



APLICACIÓN WEB PARA ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE DESARROLLO ENERGÉTICO, ECONÓMICO Y EMISIONES DE CO₂ PARA FRANCIA

Lisandra Tamayo Espinosa

Trabajo entregado para la obtención del grado de **MÁSTER EN
TECNOLOGÍA AMBIENTAL**

Modalidad: Investigación

Septiembre/2022

Director:

Dr. José Enrique García Ramos

Dr. José Enrique García Ramos, con DNI: 75443776-G, Catedrático de Universidad, Departamento de Ciencias Aplicadas, área de Física Aplicada, Universidad de Huelva.

INFORMA:

Que el trabajo titulado “**Aplicación web para análisis de escenarios de desarrollo energético, económico y emisiones de CO2 para Francia**” presentado por **D., con N.I.E.: Y9144099-A**, ha sido realizado en bajo mi dirección, y AUTORIZO su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: “Investigación”), para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a 29 de septiembre de 2021

Fdo.: José Enrique García Ramos

RESUMEN

El cambio climático se ha convertido en el principal problema medioambiental de la humanidad. El desarrollo económico, la deforestación, la creciente necesidad de energía y el empleo mayoritario de combustibles de tipo fósil, han contribuido a elevar los niveles de gases de efecto invernadero (GHG), principalmente CO₂. Uno de los objetivos de esta investigación es representar, mediante una aplicación web, los resultados alcanzados al modelar matemáticamente y aplicar análisis predictivo de escenarios al sistema energético de Francia, haciendo especial hincapié en las relaciones entre el crecimiento económico, el consumo de energía y el uso de diferentes fuentes de energías por sectores productivos. Se estudiarán las relaciones PIB-consumo de energías, consumo de energías-emisiones de CO₂, PIB-emisiones de CO₂ o las tres: PIB-consumo de energías-emisiones de CO₂. Para ello se empleará la identidad Kaya y la técnica de descomposición conocida como LMDI. Una vez completado lo anterior se desarrollará una interfaz web, en la que será posible proporcionar los datos de entrada correspondientes al estudio de Francia y generar las contribuciones a las emisiones de CO₂ de diferentes fuerzas motrices.

ABSTRACT

Climate change has become humanity's main environmental problem. Economic development, deforestation, the growing need for energy and the use of fossil fuels have contributed to the increase of greenhouse gas (GHG) levels, mainly CO₂. One of the objectives of this research is to represent, by means of a web application, the results achieved by mathematically modeling and applying predictive scenario analysis to the French energy system, with particular emphasis on the relationships between economic growth, energy consumption and the use of different energy sources by productive sectors. The relationships GDP-energy consumption, energy consumption-CO₂ emissions, GDP-CO₂ emissions or all three: GDP-energy consumption-CO₂ emissions will be studied. For this purpose, the Kaya identity and the decomposition technique known as LMDI will be used. Once the above is completed, a web interface will be developed, in which it will be possible to provide the input data corresponding to the study of France and to generate the contributions to CO₂ emissions of different driving forces.

ÍNDICE	Página
Resumen	v
Abstract	vi
1. Introducción	1
1.1. Estado del arte	1
1.2. Enfrentamiento al cambio climático	2
1.3. Gases de efecto invernadero	4
1.4.1. Relación PIB con las emisiones de GEI	5
1.4. Fuentes antropogénicas que emiten GEI.	6
1.4.2. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	
1.4.3. Industria	6
1.4.4. Transporte	7
1.4.5. Servicios comerciales y públicos	7
1.4.6. Residencial	7
1.5. Consumo de energía	7
1.6. Energías renovables	7
1.7. Estrategia energética de la Unión Europea	8
1.8. Objetivos del Trabajo de Fin de Máster	9
	11
2. Materiales y Métodos	13
2.1. Materiales y métodos	13
2.2. Identidad Kaya	13
2.3. Índice Divisia de Media Logarítmica (LMDI)	15
2.3.1. LMDI aditivo	16
2.3.2. LMDI multiplicativo	17
2.4. Cálculos con Python	18
2.5. Framework Mercury	18
3. Resultados y Discusión	19
3.1. Resultados y discusión	19
3.2. Generalidades del país y su desarrollo económico	19
3.2.1. Principales datos económicos	19
3.2.2. Evolución del PIB	20
3.3. Características de la Matriz Energética de Francia	21
3.3.1. Emisiones de CO ₂	22
3.3.2. Relación PIB-energía	24
3.3.3. Relación energías-emisiones	24
3.3.3.1. Generación de electricidad nuclear	26
3.3.3.2. Generación de electricidad a partir de energías renovables	27

3.3.3.3. Consumo de las energías	27
3.4. Análisis de la Identidad Kaya	29
3.5. Aplicación del método LMDI	29
3.5.1. Consumo de energía por tipo de combustible y sectores económicos	29
3.5.2. Cálculo del LMDI aditivo y multiplicativo	32
3.6. Contribución por variables	34
3.6.1. Contribuciones debido a la variable población (P)	34
3.6.2. Contribuciones debido a la variable PIB per cápita (q)	35
3.6.3. Contribuciones debido a la variable Intensidad Energética (Eli)	36
3.6.4. Contribuciones debido a la variable Estructura Económica (Si)	37
3.6.5. Contribuciones debido a la variable Matriz Energética (Mij)	38
3.7. Importancia de la página web para calcular las emisiones de CO ₂	38
3.7.1. Descripción de la aplicación web	39
4. Conclusiones	42
5. Referencias	43
6. Anexos	47

ABREVIATURAS

GEI	Gases Efectos Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático
LTE	Ley de Transición Energética
BM	Banco Mundial, (WB) World Bank
US\$	Dólares Americanos
TJ	Terajoule
PIB	Producto Interno Bruto
LMDI	Logarithmic Mean Divisia Index (índice de divisa media logarítmica)
GtCO₂	Gigatoneladas de Dióxido de Carbono
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CIIU	Clasificación Internacional Industrial Uniforme
AP	Acuerdo de París
UE	Unión Europea
MtCO₂	Millones de toneladas de CO ₂
HFC	Hidrofluorocarbonos
PPE	Programación Plurianual de Energía

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estado del arte

El cambio climático se ha convertido en una amenaza para los seres vivos, por lo que se considera uno de los grandes desafíos de la humanidad en el siglo XXI. Existe un consenso indicando que esta alteración climática es consecuencia de las altas emisiones y concentraciones de gases efectos invernadero (GEI) en la atmósfera. Estos gases son causados, principalmente, por las actividades antropogénicas, como son: el uso de combustibles fósiles, el cambio de suelo y la silvicultura (Sánchez & Caballero, 2019).

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), confirma que en las últimas décadas han ocurrido alteraciones climáticas globales por el aumento de las emisiones y concentraciones de GEI en la atmósfera, principalmente de CO₂, debido al uso intensivo de energía y al cambio de uso del suelo (IPCC, 2013). Las manifestaciones directas observables son el incremento en la temperatura, la alteración en los patrones de precipitación, la disminución de la criosfera, el aumento del nivel del mar y de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos. Estas manifestaciones inciden directamente en la actividad económica, en los ecosistemas, en la salud y en aspectos sociales (IPCC, 2007).

La evidencia científica indica que la temperatura de la superficie terrestre y oceánica ha sido, en promedio, de 0,85°C, considerando un rango entre 0,65°C y 1,06°C, desde 1880 hasta 2012. Durante el periodo comprendido entre 2003 y 2012, la temperatura ha tenido un incremento promedio de 0,78°C con respecto al período entre 1850 y 1900. Las proyecciones del aumento para 2100 se establecen entre un rango de 1°C a 3,7°C, llegando incluso a niveles de 4,8°C en escenarios extremos, todo esto comparado con registros de la temperatura promedio del periodo 1850-1900. Los efectos que produciría un calentamiento global de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales, así como sus impactos, se presentan en el informe especial del IPCC, donde se destaca que (IPCC, 2019):

- Se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0°C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8°C a 1,2°C. Es posible que el calentamiento global llegue a 1,5°C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual.
- El calentamiento causado por las emisiones antropógenas desde el período preindustrial hasta la actualidad durará de siglos a milenios y seguirá causando nuevos cambios a largo plazo en el sistema climático, como un aumento del nivel del mar, acompañados de impactos asociados.
- Los riesgos relacionados con el clima para los sistemas naturales y humanos son mayores con un calentamiento global de 1,5°C que los que existen actualmente, pero menores que con un calentamiento global de 2°C. Esos riesgos dependen de la magnitud y el ritmo del calentamiento, la ubicación

geográfica y los niveles de desarrollo y vulnerabilidad, así como de las opciones de adaptación y mitigación que se elijan y de su implementación.

El CO₂ es el GEI más importante ya que durante el periodo de 1970 a 2010, representó un 78% del total de las emisiones, lo que ocasiona que los niveles de CO₂ en la atmósfera excedan los 390 ppm, con un crecimiento anual de 1,90 ppm a partir de 1995. Se alerta sobre alcanzar niveles de 450 ppm de CO₂, lo cual produciría el tan temido aumento de 2°C en la temperatura global (Ríos et al., 2016). En el 2018 las emisiones ascendieron a 33,5 GtCO₂ (Chen, 2021). A nivel mundial, el crecimiento económico y el crecimiento demográfico continúan siendo los motores más importantes de los aumentos en las emisiones de CO₂, derivados de la quema de combustibles fósiles (Castaño, 2020).

La lucha contra el cambio climático ha encontrado en los precios sobre el carbono una herramienta para avanzar hacia una economía baja en carbono. Existen ya 51 iniciativas de precios sobre el carbono en el ámbito mundial, 25 de ellas son esquemas de comercio de emisiones, principalmente desarrollados a nivel subnacional y 26 son mecanismos basados en la fiscalidad (World Bank Group, 2018). Varios son los impuestos medioambientales que han mostrado su eficacia, como los impuestos sobre el consumo de energías fósiles, que han facilitado la reducción del consumo energético en Europa (Basterra et al., 2019).

Recientemente, Francia alumbró su ley de transición energética para un crecimiento verde, con el apoyo de un impuesto sobre el carbono denominado contribución clima energía. El Ministerio de la Transición Ecológica y Solidaria trata de promover el empleo de instrumentos económicos con el fin de favorecer la transición ecológica y modificar el comportamiento de los agentes económicos, como complemento de la regulación y de otros mecanismos voluntarios de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre estos instrumentos económicos, la fiscalidad medioambiental ocupa un papel relevante (Basterra et al., 2019).

1.2. Enfrentamiento al cambio climático

Según el IPCC, el cambio climático es una importante variación en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). Mientras que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), define el cambio climático como: un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima, observada durante períodos de tiempo comparables (González, 2019).

El IPCC afirma que, dentro de los principales impactos del cambio climático, se encuentran las cambiantes precipitaciones y los cambios en el tiempo en que estas ocurren. Afectando los suministros, la calidad del agua potable y la producción hidroeléctrica. Las temperaturas más cálidas aumentan la frecuencia, la intensidad y la duración de las olas de calor, que pueden presentar riesgos a la salud, particularmente entre los niños más pequeños y los ancianos. Otro efecto que se observa es el derretimiento de los casquetes polares, el incremento en los niveles del mar que amenazan las comunidades y los ecosistemas costeros. Los aumentos en la frecuencia y la intensidad de los eventos de clima extremos tales como sequías

e inundaciones, pueden aumentar las pérdidas a propiedades y ocasionar alteraciones costosas a la sociedad. Mientras que los ciclones, incendios forestales, modificación en las áreas de distribución geográfica de fauna; entre otros representan riesgos y pérdidas incalculables (IPCC, 2014).

Durante los dos últimos siglos el impacto que se ha causado al planeta es enorme. Las principales consecuencias son: aumento del nivel del mar de 19 cm para el año 2100, incremento promedio de la temperatura de la superficie del planeta en 1,1°C, reducción de las capas de hielo en Groenlandia y Antártida, disminución de la capa de nieve, aumento de la acidez de las aguas del océano desde el comienzo de la revolución industrial en 30%, aumento en los índices de mortalidad debido a grandes inundaciones, sequías prolongadas y olas de calor intenso (Vargas, 2019).

El cambio climático provocado por el aumento de las concentraciones de GEI en la atmósfera, causado por la interferencia humana y, en particular, por la combustión de cantidades cada vez mayores de combustibles fósiles, está aumentando la temperatura y alterando el clima del planeta, lo que se convierte en una grave amenaza para el bienestar de la humanidad (To, 2017; Aristizábal & González, 2019). Ello ha motivado la realización de reuniones intergubernamentales, conferencias y foros que muestran pocos avances para lidiar con el incremento de los GEI, el calentamiento global, la contaminación de los mares y océanos, la deforestación, la insuficiente cobertura de agua potable, entre otros peligros (Aguilera et al., 2019).

Los procesos productivos en las industrias y el aprovechamiento de los bosques y suelos, sumado al crecimiento poblacional ha influenciado notablemente en el aumento de la temperatura promedio global y aceleración del cambio climático (Abelenda, 2022). El aumento de las temperaturas es evidente en todos los continentes, el calor se hace cada vez más irresistible. Debido a este aumento indebido de las temperaturas del planeta, la organización mundial de las Naciones Unidas hace una llamada para que los países colaboren en la reducción de las emisiones de GEI. Uno de los acuerdos que se destaca en este sentido es el Acuerdo de París (AP) (Chen, 2021).

La adopción en diciembre de 2015 del AP sobre el cambio climático, ha marcado un paso importante en la gobernanza de la crisis climática (Averchenkova & Touza, 2020). El AP tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos en erradicar la pobreza. Para ello, plantea las siguientes metas a los países adherentes (Arredondo & Villegas, 2019):

- Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.
- Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de GEI, de un modo que no comprometa la producción de alimentos.

- Situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de GEI.

1.3. Gases de efecto invernadero

El término GEI hace referencia a aquellos gases que naturalmente se encuentran en la atmósfera y se relacionan de manera directa con el aumento de la temperatura del mismo, debido a su capacidad para absorber la radiación infrarroja proveniente de la superficie terrestre producto de los rayos del sol. Estos gases pueden permanecer en la superficie del planeta por años e incluso décadas. Todas las actividades del hombre derivadas de la era industrial, producen este tipo de gases y es debido a esta intervención que la temperatura del planeta se ve afectada e incluso se calculó un incremento de 0,9°C sobre la media del siglo XX (Vargas, 2019).

El efecto invernadero es un fenómeno natural y está definido como la absorción por medio de los GEI de la radiación de onda larga, emitida por la superficie de la Tierra, los mismos gases en la atmósfera, el Sol y las nubes. Los GEI debido a sus propiedades innatas se encargan de atrapar el calor dentro del sistema de la troposfera terrestre mediante la remisión de la energía en todas las direcciones, incluso hacia la superficie terrestre, de esta manera el incremento en la concentración de estos gases produce un aumento en la opacidad infrarroja y capacidad energética de la atmósfera y, por lo tanto, una radiación efectiva de onda larga mayor, provocando un forzamiento radiactivo (IPCC, 2001).

El Sol activa el clima de la Tierra, irradiando energía en longitudes de onda corta predominantemente en la parte visible o casi visible (por ejemplo, ultravioleta) del espectro. Aproximadamente una tercera parte de la energía solar que alcanza la zona superior de la atmósfera terrestre se refleja directamente de nuevo al espacio. Las dos restantes terceras partes son absorbidas por la superficie y, en menor magnitud, por la atmósfera. Para equilibrar la energía entrante absorbida, la Tierra debe, como promedio, irradiar la misma cantidad de energía al espacio. Como la Tierra es mucho más fría que el Sol, esta irradia en longitudes de onda mucho más largas, sobre todo en la parte infrarroja del espectro (ver Figura 1).

La atmósfera, con la participación de las nubes, absorbe gran parte de esta radiación térmica emitida por los suelos y el océano, y la vuelve a irradiar a la Tierra. Esto es lo que se denomina efecto invernadero. Sin el efecto invernadero natural, la temperatura promedio de la superficie terrestre estaría por debajo del punto de congelamiento del agua. Por tanto, el efecto invernadero natural hace posible la vida tal como la conocemos. Sin embargo, las actividades humanas, básicamente la quema de combustibles fósiles y la eliminación de bosques, han intensificado grandemente el efecto invernadero natural, dando lugar al calentamiento mundial (IPCC, 2007).

Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) (Saynes, 2018) y el vapor de agua. El aumento significativo de las concentraciones de los tres primeros (CO₂, CH₄, N₂O), debido a la actividad humana, está provocando una intensificación del efecto invernadero natural, que es la causa del cambio climático que estamos experimentando. Debido a que el vapor de agua, principalmente procede de la evaporación natural, no se considera como uno de los causantes de la intensificación del efecto invernadero de tipo

antropogénico (Chen, 2021). A nivel mundial y por sectores, las mayores fuentes de emisión se fijan en la generación de energía, la agricultura, la industria, el transporte y la construcción (Martínez, 2019).

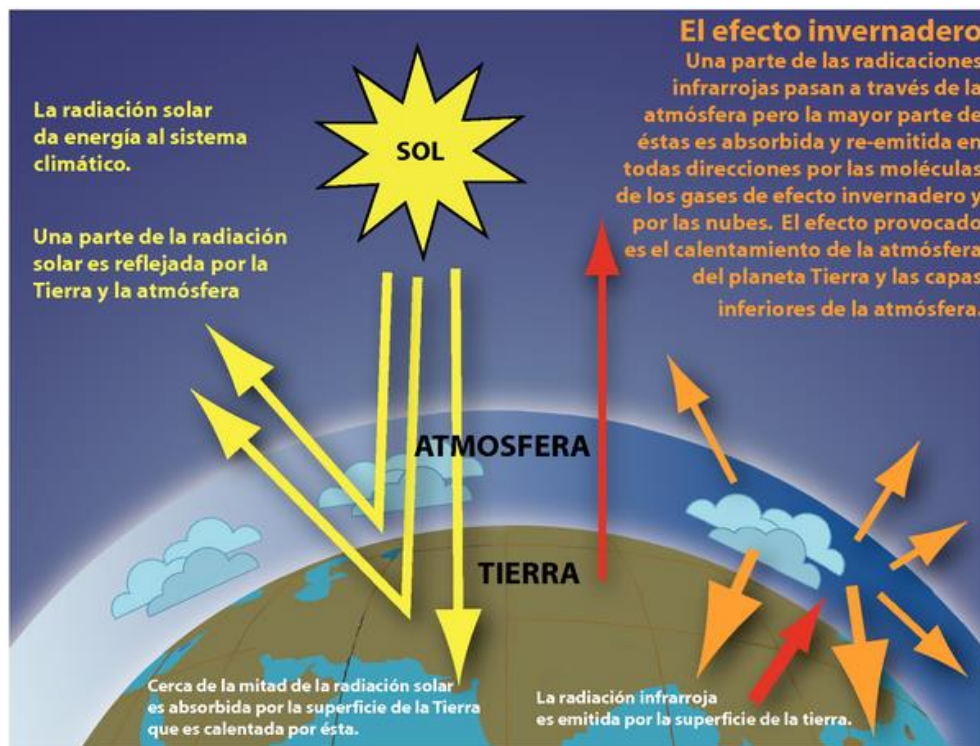


Figura 1. Modelo idealizado del efecto invernadero natural. Fuente: Fuente: (IPCC, 2007).

Estos gases se vuelven problemáticos en especial el CO₂, cuando producto de la actividad humana su concentración en la atmósfera terrestre aumenta de los niveles óptimos. Los investigadores en su preocupación de conocer y medir de manera oportuna el nivel de reducción de las emisiones de CO₂, vienen desarrollando nuevos métodos de mediciones. Uno de ellos, es a través de la investigación en los valores del PBI reconocido en la actualidad con un mérito potencial, para así, estimar los cambios ocurridos en las emisiones de CO₂, debido a que los datos oficiales emitidos por los gobiernos se dan de manera tardía (Achahui & Cansaya, 2021).

1.3.1. Relación PIB con las emisiones de GEI

Las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con el PIB per cápita de un país son una medida que nos permite estudiar la eco eficiencia de una economía. Para conseguir un futuro mejor para todos es importante equilibrar ambas variables para no perjudicar el crecimiento económico (y por tanto el bienestar de los ciudadanos) pero sin perder de vista qué futuro estamos dejando a los que nos siguen. Las emisiones de GEI por unidad de PIB tienen la ventaja de ser una métrica sencilla comprensible para cualquiera, que sirve para ilustrar el desempeño de cada país en términos ecológicos, pero sin caer en falacias que no tienen en cuenta las circunstancias particulares de cada país. De este modo, podemos disponer de una herramienta que tenga en cuenta no sólo la cifra absoluta de emisiones de GEI sino también el nivel de ingresos de la persona media de una sociedad. Esta herramienta

nos permitirá comprender en qué fase de desarrollo se encuentra un país y qué se puede esperar en los próximos años para ese país en función de su situación actual. Es importante asumir que no todo aumento de la actividad económica de un país tendrá una repercusión similar en las emisiones de GEI (Rupérez et al., 2022).

1.4. Fuentes antropogénicas que emiten GEI.

Existen muchos factores dentro de un país los cuales influyen en las emisiones de estos gases, pero la mayor contribución está relacionada con la evolución económica (Ojeda, 2020). Las emisiones antropogénicas de GEI han aumentado desde la era preindustrial, en gran medida como resultado del crecimiento económico y demográfico, y actualmente son mayores que nunca (Mazzei, 2020). En la UE las emisiones de gas natural crecieron del 15% al 25%, mientras las emisiones del sector industrial se redujeron del 42% en 1990 al 34% en 2018 (Ortega et al., 2022). Los principales sectores responsables de la mayor cantidad de emisiones antropogénicas de GEI directas e indirectas son (González, 2019):

- Agricultura
- Industria
- Transporte
- Comercial y público
- Residencial

1.4.1. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

La agricultura, la silvicultura y la pesca corresponden a las divisiones 1-3 de la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU) e incluyen la silvicultura, la caza y la pesca, así como los cultivos y la producción ganadera (Banco Mundial, 2022). La ganadería es uno de los sectores económicos más importantes, de fácil administración y fuente maravillosa de ingresos monetarios mediante el comercio de productos cárnicos y lácteos para satisfacer la demanda alimentaria de cualquier región o país; Sin embargo, es una de las actividades con mayores impactos negativos al suelo, el agua, los ecosistemas, la biodiversidad y el aire (Martínez et al., 2016).

