantes, como así lo han demostrado distintos estudios (Menéndez, Ordóñez, Fernández-Oro, Loredó y Díaz-Aguado, 2020; Jardón, Ordóñez, Alvarez, Cienfuegos y Loredó, 2013).

El segundo sector que ha experimentado una mayor caída de emisiones de GEI es el de la Construcción (F) con reducciones del 82,1%, 73,5%, 68% y 57%, para cada tramo de edad, respectivamente. Es uno de los responsables de más del 30% del consumo total de la energía del mundo, por lo que los esfuerzos se han centrado en determinar certificaciones energéticas para los edificios y las viviendas con el fin de mejorar la eficiencia de los edificios y de reducir así sus emisiones (Lopez-Gonzalez, Lopez-Ochoa, Las-Heras-Casas y García-Lozano, 2016; Saldaña-Márquez, Gómez-Soberón, Arredondo- Rea, Almaral-Sánchez, Gómez-Soberón y Rosell-Balada, 2015). Además, en la etapa de construcción se utilizan los sistemas de energía solar de concentración (CSP). La eficiencia de este sistema ha sido revisada en la literatura por los autores Islam, Huda, Abdullah, and Saidur (2018), y ha convertido a España y Estados Unidos en los líderes mundiales.

Por otro lado, otro factor que ha conseguido reducir las emisiones de carbono ha sido la utilización de los métodos de construcción prefabricados. Un estudio realizado en China ha demostrado una disminución de hasta un 18% en las

^v https://www.congreso.es/web/guest/busqueda-de-iniciativas?p_p_id=iniciativas&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_iniciativas_mode=mostrarDetalle&_iniciativas_legislatura=XIV&_iniciativas_id=121/0_00019

emisiones con respecto a la construcción convencional (Du, Bao, Li, Huang y Shao, 2019). Además, en los últimos años se ha mejorado la eficiencia energética en este tipo de construcción, como el uso del hormigón prefabricado mediante la eliminación del tratamiento térmico (Sebaibi y Boutouil, 2020), o la producción, recuperación y transporte de componentes de las estructuras de acero (Qiao, Hu, Pan y Geng, 2019). Actualmente, se investiga integrar la energía fotovoltaica en el proceso de construcción volumétrica prefabricada (Lau, Chen, Zhang, Xue, Lau y Khoo, 2019), y la introducción de artefactos tecnológicos avanzados como el modelado de información de construcción (Hao, Cheng, Lu, Xu, Wang, Bu y Guo, 2020).

Los siguientes dos sectores que han reducido sus emisiones corresponden a la Industria manufacturera (C) y al Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas

(G). Se hace difícil mencionar la relación de los numerosos factores que han provocado la reducción en estos sectores, ya que el uso de la energía renovable afecta a la reducción de la mayoría de los sectores, principalmente a la manufactura. Se ha demostrado que la generación de energía a través de un sistema híbrido como el de una turbina/solar (PAT-PV) y un diesel tradicional en combustibles fósiles disminuyen los impactos ambientales al reducir el consumo de la energía fósil y utilizar el excedente de energía en la alimentación de vehículos o herramientas eléctricas para conseguir una agricultura más sostenible. (García, Gallagher, Chacón y Mc Nabola, 2021). Actualmente, y relacionado también con el transporte, existen los vehículos eléctricos que no emiten emisiones al conducir, pero sí implica una intensidad de carbono en el sistema de generación de la electricidad, por lo que sería necesario un sistema 100% renovable para reducir hasta 74 millones toneladas de CO₂ al año (Bastida-Molina, Hurtado-Pérez, Peñalvo- López y Moros-Gómez, 2020). La incorporación de autobuses eléctricos urbanos en los próximos 10 años (2020 al 2030) reduciría las emisiones hasta un 92,6% con respecto a los niveles del año 2018 (Grijalva y López Martínez, 2019). También se está estudiando cómo reutilizar las baterías de vehículos eléctricos asequibles para una mayor sostenibilidad (Casals, García y Canal, 2019).

