



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

**Análisis de los efectos económicos
sectoriales de la transición energética
hacia una economía baja en carbono**

Autor:

Moyano Rubio, Diego

Tutor:

**Miguel González, Luis Javier
Ingeniería de Sistemas y
Automática**

Valladolid, 8 Julio 2019.

RESUMEN

El problema del cambio climático y la búsqueda de la sostenibilidad del planeta, ha llevado a muchos autores a plantear la necesidad de un nuevo modelo energético con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero. El presente Trabajo Fin de Grado analiza y proyecta los intercambios económicos sectoriales futuros (representados mediante las matrices Input - Output) a nivel mundial, a partir de los cambios provocados por la transición energética hacia la disminución del uso del carbono. Todo ello, realizado con el programa informático Excel y el uso de programación VBA. El trabajo se enmarca en el proyecto europeo MEDEAS, que modela y simula escenarios globales de transición energética.

PALABRAS CLAVE: Carbono, Matriz Input-Output, Intensidad energética, simulación, cambio climático,

Código JEL: C67, F18, Q42, Q43, Q47, Q51

ABSTRACT

Global warming problem and the search for sustainability of the planet has led many authors to raise the need for a new energy model in order to reduce the emission of greenhouse gases. The present Project analyses and projects worldwide future sectoral economic exchanges (represented by the Input - Output Matrix), from the changes caused by the energy transition towards the reduction of carbon use. All this, made with the Excel computer program and the use of VBA programming. The present report is part of the European project MEDEAS, which simulate global models scenarios of energetic transition.

KEYWORDS: Carbon, Input-Output Matrix, Energy intensity, simulation, Global Warming.

JEL Code: C67, F18, Q42, Q43, Q47, Q51

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PROYECTO MEDEAS	11
3. METODOLOGÍA INPUT-OUTPUT	17
3.1. Introducción a las tablas Input-Output	17
3.2. Componentes de la economía interindustrial y desarrollo de la tabla Input-Output	17
3.3. Matriz inversa de Leontief y Coeficiente técnico de la matriz Input- Output	22
3.4. Análisis ambiental Input - Output	24
3.4.1. Evaluación del ciclo de vida Input-Output y la relevancia del análisis medioambiental	26
3.5. Ecología Industrial en la era de los análisis Input-Output	27
4. EFICIENCIA ENERGÉTICA	29
4.1. Intensidad Energética	29
4.2. Relación Intensidad – Eficiencia Energética	29
4.3. Curva de Kuznets ambiental	31
4.4. Estado actual de la Eficiencia Energética Mundial y su proyección	32
4.5. Políticas anunciadas o introducidas en relación a la Eficiencia Energética	35
4.6. Perspectivas sobre la Eficiencia Energética	38
5. TRANSICIÓN ENERGÉTICA	41
5.1. El desarrollo sostenible	41
5.1.1. Antecedentes que dan lugar al Desarrollo Sostenible	42
5.2. Síntomas y desequilibrios actuales del medio ambiente	43
5.3. Evolución del consumo mundial	46
5.3.1. Consumo asimétrico de recursos naturales	47
5.3.2. Evolución del consumo de la Energía	49
5.3.3. Consumo e impacto del carbón	50
5.3.4. Consumo e impacto del petróleo	53
5.3.5. Consumo e impacto del gas natural	54
5.4. Factores para pensar en una transición energética baja en carbono	54
5.5. Alternativas energéticas	55
5.5.1. Energía Nuclear	55
5.5.2. Biomasa	58
5.5.3. Energía Hidráulica	58
5.5.4. Eólica	58
5.5.5. Solar	59
5.5.6. Geotérmica	59
6. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE ECUACIONES PARA LA PROYECCIÓN DE CONSUMO E INTERCAMBIO INTERSECTORIAL	61
6.1. Fuentes de datos utilizados	61
6.1.1. Base de datos WIOD	61
6.1.2. Escenarios futuros e Intensidad energética	64
6.2. Metodología	67
6.3. Estudio de correlación entre la Matriz A con las Intensidades Energéticas	69

6.3.1. Estudio de la Sexta Intensidad Energética _____	74
6.4. Autocorrelación de la Matriz A _____	76
6.5. Cálculo de coeficientes y funciones para la proyección de la Matriz A _____	78
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS _____	85
7.1. Error cometido en el cálculo de funciones _____	85
7.2. Proyección de la Matriz A _____	92
8. CONCLUSIONES _____	107
BIBLIOGRAFÍA _____	109
ANEXO 1. TABLAS _____	115
ANEXO 2. MACROS VBA _____	125

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Matrices de la tabla Input-Output.	19
Gráfico 2. Ratio de crecimiento del consumo energético y PIB per cápita.	31
Gráfico 3. Evolución de las emisiones globales de CO ₂ , Intensidades Energéticas y crecimiento económico.	33
Gráfico 4. Variación del PIB y de la Intensidad energética en la India.	33
Gráfico 5. Variación del PIB y de la Intensidad energética en la España.	34
Gráfico 6. Variación de la Intensidad Energética en China.	36
Gráfico 7. Intensidad Energética en el nuevo escenario político.	39
Gráfico 8. Evolución y proyección del consumo de energía primaria en la OCDE y Resto del Mundo.	47
Gráfico 9. Evolución y consumo de energía primaria en países no pertenecientes a la OCDE.	48
Gráfico 10. Demanda energética por regiones.	49
Gráfico 11. Consumo de energía primaria por tipo de combustible.	50
Gráfico 12. Demanda de carbón en los años 200 y 2017, y predicción para 2023.	51
Gráfico 13. Evolución y predicción de la demanda mundial de carbón.	51
Gráfico 14. Porcentaje de energía generada a partir del carbón en Europa.	52
Gráfico 15. Producción eléctrica a partir de energía nuclear a nivel mundial en porcentaje.	56
Gráfico 16. Producción eléctrica a partir de energía nuclear por países.	56
Gráfico 17. Evolución de la producción de energía eléctrica a partir de energía nuclear en Japón	57
Gráfico 18. Evolución mundial de las transacciones económicas.	63
Gráfico 19. Peso en porcentaje de cada sector en las ventas de las transacciones intersectoriales mundiales del año 2009.	64
Gráfico 20. Fuentes de generación eléctrica mundial en 2018	75
Gráfico 21. Variación temporal de los elementos $a_{19,4}$ de la Matriz A	77
Gráfico 22. Variación temporal de los elementos $a_{8,24}$ de la Matriz A	78
Gráfico 25. Proyección Intensidad Energética (Eléctrica) en el sector 12.	93
Gráfico 26. Proyección Intensidad Energética (Calor) en el sector 9.	94
Gráfico 27. Proyección Intensidad Energética (Líquidos) en el sector 25.	95
Gráfico 28. Proyección Intensidad Energética (Líquidos) en el sector 23.	96
Gráfico 29. Proyección Intensidad Energética (Electricidad) en el sector 23.	96
Gráfico 30. Proyección Intensidad Energética (Gas) en el sector 2.	97
Gráfico 31. Proyección Intensidad Energética (Sólidos) en el sector 10.	98
Gráfico 32. Evolución del elemento $a_{24,12}$ según escenario BAU	101
Gráfico 33. Relaciones intersectoriales del sector 10 en el año 2030 según escenarios	102
Gráfico 34. Relaciones intersectoriales del sector 10 en 2009, 2030 y 2050.	103
Gráfico 35. Evolución temporal del elemento $a_{10,10}$ según SCEN2	104
Gráfico 36. Comparación 2009 – 2050 para el sector 17	105
Gráfico 37. Comparación 2009 – 2050 para el sector 8	106

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Políticas anunciadas o introducidas desde 2015 a 2018.</i>	37
<i>Tendencias ambientales por regiones.</i>	46
<i>Sectores económicos en las tablas WIOD</i>	62
<i>Comparación de escenarios usados en el proyecto</i>	67
<i>Variaciones relativas anuales de la Matriz A</i>	72
<i>Datos para la realización de una regresión lineal múltiple</i>	79
<i>Datos para realizar una regresión lineal múltiple para el elemento $\Delta a_{19.4}$</i>	80
<i>Subíndices para el elemento $a_{19.4}$</i>	81
<i>Variaciones desde 1996 hasta 2009 del elemento $a_{19.4}$</i>	81
<i>Análisis de la varianza en una regresión lineal múltiple</i>	82
<i>Análisis de la varianza de la regresión múltiple del elemento $a_{19.4}$</i>	83
<i>Análisis de error para el elemento $a_{19.4}$</i>	86
<i>Variación relativa estimada del elemento $a_{19.4}$</i>	88
<i>Errores del elemento $a_{19.4}$</i>	91
<i>Valor de la Intensidad Energética Gas para el sector 24</i>	101
<i>Matriz Input-Output de España de 2015 (millones de euros).</i>	115
<i>Total transacciones intermedias de cada sector en miles de millones de dólares (\$). FUENTE: (WIOD)</i>	119
<i>Estudio de Correlación entre las Intensidades Energéticas y cada uno de los sectores</i>	121
<i>Estudio de Autocorrelación de las variaciones anuales de la Matriz A</i>	122
<i>Funciones para la predicción de transacciones económicas globales</i>	123

1. INTRODUCCIÓN

El modelo energético que ha construido la actual sociedad está sufriendo un notable cambio en los últimos años. La combustión fósil (carbón, gas natural y petróleo), produce alrededor del 85% de la energía mundial (IEA, 2018). Este consumo ha generado una grave crisis que deriva en dos aspectos. Por un lado, el agotamiento de las fuentes y, por otro, el calentamiento del planeta. Todo ello, hace necesario reconsiderar el modelo energético que sustenta la economía y sociedad actual.

El calentamiento inducido por el hombre ha alcanzado en 2017 1°C por encima de los niveles preindustriales (IPCC, 2018). La gran parte de las regiones terrestres están experimentando un mayor calentamiento que el promedio mundial, mientras que las regiones oceánicas se calientan a un ritmo inferior. En la década 2006-2015, del 20% al 40% de la población mundial vive en regiones en las que el calentamiento ha experimentado más de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales.

Los efectos medioambientales en caso de superar los 2°C por encima de los niveles preindustriales serán catastróficos para la vida humana y la conservación del planeta. La diferencia entre el aumento de 1,5°C o superarlo hasta los 2°C sobre los niveles preindustriales, supone una serie de catástrofes irreversibles en la Tierra: en el año 2100 el nivel oceánico se elevará 0,56 metros (un 116,7% más que en el límite objetivo), aumentando, además, un 24% la acidez del agua, provocando la extinción de numerosas especies. El 80% del hielo ártico se derretirá en los meses de verano, donde los días de máximo calor aumentarán un 26%. Como consecuencia, durante largos periodos de tiempo, 194.5 millones de personas estarán en estado permanente de sequía y 388 millones con problemas para acceder a agua potable. Los problemas relativos a la salud son también preocupantes, puesto que las tierras desérticas darán la posibilidad de propagación a enfermedades como la malaria (aumento del 27% de los casos) (IPCC, 2018), (Carbon Brief, 2018).

Por ello, en el Acuerdo de París de 2015 se fijó como prioridad evitar que este calentamiento alcance los dos grados, limitándolo incluso a 1,5°C. (European Commission, 2015)

Para conseguir este objetivo, se requiere de un descenso inminente en la emisión de gases de efecto invernadero, lo que conlleva una transición energética hacia una reducción de la demanda de energía y una evolución hacia la utilización de energías libres de carbono (denominadas energías limpias).