Las principales emisiones de esta actividad son de metano originarias de la digestión o fermentación entérica y la mala gestión del estiércol. Actividades como la tala y la quema de las coberturas vegetales y suelos abundantes en carbono orgánico provocan emisiones directas de CO₂. Mientras los sistemas agrícolas crean ambientes anaeróbicos por la disposición inadecuada de los residuos orgánicos y el mal manejo de las plantaciones ocasionando emisiones de metano (CH₄). Por otro lado, las emisiones de óxido nitroso relacionadas a la volatilización y lixiviación provocada por la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo (IDEAM, 2016).

1.4.2. Industria

Las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O en este sector se generan principalmente por la quema de combustibles, la reacción entre materias primas empleadas en diferentes procesos industriales y emisiones generadas por uso de no energéticos (IDEAM, 2016). Particularmente en la industria de minerales no metálicos y sus procesos industriales como la descarbonatación de la materia prima para la producción de cemento y Cal viva. La industria (incluida la construcción) corresponde a las divisiones CIIU 05-43 (divisiones CIIU 10-33). Comprende el valor añadido de la minería, la industria manufacturera (que también se presenta como un subgrupo separado), la construcción, la electricidad, el agua y el gas (Banco Mundial, 2022).

1.4.3. Transporte

En este sector la principal fuente de emisión de CO₂ y N₂O es el transporte terrestre (vehículos livianos y de carga) por el consumo de diésel y gasolina, los cuales, aunque se hayan adoptado medidas de control abordando el problema desde varios enfoques para evitar o disminuir la intensidad de emisiones, siguen siendo relevantes a causa del aumento del comercio y la comodidad generada en los usuarios. En menor medida se emiten Hidrofluorocarbonos (HFC) por el establecimiento de sistemas refrigerantes en los medios de transporte (IDEAM, 2016).

1.4.4. Servicios comerciales y públicos

Los servicios corresponden a las divisiones 50-99 de la CIIU e incluyen el valor añadido del comercio al por mayor y al por menor (incluidos los hoteles y restaurantes), servicios gubernamentales, financieros, profesionales y personales, como la educación, la atención sanitaria y los servicios inmobiliarios (Banco Mundial, 2022).

1.4.5. Residencial

La demanda residencial de energía eléctrica se puede sustentar en el principio de responsabilidad, ya que tiene en cuenta las estrategias de moderación para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂. La justicia que impulsa una política tarifaria progresiva en los hogares y la protección que permite el acceso a un mínimo vital de energía eléctrica, en condiciones de gratuidad para los hogares de menores ingresos. La demanda residencial o doméstica de energía se asocia con el consumo que realizan los hogares que habitan un inmueble residencial y que son clasificados según el estrato socio-económico que define un municipio.

En cuanto a la demanda residencial de energía eléctrica, las personas sin acceso al servicio en el mundo, ascienden a 1.400 millones de personas, concentradas especialmente en el sector rural (85%). Se presenta una asociación con la pobreza energética cuando las personas no acceden a un consumo mínimo, por debajo del cual, tiene consecuencias para la salud humana; el consumo mínimo de energía para un hogar se estima en 1000 kilos equivalentes de petróleo (kep) (Díaz, 2019).

1.5. Consumo de energía

La energía es un recurso fundamental para satisfacer necesidades básicas relacionadas con el bienestar humano, tales como la calefacción, refrigeración, iluminación, movilidad y funcionamiento de una gran diversidad de dispositivos (Aristizábal, 2017). Se le conoce en la física como energía a la capacidad que tiene

la materia para producir un trabajo y generar movimiento, calor y luz, por mencionar ejemplos. Se habla hoy de una era definida por Baldwin Richard como la cuarta globalización en la que, mientras más rico sea el país, más grande es su preocupación por los aspectos energéticos (Blanco, 2019; Gómez, 2021). El uso de la energía está relacionado de forma directa con las emisiones de GEI, ya que es bien conocido que cerca del 80% de las emisiones globales de GEI, son producto del desarrollo de actividades dentro del sector transporte e industrial (Aristizábal & González, 2019).

Las sociedades modernas dependen cada vez más de un suministro de electricidad fiable y seguro para sustentar el crecimiento económico y la prosperidad de las comunidades. Esta dependencia aumentará a medida que se desarrollen y desplieguen formas de energía más eficientes y menos intensivas en carbono para contribuir a la descarbonización de las economías. Mantener unos servicios eléctricos fiables y seguros al tiempo que se intenta descarbonizar rápidamente los sistemas eléctricos es un reto clave para los países de todo el mundo. En las economías en desarrollo, el crecimiento del uso de la energía está estrechamente relacionado con el crecimiento de los sectores modernos: la industria, el transporte motorizado y las zonas urbanas, pero el uso de la energía también refleja factores climáticos, geográficos y económicos. La mejora de la eficiencia energética suele ser el medio más económico y disponible para mejorar la seguridad energética y reducir las emisiones de GEI (Banco Mundial, 2020).

La producción de energía eléctrica a nivel mundial tiene como principal fuente a los combustibles fósiles (gas, petróleo y carbón), siendo los responsables de la mayor parte de los GEI liberados a la atmósfera. Si continuamos con el ritmo actual de consumos y emisiones, los recursos no renovables inexorablemente llegarán a un punto de no retorno y se agotarán. Ante esta situación, es indispensable pensar en diversas alternativas en relación a la producción de energía a partir de un recurso renovable (Abelenda, 2022). Su uso reduce enormemente las emisiones de CO₂ y otros gases que contribuyen al cambio climático. En general este tipo de energía contribuye a una mejor calidad de vida y a una economía más estable (Dionisio, 2021).

1.6. Energías renovables

Las fuentes de energía renovable son aquellas que utilizan los recursos inagotables de la naturaleza, como las radiaciones solares o el viento, los cuales pueden regenerarse naturalmente. Las energías renovables, son las que se crean en un flujo continuo y se disipan a través de ciclos naturales que se estima son inagotables, ya que su regeneración es incesante (Oviedo et al., 2015). El uso de estas energías, por otra parte, no genera GEI ni otras emisiones contaminantes. Según la Ley de Transición Energética (LTE), se consideran fuentes de energías renovables las que se enumeran a continuación:

- El viento.
- La radiación solar en todas sus formas.
- El movimiento del agua en cauces naturales o en aquellos artificiales con embalses ya existentes, con sistemas de generación de capacidad menor o

igual a 30 MW o una densidad de potencia, definida como la relación entre capacidad de generación y superficie del embalse, superior a 10 watts/m².

- La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: de las mareas, del gradiente térmico marino, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal.
- El calor de los yacimientos geotérmicos.

El uso de energías renovables ha tenido una importante participación en las matrices energéticas, destacando su uso en la generación de electricidad. Se puede relacionar con la eficiencia técnica y la actividad económica, puesto que permite el mejoramiento de la calidad de vida de las personas. La utilización de energía renovable es considerada una opción de sustitución de los combustibles fósiles y un insumo que ayuda en la reducción de emisiones de GEI (Sánchez & Caballero, 2019). Entre las ventajas que nos proporcionan las energías renovables tenemos (Gómez, 2021):

- No son contaminantes o tienen bajo nivel de contaminación.
- La energía base es gratuita.
- Son muy polivalentes al poder conseguir energía en lugares recónditos y ser aplicada a casos puntuales.
- Son bastante respetuosas con el medio ambiente.

Se pone un fuerte énfasis en las energías renovables como tecnologías sostenibles, centrándose en la relación de los proyectos de energía renovable con la sostenibilidad general de una determinada comunidad o sistema. Por lo general, se afirma que la energía renovable contribuye a la sostenibilidad de territorios específicos al proporcionarles una amplia variedad de beneficios socio-económicos y ambientales (Gómez, 2021).

En la última década se ha producido un aumento de la inversión mundial en energías renovables, encabezada por la eólica y la solar. En el sector del transporte, las principales empresas automovilísticas están incorporando vehículos híbridos y totalmente eléctricos a sus líneas de productos y muchos gobiernos han puesto en marcha planes para animar a los consumidores a comprar estos vehículos. Los combustibles fósiles siguen superando el crecimiento de las energías alternativas y renovables. Los gobiernos de muchos países son cada vez más conscientes de la urgente necesidad de aprovechar mejor los recursos energéticos del mundo. La mejora de la eficiencia energética suele ser el medio más económico y disponible para mejorar la seguridad energética y reducir las emisiones de GEI (Banco Mundial, 2020).

1.7. Estrategia energética de la Unión Europea

La Unión Europea (UE), como uno de los principales emisores de GEI, busca reforzar su histórica posición de liderazgo en cuanto a esfuerzos de mitigación del cambio climático, por lo que ya ha iniciado los trámites y actuaciones encaminadas a materializar las propuestas del AP. La Comisión Europea presentó un paquete de

medidas en línea con este acuerdo a implementar por los Estados Miembros, destinado a acelerar la transición hacia una economía hipocarbónica y mejorar la previsión de cumplimiento de sus objetivos climáticos. Con esta nueva batería de medidas, la UE pretende alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de GEI propuestos para 2030. Estos objetivos, ambiciosos a la par que realistas, están fijados en una reducción del 40% de las emisiones en el total de los sectores económicos de la UE con respecto al año 1990 (IEA, 2020).

En el año 2002 la UE publicó la primera Directiva que hacía referencia explícita a la necesaria eficiencia energética y que en su punto tercero del apartado de considerandos se podía leer lo siguiente: El fomento de la eficiencia energética constituye una parte importante del conjunto de políticas y medidas necesarias para cumplir lo dispuesto en el Protocolo de Kioto, y debe estar presente en todas las medidas que se adopten con el fin de dar cumplimiento a nuevos compromisos. Esta sentencia resume y constata la intención a partir de ese momento por parte de la UE, de apostar por líneas de actuación en las que la eficiencia energética iba a estar presente obligatoriamente (Payán, 2020).

Hay que tener en cuenta que en la UE existe gran diversidad, el clima, las tradiciones o las condiciones económicas pueden modificar las tendencias de consumo en cada uno de los países. Por ello para conseguir mayor eficiencia energética es necesario incorporar fuentes de energía renovables a los procesos productivos. Entre estas fuentes de energía menos contaminantes se encuentra la sustitución del petróleo por combustibles más limpios como el gas natural, o el uso de otras fuentes como la energía solar térmica o la biomasa para producción de calor (Dionisio, 2021). La UE es una región donde en las últimas décadas se ha observado una mejora constante de la intensidad energética y del mix energético (Ortega et al., 2022).

Europa se ha puesto como objetivo, de aquí a 2050, ser el primer continente climáticamente neutro. Por ello, debe darse prioridad al suministro de energía limpia, asequible y segura, donde las fuentes de energía renovables desempeñarán un papel clave. Esta transición debe implicar y beneficiar a los consumidores. La integración inteligente de las energías renovables, la eficiencia energética y otras soluciones sostenibles intersectoriales ayudará a conseguir la descarbonización al menor coste posible. Se debe impulsar el despliegue de tecnologías e infraestructuras innovadoras, como las redes inteligentes, las redes de hidrógeno, la captura, el almacenamiento de carbono y el almacenamiento de energía (Europea, 2020). Proseguir el proceso de descarbonización del sistema energético es esencial para la consecución de los objetivos climáticos de 2030 y 2050. Para lograr estos objetivos los principios clave son:

- Dar prioridad a la eficiencia energética y desarrollar un sector eléctrico basado en gran medida en fuentes renovables.
- Un suministro energético seguro y asequible.
- Un mercado de la energía plenamente integrado, interconectado y digitalizado.

Los países de la UE propondrán su objetivo energético nacional y establecerán planes nacionales de energía y clima a diez años, seguidos de informes de situación

cada dos años. En la nueva revisión de la Directiva sobre fuentes de energía renovables, propone incrementar al 40% el objetivo vinculante para 2030 de la cuota de las energías renovables en la combinación energética, así como nuevos objetivos a escala nacional. En julio de 2021, la comisión publicó una propuesta relativa a la revisión de la directiva sobre fiscalidad de la energía, en la que proponía alinear la fiscalidad de los productos energéticos con las políticas energéticas y climáticas, promover tecnologías limpias y eliminar las exenciones obsoletas y los tipos reducidos que actualmente fomentan el uso de combustibles fósiles (Europea, 2021).

Francia resulta interesante porque es la primera gran economía europea (aunque no el primer país europeo) que emplea un mecanismo que internaliza el coste de las emisiones de GEI para lanzar las señales de precios de los combustibles fósiles, que se consideran necesarias para lograr la reducción de las mismas. El impuesto sobre el carbono se estableció en función del nivel de emisiones de CO₂ generadas en la combustión de cada fuente energética de origen fósil. Los ingresos generados de esta manera permitirán contribuir a la financiación de la Transición Energética, promoviendo la mejora de la eficiencia energética y el desarrollo de las energías con reducido contenido de carbono (Larrea et al., 2019).

Francia aprobó en junio de 2019 una nueva ley sobre energía y clima, instrumento que legisla sobre el objetivo de neutralidad en carbono para 2050 y fija una serie de objetivos cuantificables para el sector de la energía. La adopción de la ley de transición energética en Francia ha supuesto un enorme paso adelante hacia la institucionalización, consagración legal de una visión estratégica a largo plazo y de los instrumentos de planificación política clave para la descarbonización de la economía y la transformación energética. Esto sitúa firmemente a Francia a la vanguardia de los países con legislaciones marco climáticas y sobre transición energética baja en carbono (Averchenkova & Touza, 2020).

1.8. Objetivos del Trabajo de Fin de Máster

El objetivo general de esta investigación es **mostrar en una aplicación web el resultado de modelar matemáticamente y aplicar análisis predictivo de escenarios al sistema energético de Francia**. Con este fin, se aplica una metodología empírica para analizar las fuerzas motrices que modelan el comportamiento de Francia en relación a sus emisiones de CO₂, haciendo especial hincapié en las relaciones entre el crecimiento económico, el consumo de energía y el uso de diferentes fuentes de energías por sectores productivos. Para ello se utilizan materiales, métodos, herramientas informáticas, fuentes de información bibliográfica y estadísticas de organismos nacionales e internacionales.

Se estudiarán las relaciones PIB-consumo de energías, consumo de energías-emisiones de CO₂, PIB-emisiones de CO₂ o las tres: PIB-consumo de energías-emisiones de CO₂. Se empleará la identidad Kaya para explorar las principales fuerzas motrices que controlan la cantidad de emisiones de dióxido de carbono (Robalino et al., 2014); y la técnica de descomposición conocida como LMDI, utilizada como herramienta analítica para obtener información de la descomposición en fuerzas motoras (Mazzei, 2020). Una vez completado lo anterior se desarrollará una aplicación web en la que será posible proporcionar los datos de entrada

correspondientes a Francia y generar las contribuciones a las emisiones de CO₂ de diferentes fuerzas motrices. Como objetivos específicos:

1. Analizar las consecuencias de las emisiones de CO₂ en Francia.
2. Estudiar las relaciones PIB-consumo de energías, consumo de energías-emisiones de CO₂, PIB-emisiones de CO₂.
3. Analizar la relación entre la matriz energética y el producto interno bruto de Francia, visualizando como esto afecta a las emisiones de CO₂.
4. Aplicar los métodos Identidad Kaya y la técnica de descomposición LMDI.
5. Visualizar los datos obtenidos en una aplicación web.

CAPÍTULO 2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales y métodos

Los impactos del cambio climático analizados en el capítulo anterior nos muestran la necesidad de tomar medidas para mitigar los efectos negativos de las emisiones de GEI. Las bases para determinar los esfuerzos en reducir las emisiones se fundan primeramente en definir los agentes, factores o fuerzas motrices de estas emisiones a fin de conocer las causas. Estos estudios sirven de punto de partida para plantear objetivos, realizar análisis predictivo, tomar decisiones medioambientales, así como evaluar el grado de éxito de estrategias implementadas por un determinado país durante un periodo de tiempo. De esta forma se pueden cuantificar las emisiones de GEI y analizar los valores de emisión de diferentes sectores energéticos. Para ello en el presente capítulo se hace un estudio del método para identificación de descomposición LMDI y una extensión de la Identidad Kaya, utilizados para cuantificar emisiones de CO₂.

2.2. Recopilación de datos

Con el objetivo de recopilar los datos necesarios para el cálculo de las emisiones de CO₂ se hizo un estudio de las bases oficiales del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2020), el Banco Mundial (Banco Mundial, 2020) y la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022). Se analizaron los desgloses anuales de Francia presentados por las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, informes económicos, normativas del país sobre el cambio climático y publicaciones relacionadas con la Ley de Transición Energética. Para el estudio bibliográfico se utilizaron bases de datos reconocidas y motores de búsqueda referenciados, enfocados y especializados en la búsqueda de contenido científico y académico.

2.3. Identidad Kaya

Existe una ecuación simple que vincula las emisiones, la riqueza, la intensidad energética y la población, denominada Identidad Kaya, en honor al investigador japonés Yoichi Kaya. La Identidad Kaya se usa comúnmente como una herramienta analítica para explorar las principales fuerzas motrices que controlan la cantidad de emisiones de dióxido de carbono (Robalino et al., 2014). Ha sido ampliamente utilizada en el ámbito de los inventarios de CO₂, así como en el análisis de escenarios. Desde su primera propuesta, se ha perfeccionado y redactado de forma desagregada para considerar los diferentes sectores económicos y tipos de combustibles energéticos (Ortega et al., 2022).

La ecuación es una descomposición que expresa el nivel de emisiones de CO₂ relacionadas con la energía, como el producto de cuatro indicadores: población (Cicea et al., 2014), producto interno bruto per cápita (PIB/cápita), intensidad energética (TPES por unidad de PIB) y la intensidad de carbono (emisiones de CO₂ por unidad de suministro total de energía primaria (TPES por sus siglas en inglés)). En la Identidad Kaya se identifican cuatro factores conductores (Castaño, 2020):

$$E = p * q * ie * ic \quad (1)$$

Donde:

E = Emisiones de CO₂

p = población

q = PIB per cápita

ie = Intensidad energética

ic = Intensidad de carbono del vector energético o factor de emisión

El PIB per cápita (q) es un indicador de la riqueza de un país y se define como el cociente entre el PIB y la población de un país. Expresión que da respuesta al poder adquisitivo a nivel económico por habitantes del territorio estudiado (Chen, 2021).

La intensidad energética (ie) se define como el consumo energético por unidad de PIB, por lo tanto, la energía necesaria para producir una determinada cantidad de riqueza. Cuanto menor es el consumo energético por unidad de PIB, es decir, la posibilidad de generar progreso económico con pequeñas cantidades de energía; mayor es la eficiencia energética del país y como consecuencia menor la intensidad energética (Chen, 2021).

La intensidad de carbono (ic) depende del vector energético y se define como el cociente entre las emisiones de CO₂ y la energía consumida. Por lo tanto, evidencia el uso de combustibles fósiles, cuanto mayor es el porcentaje de renovables menores son las emisiones asociadas al consumo energético, una intensidad de carbono igual a cero sería el caso utópico de un país abastecido cien por cien de energía renovable. Es un factor conductor que indica el ritmo de emisión del gas contaminante en relación con la cantidad de energía prima necesaria utilizada por una actividad o un territorio en concreto para satisfacer su necesidad. Este parámetro varía en función de la fuente de energía, cuando más limpia sea la energía usada, menor será su intensidad de carbono (Chen, 2021).

Entonces la ecuación 1 se puede representar por:

$$CO_2 = P * \frac{(PIB)}{P} * \frac{(E)}{PIB} * \frac{(iCO_2)}{E} \quad (2)$$

Dicha fórmula se ha ido adaptando y modificando con el paso del tiempo, de tal forma que hoy nos permite desagregar por tipo de combustible y se representa con el subíndice j. El sector económico se muestra con el subíndice i. De esta manera se cuantifican, en la ecuación 3, las contribuciones en los factores población, PIB per cápita, estructura económica, intensidad energética, matriz energética y factor de emisión de CO₂ (Mazzei, 2020).

$$CO_2 = \sum_{ij} P * \frac{Q}{P} * \frac{Q_i}{Q} * \frac{E_i}{Q_i} * \frac{E_{ij}}{E_i} * \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \quad (3)$$

Donde:

P = Población total

Q = PIB total

Q_i = PIB aportado por el sector económico i

E_i = Consumo energético total del sector económico i

E_{ij} = Consumo energético del tipo de combustible j del sector económico i

C_{ij} = Emisiones debido al consumo del tipo de combustible j en sector económico i

Renombrando los factores se obtiene la ecuación 4 (Mazzei, 2020)

$$CO2 = P * q \sum_{ij} S_i * E_{ij} * M_{ij} * U_{ij} \quad (4)$$

donde:

P = Población total

$q = Q/P =$ PIB per cápita

$S_i = Q_i / Q =$ Porcentaje del PIB aportado por el sector económico i

$E_{ij} = E_i / Q_i =$ Intensidad energética del sector económico i

$M_{ij} = E_{ij} / E_i =$ Matriz energética

$U_{ij} = C_{ij} / E_{ij} =$ Factor de emisión del tipo de combustible j en el sector económico i

El estudio se realiza en un determinado período temporal. Es interesante observar que la Identidad Kaya se utiliza solo para identificar las emisiones de CO_2 y no la de todos los GEI. Además, solo se consideran las emisiones provenientes del uso de energía. Esto se debe a que el análisis se centra en la quema de combustibles para generación energética.

2.4. Índice Divisia de Media Logarítmica (LMDI)

Hoy en día el método de descomposición más frecuentemente utilizado alrededor del mundo para analizar el consumo energético, la emisión de carbono, el producto interno bruto, entre otros índices agregados macroeconómicos, es el método Índice Divisia de Media Logarítmica (LMDI, por sus siglas en inglés). El método LMDI se usa ampliamente en el campo de la energía y el medio ambiente para descomponer en factores explicativos el cambio del indicador agregado (Wang et al., 2014). Además, permite identificar y extraer las contribuciones de las diferentes fuerzas motrices de una expresión dada (Ortega et al., 2022).