Este trabajo puede ayudar a identificar los impactos ambientales debido al consumo de los hogares tras una crisis económica como la actual, mediante la reducción de las emisiones de GEI y teniendo en cuenta el avance tecnológico de las energías renovables, y así emprender políticas energéticas orientadas al consumo de los distintos tipos de hogar en los sectores productivos que componen una economía como la española. Un enfoque potencial para futuras investigaciones es un análisis similar de la crisis sanitaria actual y sus efectos ambientales.

Otra futura línea de investigación podría estudiar si los cambios en las emisiones pueden explicarse por factores alternativos, no solo por la crisis eco-

nómica. Además, estamos interesados en evaluar si estos cambios reflejan diferencias significativas en términos tipológicos: áreas urbanas y rurales. Por último, también pretendemos analizar cómo estos cambios afectan en los ingresos de los hogares.

2.6. Conclusiones

Este trabajo da a conocer el impacto medioambiental en la economía española a través del consumo de los hogares, uno de los responsables de la reducción del 37,2% de las emisiones de GEI, mientras que la producción total ha crecido un 15%, tras la crisis económica analizada. Los diferentes tipos de hogar en función de la edad del sustentador principal han experimentado cambios en los patrones de consumo tras una crisis económica como la del año 2008. A su vez, el incremento de las energías renovables y las mejoras en la eficiencia energética, promovidos por los planes nacionales e internacionales, han provocado una reducción de las emisiones de GEI.

Los resultados conseguidos indican que cuanto mayor es la edad del sustentador principal, menor es la reducción de las emisiones de GEI asociadas a su consumo. Por tanto, la mayor caída de las emisiones se encuentra en el grupo de los hogares jóvenes que comprenden entre los 16 y 29 años, con una reducción total del 66,6%. Le sigue el siguiente tramo de edad entre 30 y 49 años con una caída del 49,6%, y los últimos tramos de edad con 50 y 64 años y el de los mayores de 65 años, con reducciones del 39,9% y 13,9%.

Además, se confirma que los sectores con una mayor reducción de emisiones provocadas por el consumo de los hogares españoles han sido, por este orden, las industrias extractivas (B), la Construcción (F), la Industria manufacturera (C), el Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas (G) y el Transporte y almacenamiento (H).

El incremento de la tecnología energética y el uso de energías renovables, como los sistemas de energía solar de concentración (CSP), los métodos basados en la construcción prefabricada, o los sistemas híbridos que generan electricidad son los principales factores que provocan una caída de las emisiones al aplicarse en los edificios, medios de transporte y procesos de manufactura, principalmente relacionados con los sectores destacados.

Por lo tanto, aunque existen limitaciones en el modelo realizado, relacionadas con los supuestos subyacentes a la metodología input-output, como asumir una estructura fija para cada sector de la economía debido a que los coeficientes de la matriz son constantes, se han alcanzado los objetivos propuestos abriendo nuevas líneas de investigación.

2.7. Referencias

- AEMA, S.f. Agencia Europea de Medio Ambiente. Disponible en <https://www.eea.europa.eu/>
- Alcaraz, A., Montalà, M., Cortina, J. L., Akbarzadeh, A., Aladjem, C., Farran, A., y Valderrama, C. (2018). Design, construction, and operation of the first industrial salinity-gradient solar pond in Europe: An efficiency analysis perspective. *Solar Energy*, 164, 316-326.
- Bastida-Molina, P., Hurtado-Pérez, E., Peñalvo-López, E., y Moros- Gómez, M. C. (2020). Assessing transport emissions reduction while increasing electric vehicles and renewable generation levels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 88, 102560.
- Cai, M., y Vandyck Toon, B. 2020. Bridging between economy-wide activity and household-level consumption data: Matrices for European countries. *Joint Research Centre*, European Commission.
- Casals, L. C., García, B. A., y Canal, C. (2019). Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis. *Journal of environmental management*, 232, 354-363.
- Cellura, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2012). Application of the structural decomposition analysis to assess the indirect energy consumption and air emission changes related to Italian households consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1135-1145.
- Comisión Europea, (S.f). "Marco sobre clima y energía para 2030". Disponible en https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es
- CPA (2005 y 2015). "Clasificación de Productos por Actividades". Disponible en https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177035&menu=ultiDatos&idp=1254735976614
- Du, Q., Bao, T., Li, Y., Huang, Y., y Shao, L. (2019). Impact of prefabrication technology on the cradle-to-site CO₂ emissions of residential buildings. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(7), 1499-1514.
- Esteve-Llorens, X., Moreira, M. T., Feijoo, G., y González-García, S. (2021). Could the economic crisis explain the reduction in the carbon footprint of food? Evidence from Spain in the last decade. *Science of the Total Environment*, 755, 142680.
- García, A. M., Gallagher, J., Chacón, M. C., y Mc Nabola, A. (2021). The environmental and economic benefits of a hybrid hydropower energy recovery and solar energy system (PAT- PV), under varying energy demands in the agricultural sector. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127078.
- Gössling, S., y Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. *Global Environmental Change*, 65,