La transición energética necesaria para lograr los objetivos establecidos en el Acuerdo de París (2015), conllevan un aumento en el uso de las energías renovables para el año 2030 respecto 2018 de 5 puntos porcentuales, mientras que fuentes como el petróleo y el carbón deberán descender en torno a 3 puntos porcentuales (Duarte, 2019). Dichos objetivos chocan frontalmente con los intereses de una buena parte del sector industrial que, tal y como está planteado hoy en día, requiere de un alto nivel energético para su actividad. Por lo tanto, se puede afirmar que existe una estrecha relación entre el mix energético utilizado y la producción industrial.

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Grado es el desarrollo de un método para obtener proyecciones futuras de la matriz A de coeficientes técnicos en el modelo de matrices Input-Output (IOT) mundiales. Estos modelos IOT permiten analizar la estructura económica intersectorial a nivel mundial. Este método se basará en la evolución histórica conocida de la propia matriz A y en su relación con las intensidades energéticas sectoriales.

El presente trabajo se engloba dentro del proyecto europeo MEDEAS (Guiding European policy toward a low-carbon economy. Modeling Energy System Development under Environmental And Socioeconomic constraints. H2020-LCE-2015-2. Project Number: 691287). Este proyecto se desarrollará con detenimiento en el siguiente capítulo (Capítulo 2)

El Capítulo 3 y Capítulo 4 se corresponden con la metodología y herramientas necesarias para lograr los objetivos marcados en este trabajo. Contienen la información acerca de Tablas Input - Output e Intensidad Energética respectivamente.

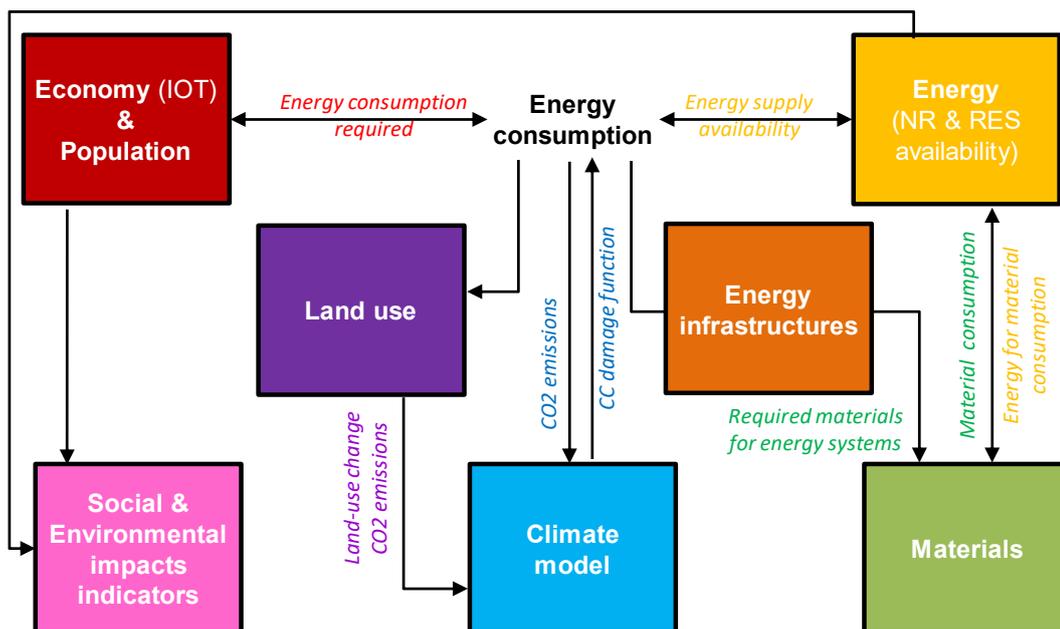
En el Capítulo 5 se exponen los antecedentes, causas y consecuencias tanto del cambio climático como del mix energético actual y futuro.

Por último, el Capítulo 6 desarrolla el trabajo práctico realizado y las conclusiones obtenidas. Todo ello expuesto completamente en el libro Excel adjunto (TFG.xlms).

2. PROYECTO MEDEAS

El proyecto MEDEAS (Guiding European policy toward a low-carbon economy. Modeling Energy System Development under Environmental And Socioeconomic constraints. H2020-LCE-2015-2. Project Number: 691287) es un proyecto europeo de modelización global, que utiliza el enfoque de dinámica de sistemas, pero integrando algunas funciones econométricas (para más información véase www.medeas.eu). MEDEAS-World (modelo del mundo) se ejecuta en una ventana temporal desde 1995 a 2050 y se estructura en 7 submódulos: Indicadores de Economía, Energía, Infraestructuras, Materiales, Uso de la Tierra, Impactos Sociales y Ambientales y Cambio Climático. Estos submódulos han sido programados en aproximadamente 100 ventanas de simulación y utilizando más de 4,000 variables. El modelo consta de una estructura modular y flexible, donde cada módulo se puede ampliar / simplificar / reemplazar por otra versión o submodelo, se pueden agregar nuevos módulos, etc. La interconexión entre los diferentes módulos del proyecto se refleja en la siguiente figura (MEDEAS, 2019):

Figura 1. Visión general de los módulos de MEDEAS-World y las conexiones entre ellos



FUENTE: (MEDEAS, 2019)

- Economía y población: la economía de MEDEAS se modela siguiendo un enfoque postkeynesiano que asume el desequilibrio (es decir, los mercados sin compensación), el crecimiento impulsado por la demanda y las restricciones de oferta. La estructura económica es capturada por la integración de IOA (Input Output Analysis).

- **Energía:** este módulo incluye el potencial y la disponibilidad de recursos de energía renovable y no renovable teniendo en cuenta las limitaciones biofísicas y temporales. En total, se consideran 5 combustibles finales (electricidad, calor, sólidos, gases y líquidos) y se modelan una diversidad de tecnologías energéticas. Se ha seguido un enfoque de energía neta.
- Las infraestructuras energéticas representan las infraestructuras de las centrales eléctricas para generar electricidad y calor.
- **Clima:** este módulo proyecta los niveles de cambio climático debido a las emisiones de gas invernadero generadas por las sociedades humanas, que también se retroalimentan a través de una función de daño.
- **Materiales:** los materiales son requeridos por la economía y MEDEAS realiza un seguimiento especial de los requisitos de materiales para la construcción y la operación y mantenimiento de las infraestructuras energéticas. Las demandas de extracción se comparan posteriormente con los niveles de métricas disponibles de reservas y recursos.
- **Impactos sociales y ambientales:** este módulo traduce los resultados "biofísicos" de las simulaciones en métricas relacionadas con los impactos sociales y ambientales. El objetivo de este módulo es contextualizar las implicaciones para las sociedades humanas en términos de bienestar para cada simulación.

En este contexto, el presente Trabajo Fin de Grado se centra en la parte económica (Tablas Input Output) y energética (Intensidades Energéticas). Con ello, se tratará de encontrar la relación entre el uso energético y las transacciones económicas mundiales.

El módulo económico está basado en la demanda y desagregado en 35 sectores industriales diferentes. Esta estructura se debe a la elección de una fuente de datos que cumple con los siguientes dos objetivos: que sea una base de datos pública y tener datos a nivel mundial. Por cumplir con los dos requisitos, la base de datos WIOD será la utilizada en este proyecto. Los sectores económicos utilizados se muestran a continuación:

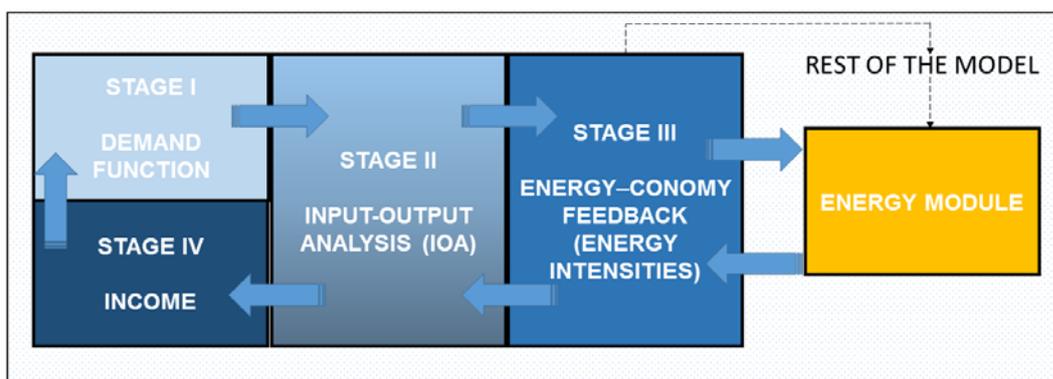
A lo largo de las intensidades energéticas (que cambian de manera endógena a lo largo del tiempo), la energía requerida para satisfacer la demanda se enfrenta a la disponibilidad de energía del módulo de energía. Luego, siguiendo la ruta inversa, se calcula la demanda real satisfecha dadas las restricciones de energía. Finalmente, el ingreso se calcula de acuerdo a diferentes escenarios de distribución.

Por lo tanto, este módulo consta de cuatro etapas destacables (véase figura 3):

- I. Función de la demanda
- II. Análisis Input-Output
- III. Requerimientos energéticos
- IV. Rentas resultantes a la demanda

Cada etapa está interrelacionada con otras, proporcionando a la última las entradas que necesita la primera para mantener en funcionamiento el módulo. Además, la tercera etapa es el nexo principal entre el módulo de economía y todo el modelo. Además, en la Figura 3 se muestra el diagrama de influencias esquemáticas del módulo de Economía que representa su funcionamiento.