El método LMDI, que apareció a finales de los años 70, se enmarca en el análisis de descomposición de índices, y es una herramienta analítica adaptada originalmente a los estudios energéticos. Sin embargo, desde entonces se ha extendido a muchos otros ámbitos, como los estudios de emisiones de CO_2 , la gestión medioambiental y el uso sostenible de los recursos naturales. Se basa en una suma de cambios relativos que se pondera de forma adecuada y que utiliza el concepto de índice Divisia introducido en los años 20 por F. Divisia. El uso de los LMDI tuvo un rápido crecimiento, en particular gracias a los trabajos (Ang y Liu, 2001) en los que se establecieron los LMDI-I y LMDI-II y a (Ang, 2005) que proporciona una guía práctica de los LMDI. Una revisión actualizada sobre el uso de LMDI fue publicada por Ang (2015) donde el autor reportó 554 artículos de revistas que utilizan LMDI como herramienta de análisis publicados hasta 2014 (Ortega et al., 2020).

Este método permite descomponer una serie de tiempo asociada a una variable dependiente de interés, por ejemplo, la intensidad de carbono, en variables explicativas del fenómeno que pueden ser de carácter estructural (por ejemplo, el despacho económico) o de intensidad (por ejemplo, la eficiencia energética). Este

método puede aplicarse sobre una base multitemporal, es decir considerando varios periodos consecutivos de cierta duración. Usualmente la selección de cada periodo se realiza en concordancia con los planes nacionales cuatrienales o quinquenales (Rojas, 2020).

LMDI es utilizado como herramienta analítica para obtener información de la descomposición en fuerzas motoras de una determinada sumatoria. En este estudio, aplicaremos el método a la Identidad Kaya para determinar la cantidad aportada por cada variable a las emisiones de CO₂. De esta manera analizaremos los efectos de las variaciones introducidas por cada factor de la identidad. Este método presenta dos descomposiciones: la aditiva y la multiplicativa que están relacionadas entre sí y dependen la una de la otra.

2.3.1. LMDI aditivo

En un principio, se puede establecer, según la descomposición aditiva (Mazzei, 2020):

$$\Delta C = \Delta C(t) - \Delta C(0) = \Delta C_P(t) + \Delta C_q(t) + \Delta C_{Si}(t) + \Delta C_{Eli}(t) + \Delta C_{Mij}(t) + \Delta C_{Uij}(t) \quad (5)$$

donde:

$\Delta C_P(t)$ = Variación debida al cambio en la población

$\Delta C_q(t)$ = Variación debida al cambio en el PIB per cápita

$\Delta C_{Si}(t)$ = Variación debida al cambio en la estructura económica

$\Delta C_{Eli}(t)$ = Variación debida al cambio en la intensidad energética

$\Delta C_{Mij}(t)$ = Variación debida al cambio en la matriz energética

$\Delta C_{Uij}(t)$ = Variación debida al cambio en los factores de emisión

El valor de cada una de estas contribuciones se determina como:

$$\Delta C_P(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)} \ln \frac{P(t)}{P(0)} \quad (6)$$

$$\Delta C_q(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)} \ln \frac{q(t)}{q(0)} \quad (7)$$

$$\Delta C_{Si}(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)} \ln \frac{S_i(t)}{S_i(0)} \quad (8)$$

$$\Delta C_{Eli}(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)} \ln \frac{EI_j(t)}{EI_j(0)} \quad (9)$$

$$\Delta CM_{ij}(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)} \ln \frac{M_{ij}(t)}{M_{ij}(0)} \quad (10)$$

$$\Delta CU_{ij}(t) = \sum_{ij} \frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)} \ln \frac{U_{ij}(t)}{U_{ij}(0)} \quad (11)$$

2.3.2. LMDI multiplicativo

Seguidamente se establece la descomposición multiplicativa como (Mazzei, 2020):

$$D(t) = \frac{C(t)}{C(0)} = D_P(t) * D_q(t) * D_{Si}(t) * D_{Eli}(t) * D_{Mij}(t) * D_{Uij}(t) \quad (12)$$

donde:

$D_P(t)$ = Variación relativa debida al cambio en la población

$D_q(t)$ = Variación relativa debida al cambio en el PIB per cápita

$D_{Si}(t)$ = Variación relativa debida al cambio en la estructura económica

$D_{Eli}(t)$ = Variación relativa debida al cambio en la intensidad energética

$D_{Mij}(t)$ = Variación relativa debida al cambio en la matriz energética

$D_{Uij}(t)$ = Variación relativa debida al cambio en los factores de emisión

El valor de cada una de estas contribuciones se determina como:

$$\Delta CP(t) = \sum_{ij} \frac{\frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{P(t)}{P(0)} \quad (13)$$

$$\Delta Cq(t) = \sum_{ij} \frac{\frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{q(t)}{q(0)} \quad (14)$$

$$\Delta CSi(t) = \sum_{ij} \frac{\frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{Si(t)}{Si(0)} \quad (15)$$

$$\Delta CE_{ij}(t) = \sum_{ij} \frac{\frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{E_{ij}(t)}{E_{ij}(0)} \quad (16)$$

$$\Delta CM_{ij}(t) = \sum_{ij} \frac{\frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{M_{ij}(t)}{M_{ij}(0)} \quad (17)$$

$$\Delta CU_{ij}(t) = \sum_{ij} \frac{\frac{C_{ij}(t) - C_{ij}(0)}{\ln C_{ij}(t) - \ln C_{ij}(0)}}{\frac{C(t) - C(0)}{\ln C(t) - \ln C(0)}} \ln \frac{U_{ij}(t)}{U_{ij}(0)} \quad (18)$$

2.4. Cálculos con Python

El cálculo de la Identidad Kaya y el LMDI se realizó utilizando un script desarrollado con Python. Python es un lenguaje de programación de alto nivel, sencillo de interpretar y de código libre. Es de alto nivel porque contiene implícitas algunas estructuras de datos como listas, diccionarios, conjuntos y tuplas, que permiten realizar algunas tareas complejas en pocas líneas de código y de manera legible. Python en ocasiones se utiliza como una poderosa calculadora y se ha convertido en un fenómeno internacional. Es un lenguaje que está de moda para escribir productos de software libre, la mayoría de las grandes distribuciones lo usan como estándar para escribir sus aplicaciones.

2.5. Framework Mercury

Mercury es una herramienta perfecta para convertir un cuaderno de Python en una aplicación web y compartirla con los no programadores. Es ventajosa para demostraciones rápidas, fines educativos y compartir cuadernos con amigos. Mercury tiene doble licencia y es compatible con la versión 3.6 o mayor de Python. Para su instalación se utilizan los comandos (Mercury, 2022):

```
pip install mljar-mercury
o
conda install -c conda-forge mljar-mercury
```

Luego de su instalación es necesario ejecutar el cuaderno desarrollado con el lenguaje de programación Python, para ello se utiliza el comando:

```
mercury run <nombre del cuaderno>
```

Seguidamente, se debe abrir el navegador web e introducir la dirección <http://127.0.0.1> para ver la interfaz de presentación de Mercury con los cuadernos en uso.

CAPÍTULO 3. Resultados y Discusión

3.1. Resultado y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al aplicar el método basado en la variación de la Identidad Kaya y la Metodología LMDI, en el estudio de las variaciones de CO₂ en Francia. Para ello, se analizaron las características de la Matriz Energética y se estudiaron las variables: Demografía y Producto Interno Bruto (PIB). Al aplicar los métodos se consideraron los siguientes factores: población, estructura económica, PIB per cápita, intensidad energética, mix energético y factores de emisión de CO₂. A su vez, considerando al sistema económico dividido en cinco sectores (agricultura, industria, residencial, transporte, servicio comercial y público) y teniendo en cuenta 8 tipos de combustibles.

3.2. Generalidades del país y su desarrollo económico

La superficie de Francia continental (550.000 km²) es la mayor de los países de la UE (alrededor del 13% de la superficie). Situada entre el Atlántico y el Mediterráneo, entre las latitudes 41°N y 51°N, Francia tiene unos 3200 km de costa. Es un país de elevación media, las llanuras y colinas ocupan dos tercios del territorio. Sin embargo, cuenta con dos barreras montañosas, una al este y otra al sur: Los Alpes y los Pirineos. El Mont Blanc (4810 m), el punto más alto de Francia, se encuentra en los Alpes, en la frontera con Italia.

El Macizo Central, en el centro de Francia, desempeña un papel de dispersión del agua hacia las cuatro grandes cuencas: El Sena al norte, el Loira al noroeste, el Ródano al este y el Garona al suroeste. Casi el 60% de la superficie continental se destina a la agricultura (33 millones de hectáreas), el 34% son bosques y entornos naturales o seminaturales (19 millones de hectáreas), mientras que algo menos del 6% corresponde a terrenos urbanizados (3 millones de hectáreas). La población de Francia supera los 67 millones de habitantes (Climate, 2020).

Francia es vulnerable a los impactos del cambio climático, ya que el aumento de la temperatura incrementa: el riesgo de olas de calor, las lluvias más intensas provocan inundaciones, el aumento del nivel del mar, el cambio incierto de la frecuencia y la gravedad de las tormentas. A través del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, pretende proteger a la población contra los fenómenos meteorológicos extremos y también aumentar la resiliencia al cambio climático en los principales sectores de la economía. Francia es la tercera economía de la UE, después de Alemania y Gran Bretaña, y se considera líder en energía nuclear. La economía francesa es principalmente una economía de servicios, el sector terciario representa el 76,7% de la población activa, mientras que el sector primario (como la agricultura o la pesca) sólo representa el 2,8% (Botero & García, 2019).

3.2.1. Principales datos económicos

En términos económicos, Francia presentaba en el 2019 un PIB de 2425708 millones de euros, siendo una de las 10 economías más importantes del mundo en volumen del PIB. Otro dato importante es el PIB per cápita, que fue de 35960€ por habitante, puesto número 26 del mundo. Respecto al mercado laboral Francia tuvo al finalizar el 2019 una tasa de desempleo del 8,2%, una cantidad de parados

bastante menor a las cifras reflejadas por España e Italia. El salario medio fue de 36547€ brutos al año. Sin embargo, el salario mínimo interprofesional fue de 18254,4€ brutos al año, es decir, 1521,2€ mensuales si dividimos entre las 12 pagas anuales, un dato bastante superior al de otros países como España (Monsalvo, 2021).

3.2.2. Evolución del PIB

El PIB a precios de comprador es la suma del valor añadido bruto de todos los productores residentes en la economía, más los impuestos sobre los productos y menos las subvenciones no incluidas en el valor de estos. Se calcula sin hacer deducciones por la depreciación de los activos fabricados ni por el agotamiento y la degradación de los recursos naturales (Banco Mundial, 2022). En la Tabla 1 podemos observar el comportamiento del PIB en Francia en el periodo del 2008 al 2019. En esta etapa Francia sufrió, al igual que el resto de países, los efectos de la crisis económica que comenzó en 2008. Provocando que el PIB disminuyese 55958 millones de euros en tan solo un año, pasando de 1992380 millones de euros en 2008 a 1936422 millones de euros en 2009, lo que supuso una variación del -2,90%.

Sin embargo, Francia supo recuperarse de esta crisis económica, y como podemos observar el PIB aumentó su volumen todos los años con respecto al año anterior desde 2009 hasta 2019, con un crecimiento en torno al 0,5-2,5% todos los años. En el 2012, fue el año que menos crecimiento se produjo, debido a que se celebraron elecciones y esto causó incertidumbre económica para el país (Monsalvo, 2021).

Tabla 1. PIB de Francia. Unidad - euros. Fuente: (Monsalvo, 2021)

Evolución del PIB en Francia (2008-2019)		
Fecha	PIB anual (millones de €)	Variación del PIB (%)
2008	1.992.380	0,30%
2009	1.936.422	-2,90%
2010	1.995.289	1,90%
2011	2.058.369	2,20%
2012	2.088.804	0,30%
2013	2.117.189	0,60%
2014	2.149.765	1,00%
2015	2.198.432	1,10%
2016	2.234.129	1,10%
2017	2.297.242	2,30%
2018	2.360.687	1,80%
2019	2.425.708	1,50%

En la Figura 2 se representa el comportamiento del PIB, evaluado en dólares constantes de 2015, durante el periodo de 1990 al 2019. Se puede observar un aumento progresivo hasta el 2009, donde como se planteó anteriormente producto de la crisis económica ocurre un descenso, luego continua su crecimiento.

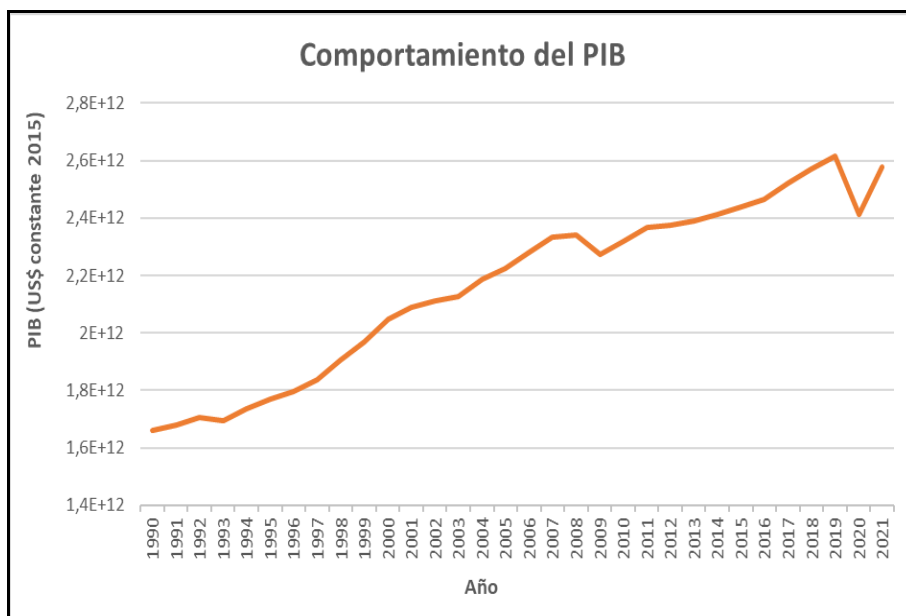


Figura 2. Comportamiento del PIB. Unidad - dólares constantes de 2015. Fuente (Banco Mundial, 2022)

3.3. Características de la Matriz Energética

Francia tiene un mix eléctrico muy bajo en carbono gracias a su gran parque nuclear, el segundo más grande después de Estados Unidos. Como líder temprano en el establecimiento de una transición energética ambiciosa, legisló un objetivo de emisiones netas cero para 2050 en su Ley de Energía y Clima de 2019. Una estrategia nacional de bajas emisiones de carbono con presupuestos de carbono a cinco años y un plan plurianual de inversiones energéticas complementan el objetivo a largo plazo (IEA, 2020).

Con la adopción de su Ley de Transición Energética (LTE) en agosto de 2015, a sólo cuatro meses de la Cumbre del Clima de París, Francia mostró a la comunidad internacional la voluntad de cambiar su modelo energético por uno más sostenible y seguir garantizando su desarrollo económico. La LTE se caracteriza por su gran ambición, pero también por su originalidad. Ambiciosa porque quiere ir más allá de los compromisos adquiridos por este país a nivel internacional y original porque entiende que la transición debe englobar transversalmente a un conjunto de sectores económicos y fuentes de energía, no enfrentándolos unos con otros sino fomentando en cada uno de ellos. En su artículo primero, la LTE establece como objetivos de la política energética francesa (Collin, 2017):

- Favorecer el desarrollo de una economía competitiva que fomente la creación de empleos gracias a la movilización de todos sus sectores industriales.
- Garantizar la seguridad en el suministro energético y reducir la dependencia de las importaciones de hidrocarburos.
- Mantener un precio de energía competitivo y atractivo en el plano internacional y controlar el gasto energético de los consumidores.

- Preservar la salud humana y del medioambiente, mitigando la emisión de GEI, limitando los riesgos industriales, reduciendo la exposición de los ciudadanos a la contaminación del aire y garantizando la seguridad nuclear.

La adopción por el gobierno francés en octubre de 2016 de la Programación Plurianual de Energía (PPE), ha permitido dotarse de una hoja de ruta para llevar a cabo esa transición. Con ella el gobierno ha querido diseñar el camino a seguir, que establece las principales orientaciones y acciones para los próximos siete años. La PPE parte de un análisis del consumo energético de estas últimas décadas, constatando que, con la crisis económica y la adopción de medidas en el ámbito de la eficacia energética, el consumo ha disminuido y se ha estabilizado a 150 Mtep.

3.3.1 Emisiones de CO₂

La lucha contra el cambio climático y la reducción de emisiones de GEI han encontrado en la fiscalidad un instrumento cuya aplicación se encuentra en desarrollo en numerosos países, entre ellos Francia (Larrea et al., 2019). Francia puso en funcionamiento una fiscalidad sobre el carbono explícita en 2014, integrando el componente del carbono en los impuestos interiores sobre el consumo de productos energéticos. Su objetivo era reducir las emisiones a través de un aumento del precio de la energía, que se podría estimar en un 6% para un aumento del 10% del precio (Labandeira et al., 2016). Esto sitúa firmemente al país a la vanguardia en legislaciones marco climáticas y sobre transición energética baja en carbono (Averchenkova & Touza, 2020).

En Francia, entre los años 1990 y 2019, el sector del transporte fue el de mayores emisiones de CO₂, alcanzando el valor de 132 Mt en el 2000. Seguido de los sectores industria y residencial (ver Figura 3 y Tabla 2).

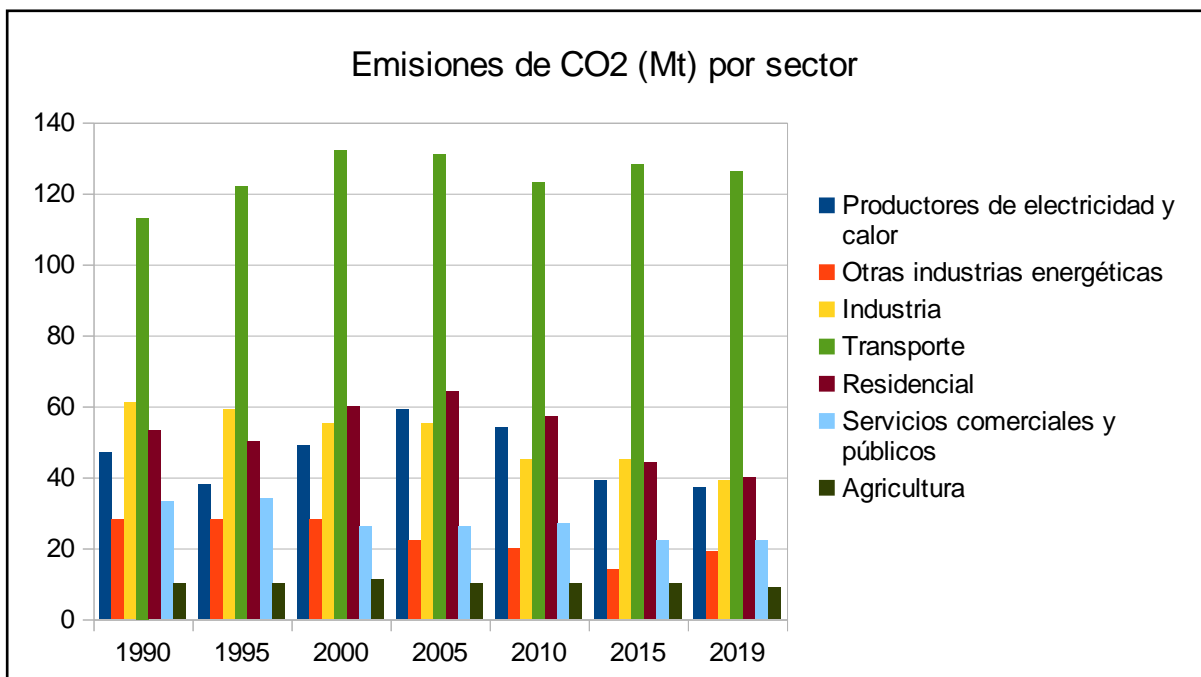


Figura 3. Emisiones de CO₂ por sector. Unidad - Mt. Fuente: (IEA, 2020)

Tabla 2. Emisiones por actividades y sectores. Unidad – kt. Fuente: (UNFCCC, 2021)

Actividades / Sectores	CO₂ (kt)
1. Industrias energéticas	66067,49
Producción pública de electricidad y calor	49393,56
Refino de petróleo	11935,46
Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	4738,46
2. Industrias manufactureras y construcción	66077,65
Hierro y acero	12686,46
Metales no ferrosos	1994,73
Productos químicos	15077,82
Pasta de papel, papel e impresión	4009,49
Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	7981,08
Minerales no metálicos	14015,52
3. Transporte	121272,64
Aviación nacional	3923,44
Transporte por carretera	114720,48
Ferrocarriles	1078,43
Navegación nacional	1338,72
Otros transportes	211,56
4. Otros sectores	90769,98
Comercial/institucional	26269,63
Residencial	53253,93
Agricultura/silvicultura/pesca	11246,41

En la Figura 4 se muestra que el combustible que emite mayores emisiones de CO₂ en Francia es el petróleo, responsable de 220 MtCO₂ en el año 2015. No obstante, se debe reconocer que desde el 2000 hasta el 2019 se han disminuido las emisiones en 47 MtCO₂.