102194.

- Grijalva, E. R., y López Martínez, J. M. (2019). Analysis of the reduction of CO₂ emissions in urban environments by replacing conventional city buses by electric bus fleets: Spain case study. *Energies*, 12(3), 525.
- Hao, J. L., Cheng, B., Lu, W., Xu, J., Wang, J., Bu, W., y Guo, Z. (2020). Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: a BIM-based life-cycle assessment approach. *Science of the Total Environment*, 723, 137870.
- IDAE (2005). “Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005- 2010”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
- IDAE (2011). “Plan de Energías Renovables 2011-2020”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
- INE (s.f.a) Instituto Nacional de Estadística. IO Tables. Disponible en <https://www.ine.es/daco/daco42/cne00/cneio2000.htm>
- INE (s.f.b). Instituto Nacional de Estadística. Cuentas de emisiones a la atmósfera. Disponible en https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t26/p084/base_2010/serie/IO/&file=01001.px&L=0
- Islam, M. T., Huda, N., Abdullah, A. B., y Saidur, R. (2018). A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 987-1018.
- Jardón, S., Ordóñez, A., Alvarez, R., Cienfuegos, P., y Loredó, J. (2013). Mine water for energy and water supply in the Central Coal Basin of Asturias (Spain). *Mine Water and the Environment*, 32(2), 139-151.
- Kopidou, D., y Diakoulaki, D. (2017). Decomposing industrial CO₂ emissions of Southern European countries into production-and consumption-based driving factors. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1325-1334.
- Lau, S. Y., Chen, T., Zhang, J., Xue, X., Lau, S. K., y Khoo, Y. S. (2019, July). “A new approach for the project process: prefabricated building technology integrated with photovoltaics based on the BIM system”. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 294, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
- Lévay, P. Z., Vanhille, J., Goedemé, T., y Verbist, G. (2021). The association between the carbon footprint and the socio- economic characteristics of Belgian households. *Ecological Economics*, 186, 107065.
- Lin, X., Pan, H., Qi, L., Ren, Y. S., Sharp, B., y Ma, C. (2021). An input– output structural decomposition analysis of changes in China's renewable energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Liu, L. C., Wu, G., Wang, J. N., y Wei, Y. M. (2011). China's carbon emissions from urban and rural households during 1992–2007. *Journal of Cleaner Production*,