Figura 3. Fases en el módulo económico del modelo MEDEAS

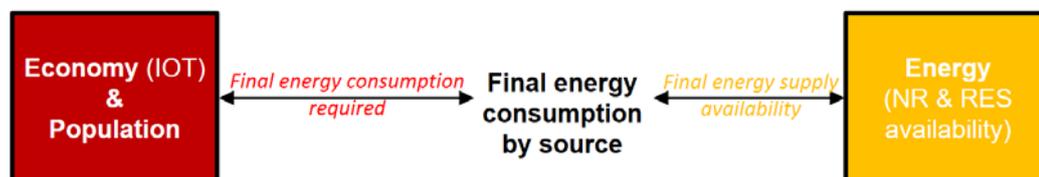


FUENTES: (MEDEAS, 2019)

La mayoría de los modelos de economía de energía y medio ambiente consideran que el crecimiento económico es independiente de los límites biofísicos. En MEDEAS, la economía no puede traspasar los límites establecidos por la naturaleza. El módulo de economía está sujeto, al menos, a una retroalimentación indirecta y directa de todo el sistema. La retroalimentación indirecta es proporcionada por los impactos del cambio climático que, en MEDEAS, se difunden a lo largo de la energía. Como la retroalimentación directa a la economía proviene del módulo de energía, vale la pena enfocarse aquí en esta relación, un punto clave del modelo. Es justo en esta relación económica – energética en donde se va a enfocar una parte de este Trabajo Fin de Grado, observando la importancia de esta dependencia económica

frente a la energía. Esta parte en la cual se centra el trabajo, se extrae del diagrama expuesto en la figura 1, y se muestra a continuación:

Figura 4. Realimentación Economía – Energía en MEDEAS



FUENTE: (MEDEAS, 2019)

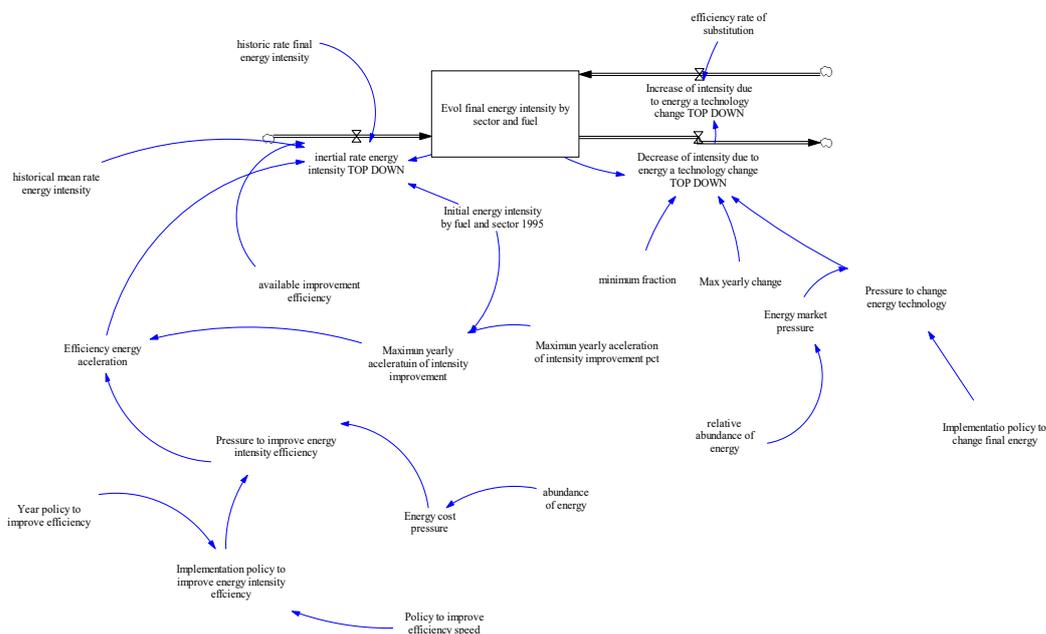
La intensidad energética es un tema clave en el modelo MEDEAS. En términos generales, la intensidad energética expresa una relación entre la energía utilizada en un proceso y su producción económica. Esta expresión general se puede aplicar a la intensidad energética de un país, tomando la energía total requerida y el PIB como producto económico. De esta manera, la intensidad energética es un indicador altamente agregado. Con el objetivo de desagregar este indicador, el modelo MEDEAS considera 5 tipos de consumo final de energía (electricidad, sólidos, líquidos, gases y calor) y 35 sectores económicos, de acuerdo con la clasificación WIOD.

El punto de partida para modelar el comportamiento dinámico de las intensidades de energía finales son los datos históricos disponibles. Estos datos se han tomado de WIOD, pero ha sido necesario transformarlos para usar las unidades apropiadas en el modelo, agrupándolos por los tipos de energía mencionados y evitar el doble conteo en algunos casos.

Una vez que los datos históricos de la matriz de intensidad energética han estado disponibles, se ha desarrollado su modelado, tratando de explicar su comportamiento histórico y justificando su evolución futura previsible.

La figura 5 muestra una estructura simplificada del modelo de intensidades energéticas:

Figura 5. Estructura simplificada del modelo de Intensidad Energética.



FUENTE: (MEDEAS, 2019)

Se han aplicado dos criterios para la elección del modelado de tecnologías de energía alternativa en el marco de MEDEAS:

1. Enfocarse en las tecnologías actualmente disponibles, demostradas y comerciales (es decir, no prohibitivamente caras) dada la necesidad de acciones urgentes para estabilizar el clima y revertir las tendencias insostenibles actuales. Además, se ha demostrado que las nuevas tecnologías y los sistemas de energía tardan unos 50 años en difundirse a través de la economía (Fouquet, 2010).
2. Asegurar que el balance energético neto de las tecnologías consideradas sea positivo, es decir, que la tecnología será un contribuyente neto de energía «razonable» para la sociedad.

A la luz de estos criterios, las siguientes tecnologías no se incluyeron en el marco de MEDEAS:

- Captura y almacenamiento de carbono (CCS) y emisiones negativas
- Hidrógeno
- Criadores nucleares rápidos y fusión nuclear

3. METODOLOGÍA INPUT-OUTPUT

3.1. Introducción a las tablas Input-Output

El análisis por matrices Input-Output fue desarrollado por Vasily W. Leontief y presentado en *The Structure of American Economy 1919-1939* en 1941, utilizando este método para observar y estudiar las relaciones entre los sectores económicos (Ramírez).

Las cuentas económicas de un país se pueden desglosar en dos aspectos básicos: la contabilidad nacional y los flujos de bienes y servicios existentes entre los diversos sectores económicos del país (Morán, 2003). Ambos componentes están íntimamente ligados, pues la contabilidad de cualquier país se refiere a la representación cuantitativa de la actividad económica de un país que, a su vez, está compuesta por multitud de flujos de intercambio tanto en el propio país como fuera de él.

Un instrumento de gran importancia que permite la organización y análisis de las relaciones intersectoriales son las tablas Input-Output, también denominadas matriz Insumo-Producto (Iturre, 2002). El objetivo final de estas tablas es “explicar las magnitudes de las corrientes interindustriales en función de los niveles de producción de cada sector” (Clark, y otros, 1967). Por lo tanto, en la matriz Input-Output quedan registradas todas las transacciones de bienes y servicios realizadas en un determinado periodo de tiempo en un país.

Como ejemplo, En el ANEXO 1. (Tabla 16), se tiene la matriz input-output de España del año 2015. En esta matriz, en millones de euros, se aprecian todas las transacciones que han tenido lugar dicho año desde los sectores económicos de origen (filas) a cada uno de los sectores económicos de destino (columnas). Como se ha dicho anteriormente, esta matriz muestra únicamente los intercambios sectoriales dentro de España, lo que pertenece a la contabilidad nacional. Para cada país en el cual exista una relación de compra-venta en cualquiera de los sectores económicos, existirá una tabla idéntica a esta que relaciones las ventas procedentes de un país a otro.

3.2. Componentes de la economía interindustrial y desarrollo de la tabla Input-Output

Podemos definir tres grandes grupos de bienes o servicios que engloban cada uno de los constituyentes de un sistema económico (Iturre, 2002):

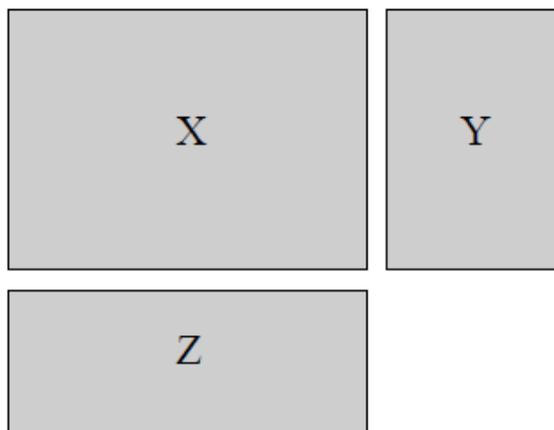
- a) Recursos externos, entendidos como recurso económico producido fuera del sistema¹ de estudio, como por ejemplo mano de obra o tierras. También se introducen en este campo los bienes adquiridos por importación.
- b) Recursos parcialmente utilizados, creados o no en el propio sistema, pero cuya característica clave es que no se consumen al completo en el proceso de producción.
- c) Insumos intermedios, definidos como bienes producidos a partir de factores (capital o trabajo) que se utilizan a su vez en la producción de nuevos bienes (Rebeco, 2007). Como ejemplo de insumo intermedio podemos tener el caso de la gasolina. Por un lado, está el caso particular, en donde se utiliza como producto final, es decir, en caso de utilizar el vehículo en forma de ocio, mientras que, por otro lado, si nos fijamos en un trabajo de transporte (un camión, por ejemplo), la gasolina se utilizará de forma intermedia para poder llevar la mercancía a su destino. Es decir, los insumos intermedios están íntimamente ligados con el valor añadido.

A los dos primeros tipos de recursos se les denomina Insumos Primarios o factores productivos. La existencia de estos bienes, y la necesidad de utilizarlos para producir bienes finales, conlleva necesariamente a la existencia de transacciones entre los diferentes sectores económicos.

De modo esquemático, las tablas Input-Output de cualquier sistema económico (local, regional, nacional o supranacional) se forma con la unión de tres matrices relacionadas entre sí, como se observa en el Gráfico 1: matriz de compras-ventas intermedias, matriz de demanda final y matriz de inputs primarios.

¹ Se entiende como sistema cualquier proceso económico que se estudie, desde la producción de un servicio o bien, hasta las transacciones intersectoriales que se efectúan dentro y fuera de cada país.

Gráfico 1. Matrices de la tabla Input-Output.



En donde:

X: matriz de transiciones intermedias ($n \times n$)

Y: matriz de demandas finales para k componentes ($n \times k$)

Z: matriz de inputs primarios para m componentes ($m \times n$)

Volviendo al ejemplo expuesto anteriormente, la tabla Input-Output de España (Tabla 16), explica de forma visual cada uno de los componentes que existen en las Matrices Input Output. Por un lado, los sectores económicos. Cuantos más sectores económicos disponga la tabla, más precisos serán los datos de transacciones que se tengan en ella. La matriz X se forma con n sectores económicos, dispuestos en n filas y n columnas ($n \times n$). La matriz de España estaría formada por 64 sectores económicos ($n=64$) siendo el primero el sector de “*Productos de la agricultura, la ganadería y la caza, y servicios relacionados con los mismos*” y el último el sector “*Servicios de organizaciones y organismos extraterritoriales*”. En la matriz X se tiene:

Filas: Outputs (ventas) de cada sector, no solo con el resto de sectores, sino también consigo mismo.

Columnas: Inputs (compras) de cada sector, no solo al resto de sectores, sino también consigo mismo (intraconsumos).

Siguiendo esta norma, cada elemento de la matriz (Elemento X_{ij}) informará del valor de las ventas producidas por el sector i hacia el sector j . Por otro lado, el sumatorio total de las ventas producidas por un sector i , al resto de sectores de la matriz X, se define como V_i (suma de ventas intermedias).

Dependiendo del estudio que se quiera realizar y de los datos que se tengan, la matriz Y puede tener un número de columnas u otras, por lo que el valor de k es variable. Una de las columnas que debe existir en cualquier estudio con matrices input-output es la columna de Demanda total. Esta columna es el sumatorio de cada uno de los n intercambios sectoriales que realiza un sector. En las tablas de España, además de esta columna, también nos encontramos por ejemplo una columna con el total de exportaciones de cada sector. En millones de euros, podemos ver que mientras que el total de demanda intersectorial es de 1.020.675,7€, el valor destinado a exportaciones es de 316.571€, lo que supone un 31% del total.

Por último, la matriz Z resulta muy similar a la Y, puesto que se trata de una matriz de totales, pero este caso el total de las compras, no de las ventas. Es decir, el sumatorio de las n demandas que cada sector demanda al resto de los n sectores. Por el mismo motivo que ocurre en la matriz Y, el número de filas m que se tiene es variable dependiendo del estudio y datos que se trabajen.