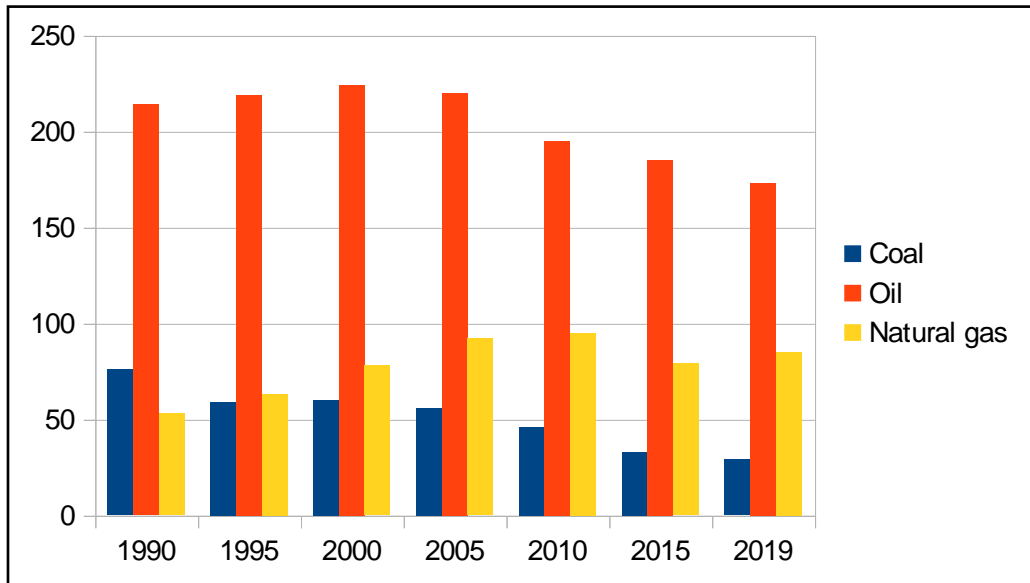


Figura 4. Emisiones de CO₂ por fuente. Unidad - Mt. Fuente: (IEA, 2020)

3.3.2 Relación PIB-energía

La PPE incorpora un estudio de impacto económico, social y medioambiental que resalta el impacto positivo de esta transición energética, con previsiones de un crecimiento económico de +1,1% del PIB para 2030, con un aumento del valor industrial de +0,7%, con 280000 nuevos puestos de trabajo creados hasta el 2030. La dependencia energética del exterior, que ha supuesto para Francia una factura energética anual media, durante el período 2005-2015, de en torno a 55000 millones de euros. El récord histórico de la factura energética francesa se alcanzó en el año 2012 (69000 millones de euros). En 2015, los productos petrolíferos representaron 45000 millones de euros es decir el 82% de la factura energética de aquel año (una disminución de 7000 millones respecto a 2013) (Collin, 2017).

3.3.3 Relación energías-emisiones

A pesar de que la capacidad instalada de energía nuclear en el mercado eléctrico francés sigue representando el mayor porcentaje, 47% en 2017, las energías renovables no convencionales, eólica y solar, ya representan el 17% del total de la capacidad instalada. No obstante, en términos de la generación el 70% sigue siendo nuclear (Botero & García, 2019). Entre 2012 y 2017, la normatividad relacionada con la transición energética fue masiva en Francia.

En 2015, Francia lanzó su programa de transformación energética, para promover el crecimiento verde, reducir las emisiones de efecto invernadero y fortalecer la independencia energética del país. Los objetivos eran: reducir el uso de energía nuclear, desarrollar fuentes renovables y mejorar la eficiencia energética. En la Figura 5 se pueden observar los objetivos de la transición energética, propuestos por el Ministerio de Ecología, Desarrollo Sostenible y Energía (Mauger, 2018; Planete, 2018; Tazi y Bouzidi, 2019).

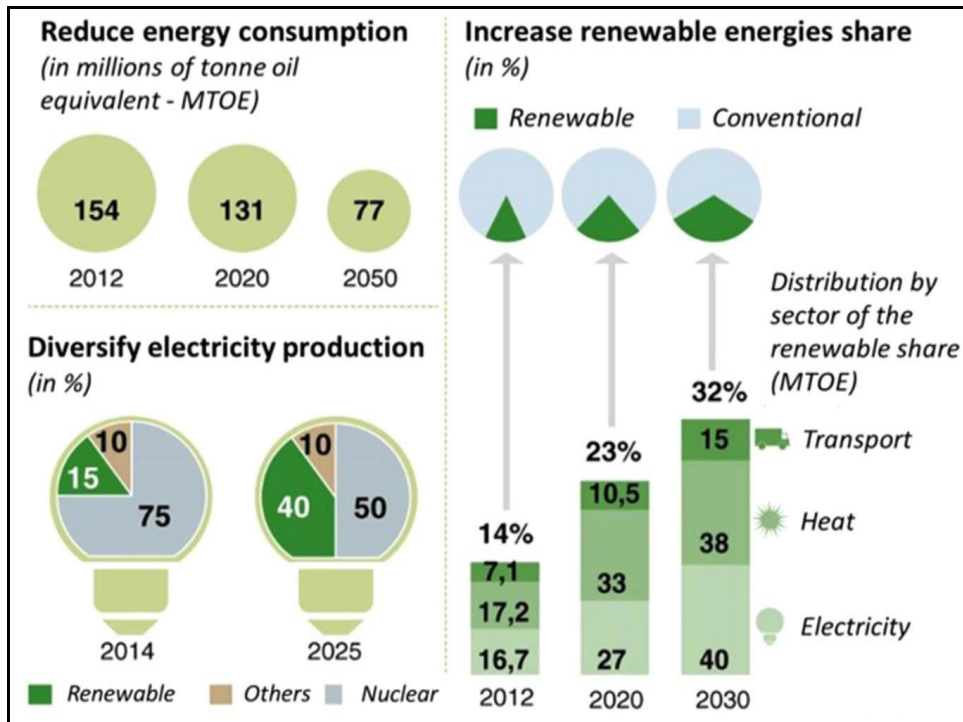


Figura 5. Objetivos de la transición energética. Fuente: (Botero & García, 2019)

En la Figura 6 se presenta la generación de energía en Francia por fuente desde 1990 al 2020. Donde se destacan las fuentes de energía nuclear, petróleo y gas natural.

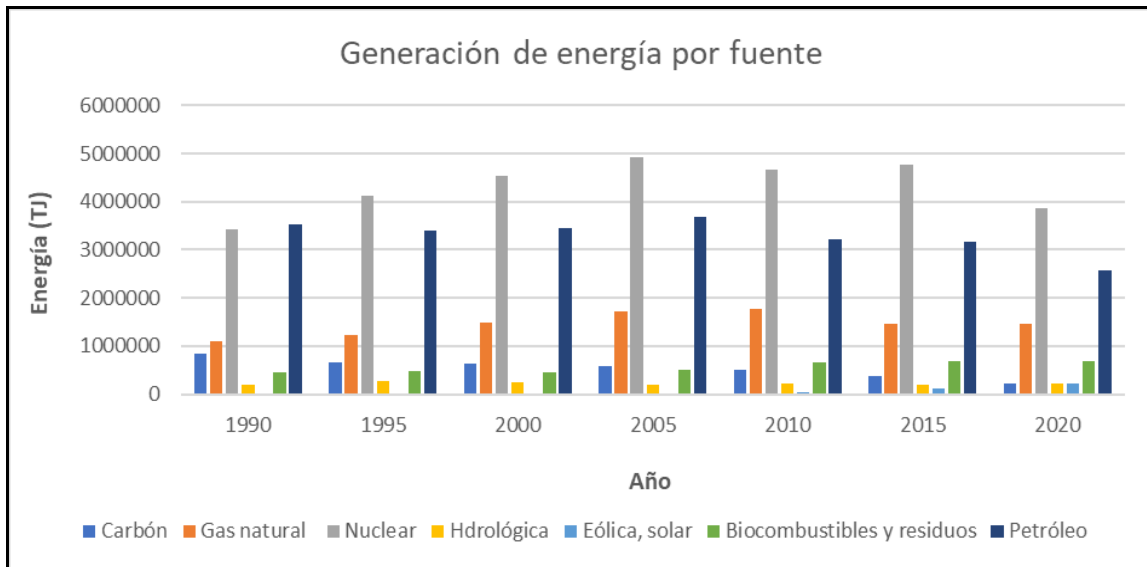


Figura 6. Generación de energía por fuente. Unidad - Tj. Fuente: (IEA, 2020)

Como se puede observar en la Figura 7, en la generación de energía eléctrica en Francia, se destacan las fuentes de energía nuclear y la hidrológica. A partir del 2015 comienza la generación de energía mediante el viento y el sol. Por ello, se confirma que la energía nuclear controla el campo de la producción energética.

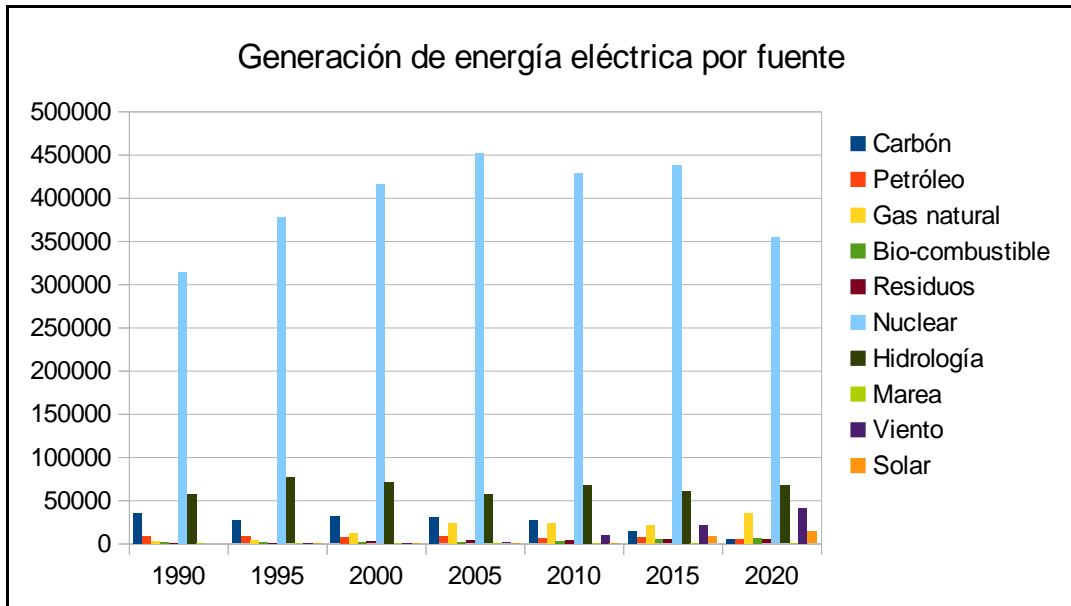


Figura 7. Generación de energía eléctrica por fuente. Unidad - GWh. Fuente: (IEA, 2020)

3.3.3.1 Generación de electricidad nuclear

Hay pocas dudas de que la energía nuclear seguirá siendo el componente principal de la mezcla de electricidad francesa al menos hasta 2030. Sin embargo, la decisión sobre una política a largo plazo más allá de la década de 2030 es una pregunta abierta. La LTE limita el peso de la energía nuclear, sin por ello negar la importancia que tiene ésta en el mix energético francés. Con ese objetivo, la ley estableció, un límite anual de la capacidad de producción de energía nuclear que se fija en 63,2 GW y una reducción del peso de la energía nuclear para que represente en el año 2025, el 50% del mix eléctrico (Collin, 2017). Como se puede observar en la Figura 8, entre los años 2015 y 2020 existe un descenso en la generación de electricidad a partir de energía nuclear, de 437428 Gwh a 353833 Gwh.

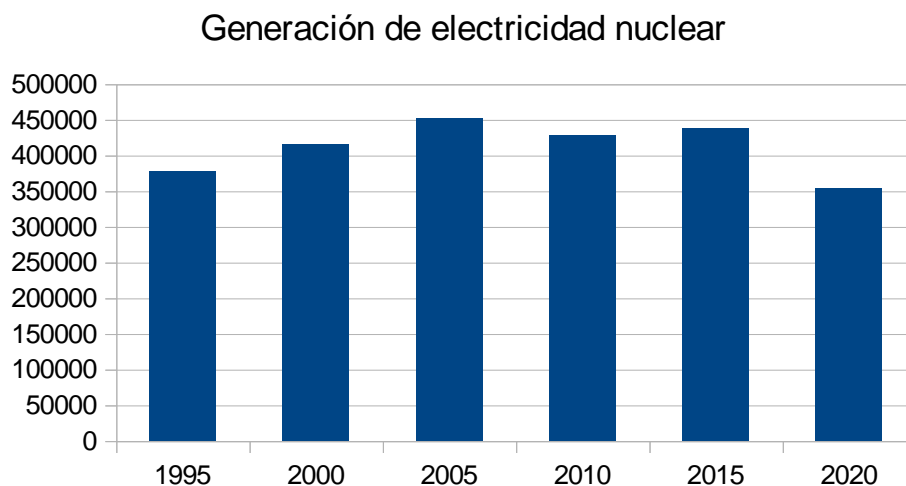


Figura 8. Generación de electricidad nuclear. Unidad - GWh. Fuente: (IEA, 2020)

Por lo visto, se puede afirmar que más del 90% de la electricidad francesa se produce sin emisiones de CO₂ (Botero & García, 2019). Además, el objetivo principal

de la transición energética es disminuir el consumo de energía nuclear y aumentar el uso de energías renovables.

3.3.3.2 Generación de electricidad a partir de energías renovables

La LTE establece como objetivo el aumento del peso de las energías renovables desde el 15% en 2015, al 23% para el año 2023 y al 32% en el año 2030. El desglose de la producción renovable del mix eléctrico francés en 2015 fue el siguiente: 61% energía hidráulica, 24% energía eólica, 8% energía solar y 7% energía biosolar. Para alcanzar ese objetivo, el Gobierno considera imprescindible asociar a las colectividades territoriales en el desarrollo de energías renovables, simplificando las normas y procedimientos administrativos que permitan atraer a empresas e inversores a las licitaciones de renovables anunciadas para el período 2016-2019 (Collin, 2017).

La transición energética hacia las renovables fue tomando mayor importancia con el paso de los años y en especial con el AP en 2015, el cual ponía un objetivo de emisiones cero en 2050 y objetivos intermedios en 2030. Como muestra de ello se ha aumentado considerablemente la generación de electricidad a partir del agua, las mareas, el viento, el sol y calor del interior de la Tierra (ver Figura 9).

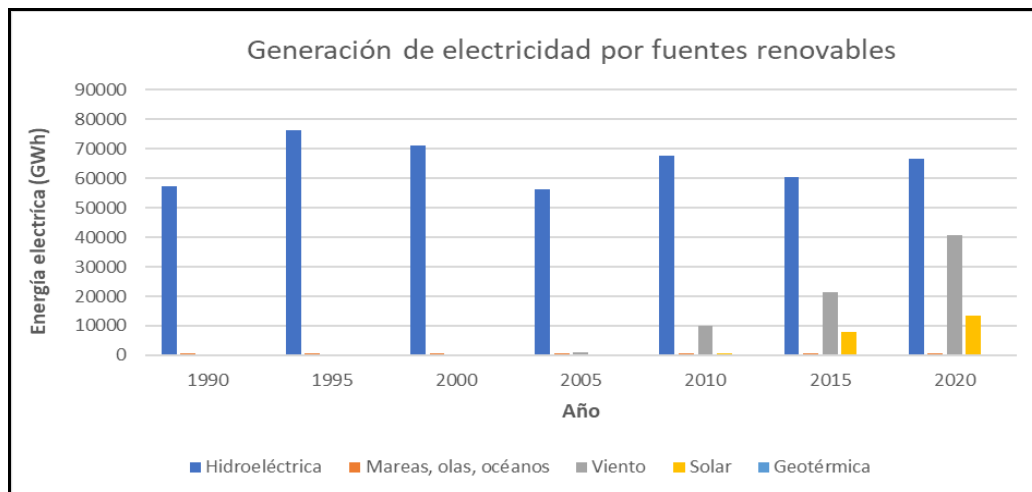


Figura 9. Generación de electricidad por fuentes renovables. Unidad - GWh. Fuente: (IEA, 2020)

3.3.3.3 Consumo de energías

Mientras que la tendencia del consumo en la década de los noventa fue de más de un 1,2% anual de media, el consumo de energía primaria ha dejado de crecer desde 2005 y ahora está descendiendo. La estructura de la combinación de energía primaria de Francia se mantiene bastante estable: 45% de electricidad primaria, 28% de petróleo, 16% de gas, 8% de energías renovables térmicas (incluidos los residuos) y 3% de carbón en 2019. La tendencia al descenso del petróleo se ha confirmado a lo largo de los años (-19%), mientras que la del carbón es significativa (-65%). El consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de CO₂, un producto mortal de la combustión. Así, en 2019, aproximadamente el 89,3% de las emisiones de CO₂ en Francia dentro del perímetro de Kioto procedían del uso de la energía (EPA, 2021).

El artículo 2 del Decreto 1442 del 27 de octubre de 2016 establece los siguientes objetivos de disminución (respecto al año 2012) de las energías fósiles, que representan para Francia el 70% de su consumo de energía final (Collin, 2017):

- Para el petróleo: -15,6% en 2018 y -22,4% en 2023.
- Para el gas natural: -8,4% en 2018 y -15,8% en 2023.
- Para el carbón: -27,6% en 2018 y -37% en 2023.

Como se puede observar en la Figura 10, los sectores de mayor consumo energético en Francia, entre los años 1990 y 2019, son el transporte y el residencial.

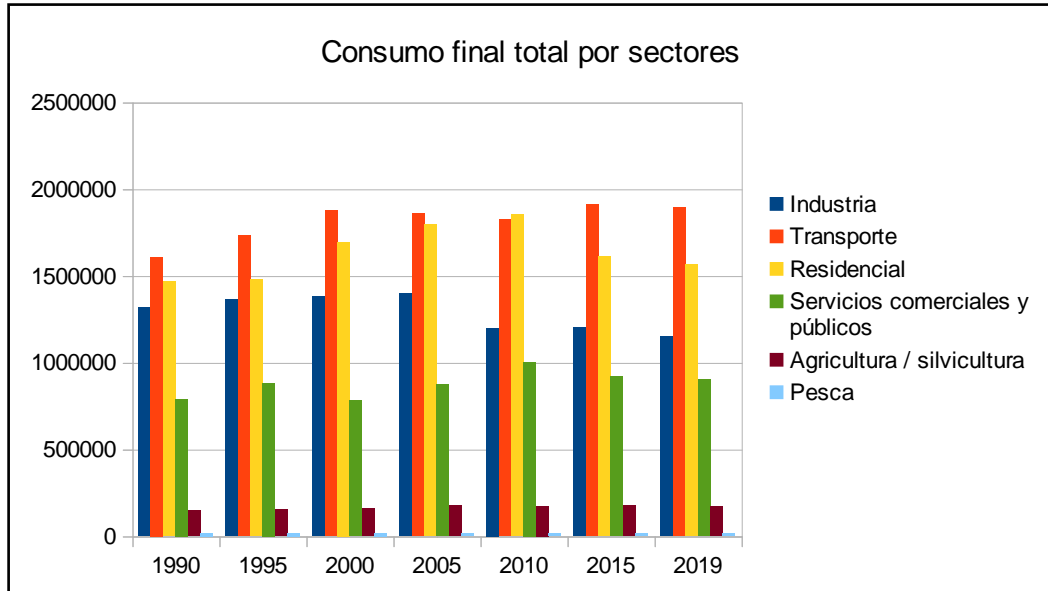


Figura 10. Consumo final de energía por sectores. Unidad – TJ. Fuente: (IEA, 2020)

En la Figura 11 se representa el consumo de electricidad en los sectores: industria, transporte, residencial, agricultura, servicios comerciales y públicos, entre los años 1990 y 2019.

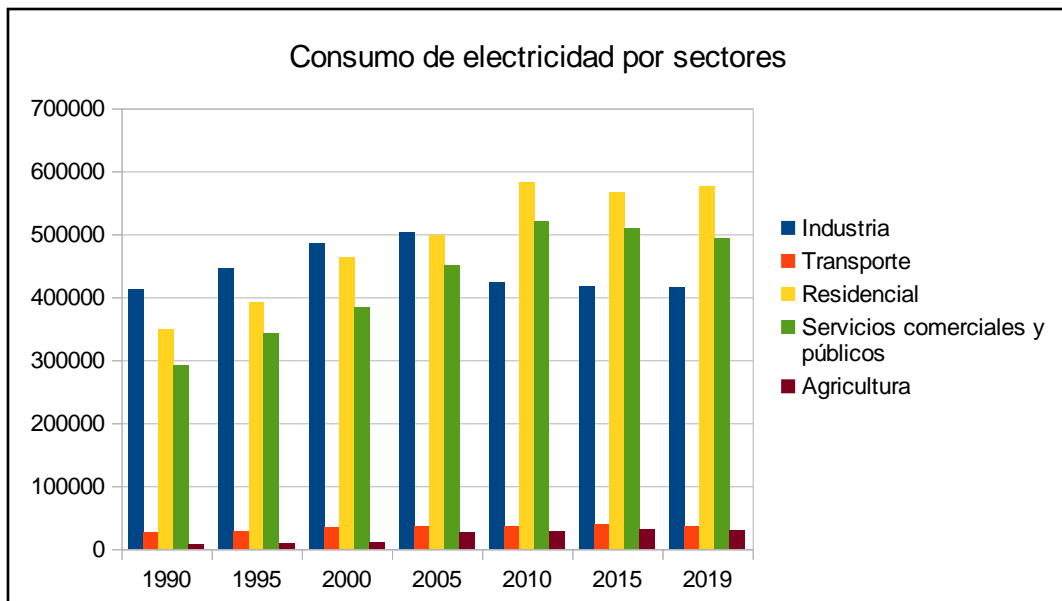


Figura 11. Consumo final de energía. Unidad - TJ. Fuente: (IEA, 2020)

3.4. Análisis de la Identidad Kaya

El estudio de la Identidad Kaya se realiza utilizando cinco sectores económicos (agricultura, industria, residencial, transporte, servicios comerciales y públicos) y ocho tipos de fuentes de energías. Mediante la variación de la identidad Kaya presentada por Robalino se definen los factores que generan las emisiones de CO₂ del país.

El sector agricultura es el que genera menores emisiones, debido a que consume menos energía, representando el 2,9% del consumo total. El sector que mayores emisiones produce es el transporte, con un consumo de energía del 33%. La industria representa el segundo sector con mayores emisiones, seguido del residencial. Es significativo reconocer que la tendencia en las emisiones durante el periodo de estudio ha sido descendente debido a que la participación de las energías renovables es alta y el uso de energía nuclear controla el consumo energético.

3.5. Aplicación del método LMDI

3.5.1. Consumo de energía por tipo de combustible y sectores económicos

En los cálculos se utilizan los subíndices *i*, correspondientes a la representación de los sectores económicos. Para obtener estos valores es necesario identificar y unificar los sectores económicos de manera tal que tanto los datos de la Matriz Energética como los del PIB utilicen la misma división (Mazzei, 2020). Los sectores que más se destacan por su consumo energético y emisiones de CO₂ en Francia son:

- Agricultura
- Industria
- Transporte
- Residencial
- Comercial y público

La agricultura corresponde a las divisiones 1-3 de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) de todas las actividades económicas e incluye la silvicultura, la caza y la pesca, además del cultivo de cosechas y la cría de animales. La industria corresponde a las divisiones CIIU 05-43 e incluye la industria manufacturera (divisiones CIIU 10-33). El sector comercial y público corresponde a las divisiones 50-99 de la CIIU e incluyen el valor añadido del comercio al por mayor y al por menor (incluidos los hoteles y restaurantes), servicios gubernamentales, financieros, profesionales y personales, como la educación, la atención sanitaria y los servicios inmobiliarios.