- 19(15), 1754-1762.
- López, L. A., Arce, G., Morenate, M., y Monsalve, F. (2016). Assessing the inequality of Spanish households through the carbon footprint: The 21st century great recession effect. *Journal of Industrial Ecology*, 20(3), 571-581.
- López, L. A., Arce, G., Morenate, M., y Zafrilla, J. E. (2017). How does income redistribution affect households' material footprint?. *Journal of Cleaner Production*, 153, 515-527.
- Lopez-Gonzalez, L. M., Lopez-Ochoa, L. M., Las-Heras-Casas, J., y García-Lozano, C. (2016). Energy performance certificates as tools for energy planning in the residential sector. The case of La Rioja (Spain). *Journal of Cleaner Production*, 137, 1280- 1292.
- Ma, R., Chen, B., Guan, C., Meng, J., y Zhang, B. (2018). Socioeconomic determinants of China's growing CH₄ emissions. *Journal of environmental management*, 228, 103- 116.
- Martinez, S., Delgado, M., Martinez, R. y Alvarez, S. (2019). Identifying the environmental footprint by source of supply chains for effective policy making: the case of Spanish households consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(32), 33451-33465.
- Menéndez, J., Ordóñez, A., Fernández-Oro, J. M., Loredó, J., y Díaz- Aguado, M. B. (2020). Feasibility analysis of using mine water from abandoned coal mines in Spain for heating and cooling of buildings. *Renewable Energy*, 146, 1166-1176.
- Miller, R.E. and Blair, P.D. (2009) "Input-Output Analysis: Foundations and Extensions". 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- MITECO, S.f. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en <https://www.miteco.gob.es/es/>
- Mohan, B., Yang, W., Raman, V., Sivasankaralingam, V., y Chou, S. K. (2014). Optimization of biodiesel fueled engine to meet emission standards through varying nozzle opening pressure and static injection timing. *Applied energy*, 130, 450-457.
- Muñoz, P., Zwick, S., & Mirzabaev, A. (2020). The impact of urbanization on Austria's carbon footprint. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121326.
- Ottelin, J., Heinonen, J., y Junnila, S. (2018). Carbon footprint trends of metropolitan residents in Finland: how strong mitigation policies affect different urban zones. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1523-1535.
- Paredes-Sánchez, J. P., García-Elcoro, V. E., Rosillo-Calle, F., y Xiberta-Bernat, J. (2016). Assessment of forest bioenergy potential in a coal-producing area in Asturias (Spain) and recommendations for setting up a Biomass Logistic Centre (BLC). *Applied Energy*, 171, 133-141.
- Pang, M., Meirelles, J., Moreau, V., y Binder, C. (2019). Urban carbon footprints:

- a consumption-based approach for Swiss households. *Environmental Research Communications*, 2(1), 011003.
- Parlamento Europeo, 2018." Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector". Disponible en <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>
- Perrier, Q., Guivarch, C., y Boucher, O. (2019). Diversity of greenhouse gas emission drivers across European countries since the 2008 crisis. *Climate Policy*, 19(9), 1067-1087.
- PNIEC, (S.f). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Disponible en <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
- Qiao, C., Hu, P., Pan, Q., y Geng, J. (2019, February). Research on CO₂ Emission Reduction of a Steel Structure Prefabricated Building Considering Resource Recovery. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 237, No. 2, p. 022036). IOP Publishing.
- Saldaña-Márquez, H., Gómez-Soberón, J. M., Arredondo-Rea, S. P., Almaral-Sánchez, J. L., Gómez-Soberón, M. C., y Rosell-Balada, G. (2015). The passivhaus standard in the mediterranean climate: Evaluation, comparison and profitability. *Journal of green building*, 10(4), 55-72.
- Sebaibi, N., y Boutouil, M. (2020). Reducing energy consumption of prefabricated building elements and lowering the environmental impact of concrete. *Engineering Structures*, 213, 110594.
- Shigetomi, Y., Nansai, K., Kagawa, S., y Tohno, S. (2014). Changes in the carbon footprint of Japanese households in an aging society. *Environmental science & technology*, 48(11), 6069- 6080.
- Su, B., Ang, B. W., y Li, Y. (2017). Input-output and structural decomposition analysis of Singapore's carbon emissions. *Energy Policy*, 105, 484-492.
- UNCTAD, 2021. "Conferencia de la Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo". Disponible en <https://undocs.org/pdf?symbol=es/td/b/68/2>
- Wang, Z. X., Li, H. Y., Zhang, X. F., Wang, L. W., Du, S., y Fang, C. (2020). Performance analysis on a novel micro-scale combined cooling, heating and power (CCHP) system for domestic utilization driven by biomass energy. *Renewable Energy*, 156, 1215-1232.
- Wang, Z., Wei, W., Calderon, M., y Liao, X. (2019). Impacts of biofuel policy on the regional economy and carbon emission reduction in Yunnan, China. *Energy & Environment*, 30(5), 930-948.
- Zhang, J., Yu, B., Cai, J., y Wei, Y. M. (2017). Impacts of household income change on CO₂ emissions: An empirical analysis of China. *Journal of Cleaner Production*, 157, 190-200.