La desagregación de la matriz Input-Output queda de la siguiente forma:

		1	2	3	...	n	C	I	G	E	X
Ventas por sector	1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1n}	C_1	I_1	G_1	E_1	x_1
	2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2n}	C_2	I_2	G_2	E_2	x_2
	3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	...	x_{3n}	C_3	I_3	G_3	E_3	x_3

	n	x_{n1}	x_{n2}	x_{n3}	...	x_{nn}	C_n	I_n	G_n	E_n	x_n
Valor	W	W_1	W_2	W_3	...	W_n	W_C		W_G		W
Benef.	R	R_1	R_2	R_3	...	R_n					R
Imp.	M	M_1	M_2	M_3	...	M_n	M_C	M_I	M_G		M
Total	X	X_1	X_2	X_3	...	X_n	C	I	G	E	

Donde

X_i = valor de la producción del sector i (i= 1 . . . n).

X_{ij} = ventas del sector i al sector j, o el valor de los inputs del sector i usados para en la producción del sector j (i=1 . . . n; j=1 . . . n).

W_j = Salarios en el sector j (j=1 . . . n). Representa el uso de la mano de obra en la producción del producto i.

R_j = Intereses y beneficios en el sector j

M_j = Importaciones del sector j

C_j = Consumo personal de la producción del sector i

I_j = Gasto de inversión en la producción del sector i

G_j = Compra gubernamental de la producción del sector i

E_j = exportaciones de la producción del sector i

M_C , M_I y M_G = importaciones de bienes finales (por consumidores, empresas y gobierno respectivamente)

Cuando existen dos subíndices juntos (X_{ij}), significa que hay una transacción intersectorial. el primer subíndice (i) se corresponde con el sector de origen y el segundo (j) indica el origen (Tanaka, 2011).

La demanda total de la producción del sector i, puede escribirse de la siguiente manera:

$$X_{ij} = \sum_{j=1}^n X_{ij} + F_i$$

$$F_i = C_i + I_i + G_i + E_i$$

Donde $\sum_{j=1}^n X_{ij}$ es el total de las ventas del sector i al resto de los n sectores, y F_i el total de la demanda de la producción del sector i. Existen n ecuaciones como la anterior, una por cada sector económico. Bajando a las filas inferiores de la matriz:

$$W = \sum_{j=1}^n W_j + (W_C + W_G)$$

$$R = \sum_{j=1}^n R_j$$

$$M = \sum_{j=1}^n M_j + (M_C + M_I + M_G)$$

Esta última ecuación expresa el total del valor de las importaciones dentro de la economía. Por último, tenemos la fila de la producción total, donde la producción bruta total de la economía (X_j) es

$$X_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} + M_j + R_j + W_j$$

Por definición, el valor total de la demanda de la producción para cualquier sector debe ser igual que el valor total suministrado. En la parte inferior derecha de la matriz tenemos el valor final de las demandas desagregadas:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i + W_c + M_c$$

$$I = \sum_{i=1}^n I_i + M_i$$

$$X_j = \sum_{i=1}^n G_i + M_G + W_G$$

$$E = \sum_{i=1}^n E_i$$

Así pues, la matriz Input – Output puede ser descrita matemáticamente como un conjunto de ecuaciones que se deben satisfacer mutuamente para equilibrar la demanda final e intermedia de los bienes o servicios. Se puede describir la asignación de producción del sector “k” como:

$$X_k = \sum_{j=1}^n X_{kj} + F_k = \sum_{j=1}^n X_{ik} + W_k + R_k + M_k \quad (k = 1 \dots n)$$

Dónde

$$F_k = C_k + I_k + G_k + E_k$$

3.3. Matriz inversa de Leontief y Coeficiente técnico de la matriz Input- Output

En el trabajo sobre matrices input-output, una suposición fundamental es que los flujos intersectoriales desde el sector i al sector j son en un periodo dado, normalmente de un año. Ahora, se definirá un nuevo término, $a_{ij} = X_{ij}/X_j$. Este término se denomina coeficiente técnico de la matriz input – output. Puede ser interpretado como la cantidad demandada por el sector i para producir una unidad en j. Por definición, se tiene que:

$$X_{ij} = a_{ij} X_j \quad (1.1)$$

Como se ha visto anteriormente, el valor de la producción total del sector j puede escribirse como

$$X_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} + M_j + R_j + W_j \quad (1.2)$$

Si se divide la ecuación anterior entre el valor de la producción del sector j , X_j , tenemos:

$$1 = \sum_{i=1}^n X_{ij}/X_j + M_j/X_j + R_j/X_j + W_j/X_j \quad (1.3)$$

El coeficiente input-output, a_{ij} , perteneciente al intervalo $[0,1]$, indica la proporción de la producción del sector j explicada por los insumos del sector i . Sustituyendo $a_{ij} = X_{ij}/X_j$ en la ecuación (3), obtendremos:

$$1 = \sum_{i=1}^n a_{ij} + M_j/X_j + R_j/X_j + W_j/X_j \quad (1.4)$$

Además, conocemos que el total de la demanda de la producción del sector i viene dada por

$$X_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} + F_i \quad (1.5)$$

Si en este caso sustituimos $X_{ij} = a_{ij} X_j$ en la ecuación (5) nos quedará:

$$X_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + F_i \quad i=1\dots n \quad (1.6)$$

Si la expresión (6) la expandimos para cada i , el resultado sería

$$i=1 \quad X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + F_1$$

$$i=2 \quad X_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + F_2$$

.

.

$$i=n \quad X_n = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n + F_n$$

Como se puede apreciar, se conseguirá de esta forma una ecuación para cada sector.

3.4. Análisis ambiental Input - Output

Las tablas Input Output de Leontief se consideran de forma natural como una representación del análisis del medioambiente de una sociedad. Esto es así, puesto que la energía utilizada en los sectores industriales que se tienen en cuenta en las tablas input-output está íntimamente ligado a la contaminación atmosférica que genera dicha industria.

El análisis medioambiental Input - Output permite evaluar el impacto ambiental desagregado que se deriva del consumo.

La primera vez que se propone el estudio de la relación entre el desarrollo económico de una región y su evolución en materia de contaminación fue en 1966 por Cumberland. Leontief en 1970 y Ford en 1972 proponen una modificación de la clásica tabla input-output en donde se añade el aumento y disminución de la contaminación medioambiental generada (Kagawa, 2012).

La técnica de análisis medioambiental input-output ha sido elemental en la contabilidad tanto de la energía consumida como del coste energético de toda actividad económica. La energía consumida en la actividad industrial directa e indirectamente se suele denominar "Intensidad Energética Incorporada" o "ciclo de vida de la Intensidad Energética" en el campo de la ecología industrial (IE).

El primer estudio a gran escala que ha sido desarrollado con el método de Leontief y Ford, ha sido por Wright (Wright, 1974). Específicamente utilizó las tablas input-output de Estados Unidos para estimar el ciclo de vida de las Intensidades Energéticas de los consumidores de bienes finales. El método de estimación utilizado por Wright se basa en el cálculo de la matriz inversa de Leontief, utilizando una matriz input-output expresada en unidades monetarias,

y posteriormente dividir el valor monetario del consumo de energía entre el precio de esta energía utilizada, obteniendo así una estimación del ciclo de vida de la intensidad energética (Arango, y otros, 1986), sin embargo, tal enfoque salió sesgado debido a las diferencias en el precio de venta de la energía en los diferentes sectores.

Un ejemplo de la importancia de la valoración del precio en unas tablas Input - Output, queda patente en el análisis realizado por Shugemi Kawaga (Kagawa, 2012), cuando analiza las tablas input-output de Japón en 1990. Los datos del precio del carbón muestran en este estudio que su precio es aproximadamente de 9.000 yen/ton en términos generales, mientras que hay sectores, como por ejemplo el sector del cemento, en donde las ventas del carbón llegan a tener un precio de 10.000 yen/ton, y como por ejemplo el sector de la pintura, en donde el precio del carbón desciende a 7.600 yen/ton. Por ejemplo, utilizando el método de estimación de Wright, si el sector del cemento compra 100.000 yen de carbón a 9.000 yen/ton, la cantidad física comprada será equivalente a 11 ton. Sin embargo, puesto que el precio de este sector es mayor (10.000 yen/ton), los datos calculados estarán sobreestimados. En resumen, los datos de las compras físicas están sesgados a causa de las variaciones de precios en cada sector.

Con el objetivo de solucionar el problema de las variaciones de precios intersectoriales, se han empleado técnicas híbridas consistentes en juntar términos monetarios y económicos para el análisis de las tablas input-output y proponer así una nueva técnica para contabilizar la energía (Miller, y otros, 2009). Sin embargo, la resolución de este problema de los precios de las energías de forma aislada, no soluciona completamente los errores cometidos asociados a la estimación. Las diferencias intersectoriales en los precios de los bienes en los sectores no energéticos también distorsionan la cantidad de inputs de material directo e indirecto.

Una importante contribución al análisis energético empírico ambiental sobre las tablas input-output fue llevado a cabo por Robert Constanza (Constanza, 1980). En este estudio, se consideró el balance energético de todos los sectores industriales de la economía de Estados Unidos y se examinó las relaciones existentes entre la Intensidad Energética consumida (tema que se trata en el siguiente capítulo debido a su gran importancia) y la producción industrial. Esta Intensidad energética expresa la cantidad de energía que se necesita consumir tanto directa como indirectamente para producir una unidad entre sectores no energéticos.

3.4.1. Evaluación del ciclo de vida Input-Output y la relevancia del análisis medioambiental

El método de evaluación del ciclo de vida Input-Output (LCA por sus siglas en inglés Life Cycle Assessment) se basa en las estimaciones de los materiales y recursos energéticos necesarios para un posible funcionamiento de los diferentes sectores económicos, así como sus emisiones medioambientales. La principal razón por la que las discusiones técnicas relativas a los análisis input-output se han incrementado considerablemente, es debido al notable impacto social del LCA, el cual es útil en términos cuantitativos sobre el calentamiento global y en cuestiones de administración de residuos (Kagawa, 2012). Este hecho está confirmado mediante la adopción internacional de los estándares medioambientales de la norma ISO 14040 (Organización Internacional de Normalización, 2006).

Como su nombre sugiere, el LCA se refiere a una evaluación completa de los efectos medioambientales asociados al producto final a lo largo de su vida, incluyendo aspectos relacionados con su producción, transporte, venta, uso y eliminación. El primer paso engloba la definición de metas y el alcance del análisis LCA donde quedan definidos los objetivos, el siguiente paso es el análisis del inventario, con la carga medioambiental medida y representada en los flujos de bienes y servicios. El tercer paso es realizar un análisis sobre el impacto generado, identificando los efectos de la carga medioambiental y, por último, el cuarto paso es realizar una evaluación de los análisis y llegar a un informe de mejoras posibles. Como cualquier informe LCA, la parte fundamental es la última en donde se estipulan posibles mejoras a los efectos que causan los flujos energéticos al medioambiente.