Para sacar el subíndice *j*, se realizó un estudio de los tipos de combustibles identificados en la matriz energética, teniendo en cuenta su consumo por cada uno de los sectores económicos (ver Figura 12, Figura 13 y Figura 14).

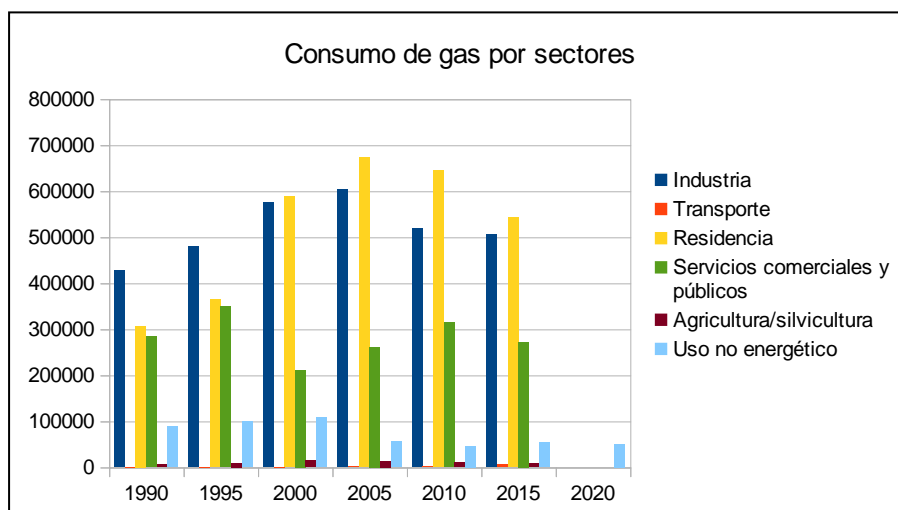


Figura 12. Consumo de gas por sectores. Unidad - TJ. Fuente: (IEA, 2020)

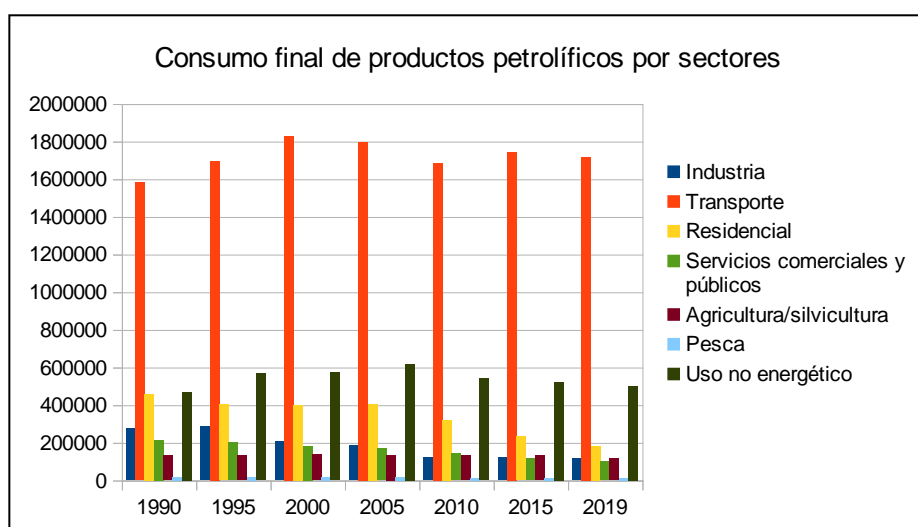


Figura 13. Consumo de productos petrolíferos. Unidad - TJ. Fuente: (IEA, 2020)

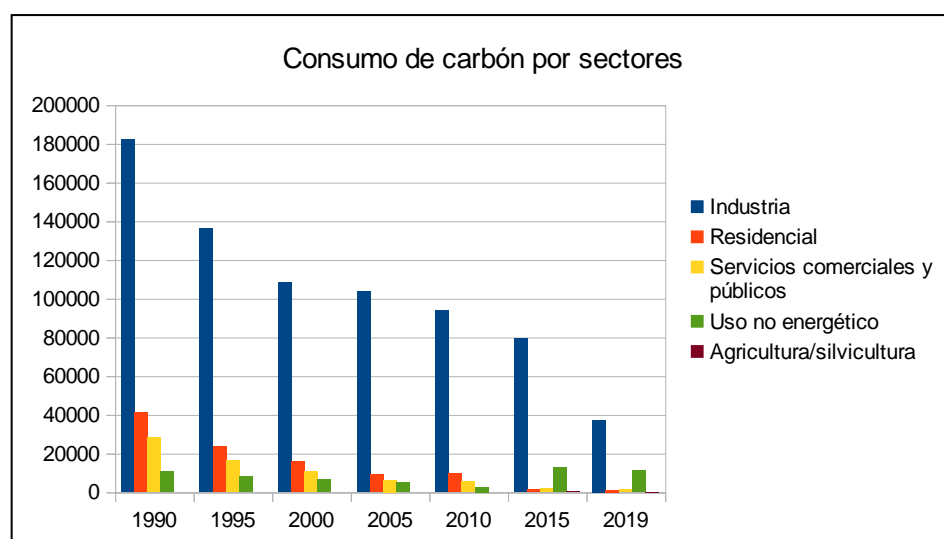


Figura 14. Consumo de carbón por sectores. Unidad – TJ. Fuente: (IEA, 2020)

Para la aplicación del LMDI se escogieron los combustibles:

- Carbón
- Petróleo crudo
- Productos del petróleo
- Gas natural
- Nuclear
- Hidroeléctrica
- Eólica, solar
- Biocombustibles y residuos sólidos

En la Tabla 3 se relacionan los combustibles escogidos con sus respectivos factores de emisión:

Tabla 3. Factor de emisión por tipo de combustible. Unidad - tCO₂/TJ. Fuente: (EPA, 2021)

Combustibles	Factor de emisión
Carbón	0,193
Petróleo crudo	0,133
Productos del petróleo	0,131
Gas natural	0,115
Nuclear	0
Hidroeléctrica	0
Eólica, solar	0
Biocombustibles y residuos sólidos	0

Según las definiciones planteadas por la IEA (IEA, 2020):

- El carbón contiene tanto el carbón primario (incluida la hulla y el lignito) como los combustibles derivados (incluido el combustible de patente, el coque de coquería, el coque de gas, el BKB, el gas de fábrica de gas, el gas de coquería, el gas de alto horno y otros gases recuperados).

- El petróleo crudo comprende los líquidos de gas natural, las materias primas para refinerías y los aditivos, así como otros hidrocarburos (incluidos los aceites emulsionados, el petróleo crudo sintético, los aceites minerales extraídos de minerales bituminosos como el esquisto bituminoso, la arena bituminosa, etc. y los aceites procedentes de la licuefacción del carbón y del gas).
- Los productos petrolíferos comprenden el gas de refinería, el etano, el GLP, la gasolina de aviación, la gasolina de motor, los carburantes para aviones, el queroseno, el gasóleo/gasóleo, el fuel, la nafta, el white spirit, los lubricantes, el betún, las ceras de parafina, el coque de petróleo y otros productos petrolíferos.
- El gas natural incluye tanto el gas asociado como el no asociado, así como el gas de mina (excluyendo los líquidos de gas natural).
- Las energías renovables y los residuos comprenden la hidroeléctrica, la geotérmica, la solar, la eólica, las mareas/oleaje y el uso de estas formas de energía para la generación de electricidad y calor, así como los biocombustibles sólidos, los biocombustibles líquidos, los biogases, los residuos industriales y los residuos municipales.

3.5.2. Cálculo del LMDI aditivo y multiplicativo

Al realizar los cálculos de los índices LMDI aditivo y LMDI multiplicativo se obtuvieron los gráficos de la Figura 16 y la Figura 17 respectivamente. Los resultados observados permiten arribar a diferentes conclusiones, que determinan del comportamiento de las variables, factores y fuerzas motrices que influyen en las emisiones de CO₂ en Francia, durante los años 1990 y 2019. Con los resultados alcanzados se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo del estado ambiental, datos históricos, evolución y futuros impactos.

En la Figura 15 se analiza el LMDI aditivo, observando que los efectos PIB per cápita y población son los principales responsables del aumento de las emisiones en el periodo de estudio. Por lo visto, el factor PIB per cápita es el que más incide en las emisiones totales, muy por encima de los valores de los demás factores. Se puede reconocer en los factores población y PIB per cápita una tendencia que conduce al aumento. El descenso en las emisiones del PIB per cápita, que se observa en el periodo 2008-2009 se debe, como se había explicado anteriormente, a que en esta etapa Francia sufrió los efectos de la crisis económica provocando que el PIB disminuyese, lo que supuso una variación del -2,90%.

El análisis de la descomposición multiplicativa durante el periodo 2008-2019 obtuvo como resultado la Figura 16. Al igual que la descomposición aditiva, se observa que los factores que contribuyen en el aumento de las emisiones corresponden al PIB per cápita y la población, siendo el PIB per cápita el que muestra mayor aumento. Como se muestra, el PIB per cápita y la población han presentado un crecimiento continuo a través de los años. Mientras, el factor intensidad energética presenta como tendencia la disminución de las emisiones de CO₂. Por lo visto, se puede afirmar que el factor que más influye en las emisiones totales de Francia en el periodo de 1990-2019 es el PIB per cápita.

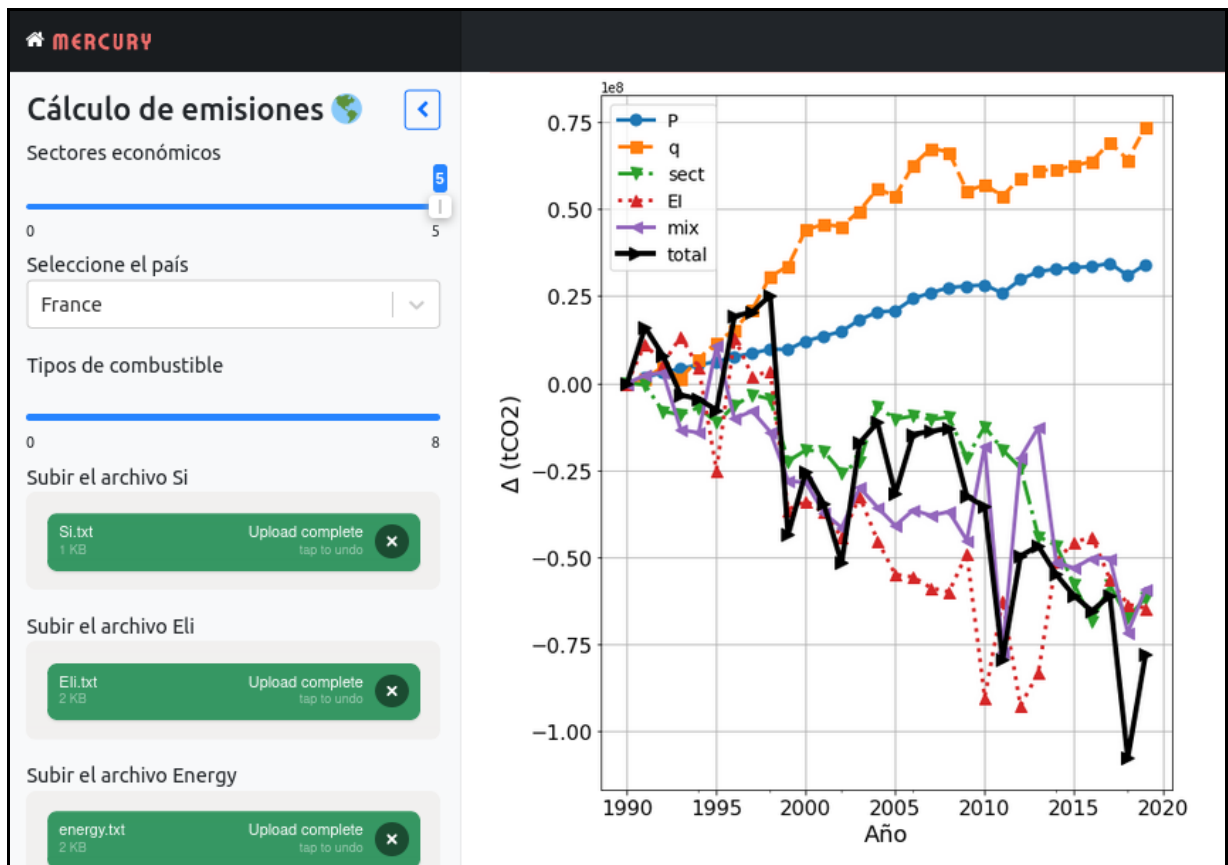


Figura 15. LMDI-Aditivo. Unidad - tCO₂. Fuente: Elaboración propia.

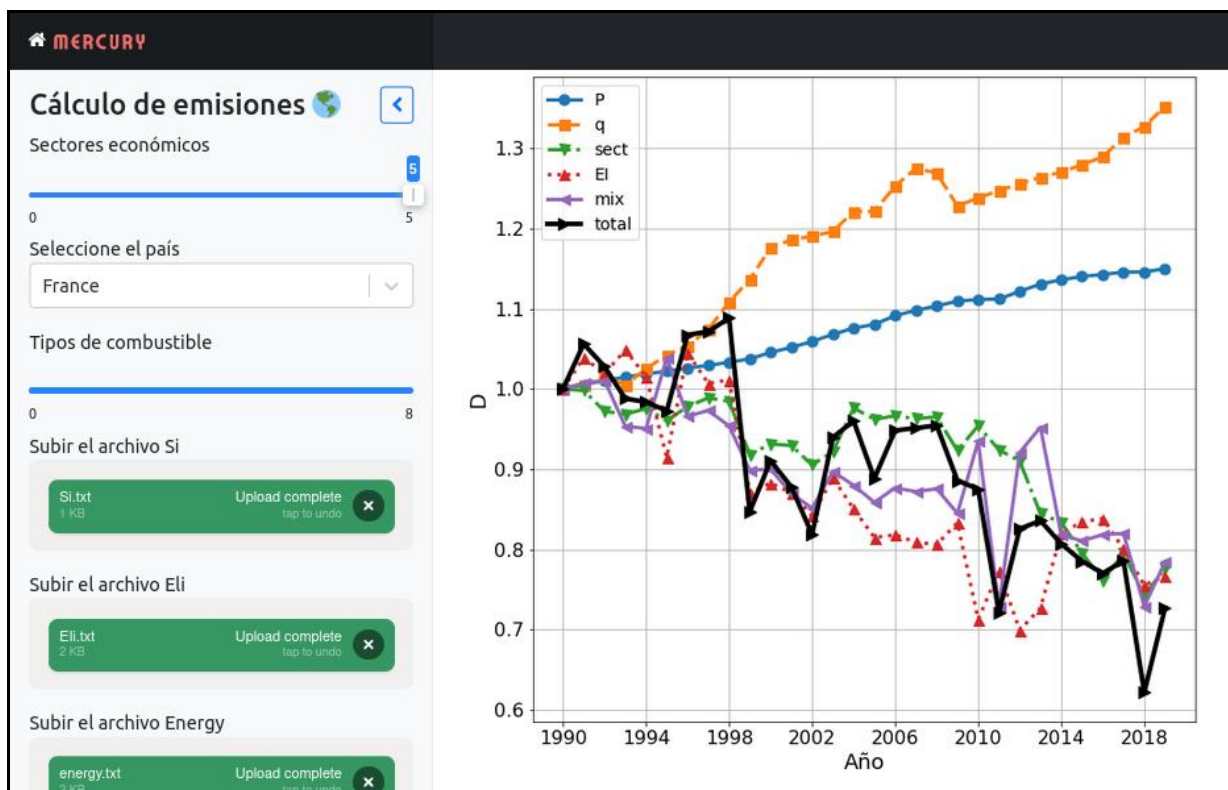


Figura 16. LMDI-Multiplicativo. Fuente: Elaboración propia.

3.6. Contribución por variables

Con el objetivo de arribar a conclusiones específicas, reconocer las causas y consecuencias de las emisiones de CO₂, así como su evolución en el periodo estudiado, se realiza seguidamente un análisis de cada una de las variables. En el estudio se identifica el comportamiento de estas y su aportación a las emisiones.

3.6.1. Contribuciones debido a la variable población (P)

Se observa en la Figura 17 y la Figura 18 que el aporte a las emisiones totales, debido a la variable población (P), aumenta con el paso de los años de manera constante. Los resultados obtenidos en ambos gráficos demuestran la relación directa entre el aumento de las emisiones de CO₂ y el crecimiento poblacional en Francia en el periodo de 1990 a 2019.

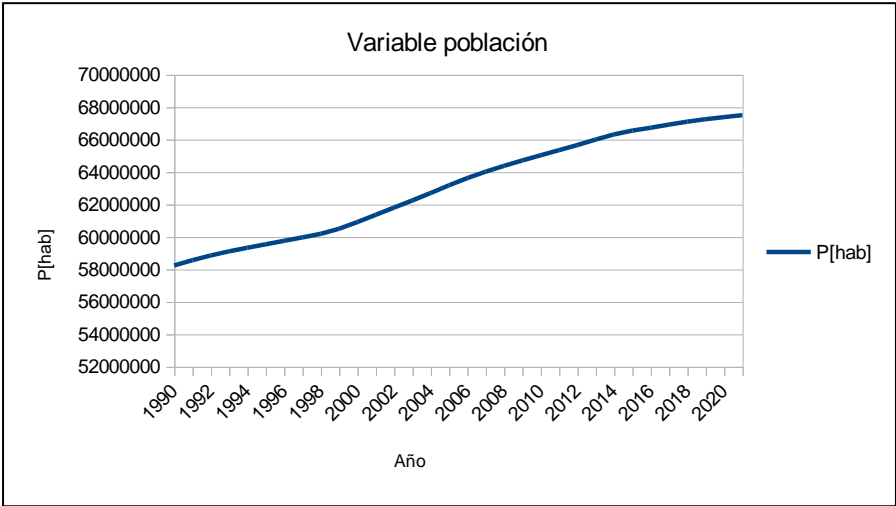


Figura 17. Comportamiento de la variable población. Fuente: (Banco Mundial, 2022)

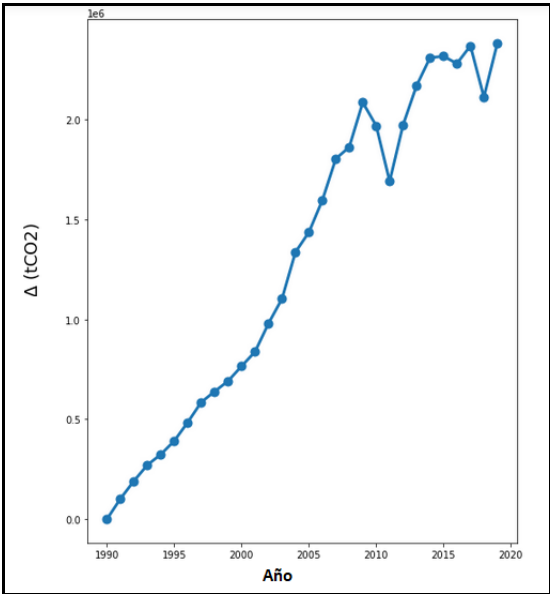


Figura 18. LMDI Aditivo de la variable P. Unidad – tCO₂. Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Contribuciones debido a la variable PIB per cápita (q)

Luego del análisis de la descomposición LMDI se concluyó que esta variable es la que genera el mayor aporte a las emisiones totales. En la Figura 19 obtenemos el comportamiento en el periodo de 1990 a 2019. La curva de crecimiento del PIB per cápita respecto a las emisiones se presenta en la Figura 20, donde se reconoce una bajada en el año 2009, producto de la crisis económica mundial como se explicó anteriormente.

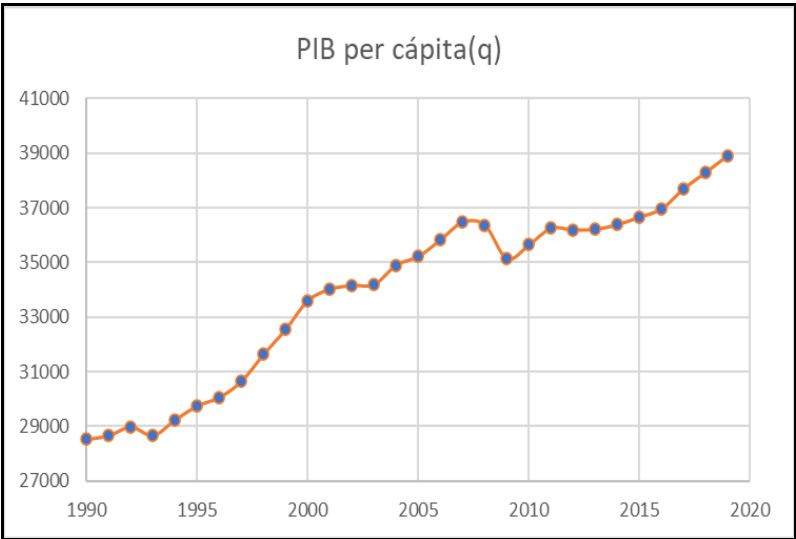


Figura 19. Comportamiento de la variable PIB per cápita. Fuente: (Banco Mundial, 2022)

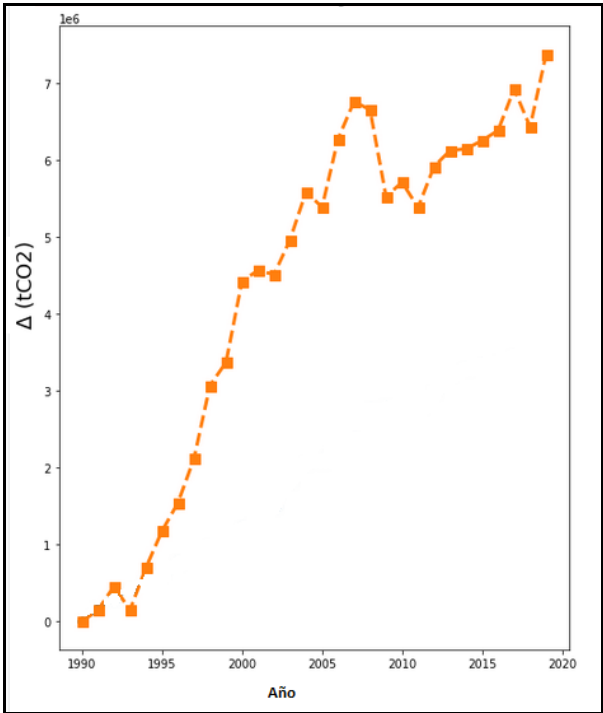


Figura 20. LMDI Aditivo de la variable PIB per cápita. Unidad – tCO₂. Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Contribuciones debido a la variable Intensidad Energética (Eli)

Al estudiar el comportamiento de esta variable se observa una evolución relativamente constante en el periodo de 1990 al 2019, con una tendencia al descenso, menos en el sector transporte. Si se analiza la intensidad energética de cada sector, representada en la Figura 21, se obtienen como resultado que el sector agrícola es el que mayor energía necesita para producir una determinada cantidad de riqueza, seguido del sector transporte que muestra a partir del 2008 un aumento significativo.