El análisis del inventario se refiere a un análisis cuantitativo de los diferentes tipos de energía y materiales utilizados en todo el proceso desde la producción hasta la venta, y de los diferentes tipos de contaminantes que son emitidos como resultado de la actividad. Normalmente se utilizan dos modelos para el análisis del inventario. El primero se conoce como el modelo del proceso, el cual analiza cómo la energía y materias primas son usadas en el total del sistema, no solo durante la producción, entendida como fabricación y transporte, sino también en el proceso del uso del producto, venta y reutilización. La principal ventaja del modelo del proceso es que las leyes físicas, como la ley de conservación de la masa o transformación de la energía, pueden ser utilizadas para examinar la producción en detalle, lo que significa, que las unidades y las cantidades físicas de cualquier sustancia pueden ser calculadas. Sin embargo, la principal desventaja asociada a este método es que los procesos que pueden ser estudiados están limitados, y no todos los procesos que se llevan a cabo en la industria pueden ser tratados con este método. Además, las bases utilizadas para establecer los límites de los

sistemas productivos que pueden ser investigados no son claras, introduciendo así un alto porcentaje de riesgo y subjetividad en los datos. El segundo modelo es un modelo Input-Output que teóricamente describe todas las transacciones, tanto directas como indirectas, en una industria en términos monetarios. Algunos de los beneficios que conlleva el uso de tablas Input-Output son que, para aproximadamente 500 sectores industriales, las relaciones input-output que existen en los procesos productivos se pueden conseguir a través de datos públicos. Este modelo puede ser fácilmente aplicado a teorías económicas, lo que significa que los resultados del análisis pueden ser interpretados en un contexto económico. A pesar de esta sencillez, la desventaja principal de este modelo, es que los datos utilizados en las tablas input-output tienen menor nivel de detalle que los datos utilizados en el modelo por procesos, lo que se traduce en que la estimación de los resultados puede ser menos fiables desde un punto de vista de ingeniería. En el entorno de los estudios LCA, un nuevo modelo híbrido que combina el modelo por procesos y el input-output ha sido propuesto en los últimos años, y una variedad de nuevos enfoques para resolver los problemas que presentan los dos modelos (Bullard, C. W.; Penner, P. S.; Pilati, D. A. , 1978) (Such, S.; Huppel, G., 2005).

En el modelo del proceso, los datos de los efectos del proceso productivo que no se tienen deben ser estimados por adelantado utilizando ajustes arbitrarios. Como consecuencia, debe desarrollarse un sistema de producción que minimice estos efectos en la mayoría de lo posible. Sin embargo, no solo estos datos deben ser sistematizados y calculados, sino también los flujos input-output asociados a estos procesos. Por esta razón, la mayoría de las investigaciones LCA utilizan el análisis input-output para formular el sistema productivo total.

3.5. Ecología Industrial en la era de los análisis Input-Output

El propio nombre de *Ecología Industrial* transmite parte del significado del término. La ecología Industrial es *industrial* ya que típicamente está centrada en el diseño del producto y el proceso productivo. Ve a las empresas como agentes para la mejora ambiental debido a que estas poseen la experiencia tecnológica la cual es crítica para una ejecución exitosa de un diseño de procesos y productos ecológicamente sostenibles. La industria, entendida como la parte de la sociedad dedicada a producir la mayoría de bienes y servicios es una importante, aunque no exclusiva, fuente de daño medioambiental (Charter, y otros).

La ecológica industrial es *ecológica* en al menos dos sentidos. Primero, apunta a los ecosistemas naturales como modelos para la actividad industrial. Muchos ecosistemas biológicos son especialmente efectivos en el reciclado de recursos

y, por lo tanto, se toman como ejemplos de eficiencia en áreas de reciclado de materiales y energía en la industria. Segundo, la ecología industrial sitúa a la actividad tecnológica del ser humano –industria en sentido más amplio- en el contexto del mayor ecosistema que lo mantiene, examinando las fuentes de los recursos usados en la sociedad y los métodos que se puedan utilizar para absorber o desintoxicar los residuos. Este último significado de ecológico, vincula la ecología industrial con cuestiones de capacidad, resiliencia ecológica y biogeoquímica, preguntándose cómo o en qué medida la sociedad tecnológica está deteriorando o perturbando los ecosistemas que proporcionan servicios esenciales a la humanidad.

Robert White, como presidente de la Academia Nacional Estadounidense de Ingeniería, resumió estos conceptos, definiendo Ecología Industrial como: “el estudio de los flujos de materiales y energía en la actividad industrial y de consumo, de los efectos de estos flujos en el medioambiente, y de la influencia de los factores económicos, políticos, legislativos y sociales en los flujos, uso y transformación de los recursos. El objetivo de la ecología industrial es entender mejor como podemos integrar la preocupación medioambiental en nuestras actividades económicas.” (White 1994).

4. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Entendemos eficiencia como la capacidad de lograr los objetivos o los efectos deseados con el mínimo uso de recursos posibles o en el menor tiempo posible. Extrapolando esta definición al ámbito energético, la eficiencia energética la podemos definir como el uso de las tecnologías que necesitan una menor carga energética para producir la misma función (CCE). La eficiencia energética es mayor en países con mayor factor total de productividad, monedas subvaloradas y menores reservas de combustibles fósiles. (Stern, 2010).

4.1. Intensidad Energética

La energía es considerada como un elemento crucial en el proceso de crecimiento económico. Un crecimiento económico sostenible demanda un flujo energético continuo y eficiente, que puede hacerse posible si la intensidad energética se reduce con dicho aumento. El término intensidad energética se refiere a la cantidad en la que los recursos energéticos disponibles se utilizan económicamente en la producción de bienes y servicios (Tahir Mahmood, 2018). Siguiendo esta definición, se obtiene la siguiente fórmula que expresa el valor de la IE (Intensidad Energética) en función del PIB²:

$$IE = \frac{\text{Consumo Energético}}{\text{PIB}}$$

Se interpreta de la siguiente manera: un índice de Intensidad Energética alto representa un elevado coste en la conversión de energía en riqueza y, por el contrario, un nivel bajo de Intensidad Energética supone un consumo bajo de energía en relación a la riqueza (PIB) obtenida.

4.2. Relación Intensidad – Eficiencia Energética

La Intensidad energética es comúnmente utilizada como indicador de la eficiencia energética de un país o región. La mejora en la eficiencia energética, mediante la adopción de técnicas de producción medioambientalmente no contaminantes y/o a través de cambios en la composición de los outputs nacionales hacia productos con menor demanda energética, puede ser considerado como una meta intermedia para reducir relativamente el consumo

² PIB: El Producto Interior Bruto se traduce como el valor monetario de la producción total de bienes y servicios de un determinado país, en un determinado periodo. Es una magnitud del flujo en ese periodo, pues solamente tiene en cuenta los bienes y servicios producidos durante la etapa de estudio. El PIB normalmente se utiliza como indicador del crecimiento económico de un país.

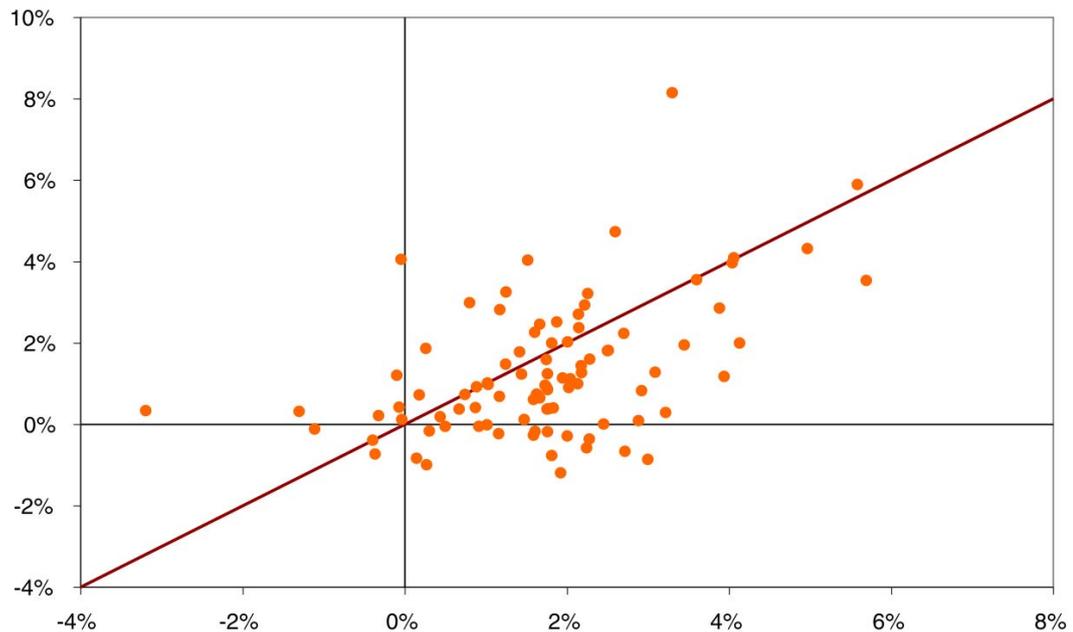
energético con el fin último de mejorar la calidad medioambiental (Tahir Mahmood, 2018).

Los datos de la Intensidad Energética pueden usarse para comparar el estado de la eficiencia energética a través de los diferentes países, los cuales pueden diferir en los valores de la intensidad energética dependiendo del grado de industrialización, el mix de producción y la atención que se preste a la eficiencia energética. Si la intensidad energética es relativamente mayor en un país, puede significar que el país está incurriendo en un mayor coste medioambiental. En recientes estudios (Hwang, y otros, 2008), se observa que en comparación con los países pobres, los países Europeos tienden a requerir menos energía para alcanzar tasas de crecimiento en el PIB mayores.

Mientras que el uso de la energía a nivel mundial continua aumentando según los últimos datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2018), los valores de la intensidad energética se han reducido más rápido en los países desarrollados como por ejemplo en Estados Unidos (-1.94% anual desde 1971 a 2010) o en Reino Unido (-2.63%) que si nos fijamos en el conjunto mundial (-1,08%). El significado de estos datos se puede entender de dos formas distintas. Por un lado, que el crecimiento económico tiene menor efecto sobre el crecimiento del uso de la energía en países ricos, o bien la existencia de países mucho más intensivos en energía que aumenten la media mundial. (Stern, y otros, 2015)

Teniendo en cuenta este segundo factor, se tiene el ejemplo de China e India, países en un proceso de rápido crecimiento económico, que presentan la mayoría del aumento global de consumo energético. Los países que no pertenecen a la OECD (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) ocupan alrededor del 60% de la demanda energética mundial, lo que según las últimas previsiones aumentará hasta el 70% en el 2040 (IEA, 2018). El incremento del uso energético implica el aumento de los problemas ambientales incluyendo el cambio climático debido a las emisiones de gases de efecto invernadero y problemas ambientales locales como los continuos acontecimientos de contaminación extrema en Beijing o ciudades de China. (El apartado del consumo energético e impacto ambiental se estudiará con detalle en el siguiente capítulo).

El Gráfico 2 nos muestra el porcentaje de crecimiento del consumo energético mundial (eje Y) respecto del crecimiento del PIB (eje X). Aunque la tasa de crecimiento del uso energético per cápita se correlaciona con la tasa de crecimiento del PIB como se muestra anteriormente, existe una notable variación en las tasas del crecimiento que puede ser explicada por un desacoplamiento, convergencia u otros factores.

Gráfico 2. Ratio de crecimiento del consumo energético y PIB per cápita.