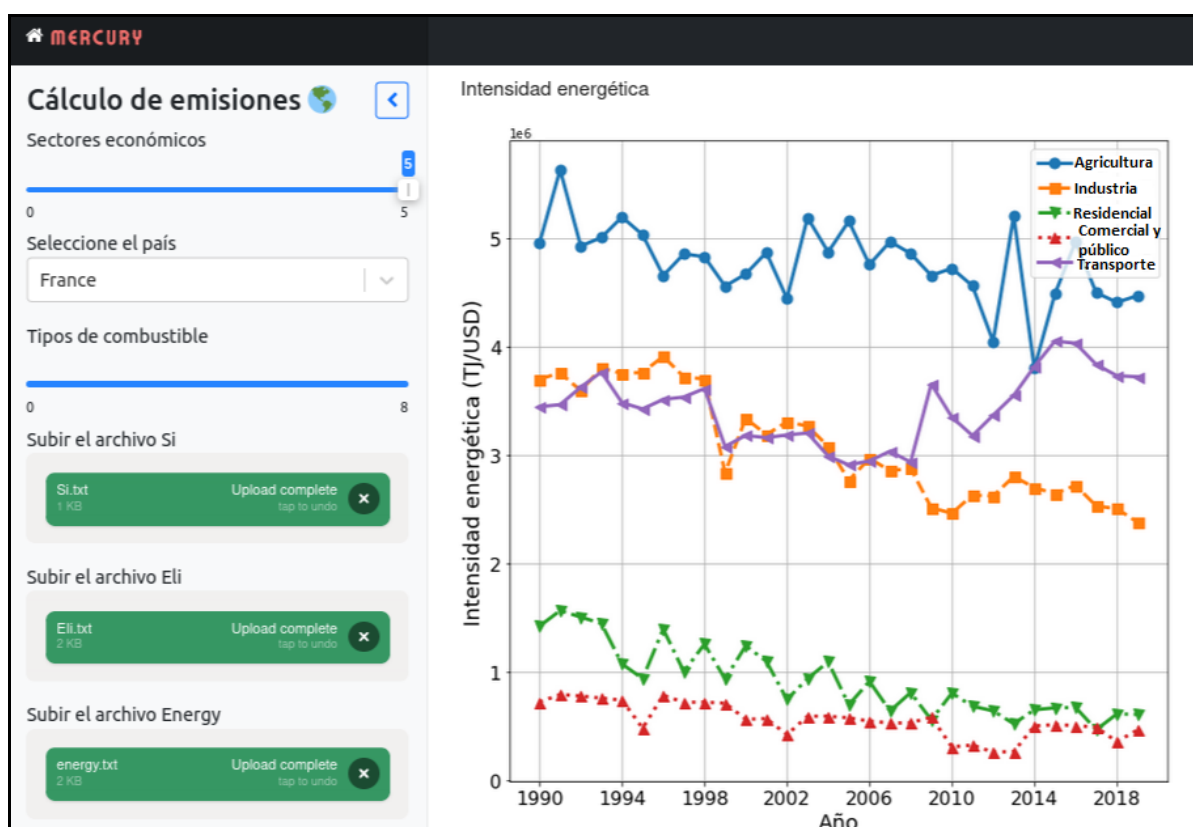


Figura 21. Intensidad energética de cada sector a través de los años. Unidad – TJ/USD. Fuente: Elaboración propia.

Para reafirmar lo planteado, se estudia el consumo de energía para cada uno de los sectores, observando que el consumo en el sector transporte presenta un ritmo de crecimiento constante durante el periodo estudiado, como se muestra en la Figura 22. Además, se puede observar que el consumo energético en los sectores: agricultura, industria, residencial y servicios se comporta relativamente constante a lo largo del estudio, con una leve tendencia hacia el descenso. El sector residencial es el que mayor influencia tiene en las emisiones de la variable Eli, por su baja intensidad y su alto consumo energético.

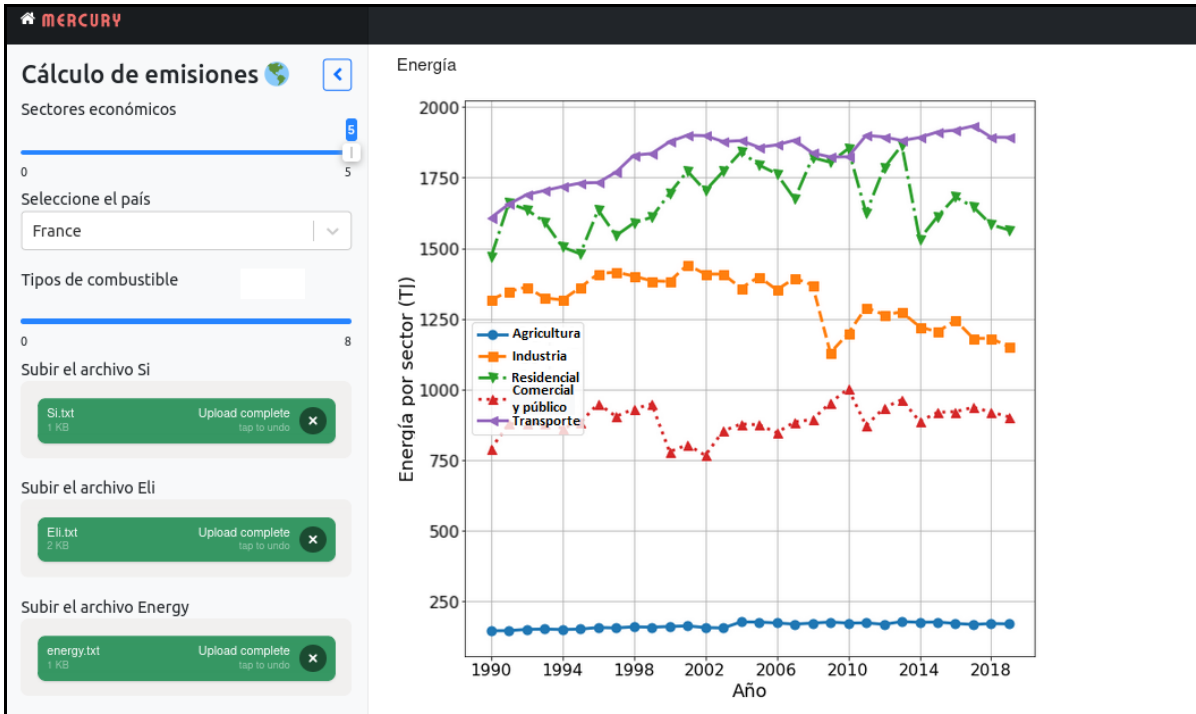


Figura 22. Consumo energético de cada sector económico. Unidad – TJ. Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Contribuciones debido a la variable Estructura Económica (Si)

Los valores de la variable estructura económica están dados por los porcentajes del PIB aportado por cada uno de los sectores económicos. Con el objetivo de analizar su comportamiento se representan en la Figura 23 los porcentajes obtenidos en el periodo de 1990 al 2019. El sector servicios comerciales y públicos resalta por los valores aportados, muy por encima que los valores de los demás sectores, aumentando considerablemente con el transcurso de los años hasta alcanzar un 70 % en el 2019. Seguido por el sector industrial que se mantiene relativamente constante a lo largo de los años.

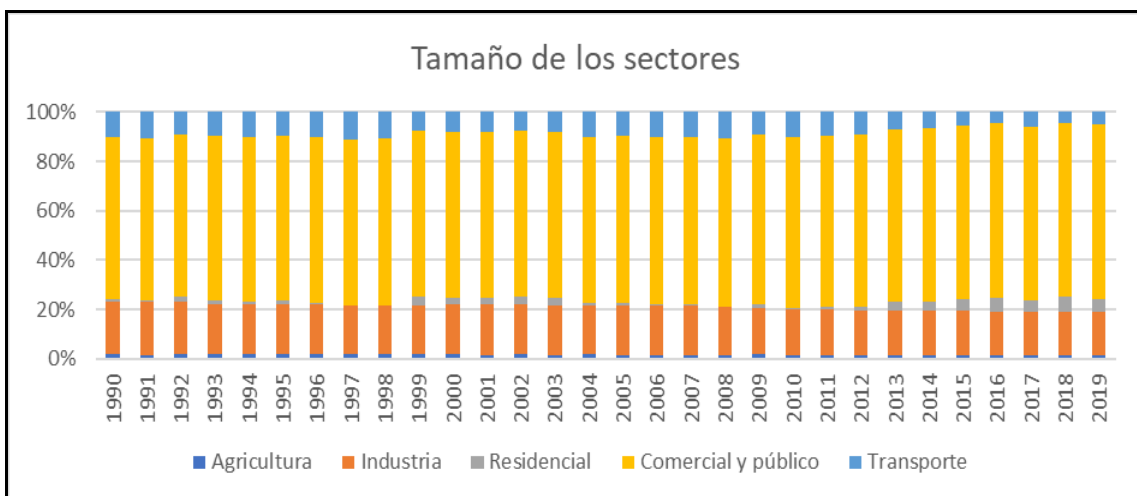


Figura 23. Distribución porcentual de los sectores económicos. Fuente: Elaboración propia

3.6.5. Contribuciones debido a la variable Matriz Energética (Mij)

La matriz energética en Francia está influenciada positivamente por el uso de energías renovables. Para el análisis del mix energético se tomaron los datos proporcionados por la IEA, donde se incluía en el consumo de electricidad los valores de energía nuclear, renovable y fósil. Teniendo en cuenta que en la investigación solo se tomaron los consumos de energía primaria, y la electricidad es secundaria, se decidió descomponer su valor de acuerdo a los porcentos de las energías primarias utilizadas para generar los valores de electricidad correspondientes. De esa forma se obtuvieron los datos necesarios para el análisis de la matriz energética.

Durante el estudio se hacen notar periodos como 2001-2011, donde las contribuciones de esta variable se mantienen por debajo del año base. La participación del uso de energía nuclear en el mix energético supone un logro en la disminución de las emisiones totales. Se promueve un aumento en el uso de las energías renovables y una disminución de la energía nuclear. Por lo visto se obtiene que la matriz energética o mix de combustibles contribuye en la reducción de las emisiones totales, el aumento paulatino de las fuentes renovables genera un cambio positivo.

3.7. Importancia de una aplicación web para calcular emisiones de CO₂

El paso inicial para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, generadas por fuerzas motrices, es poder calcularlas. Son reconocidas por su utilidad las calculadoras de huella de carbono que se encuentran disponibles en línea para determinar las emisiones de carbono personales. Las calculadoras de la huella de carbono muestran los resultados en diferentes unidades de medidas, así como para varios GEI con diferente potencial de calentamiento. El problema es que no existen necesariamente sistemas de monitoreo en tiempo real, los sistemas automatizados son respuesta muy cercana, pero generalmente las emisiones de CO₂ son reportadas como valores anuales o mensuales al final del año.

Es necesario actualizar el conocimiento sobre las fuentes de datos relacionados con inventarios sobre las emisiones de CO₂, para conocer de qué manera los países aplican y de qué manera son los sectores económicos los que se convierten en fuentes de datos, no solo en las páginas oficiales del estado, sino en las privadas o comerciales. Sin embargo, vista la dificultad de contar con información en tiempo real y que además los inventarios de cada país se hacen en ciertos periodos de años, los investigadores recurrieron a buscar información desde los reportes anuales recientes de cada sector o país y en sitios web disponible (Achahui & Cansaya, 2021).

El uso de aplicaciones web para almacenar datos y compartir información es uno de los mayores avances en la era digital. La llegada de internet y la posibilidad de acceder a recursos informáticos desde la distancia se ha convertido en parte natural del día a día. Acceder a este servicio desde cualquier lugar, en cualquier momento y desde diferentes dispositivos ha convertido el uso de las aplicaciones web en una de las herramientas más utilizadas por las empresas.

Una aplicación se aloja en un servidor y se accede a ella mediante un navegador web (Firefox, Chrome, etc.). Para ello es necesario que exista una conexión entre el

servidor y el cliente. Gracias a que las aplicaciones web se ejecutan en un servidor web, todo lo que se hace en ellas se procesa y almacena en el interior de una base de datos por medio de un navegador. De esta forma, no es necesario instalar un software específico en un ordenador o dispositivo móvil. Son muchas las ventajas del uso de aplicaciones web, por ejemplo:

- Acceso rápido y sencillo: su gestión es simple, solo se necesita un servidor, una conexión y un dispositivo informático, por lo que permiten ejecutar las tareas de forma fácil.
- Compatibilidad con diferentes navegadores para poder utilizarlas.
- Administración y actualización continua: la gestión de las actualizaciones y la programación la realiza el desarrollador, que controla las versiones del software.
- Ahorro de tiempo y recursos: el acceso a las páginas se realiza generalmente de forma rápida y con un bajo consumo de recursos ya que la mayoría de las tareas no se ejecutan en el dispositivo cliente.
- Conexión de varios usuarios concurrentes: las aplicaciones basadas en web permiten que se conecten varios usuarios al mismo tiempo.

Cada día las aplicaciones web son más comunes y es más sencillo el desarrollo. Su uso se ha vuelto esencial para la vida, permitiendo al ser humano estar interconectado y resolver muchos de sus problemas. El acceso no depende de conocimientos profundos de temas informáticos y la disponibilidad total hace que se puedan visitar en cualquier momento y desde cualquier lugar.

3.7.1 Descripción de la aplicación web

Con el objetivo de aprovechar la era digital y sus beneficios se creó una aplicación web con el framework Mercury. Como se observa en la Figura 24, en el panel de la izquierda, la interfaz permite al usuario introducir el número de sectores, el país y la cantidad de tipos de combustibles a analizar. Seguidamente en la parte inferior de este panel se brinda la posibilidad de subir los archivos personales con los datos actualizados de la población, el PIB total, el PIB per cápita, el PIB aportado por los sectores económicos, el consumo energético total de cada sector, el consumo energético por tipo de combustible y sectores, la intensidad energética, la matriz energética y el factor de emisión de cada tipo de combustible (ver Figura 25).

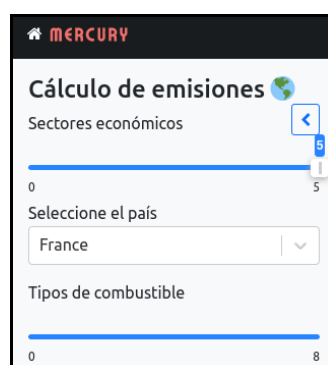


Figura 24. Panel para entrada de sectores, país y tipos de combustibles. Fuente: Elaboración propia

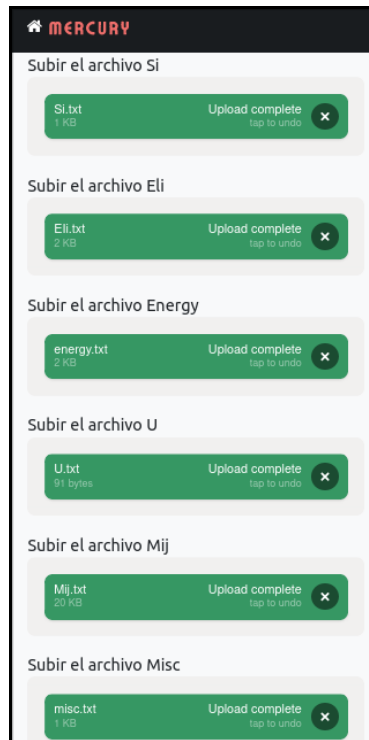


Figura 25. Panel para entrada de los archivos con los datos. Fuente: Elaboración propia

La página, en el panel de la izquierda, muestra los resultados del análisis de la información proporcionada por el usuario. Primeramente, se muestran los datos referentes a la población (ver Figura 26), luego una gráfica de población y esperanza de vida (ver Figura 27), seguido, la relación de la esperanza de vida frente al PIB per cápita (ver Figura 28). En la interfaz se presentan, además, las funciones utilizadas en el análisis del LMDI aditivo y multiplicativo. Luego en la parte inferior de la página, se presentan los gráficos estudiados en los epígrafes anteriores, relativos a la energía por sectores, la intensidad energética, tamaño de los sectores, LMDI aditivo y multiplicativo.

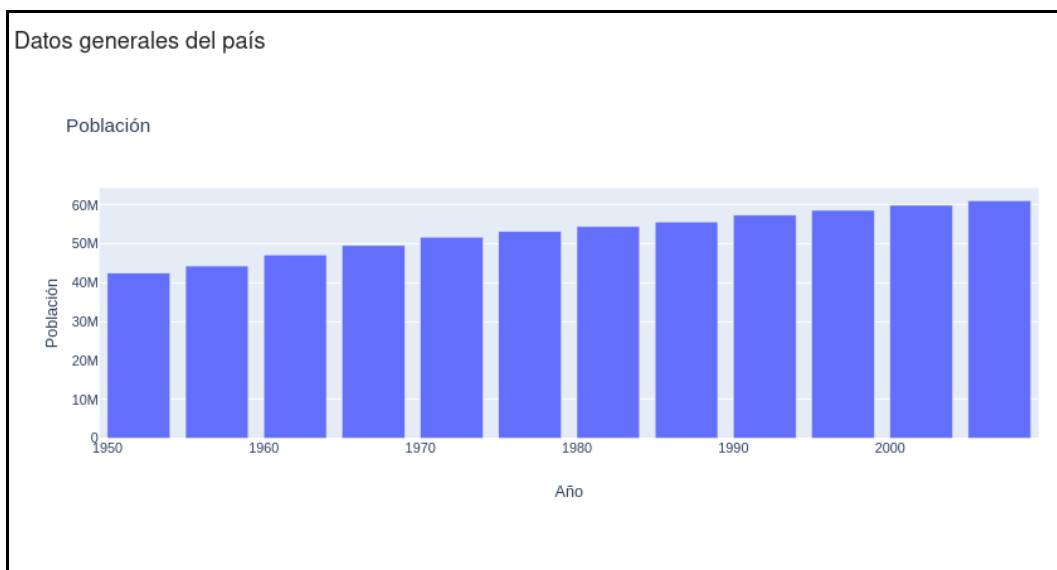


Figura 26. Datos referentes a la población. Fuente: Elaboración propia

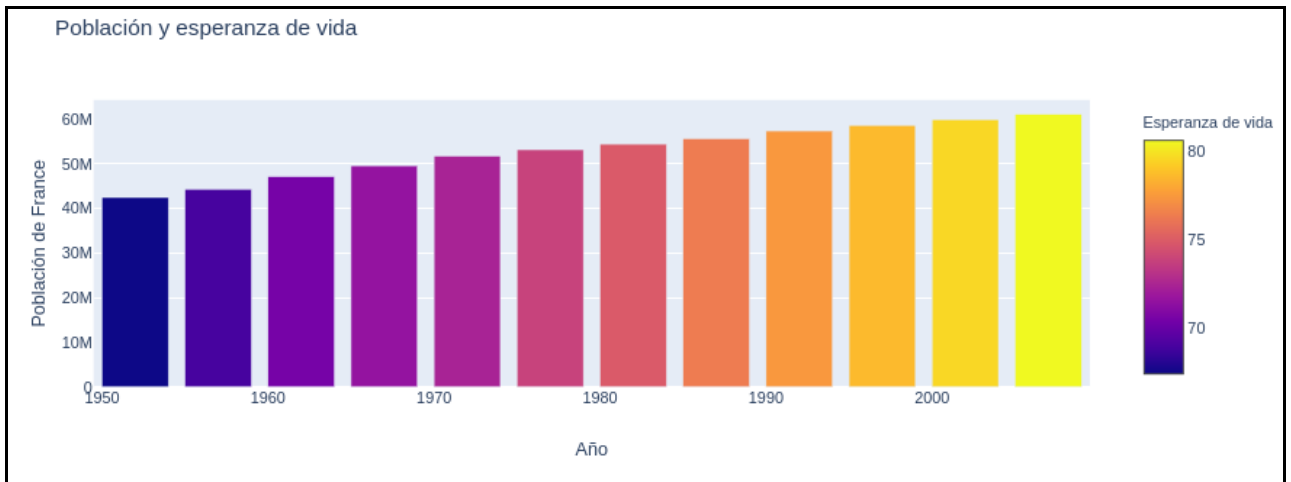


Figura 27. Datos referentes a la población y esperanza de vida. Fuente: Elaboración propia

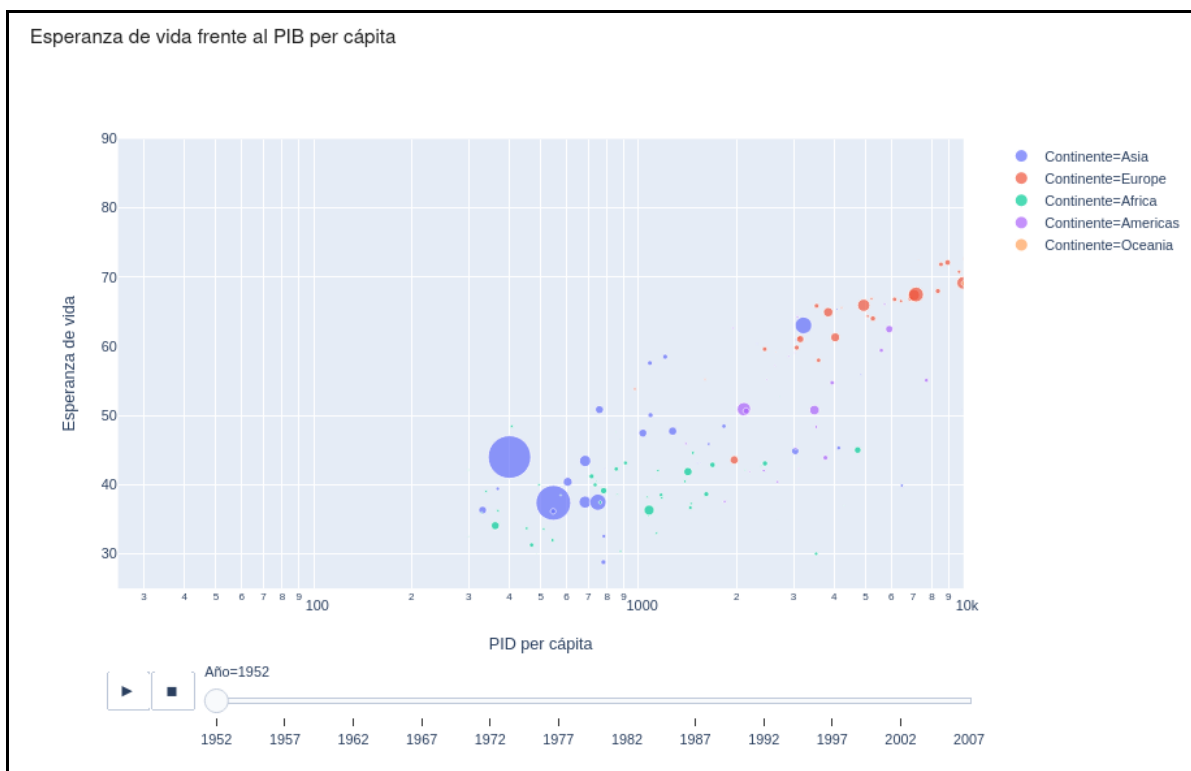


Figura 28. Esperanza de vida frente al PIB per cápita. Fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

Los principales logros alcanzados actualmente en materia de energía y reducciones de emisiones de CO₂ por Francia, están determinados por su normativa relacionada con la transición y su programa de transformación energética. La generación de energía eléctrica está controlada en un alto porcentaje por la energía nuclear, aunque las perspectivas para promover el crecimiento verde han aumentado con el paso de los años. El objetivo principal es reducir las emisiones de efecto invernadero y fortalecer la independencia energética del país.