FUENTE: (Stern, y otros, 2015)

En su estudio, Csereklyei (Csereklyei, 2016) describe que en los últimos 40 años existe una relación intersectorial estable entre la energía demandada per cápita y los ingresos per cápita con una variabilidad del uso de la energía con respecto a los ingresos en menos de una unidad. Esto implica que la intensidad energética tiene a decrecer en los países a medida que se enriquecen, pero no en el resto.

4.3. Curva de Kuznets ambiental

El patrón descrito anteriormente, el cual hace referencia a que países europeos obtengan una mayor eficiencia energética, lo soporta el fenómeno denominado Curva de Kuznets ambiental (EKC por sus siglas en inglés, Environmental Kuznets Curve), el cual hace una hipótesis sobre la posible relación entre el desarrollo económico y la contaminación medioambiental o aumento de la degradación (Tahir Mahmood, 2018).

Las primeras estimaciones de curvas de Kuznets son simples funciones cuadráticas en relación con los ingresos. El problema que conlleva esta primera estimación reside en que, inevitablemente, la actividad económica implica el uso de recursos y, por las leyes de la termodinámica, el uso de recursos conlleva inevitablemente la generación de residuos. Las regresiones que permiten valores en los indicadores nulos o negativos son inapropiadas salvo

en el caso de la deforestación, en donde puede surgir la reforestación (Stern, 2004). Por ello, el modelo de regresión EKC estándar se representa como:

$$E_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 Y_{it}^2 + \varepsilon_{it}$$

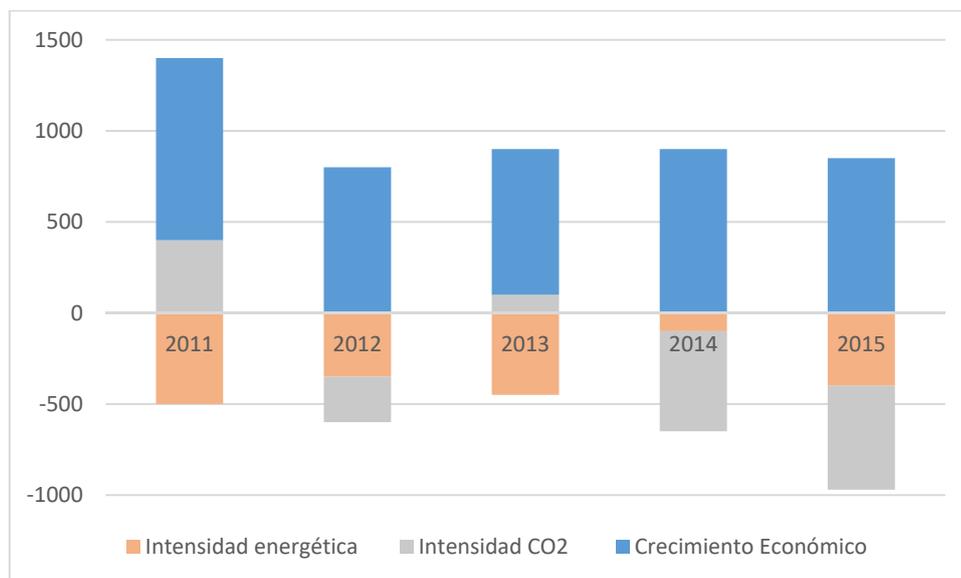
Dónde E puede ser tanto las emisiones por persona como un estimador de calidad ambiental, Y el PIB per cápita, y ε el término de error arbitrario. Por otro lado, i es el indicador de país o región y t es el indicador de tiempo.

4.4. Estado actual de la Eficiencia Energética Mundial y su proyección

Una mayor productividad en el uso energético, o lo que es lo mismo, una reducción en la intensidad energética en la producción económica, ha reducido el volumen total de energía demandada para el mismo nivel de producción. Junto con esta mejora de intensidad energética, el aumento en el uso de fuentes energéticas limpias ha supuesto el freno en las emisiones de CO₂. Las primeras estimaciones muestran que la intensidad energética disminuyó en 2015 un 1.8 % (IEA, 2018).

La reducción en la Intensidad Energética superior a la media en 2015 que se observa en el Gráfico 3, es debida en gran medida a la disminución en la demanda de energía primaria en los principales países consumidores. La Intensidad Energética se redujo en más de 6% en China y más de un 3% en Estados Unidos. La demanda de energía primaria en China se redujo ligeramente en 2015, a pesar del fuerte aumento económico, lo que lleva a este año a ser el primero con una variación de demanda energética negativa. En Estados Unidos, se experimenta en esta misma época una tremenda caída en la demanda de energía primaria, como resultado de una mayor eficiencia en las plantas de generación energética de combustión de gas en comparación con los años anteriores.

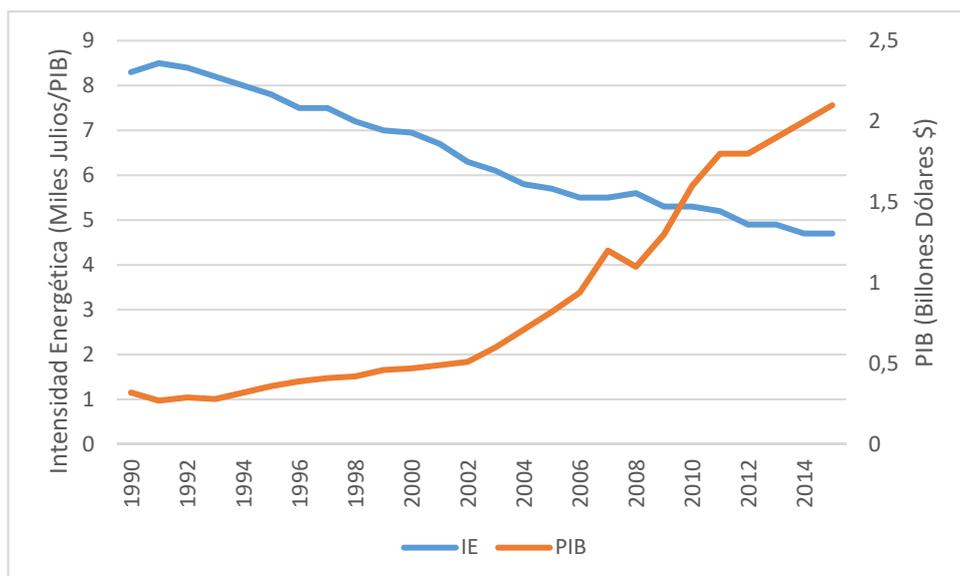
Gráfico 3. Evolución de las emisiones globales de CO2, Intensidades Energéticas y crecimiento económico.



FUENTE: elaboración propia a partir de (IEA, 2018)

Desde 1990, la mayoría de los países han sufrido una estrecha relación entre la Intensidad Energética y los ingresos (medidos en términos de PIB). Cada vez más, esta relación cambia de acuerdo con los niveles de ingresos: cuanto más rico es el país, mejor será la mejora de la Intensidad Energética respecto a los ingresos per cápita. Un ejemplo de ello se muestra en el Gráfico 4, en donde se compara la evolución del PIB y de la Intensidad Energética de la India.

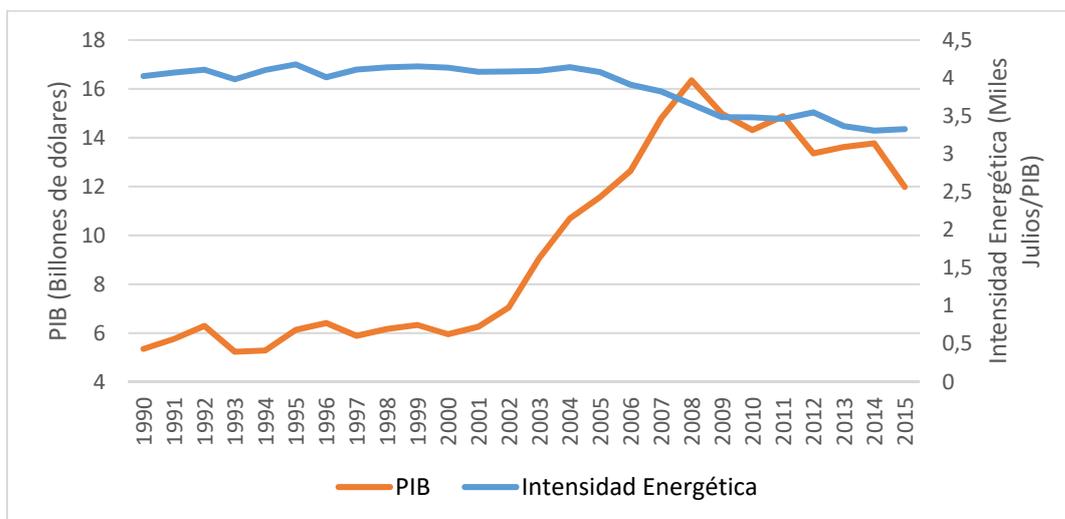
Gráfico 4. Variación del PIB y de la Intensidad energética en la India.



FUENTE: elaboración propia a partir de (World Bank, 2018)

Otro ejemplo que ilustra perfectamente lo expuesto, es el caso español. Como se aprecia en el Gráfico 5, la tendencia de la Intensidad energética mientras el PIB es relativamente constante (periodo 1990- 2001) también resulta constante, en torno a 4,2MJ/PIB. En el momento que se experimenta un aumento considerable del valor del PIB, como ocurre en 2002, automáticamente el valor de la Intensidad Energética comienza a decrecer, llegando a ponerse en 2015 un punto y medio por debajo.

Gráfico 5. Variación del PIB y de la Intensidad energética en la España.



FUENTE: elaboración propia a partir de (World Bank, 2018).

En otros lugares, como por ejemplo en Estados Unidos, la Intensidad Energética ha decrecido un 37% desde 1990, mientras que el PIB ha aumentado un 43%. Resultados similares ocurren en las demás grandes potencias económicas, como en China, en dónde la relación es de alrededor 0,1 (en India es de 0,2), lo que indica una más lenta reducción en la intensidad energética comparada con la de otros países.

De acuerdo con la Agencia Europea del Medioambiente (EIA, 2019), en la Unión Europea el crecimiento del PIB anual tiene un ratio de 2,2% en el periodo 1990-2002, mientras que el consumo de energía creció con un ratio anual del 0,5%. Esto se traduce en un decrecimiento de la intensidad energética en Europa en una ratio anual del 1,7%.

Siguiendo este informe (EIA, 2019), las regiones del sudeste Europeo, son ligeramente menos eficiente que la parte central y nórdica de Europa. De todas formas, si Europa es capaz de aprovechar el máximo potencial en términos de eficiencia energética en las siguientes décadas, el continente puede que no

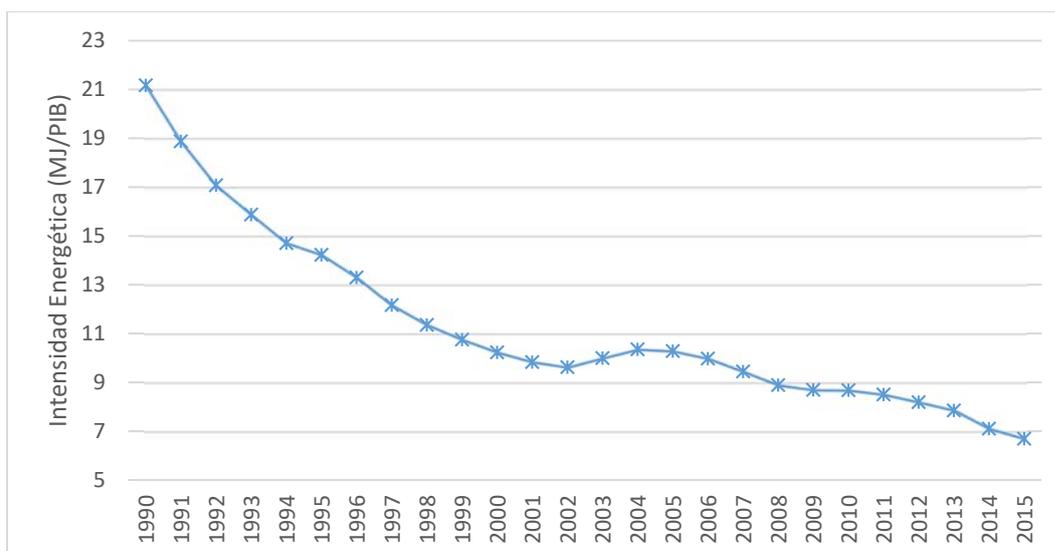
solo consiga un aumento de beneficio económico en términos de ahorro energético, sino también beneficios medioambientales para sus habitantes.

4.5. Políticas anunciadas o introducidas en relación a la Eficiencia Energética

Las políticas relacionadas con Intensidad Energética han aumentado su importancia en 2015 y 2016 (IEA, 2018). La Cumbre del Medioambiente de 2015 propició un importante impulso a la eficiencia energética puesto que alrededor de nueve de diez NDCs³ estaban relacionadas con la eficiencia energética. Además de estas NDCs, se ha llegado a varios acuerdos con relación a niveles internacionales desde 2015. Uno de los 169 objetivos de las Naciones Unidas es doblar la tasa de mejora en la intensidad energética global en 2030 en comparación con los datos históricos. El Ministerio de Energía Renovable ha emitido diversas campañas a nivel mundial, como por ejemplo el Desafío Mundial de la Luz, que persigue acumular ventas por un valor de 10 billones de productos de iluminación de alta eficiencia, como pueden ser los Diodos Emisores de Luz (LED). Como resultado de esta iniciativa, en 2015 la electricidad mundial consumida por tecnología LED ahorró alrededor de 100 Tera vatios-hora (TWh) (IEA, 2018).

China ha continuado sus esfuerzos destinados a la mejora de la eficiencia en el uso energético en su economía. Este país se ha marcado como objetivo conseguir una mejora de la intensidad energética del 15% en los próximos cinco años, objetivo ligeramente inferior al anterior, que se marcaba en 16% para los cinco años anteriores. El logro de estos esfuerzos se aprecia claramente en el Gráfico 6, en dónde se ve la tendencia que tiene desde 1990 la Intensidad Energética en este país.

³ Las contribuciones nacionales determinadas (NDCs, por sus siglas en inglés) son compromisos que los países miembros de la Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas sobre el cambio climático han aportado voluntariamente tras la firma del Acuerdo de París con el objetivo de reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Gráfico 6. Variación de la Intensidad Energética en China.

FUENTE: elaboración propia a partir de (World Bank, 2018).

En Estados Unidos, las regulaciones legales para fortalecer y expandir el estándar económico del petróleo para vehículos finalizaron en agosto de 2016. Con vistas a mejorar la eficiencia energética tanto en edificios como en la industria en general, la administración americana ha introducido nuevos estándares de rendimiento energético para aires acondicionados, calderas residenciales y bombas de agua, entre otros. Lo mismo ocurre en la Unión Europea, en dónde se han desarrollado estrategias para mejorar la eficiencia en los sistemas tanto de calefacción como de aire acondicionado.

En la siguiente tabla se muestran las políticas anunciadas e introducidas en distintas partes del Mundo. Como se puede apreciar, la mayoría de los países económicamente más fuertes ya están implantando medidas no solo con restricciones al uso energético, sino medidas que fomentan la mejora en términos de eficiencia energética.

Tabla 1. Políticas anunciadas o introducidas desde 2015 a 2018.

Región	Sector	Nuevas medidas políticas
China	General	Mejorar la Intensidad energética un 15% en el 2020 comparado con 2015.
	Industria	Cierre planeado de 100Mt de capacidad ineficiente de acero en cinco años.
Estados Unidos	Edificios	Estándares de conservación energética para aires acondicionados, bombas caloríficas y baterías recargables.
	Industria	Introducción de estándares de conservación energética en las bombas hidráulicas.
Oriente Medio	Edificios	En Dubai: introducción de un ranking de Eficiencia Energética de edificios.
India	Transporte	Implementar la “tasa verde” ⁴ de un 2.5% para coches diésel y un 4% para grandes vehículos y SUVs.
Latino-América	General	<i>México:</i> ley de transición energética para establecer una meta eficiente. <i>Brasil:</i> Incremento en el presupuesto destinado a al Programa de Conservación Nacional de la Energía. <i>Uruguay:</i> Implementación del Plan Nacional para la Eficiencia Energética con el objetivo de salvar 1.69MTon.
	Edificios	Instalación de LEDs en la iluminación pública en Rio de Janeiro.
Sudeste Asiático	General	Plan de Eficiencia Energética y Conservación para reducir la intensidad energética un 40% desde 2005 hasta 2030.
	Edificios	Aprobación de niveles en relación a la eficiencia de los refrigeradores y aires acondicionados.
Japón	Edificios	Estándares obligatorios de eficiencia energética para los nuevos edificios desde 2017. Eliminación paulatina de bombillas incandescentes.
Canadá	Edificios	Fortalecer y actualizar los códigos de energía para edificios.

Fuente: (IEA, 2018)

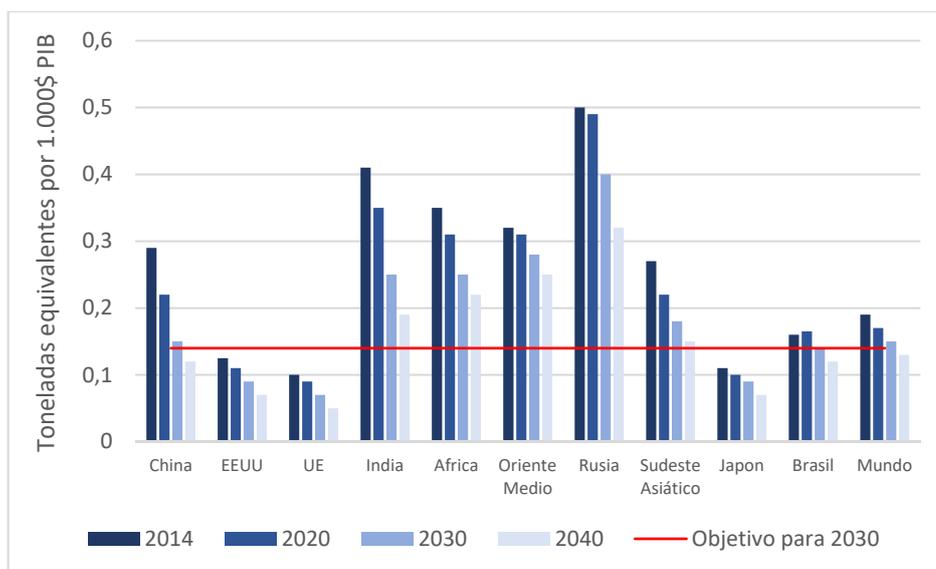
⁴ Tasa Verde: Tasa que debe ser pagada por productos o servicios que se consideran perjudiciales para el medio ambiente. Como propósito general, estas tasas tienen el de persuadir de utilizar productos o servicios nocivos para el medioambiente.

4.6. Perspectivas sobre la Eficiencia Energética

La eficiencia energética juega un papel clave en las nuevas políticas como hemos visto en el apartado anterior, cuya intención última es la de mitigar el incremento de consumo energético. Sin los niveles de mejora de la eficiencia energética mundial, el consumo energético se incrementaría cada año en más de 140MTon (alrededor del consumo energético de un País como Francia) desde hoy hasta 2040. En los países pertenecientes a la OECD, los ahorros relacionados con la eficiencia energética, expresados como un porcentaje del consumo final de energía (27%), son por lo general más altos en 2040 que los países ajenos a la OECD (20%), como resultado de las políticas establecidas para la mejora de la eficiencia energética (BP, 2018).

Los cambios en la estructura económica, entendida como el conjunto de sectores que crean valor, afectan al consumo energético puesto que los diferentes sectores dependen de la energía en diferentes grados. Por ejemplo, el sector industrial de media es siete veces más intensivo en el uso de energía que el sector servicios, por lo que un cambio en la legislación energética le afectará con más grado.

En el nuevo escenario que nos plantean las políticas, todas las regiones mundiales consiguen una mejora notable en las Intensidades Energéticas (Gráfico 7). Lo más llamativo de este análisis resulta en China, en dónde está previsto una mejora en la intensidad energética del 3.5% anual en el periodo 2014-2040, seguido por la India, con una tasa de mejora del 3% anual. A nivel mundial, la intensidad energética se reduce en más de un 60% para 2040 en comparación con 2014, pero aun así no alcanza la meta marcada por la ONU para el año 2030. El objetivo es una tasa de mejora anual del 2.1% en el periodo 2010 - 2030, mientras que en este nuevo escenario se encuentra una mejora del 1.9% anual en el mismo periodo (ONU, 2018).

Gráfico 7. Intensidad Energética en el nuevo escenario político.

FUENTE: elaboración propia a partir de (IEA, 2018).

De acuerdo con las metas internacionales sobre el cambio climático que pretenden llegar a un límite en el aumento de la temperatura media máxima de 2°C para 2100 (escenario 450)⁵, la intensidad energética global debería mejorar con una tasa anual del 2.5% hasta el 2040. Comparando con lo visto anteriormente, esta tasa es más de un tercio más rápida que la prevista con las nuevas políticas, lo que sugiere que, llegados a este punto, aún no se han alcanzado políticas suficientes para la mejora de Intensidad Energética.

⁵ Cada año, la Agencia Internacional de la Energía plantea un escenario futuro (denominado escenario 450) que establece un camino para el sector energético que es consistente con tener un 50% de probabilidades de limitar el aumento de temperatura global a menos de dos grados centígrados (IEA, 2019)

5. TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Los procesos realizados por el ser humano, entendiéndose la industria como uno de ellos, son inseparables de las cuestiones medioambientales. Tras reconocer que los problemas ambientales dependen estrechamente del modo de desarrollo social, el camino a seguir tanto de los estudios teóricos como de nuevas propuestas estratégicas es diseñar un futuro sostenible tanto para la producción de bienes y servicios requeridos por la sociedad, como para un desarrollo y mantenimiento del medio ambiente (Herrero, 2017).

En este capítulo se estudiarán los métodos tradicionales de obtención de energía así como su repercusión medioambiental, y se propondrán posibles escenarios futuros en la demanda y obtención de la misma.