Entre los planes ambiciosos de Francia para el 2030 se encuentran: reducir el uso de energía nuclear, desarrollar fuentes renovables y mejorar la eficiencia energética, abriendo la brecha para el desarrollo sostenible. Más del 90% de la electricidad francesa se produce sin emisiones de CO₂. Por lo visto Francia apunta sus objetivos en función de reducir las emisiones de CO₂, mediante la implementación de normativas, medidas, políticas e inversiones para promover energías renovables.

Al aplicar la Identidad Kaya se concluyó que el sector transporte es el responsable de la mayor porción de emisiones de CO₂, por ser el que más energía utiliza y por su alto consumo de productos petrolíferos. El sector agricultura es el más pequeño en cuanto a su estructura económica, consumo de energía y aporte al PIB. Sin embargo, tiene la intensidad energética mayor lo que demuestra que es el sector que más energía necesita para producir una determinada cantidad de riqueza.

El uso de la metodología LMDI permitió conocer que el crecimiento poblacional y el PIB per cápita son los responsables de que las emisiones de Francia aumenten. Mientras la estructura económica, la intensidad energética y el mix contribuyen en la disminución de las emisiones totales del país. La eficiencia energética y el aumento en el uso de energías renovables parecen una alternativa como vía para manejar eficientemente las fuentes de energía y disminuir el consumo.

La creación de la aplicación web proporcionó los gráficos correspondientes al país de estudio, mostrando en una interfaz amigable, las contribuciones a las emisiones de CO₂ de diferentes fuerzas motrices. Fomentando el conocimiento sobre el comportamiento de las variables que influyen, permitiendo aportar la información en tiempo real y hacer inventarios en un periodo de tiempo determinado por el usuario. La aplicación permite hacer un estudio de un país de forma general y conocer de qué manera los sectores económicos influyen en su desarrollo sostenible.

5. Referencias

- Abelenda, M. C. (2022). Energías limpias: Análisis ciclo de vida de paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica solar.
- Achahui Paravecino, M., & Cansaya Alvarez, Y. (2021). Emisiones de CO2 como gas de calentamiento global en tiempos de pandemia. Revisión sistemática, 2020.
- Aguilera, A. M. G., Ramírez, G. R., Araujo, U. S., González, A. R., & Haber, E. S. (2019). Tema: Efectos negativos del cambio climático para la humanidad.
- Almada, L. M., Casella, M. E., & Chiani, M. (2018). El impacto de la tributación local en los proyectos de generación eléctrica por medio de energías renovables.
- Ang, B.W., 2005. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy* 33, 867–871.
- Ang, B.W., Liu, F.L., 2001. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy* 26, 537–547.
- Aristizábal Alzate, C. E., & González Manosalva, J. L. (2019). *Impuesto al carbono en Colombia: un mecanismo tributario contra el cambio climático*. *Semestre Económico*, 22(52), 179-202.
- Aristizábal, Carlos (2017). La gestión energética industrial como transición entre el uso desmedido de los recursos y la aplicación de modelos económicos basados en la eficiencia y la sostenibilidad. En: *La Tekhné*, vol. 92, p. 6.
- Arredondo, J. B., & Villegas, A. L. (2019). *Impuesto a las emisiones de carbono (CO2) como instrumento de gestión ambiental y cambio climático*. *Revista de Estudios Tributarios*, (22), 53-93.
- Averchenkova, A., & Touza, L. L. (2020). *Legislando para lograr una transición baja en carbono: Experiencias en Reino Unido, Francia y España*. *Papeles De Economía Española*, (163), 180-202.
- Basterra, M. L., Gómez, J. F., & Hermana, R. Á. (2019). *La fiscalidad sobre el carbono. Una aproximación a los casos de Suecia, Irlanda y Francia*. *icade. Revista de la Facultad de Derecho*, (108).
- Banco Mundial*. (2022) Sacado de <https://databank.bancomundial.org/source/world-development-indicators>
- Blanco González, J. A. (2019). La gran convergencia. Migración, tecnología y la nueva globalización. Reseña. *Papeles de Europa*.
- Botero, J., & Garcia, J. (2019). Transición energética en Francia para la incorporación de fuentes de energías no convencionales y redes inteligentes (Energy Transition in France to Incorporate Nonconventional Energy Sources and Smart Grids). Available at SSRN 3524980.
- Castaño Fernandez, A. (2020). *Estudio de los factores conductores del cambio climático en base a la identidad de Kaya para un conjunto de países de Iberoamérica. Propuesta de escenarios de futuro*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Cicea, C., Marinescu, C., Popa, I., & Dobrin, C. (2014). Environmental efficiency of investments in renewable energy: Comparative analysis at macroeconomic level. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 555-564.

Collin, J. F. (2017). La ley de transición energética francesa para el crecimiento verde y la Programación Plurianual de Energía 2016-2023. *Energía*, 2016, 2023.

Dionisio Solves, J. J. (2021). La evolución de la energía total y renovable en los nuevos miembros de la unión europea.

Europea, U. (2020). El Pacto Verde Europeo. *Boletín monográfico*.

Europea, U. (2021). Fichas técnicas sobre la Unión Europea. www.europarl.europa.eu/factsheets/es.

EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). (2021). Datos de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero de gases de efecto invernadero. Extraído de <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>.

Monsalvo Fernández, F. J. (2021). Análisis del PIB y la Balanza Comercial de los principales países europeos (2008-2019).

Gómez Ayala, R. J. (2021). Derecho energético, políticas públicas y evaluación del impacto social en proyectos de energía renovable.

González Hernández, S. (2019). Estrategias de reducción de emisiones y mitigación del cambio climático: mercados de carbono.

Larrea, M., Fernández, J., Álvaro, R. (2019). El Impuesto, S. E. La Fiscalidad Energética en Francia.

Challenger-Pérez, I. (2014) El lenguaje de programación Python/The programming language Python.

Chen, Y. (2021). *Estudio de los factores conductores de las emisiones de CO2 en base a la Identidad de Kaya de un conjunto de países del continente asiático*, Universitat Politècnica de Catalunya.

CNE. (2020). cne. Obtenido de <https://www.cne.cl/>

Fernández, J. F. M. PROYECTO LIFE FOREST CO2. IMPULSANDO LA GESTIÓN FORESTAL COMO PIEZA CLAVE EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

Díaz-Rodríguez, C. (2019). Aspectos bioéticos relacionados con la producción y demanda residencial de energía eléctrica en Colombia.

EEA. (2019). <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/emission-factors-database>

IEA. (2020). International Energy Agency, countries, France. Obtenido de www.iea.org.

IDEAM. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero*.

IPCC. (2001). *Climate change. Annex B: Glossary of terms*.

IPCC. (2007). *Contribution of working group i to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. United Kingdom y U.S.A. Cambridge University Press.

IPCC Web Page. (2007). Obtenido de https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-3.html

IPCC. (2013). *Contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment*. Stockholm.

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC. (2020). Obtenido de <https://archive.ipcc.ch/index.htm>

Labandeira, X., Labeaga, J. M., & López Otero, X. (2016). In Florence School of Regulation Climate (Ed.), *A meta-analysis on the price elasticity of energy demand*. (EUI Working Paper RSCAS 2016/25 ed.). Robert Schuman Centre for Advanced Studies. Extraído de

http://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/40870/RSCAS_2016_25.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

Martínez del Olmo, W. (2019). Cambio climático, acuerdos de París y trampas geológicas donde secuestrar el CO₂ en España. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 32(2), 87-106.

Martínez, C. A., Ruíz, X. A., & Morales, S. (2016). Water fingerprint of a cattle dairy estate under the conditions agroecológicas of the valley of the cauca.

Mazzei, G. N. (2020). *Análisis del comportamiento ambiental de la República Argentina entre los años 1990 y 2018* (Master's thesis, Universidad Internacional de Andalucía).

Mauger, M. (2018). The voluminous energy transition legal framework in France and the question of its recognition as a branch of law. *Energy Policy*, 122, 499–505. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.013>.

Mercury-Docs. (2022). Extraído de <https://mercury-docs.readthedocs.io/en/latest/>

Ojeda Vargas, J. P. (2020). *Análisis del desarrollo energético, económico y emisiones de CO₂ para Chile* (Master's thesis, Universidad Internacional de Andalucía).

Ortega-Ruiz, G., Mena-Nieto, A., & García-Ramos, J. E. (2020). Is India on the right pathway to reduce CO₂ emissions? Decomposing an enlarged Kaya identity using the LMDI method for the period 1990–2016. *Science of The Total Environment*, 737, 139638.

Ortega-Ruiz, G., Mena-Nieto, A., Golpe, A. A., & García-Ramos, J. E. (2022). CO₂ emissions and causal relationships in the six largest world emitters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112435.

Oviedo-Salazar, J. L., Badii, M. H., Guillen, A., & Serrato, O. L. (2015). Historia y uso de energías renovables history and use of renewable energies. *Daena Int. J. Good Conscience*, 10(1), 1-18.

Payán de Tejada Alonso, A., López-Asiain Martínez, J., Fernández Castillo, J., & Luna González, R. (2020). Herramienta de cálculo de costes según los indicadores del certificado de eficiencia energética.

Planete Energies. (2018). The energy transition in France. Recuperado de: <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/energy-transition-france>

Climate Change Knowledge Portal. (2022). <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/france>

Ríos Bedoya, Vanessa; Marquet, Oriol y Miralles-Guasch, Carme (2016). *Estimación de las emisiones de CO₂ desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín*. En: *Revista Transporte y Territorio*, vol. 15, p. 302-322.

Robalino-López, A., Mena-Nieto, A., & García-Ramos, J. E. (2014). System dynamics modeling for renewable energy and CO₂ emissions: A case study of Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 20, 11-20.

- Rojas Lozano, D. D. P. (2020). Método para identificación de periodos en análisis de descomposición lmdi de la intensidad de carbono del sector eléctrico.
- Rupérez Calavera, G., & Molina, J. A. (2022). PIB per cápita y emisiones de gases de efecto invernadero en Europa.
- Sánchez L., Caballero K (2019). *La curva de Kuznets ambiental y su relación con el cambio climático*. Revista de Economía del Rosario. Vol. 22. No. 1.
- Saynes-Santillan, V. (2018). El uso de la cromatografía de gases en investigaciones de emisiones de gases de efecto invernadero del sector pecuario. *Agro Productividad*, 11(2).
- Tazi, N. y Bouzidi, Y. (2019). *Evolution of wind energy pricing policies in France: Opportunities and new challenges*. 6th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER 2019, 22-25 July University of Aveiro, Portugal. Energy Reports. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.050>
- To, Wai y Lee, Peter (2017). *GHG emissions from electricity consumption: A case study of Hong Kong from 2002 to 2015 and trends to 2030*. En: Journal of Cleaner Production, vol. 165, p. 589-598. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.181
- Vargas Ibarra, F. (2019). *Análisis del impacto en el medio ambiente de los gases efecto invernadero generados por el sector transporte* (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali).
- United Nations Climate Change(UNFCCC). (2021). National Inventory Submissions. Retrieved from <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021>
- Wang, W., Liu, X., Zhang, M., & Song, X. (2014). *Using a new generalized LMDI (logarithmic mean Divisia index) method to analyze China's energy consumption*. *Energy*, 67, 617-622.

6. Anexos

Tabla. Generación de energía por fuente - Unidad TJ. Fuente: (IEA, 2020)

Año	Carbón	Gas natural	Nuclear	Hidrológica	Eólica, solar	Biocombustibles y residuos	Petróleo
1990	839636	1089913	3426338	193919	7450	460033	3518167
1995	665581	1238322	4115247	263229	8405	471782	3406690
2000	623262	1497469	4529040	238908	8158	450761	3442409
2005	592633	1717653	4925771	185328	14200	503352	3693903
2010	500830	1784321	4674775	225769	49750	655986	3224704
2015	390492	1467064	4771940	200003	126203	686739	3159626
2020	227643	1463842	3859995	223882	224483	698887	2581744

Tabla. Generación de energía eléctrica por fuente - Unidad Gwh. Fuente: (IEA, 2020)

	Carbón	Petróleo	Gas natural	Bio-combustible	Residuos	Nuclear	Hidrología	Marea	Viento	Solar
1990	35423	8668	3027	1188	444	314081	57418	503		
1995	26556	7749	3840	1451	742	377231	76192	507	5	1
2000	30860	7165	11514	1398	2162	415162	71133	507	48	5
2005	30705	7925	23069	1734	3314	451529	56332	481	962	11
2010	26315	5521	23758	2468	4003	428521	67526	476	9945	620
2015	14557	6674	21143	4500	4306	437428	60513	487	21421	7754
2020	5067	5266	35203	6496	4461	353833	66708	482	40704	13579

Tabla. Generación de electricidad renovable por fuente - Unidad Gwh. Fuente: (IEA, 2020)

	Hidroeléctrica	Mareas, olas, océanos	Viento	Solar	Geotérmica
1990	57418		503		
1995	76192		507	5	1

2000	71133	507	48	5	
2005	56332	481	962	11	
2010	67526	476	9945	620	
2015	60513	487	21421	7754	92
2020	66708	482	40704	13579	128

Tabla 1. Consumo final de energía por sectores - Unidad TJ. Fuente: (IEA, 2020)

	Industria	Transporte	Residencial	Servicios comerciales y públicos	Agricultura / silvicultura	Pesca
1990	1317156	1608220	1468427	790021	145324	18105
1995	1360970	1730828	1480112	882550	151178	18105
2000	1382267	1877061	1694470	779229	160491	17679
2005	1398969	1857744	1794914	874874	176250	17251
2010	1198307	1824108	1852467	1002526	172547	13418
2015	1203742	1911821	1612285	918786	176328	12880
2020	1151234	1892765	1564583	902611	169581	13556

Tabla. Consumo de electricidad por sectores - Unidad Gwh. Fuente: (IEA, 2020)

	Industria	Transporte	Residencial	Servicios comerciales y públicos	Agricultura
1990	412798	26903	348869	290743	7582
1995	444985	27842	391831	342040	9425
2000	484762	33768	463392	382727	9814
2005	502369	35500	498539	450677	26374
2010	422798	36133	581472	520790	27418
2015	417268	38525	566286	508893	31326

2020	415888	36292	574936	493206	29767
------	--------	-------	--------	--------	-------

Tabla. Consumo final de carbón por sectores – Francia- Unidad TJ. Fuente: (IEA, 2020)

	Industria	Residencial	Comercial y públicos	Energético	Agricultura
1990	182276	41271	28314	10708	
1995	135972	23758	16309	8050	
2000	108379	15705	10791	6433	
2005	103800	9106	6230	5162	
2010	93808	9464	5486	2584	
2015	79309	1523	1781	12734	90
2020	37243	1024	1460	11246	60

Tabla. Consumo final de gas por sectores – Francia- Unidad TJ. Fuente: (IEA, 2020)

	Industria	Transporte	Residencia	Comercial y público	Agricultura	Energético
1990	427522	7	306497	283964	6329	88722
1995	479458	18	365036	349481	9148	98561
2000	574433	30	588095	211161	13764	108000
2005	603512	754	672311	260961	13643	56342
2010	518599	1507	645274	313976	9528	46138
2015	505191	5456	543048	272098	7326	52899
2020						50303

Tabla. Consumo final de productos petrolíferos por sectores – Francia - Unidad TJ. Fuente: (IEA, 2020)

	Industria	Transporte	Residencial	Comercial y público	Agricultura
1990	274670	1581311	458751	213388	130188
1995	284402	1696467	402600	201091	131625

2000	206699	1829598	400459	180274	136404
2005	183366	1797078	403804	169033	133624
2010	120350	1685316	321066	142891	131117
2015	122094	1742900	231984	114211	130866
2019	114460	1716095	181922	99725	115880

Tabla. Consumo final de petróleo por producto – Francia - Unidad TJ. Fuente: (IEA, 2020)

	GLP/etano	Naphtha	Gasolina para motores	Queroseno para aviones	Otros querosenos	Gas/Diésel	Otros productos petrolíferos
1990	135317	200087	764635	28135	1298	1487026	259414
1995	126818	278004	655904	33704	461	1702604	283070
2000	153362	251417	574722	65105	4689	1851822	283823
2005	147040	279008	448364	55433	6280	1998170	281730
2010	158052	204148	309488	51121	9797	1896428	259414
2015	169607	179028	282860	79590	6406	1872043	231844
2019	176244	160603	327792	82619	7156	1705330	233023

Fichero_1_P

Año	P[hab]
1990	58235716
1991	58559309
1992	58851216
1993	59106758
1994	59327200
1995	59541904
1996	59753095
1997	59964841
1998	60186284

1999	60496708
2000	60912500
2001	61357432
2002	61805266
2003	62244880
2004	62704901
2005	63179356
2006	63621376
2007	64016227
2008	64374979
2009	64707035
2010	65027505
2011	65342789
2012	65659814
2013	65998685
2014	66312067
2015	66548272
2016	66724104
2017	66918020
2018	67101930
2019	67248926
2020	67379908
2021	67499343

Fichero_2_q

Año	PID per cápita (US\$)
------------	------------------------------

	constante 2015)
1990	28523,5774
1991	28663,2841
1992	28977,2621
1993	28670,5992
1994	29237,7063
1995	29746,0055
1996	30059,6950
1997	30653,3529
1998	31636,5672
1999	32551,0831
2000	33597,3662
2001	34015,3809
2002	34152,3659
2003	34190,3029
2004	34899,8764
2005	35213,8931
2006	35825,7486
2007	36468,0979
2008	36357,3225
2009	35131,4491
2010	35639,8041
2011	36245,5428
2012	36183,4880
2013	36205,1678
2014	36378,6187

2015	36652,9223
2016	36956,7958
2017	37694,0833
2018	38291,8658
2019	38912,3313
2020	35785,9670
2021	38210,2182

Fichero_3_Q

Año	PIB (US\$ constante 2015)
1990	1661090955411,70
1991	1678502109603,77
1992	1705347110174,84
1993	1694626166709,98
1994	1734591250411,78
1995	1771133801947,67
1996	1796159810500,70
1997	1838123429815,53
1998	1904087419529,25
1999	1969233367607,74
2000	2046499571261,18
2001	2087096421588,52
2002	2110796058518,40
2003	2128171303325,76
2004	2188393293109,35

2005	2224791087607,91
2006	2279283420792,28
2007	2334550031985,42
2008	2340501872979,04
2009	2273251909006,52
2010	2317567536989,14
2011	2368384855035,17
2012	2375801091055,54
2013	2389493466482,81
2014	2412341398046,84
2015	2439188643162,50
2016	2465909086487,94
2017	2522413420333,78
2018	2569458097202,24
2019	2616812485718,01
2020	2411255164955,69
2021	2579164625235,84

6.4. Fichero_4_Si

	S1	S2	S3	S4	S6
Año	Agricultura	Industria	Residencial	Comercial y público	Transporte
1990	0,0177	0,2141	0,0103	0,6545	0,1035
1991	0,0158	0,2134	0,0068	0,6575	0,1065
1992	0,0179	0,2129	0,0198	0,6586	0,0909
1993	0,0169	0,2054	0,0137	0,6672	0,0968

1994	0,0166	0,2022	0,0103	0,6681	0,1028
1995	0,0170	0,2041	0,0171	0,6673	0,0946
1996	0,0178	0,2006	0,0073	0,6705	0,1037
1997	0,0174	0,1979	0,0002	0,6731	0,1113
1998	0,0173	0,1987	0,0020	0,6734	0,1086
1999	0,0176	0,1994	0,0332	0,6726	0,0772
2000	0,0168	0,2020	0,0276	0,6705	0,0831
2001	0,0160	0,2029	0,0281	0,6704	0,0826
2002	0,0167	0,2015	0,0341	0,6709	0,0768
2003	0,0140	0,2022	0,0284	0,6719	0,0834
2004	0,0166	0,2012	0,0059	0,6721	0,1043
2005	0,0153	0,2005	0,0123	0,6724	0,0994
2006	0,0150	0,1995	0,0076	0,6740	0,1039
2007	0,0145	0,1999	0,0074	0,6752	0,1029
2008	0,0152	0,1935	0,0002	0,6833	0,1079
2009	0,0166	0,1874	0,0145	0,6902	0,0913
2010	0,0158	0,1847	0,0031	0,6920	0,1045
2011	0,0160	0,1832	0,0086	0,6936	0,0986
2012	0,0146	0,1808	0,0123	0,6996	0,0926
2013	0,0143	0,1810	0,0333	0,7002	0,0713
2014	0,0162	0,1785	0,0368	0,7021	0,0664
2015	0,0161	0,1768	0,0507	0,7021	0,0543
2016	0,0139	0,1748	0,0604	0,7051	0,0458
2017	0,0147	0,1732	0,0491	0,7049	0,0581
2018	0,0150	0,1732	0,0620	0,7048	0,0450
2019	0,0144	0,1733	0,0550	0,7057	0,0516

6.5. Fichero_5_Ei_Consumo total en TJ

Año	S1	S2	S3	S4	S6
	Agricultura	Industria	Residencial	Comercial y público	Transporte
1990	145320,9655	1316937,3426	1468241,3604	789866,2903	1608205,6844
1991	149672,6340	1346727,3842	1654446,7131	878036,6312	1631858,6474
1992	150141,6916	1305612,6383	1636499,1606	878234,4056	1664946,5679
1993	143440,5629	1323775,4786	1593273,6997	861190,8250	1704180,1302
1994	149672,6340	1316806,3509	1213876,2109	862436,5496	1714674,0432
1995	151170,8814	1360633,9064	1081242,0532	574688,1660	1730805,9712
1996	149125,4676	1409080,7800	1635187,0904	949613,1540	1732629,7256
1997	155413,2344	1354778,2965	1210805,3455	895128,3346	1769296,4021
1998	159358,0261	1400669,1482	1571132,9707	930522,9752	1829187,6553
1999	158083,1934	1115146,1385	1218463,3679	947991,2391	1825232,3259
2000	160471,1771	1381288,8466	1688197,0111	778455,9434	1876992,7932
2001	162487,1174	1351266,7826	1771865,2805	803198,4647	1900134,5361
2002	156791,9973	1407282,2460	1204108,7635	602765,4887	1898564,3735
2003	155155,3325	1406919,7154	1515291,2605	851663,1640	1877120,6547
2004	176692,0173	1357192,4516	1839543,6313	876297,0817	1881010,0523
2005	176174,4926	1235106,6965	1248895,8068	867959,6479	1822598,9702
2006	162835,0500	1351404,6301	1762086,6677	845483,6679	1865647,7136
2007	168741,2019	1333841,2729	1335251,1863	839568,8795	1882601,8164
2008	172396,7768	1304577,0416	1762183,1508	855284,6233	1750451,6885
2009	175994,3998	1072571,8045	1215179,6461	921992,5516	1821812,1154
2010	172441,8405	1055225,3932	1795734,8122	501956,2553	1823968,4149
2011	173152,2753	1142713,9460	1576953,1310	541475,6006	1862004,1802

2012	140777,0271	1127776,4073	1479885,8405	440364,0757	1859662,6069
2013	177595,2222	1212971,6928	1207481,8116	449722,3792	1881015,3876
2014	148705,8067	1163803,5744	1486695,6379	856830,5624	1891927,6971
2015	175809,7087	1141378,9307	1560327,1531	886770,3223	1907201,1829
2016	170565,1021	1173881,3825	1625387,4343	886097,5580	1918381,7219
2017	167109,0130	1106599,9829	1146487,2641	878828,5241	1932737,3066
2018	170266,7089	1116392,2246	1521499,0240	655267,0114	1892962,4028
2019	168592,3159	1081166,8688	1507672,0337	865238,4888	1892575,1896

Fichero_6_Eli_TJ/US\$ constante 2015

	S1	S2	S3	S4	S6
Año	Agricultura	Industria	Residencial	Comercial y público	Transporte
1990	0,00000496	0,00000370	0,00000143	0,00000073	0,00000345
1991	0,00000563	0,00000376	0,00000157	0,00000080	0,00000347
1992	0,00000493	0,00000360	0,00000151	0,00000078	0,00000363
1993	0,00000501	0,00000380	0,00000145	0,00000076	0,00000377
1994	0,00000520	0,00000375	0,00000108	0,00000074	0,00000349
1995	0,00000503	0,00000376	0,00000094	0,00000049	0,00000343
1996	0,00000466	0,00000391	0,00000140	0,00000079	0,00000352
1997	0,00000486	0,00000372	0,00000101	0,00000072	0,00000354
1998	0,00000483	0,00000370	0,00000126	0,00000073	0,00000362
1999	0,00000456	0,00000284	0,00000094	0,00000072	0,00000308
2000	0,00000467	0,00000334	0,00000124	0,00000057	0,00000318
2001	0,00000487	0,00000319	0,00000110	0,00000057	0,00000316
2002	0,00000445	0,00000331	0,00000075	0,00000043	0,00000319

2003	0,00000519	0,00000327	0,00000094	0,00000060	0,00000321
2004	0,00000487	0,00000308	0,00000110	0,00000060	0,00000299
2005	0,00000516	0,00000277	0,00000070	0,00000058	0,00000291
2006	0,00000476	0,00000297	0,00000092	0,00000055	0,00000295
2007	0,00000497	0,00000286	0,00000064	0,00000053	0,00000304
2008	0,00000486	0,00000288	0,00000081	0,00000053	0,00000294
2009	0,00000466	0,00000252	0,00000056	0,00000059	0,00000366
2010	0,00000472	0,00000247	0,00000081	0,00000031	0,00000335
2011	0,00000456	0,00000263	0,00000069	0,00000033	0,00000318
2012	0,00000405	0,00000263	0,00000065	0,00000026	0,00000337
2013	0,00000521	0,00000280	0,00000053	0,00000027	0,00000355
2014	0,00000380	0,00000270	0,00000065	0,00000051	0,00000382
2015	0,00000449	0,00000265	0,00000067	0,00000052	0,00000405
2016	0,00000497	0,00000272	0,00000068	0,00000051	0,00000403
2017	0,00000450	0,00000253	0,00000047	0,00000049	0,00000384
2018	0,00000441	0,00000251	0,00000062	0,00000036	0,00000373
2019	0,00000447	0,00000238	0,00000061	0,00000047	0,00000372

Fichero_7_Mij

Agricultura								
Año	M0101	M0102	M0103	M0104	M0105	M0106	M0107	M0108
1990	0	0,005892	0,895865	0,039196	0,039278	0,006976	0,001273	0,011519
1991	0	0,007479	0,874567	0,056736	0,041068	0,007400	0,001269	0,011482
1992	0	0,006006	0,869452	0,064286	0,040466	0,008500	0,000140	0,011149
1993	0	0,004101	0,924794	0,006051	0,043974	0,007987	0,001422	0,011670
1994	0	0,004433	0,873172	0,052521	0,047799	0,010750	0,000140	0,011184

1995	0	0,004842	0,870703	0,054462	0,047881	0,009577	0,001462	0,011074
1996	0	0,005869	0,911876	0,005821	0,054387	0,009373	0,001448	0,011225
1997	0	0,004848	0,868047	0,056784	0,049810	0,008369	0,001371	0,010771
1998	0	0,006505	0,860823	0,066241	0,046792	0,007811	0,001324	0,010505
1999	0	0,005784	0,862021	0,066775	0,044922	0,008592	0,001316	0,010589
2000	0	0,005661	0,850022	0,077198	0,047442	0,007931	0,001315	0,010432
2001	0	0,005264	0,835949	0,087829	0,049254	0,009093	0,002308	0,010302
2002	0	0,006365	0,832708	0,085489	0,054376	0,007993	0,002392	0,010677
2003	0	0,007561	0,830007	0,080816	0,059837	0,008554	0,002436	0,010789
2004	0	0,013547	0,770838	0,077395	0,110786	0,015803	0,002156	0,009474
2005	0	0,016170	0,758475	0,069698	0,118338	0,014762	0,001175	0,021382
2006	0	0,016070	0,802266	0,006829	0,130828	0,018116	0,001271	0,024620
2007	0	0,014719	0,766416	0,060264	0,114865	0,017216	0,001239	0,025281
2008	0	0,013008	0,779034	0,055929	0,106523	0,017895	0,001236	0,026375
2009	0	0,014150	0,771377	0,047916	0,117758	0,020020	0,001233	0,027546
2010	0	0,015659	0,760355	0,049727	0,120704	0,022026	0,001282	0,030248
2011	0,000052	0,016810	0,760908	0,037805	0,130899	0,019538	0,001894	0,032093
2012	0,000064	0,002047	0,876329	0,057090	0,016077	0,003222	0,004816	0,040355
2013	0,000051	0,015586	0,749829	0,038025	0,129156	0,030310	0,003908	0,033137
2014	0,000061	0,001147	0,885547	0,049621	0,014984	0,003228	0,004714	0,040698
2015	0,000051	0,013139	0,744362	0,037501	0,135637	0,028476	0,003999	0,036835
2016	0,000492	0,017765	0,713763	0,040542	0,132476	0,032528	0,004122	0,058312
2017	0,000515	0,021149	0,694977	0,041380	0,134418	0,031257	0,004219	0,072085
2018	0,000388	0,014497	0,689319	0,046134	0,127721	0,035132	0,004146	0,082664
2019	0,000036	0,015936	0,687339	0,046894	0,124430	0,035273	0,004188	0,085905

Industria

Año	M0201	M0202	M0203	M0204	M0205	M0206	M0207	M0208
1990	0,138409	0,035401	0,208567	0,292170	0,235977	0,041908	0	0,047567
1991	0,122834	0,041770	0,213909	0,303899	0,229359	0,041328	0	0,046901
1992	0,131850	0,036451	0,215719	0,313981	0,245573	0,051582	0	0,004844
1993	0,090208	0,023987	0,231338	0,305839	0,257217	0,046716	0	0,044695
1994	0,100036	0,023254	0,216503	0,305098	0,250744	0,056390	0	0,047974
1995	0,099933	0,025397	0,209022	0,317140	0,251161	0,050237	0	0,047110
1996	0,099420	0,026795	0,216977	0,321249	0,248304	0,042791	0	0,044464
1997	0,105126	0,026071	0,206136	0,344823	0,267876	0,045010	0	0,004957
1998	0,092629	0,036071	0,169072	0,351401	0,259467	0,043313	0	0,048048
1999	0,090641	0,039628	0,019933	0,428111	0,307750	0,058863	0	0,055075
2000	0,078462	0,032485	0,149642	0,374281	0,272244	0,045511	0	0,047375
2001	0,007311	0,029610	0,185920	0,401369	0,277038	0,051146	0	0,047606
2002	0,063513	0,031503	0,167360	0,382682	0,269115	0,039561	0	0,046266
2003	0,064425	0,033990	0,148347	0,398359	0,269014	0,038459	0	0,047406
2004	0,065596	0,034919	0,148328	0,374786	0,285558	0,040734	0	0,050080
2005	0,000840	0,043934	0,148462	0,439768	0,321521	0,040107	0,000002	0,005366
2006	0,078272	0,034733	0,139034	0,389199	0,282769	0,039156	0,000002	0,036836
2007	0,088467	0,035747	0,124376	0,390651	0,278970	0,041813	0,000002	0,039973
2008	0,084860	0,033473	0,111340	0,410793	0,274123	0,046052	0,000003	0,039356
2009	0,077251	0,034772	0,121115	0,375237	0,289376	0,049196	0,000005	0,053049
2010	0,088899	0,039461	0,011405	0,442312	0,304169	0,055504	0,000005	0,058245
2011	0,008360	0,037555	0,121338	0,437452	0,292438	0,043649	0,000025	0,059183
2012	0,007509	0,036454	0,114994	0,434710	0,286283	0,057372	0,000007	0,062671
2013	0,072271	0,031053	0,104592	0,416890	0,257330	0,060390	0,000001	0,057474
2014	0,073145	0,021356	0,103439	0,406390	0,278919	0,060093	0,000015	0,056644
2015	0,069485	0,026958	0,106971	0,398353	0,278293	0,058426	0,000017	0,061498

2016	0,076534	0,034902	0,100294	0,399311	0,260267	0,063906	0,000016	0,064770
2017	0,062575	0,042750	0,097026	0,398437	0,271702	0,063181	0,000020	0,064311
2018	0,041076	0,030659	0,101966	0,412549	0,270106	0,074297	0,000037	0,069310
2019	0,034447	0,034718	0,105867	0,406685	0,271088	0,076848	0,000049	0,070298

Residencial								
Año	M0301	M0302	M0303	M0304	M0305	M0306	M0307	M0308
1990	0,028109	0,026835	0,312449	0,187876	0,178880	0,031768	0,003715	0,230367
1991	0,026627	0,031056	0,295520	0,202383	0,170529	0,030727	0,000331	0,242827
1992	0,021600	0,026328	0,288737	0,208657	0,177374	0,037257	0,003717	0,236330
1993	0,020330	0,018414	0,278184	0,211943	0,197452	0,035862	0,003733	0,234082
1994	0,021229	0,023203	0,332172	0,285351	0,250193	0,056266	0,005019	0,026567
1995	0,021973	0,028142	0,003723	0,303847	0,278307	0,055667	0,005862	0,302479
1996	0,015622	0,022343	0,263839	0,232706	0,207044	0,035680	0,003784	0,218982
1997	0,018528	0,027203	0,333450	0,030581	0,279507	0,046965	0,005018	0,258748
1998	0,001263	0,030003	0,279985	0,233127	0,215823	0,036027	0,003821	0,199951
1999	0,015474	0,036525	0,035624	0,326150	0,283658	0,054255	0,004830	0,243484
2000	0,009303	0,025408	0,237211	0,313521	0,212931	0,035596	0,000351	0,165679
2001	0,008638	0,022452	0,250507	0,305010	0,210061	0,038781	0,003289	0,161262
2002	0,008832	0,036721	0,326344	0,045987	0,313694	0,046114	0,003389	0,218919
2003	0,006891	0,033378	0,272861	0,363460	0,264170	0,037766	0,002735	0,018738
2004	0,005506	0,027044	0,221360	0,336030	0,221157	0,031548	0,002288	0,155067
2005	0,007291	0,043118	0,323329	0,048449	0,315546	0,039362	0,000753	0,222151
2006	0,005018	0,028436	0,209828	0,347237	0,231504	0,032057	0,000705	0,145215
2007	0,006460	0,038131	0,023732	0,405761	0,297570	0,044601	0,001171	0,182575
2008	0,005422	0,029406	0,202190	0,332702	0,240812	0,040455	0,001113	0,147901

2009	0,006942	0,040940	0,283773	0,048906	0,340713	0,057924	0,000186	0,220616
2010	0,005270	0,031891	0,178794	0,323404	0,245818	0,044856	0,001403	0,168564
2011	0,001076	0,033803	0,166418	0,337083	0,263221	0,039288	0,003036	0,156074
2012	0,000128	0,037151	0,018727	0,397654	0,291756	0,058468	0,003535	0,192582
2013	0,001645	0,044394	0,231005	0,005030	0,367890	0,086336	0,004649	0,259052
2014	0,000989	0,021529	0,155486	0,305299	0,281172	0,060578	0,003973	0,170974
2015	0,000976	0,026762	0,148677	0,313231	0,276272	0,058002	0,003938	0,172143
2016	0,000973	0,034929	0,133814	0,325343	0,260468	0,063955	0,003909	0,176609
2017	0,000130	0,056951	0,018861	0,448113	0,361959	0,084169	0,005745	0,024073
2018	0,000725	0,030829	0,128178	0,317783	0,271604	0,074709	0,000455	0,175717
2019	0,000679	0,034418	0,120664	0,315549	0,268744	0,076184	0,004743	0,179019

Servicios comerciales y públicos								
Año	M0401	M0402	M0403	M0404	M0405	M0406	M0407	M0408
1990	0,035847	0,041572	0,270157	0,323559	0,277110	0,049214	0	0,002542
1991	0,034369	0,047946	0,260300	0,344441	0,263272	0,047439	0	0,002233
1992	0,027603	0,040182	0,256662	0,345721	0,270713	0,056863	0	0,002256
1993	0,002586	0,027736	0,246631	0,369192	0,297417	0,054018	0	0,002421
1994	0,020519	0,027878	0,228242	0,352707	0,300606	0,067603	0	0,002445
1995	0,028379	0,004622	0,349913	0,547311	0,045708	0,009143	0	0,014925
1996	0,018479	0,030925	0,225992	0,379190	0,286576	0,049386	0	0,009451
1997	0,017175	0,029292	0,222778	0,378117	0,300970	0,050571	0	0,001097
1998	0,014664	0,039797	0,228240	0,373006	0,286267	0,047787	0	0,010239
1999	0,013665	0,036922	0,217719	0,379109	0,286740	0,054844	0	0,011000
2000	0,013862	0,045509	0,231579	0,244131	0,381390	0,063757	0	0,019772
2001	0,013088	0,040240	0,237417	0,241424	0,376493	0,069508	0	0,021831

2002	0,001206	0,059960	0,286134	0,028743	0,512218	0,075298	0,002893	0,033547
2003	0,008449	0,048743	0,212240	0,260882	0,385774	0,055151	0,002064	0,026696
2004	0,007917	0,047647	0,206767	0,262951	0,389646	0,055582	0,002021	0,027469
2005	0,000718	0,056085	0,194748	0,270594	0,410446	0,051200	0,000780	0,015429
2006	0,007198	0,053721	0,181239	0,246802	0,437362	0,060562	0,000803	0,012311
2007	0,007030	0,057057	0,160815	0,260405	0,445272	0,066739	0,000821	0,001862
2008	0,000593	0,052581	0,187632	0,236000	0,430598	0,072339	0,000827	0,019431
2009	0,004850	0,049483	0,168079	0,272084	0,411803	0,070010	0,000785	0,022906
2010	0,010929	0,010218	0,284668	0,562953	0,078763	0,014373	0,001480	0,036615
2011	0,003574	0,091580	0,021371	0,040295	0,713121	0,106440	0,000179	0,023440
2012	0,004907	0,011223	0,274961	0,566356	0,088140	0,017663	0,002518	0,034231
2013	0,005172	0,010220	0,276760	0,596255	0,084694	0,019876	0,002595	0,004429
2014	0,002025	0,034171	0,128129	0,268824	0,446285	0,096151	0,001347	0,023068
2015	0,002008	0,042317	0,128794	0,276157	0,436849	0,091714	0,001336	0,020823
2016	0,002084	0,055732	0,119195	0,281082	0,415595	0,102045	0,001362	0,022905
2017	0,001964	0,065201	0,125065	0,292957	0,414394	0,096362	0,001397	0,002659
2018	0,002317	0,062763	0,154766	0,038714	0,552943	0,152096	0,001909	0,034493
2019	0,000169	0,051447	0,115257	0,289347	0,401716	0,113879	0,001465	0,026720

Año	M0501	M0502	M0503	M0504	M0505	M0506	M0507	M0508
1990	0	0,001889	0,983277	0,000004	0,012594	0,002237	0	0
1991	0	0,000220	0,998348	0,000004	0,001210	0,000218	0	0
1992	0	0,000180	0,998349	0,000004	0,001213	0,000255	0	0
1993	0	0,001157	0,983384	0,000026	0,012404	0,002253	0	0,000776
1994	0	0,001151	0,983400	0,000015	0,012407	0,002790	0	0,000236

1995	0	0,001249	0,980160	0,000009	0,012354	0,002471	0	0,003757
1996	0	0,001498	0,976609	0,000009	0,013885	0,002393	0	0,005606
1997	0	0,001368	0,975116	0,000007	0,014061	0,002363	0	0,007084
1998	0	0,001877	0,976369	0,000007	0,013501	0,002254	0	0,005992
1999	0	0,001748	0,981444	0,000014	0,013578	0,002597	0	0,000618
2000	0	0,001665	0,974750	0,000014	0,013956	0,002333	0	0,007282
2001	0	0,001493	0,974568	0,000177	0,013967	0,002579	0	0,007216
2002	0	0,001693	0,973966	0,000206	0,014462	0,002126	0	0,007546
2003	0	0,001863	0,974199	0,000029	0,014744	0,002108	0	0,007057
2004	0	0,001849	0,972867	0,000327	0,015121	0,002157	0	0,007679
2005	0	0,000021	0,985997	0,000373	0,000154	0,000019	0	0,013436
2006	0	0,001870	0,964426	0,000481	0,015228	0,002109	0	0,015886
2007	0	0,001915	0,948631	0,000536	0,014948	0,002240	0	0,031729
2008	0	0,002021	0,972457	0,000705	0,016548	0,002780	0	0,005489
2009	0	0,001847	0,923513	0,000069	0,015369	0,002613	0	0,056589
2010	0	0,001951	0,923983	0,000743	0,015039	0,002744	0	0,055539
2011	0	0,000020	0,942903	0,002001	0,000159	0,000024	0	0,054894
2012	0	0,000198	0,935459	0,002186	0,001554	0,000311	0	0,060292
2013	0	0,001836	0,916771	0,002375	0,015216	0,003571	0	0,060231
2014	0	0,001183	0,912382	0,002528	0,015449	0,003328	0	0,065130
2015	0	0,001490	0,913852	0,000257	0,015377	0,003228	0	0,065796
2016	0	0,001909	0,912417	0,002666	0,014234	0,003495	0	0,065278
2017	0	0,002218	0,909387	0,003170	0,014098	0,003278	0	0,067848
2018	0	0,001560	0,907834	0,003785	0,013746	0,003781	0	0,069295
2019	0	0,001731	0,906751	0,003603	0,013514	0,003831	0	0,070570

6.7. Fichero_7_Uij

j	Combustibles	Factor de emisión (kgCO₂ /TJ)
1	Carbón	0,110
2	Petróleo crudo	0,076
3	Productos del petróleo	0,075
4	Gas natural	0,066
5	Nuclear	0
6	Hidroeléctrica	0
7	Eólica, solar	0
8	Biocombustibles y residuos sólidos	0