5.1. El desarrollo sostenible

El *desarrollo sostenible* como su propio nombre indica, se basa en la *sostenibilidad*, en dónde se debe enmarcar toda estrategia económica y social actual. El origen de este término tiene su fundamento en el siglo XX al evaluar las consecuencias medioambientales derivadas de la acción humana. Este conflicto no surge en este momento, pero sí la valoración de futuras consecuencias, en dónde se cuestiona la supervivencia humana. (Gutiérrez, 2018)

La creación en 1983 de la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente por las Naciones Unidas, refleja la preocupación existente a nivel mundial por la relación entre el desarrollo económico de una sociedad y el medio ambiente. Esta comisión fue integrada por personalidades del ámbito científico, político y social. El primer director de la Comisión, Gró Harlem Brundtland, en esos momentos también primer ministro de Noruega, era conocido por sus actuaciones en temas medioambientales. La primera función de la Comisión fue dar respuesta a las inquietudes existentes en el momento:

- Formulación de objetivos en torno a temas de desarrollo y medio ambiente
- Nuevas formas de cooperación internacional capaces de tener la suficiente influencia para lograr los objetivos señalados.
- Promover el compromiso internacional con los objetivos propuestos por parte de individuos, organizaciones, empresas y gobiernos.

La introducción del término *desarrollo sostenible* se encuentra en el primer informe publicado en 1987 por la Comisión conocido como Informe Brundtland. En este informe, se expone que: “*Está en manos de la humanidad asegurar*

que el desarrollo sea sostenible, es decir, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (UNITED NATIONS, 1987).

5.1.1. Antecedentes que dan lugar al Desarrollo Sostenible

Frente a lo que comúnmente se piensa, las acciones del ser humano que deterioran el entorno se remontan antes incluso de que surgiera la actividad económica o industria. En la etapa prehistórica, cuando el ser humano era un simple cazador o recolector, depositaban todos los residuos generados o bien en el interior de las cavernas o bien en los alrededores. Cuando este territorio, o el bosque resultaba muy afectado por los residuos, o escaseaban los frutos o caza, se desplazaban a otro emplazamiento. (Gutiérrez, 2018)

La actividad económica entendida como el intercambio de bienes, se realiza no solo para satisfacer las necesidades como hasta el momento, sino con el objetivo de intercambio, empleando así mayor número de recursos naturales y generando un mayor número de residuos. La Revolución Industrial del siglo XVIII acelera notablemente el consumo excesivo de algunos recursos y energía. A principios del siglo XIX, Thomas Malthus⁶ predijo un escenario catastrófico sobre el tema de la alimentación humana. Analizando las estadísticas de crecimiento de la población mundial predijo un futuro en donde el ser humano excedería la capacidad del suelo para producir alimento (Malthus, 1798). La solución hasta este momento que se encontró a la escasez de ciertos recursos como por ejemplo el carbón o el propio rendimiento del suelo, fue la misma que la de nuestros antepasados, desplazarnos a otros territorios. El resultado fue la expansión del sistema colonial que alcanzará prácticamente todo el planeta a principios del siglo XX. Esto, desemboca en una preocupación de los científicos de todo el mundo que culmina con la consideración de la ecología como ciencia.

Las primeras simulaciones de posibles futuros se desarrollan en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en el año 1972, en donde se expone un escenario hasta el año 2100 según el crecimiento económico y social hasta la fecha, revelando así severos problemas de contaminación, eliminación de tierras fértiles y graves problemas de recursos energéticos. Un segundo hecho crucial en el desarrollo del concepto de desarrollo sostenible, es la Conferencia de Naciones Unidas, celebrada en Estocolmo en 1971. En ella, se proclama

⁶ La teoría Malthusiana prevé un escenario futuro en donde el crecimiento de la población sigue una progresión exponencial o geométrica, mientras que la producción de alimentos sigue una progresión aritmética, lo que desemboca primero en una situación de pobreza, y posteriormente, en la extinción de la especie humana.

que el ser humano es a la vez obra y artífice del medio que le rodea, dejando así al mismo como principal responsable de su entorno.

Estos dos hechos, unidos a las graves crisis energéticas producidas en 1973 y 1979, además de varias publicaciones que impactan notablemente en la opinión pública en las décadas de los años 60 y 70, conducen a constituir la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo, y con ello la elaboración del “Informe Brundland” (Gutiérrez, 2018).

5.2. Síntomas y desequilibrios actuales del medio ambiente

Como expone el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA), al comienzo del siglo XXI la situación medioambiental sigue su camino de deterioro en todo el mundo, puesto que los problemas ambientales siguen estando ligados a nuestra actividad socio-económica (CDS, 1997).

Según los datos presentados en este informe, la diversidad biológica sigue disminuyendo, a consecuencia del empeoramiento de las condiciones en hábitats naturales, y, sobre todo, de los ecosistemas montañosos. A nivel mundial, existe una insostenibilidad energética, debido al uso exhaustivo de recursos renovables, a un ritmo mayor que el de su renovación. De esta forma, el nivel de contaminación aumenta debido a la ineficiencia en el uso de la energía. Las emisiones a la atmósfera de contaminantes, gases de efecto invernadero, y el número de desechos contaminantes siguen aumentando, ya que el avance en temas relacionados con la gestión ecológica de los contaminantes es escaso. En este sentido, los efectos causados en el medio natural y social son muy significativos como se muestran a continuación (IPCC, 2014), (Naciones Unidas, 2012), (PNUMA, 2012), (WWF, 2016):

- **Desequilibrios biogeoquímicos planetarios:** el equilibrio del sistema global Tierra se ve afectado por las variaciones en los ciclos biogeoquímicos que regulan la dinámica entre biosfera y geosfera.
- **Alteración del sistema climático:** el equilibrio natural se ve gravemente afectado debido al calentamiento global derivado del conocido Efecto Invernadero estrechamente ligado a la acción humana. Si la tendencia continúa así, resultarían catastróficas las consecuencias ecológicas y socioeconómicas (el 30% de la población mundial habita en torno a cuencas fluviales, y el 60% en costas marítimas, viéndose afectados por el aumento del nivel marítimo).
- **Agotamiento de la capa de ozono:** la destrucción de la capa de ozono se debe a la actuación del hombre con el uso de productos químicos, especialmente los clorofluorocarbonos, (CFC). El deterioro de la capa de

ozono afectaría a la vida humana peligrosamente, aumentando las radiaciones UV-B del Sol, causando cáncer de piel, cataratas, incluso impidiendo el crecimiento de las plantas. Tras las medidas tomadas en este aspecto, la capa de ozono puede recuperarse y alcanzar niveles anteriores a 1980 dentro de al menos 50 años.

- **Contaminación de la atmósfera:** problema a nivel global, influyendo negativamente en la salud humana, vegetación y en diversos materiales. El ejemplo de las “lluvias ácidas”, muestra cómo se afecta directamente a los bosques y al suelo que contamina. La contaminación atmosférica es la causante de siete millones de muertes al año.
- **Pérdida de biodiversidad:** lejos de solucionar el problema de deterioro de biodiversidad, se sigue reduciendo de forma notablemente peligrosa la variabilidad genética de muchas especies y ecosistemas, disminuyendo sus posibilidades de adaptación. Se estima que en los próximos 40 años, desaparezca la cuarta parte de las especies que hay actualmente en la Tierra. Este deterioro se manifiesta en:
 - El 85% de las poblaciones mundiales de peces se encuentran sobreexplotadas, agotadas, en recuperación o plenamente explotadas.
 - El Índice de Planeta Vivo (IPV⁷) muestra que entre 1970 y 2012 la abundancia de poblaciones de vertebrados sufrió una disminución del 58%.
 - El 75% de los alimentos mundiales provienen exclusivamente de doce plantas y cinco especies animales.
- **Deforestación:** Cada año se pierden alrededor de 5,2 millones de hectáreas de bosque, y la degradación de las zonas más áridas ha sido la causa de la desertificación de 3.600 millones de hectáreas. La deforestación actual es debida al aumento de las tierras agrícolas, la tala y la sobreexplotación de leña, la contaminación atmosférica y la acidificación del suelo y agua. Actualmente el 30% de la superficie terrestre está cubierta por bosques, que son imprescindibles para combatir el cambio climático. Se ha perdido ya el 53% de la cubierta vegetal en todo el planeta.
- **Erosión y desertificación:** La acción humana es la causante principal de la degradación del suelo, la cual se divide en actividades industriales, pastoreo excesivo, deforestación, mala ordenación del suelo, y sobreexplotación. Las más afectadas son las tierras secas, que cubren

⁷ IPV: El Índice de Planeta Vivo mide las tendencias globales de miles de poblaciones de animales vertebrados.

casi la mitad de las tierras del mundo. Se calcula que la pérdida de tierra fértil se ha elevado entre 30 y 35 veces la tasa histórica.

Mientras que los puntos anteriores pueden atribuirse a un deterioro del ecosistema, también aparecen graves transformaciones en el ambiente social. Por ejemplo, cuando un país experimenta un rápido crecimiento económico y urbanístico, a su vez registra un aumento en la contaminación atmosférica y en el agua, repercutiendo así a la salud. La lluvia ácida y la contaminación atmosférica, anteriormente considerados como contaminación del mundo industrializado, se están convirtiendo en problemas de países en vías de desarrollo.

Teniendo en cuenta la situación ambiental global descrita, a finales del siglo pasado, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 1997) planteaba una serie de prioridades de actuación en función de los problemas medioambientales de cada zona del planeta que siguen siendo válidas en la actualidad, siendo más necesarias que antes dado que los problemas descritos no solo no se han solucionado, sino que, en muchos casos, se han agravado:

- *África y países asiáticos de baja renta per cápita:* asegurar la alimentación y reducir la pobreza.
- *Europa:* reducir la contaminación transfronteriza, evitar el desarrollo insostenible y sobreconsumo.
- *Sudamérica:* detener la degradación del ecosistema y la gran pérdida de biodiversidad. Reducir la alta contaminación urbana y degradación de la tierra.
- *Norteamérica:* reducir los riesgos ambientales para la salud humana, evitar el desarrollo insostenible y sobreconsumo.
- *Mercados emergentes del este de Europa:* estabilizar el aumento de la demanda energética, reducir los niveles de contaminación y emisiones de gases causantes de efecto invernadero.

En los últimos informes del PNUMA (PNUMA, 2012), se confirma el grave deterioro medioambiental a nivel mundial y la necesidad de reforzar las órdenes de actuación determinadas. Europa y América del Norte mantienen un nivel de consumo insostenible frenándose incluso en América del Norte el crecimiento de la industria de las energías renovables. En África, Asia y América Latina es un grave problema el crecimiento de la población y el aumento por consiguiente del consumo. Además, en Asia se ve agravado este problema debido al rápido proceso de urbanización, que provoca un mayor uso de recursos naturales (PNUMA, 2012).

En la Tabla 2, se observan las tendencias medioambientales separadas por regiones de finales del siglo XX, aplicables a principios del siglo XXI. Los indicadores de Asia, Latino-América y Oriente Próximo muestran el incremento en prácticamente todo tipo de contaminación y deterioro ambiental, pero lo más alarmante, es que únicamente un solo indicador de toda la tabla, la degradación del suelo en Norte-América, muestra una tendencia de decremento en dicha degradación. Por otro lado, pese a no existir una mejora notable, se puede decir que las políticas ambientales tomadas tanto en Europa como en Norte-América han logrado paralizar el deterioro y contaminación, lo que se espera que en un futuro cercano comiencen las mejoras ambientales de estas regiones.

Tabla 2. Tendencias ambientales por regiones.

	África	Asia	Europa	Latino-América	Norte-América	Oriente Próximo	Ártico /Antártico
Suelo: degradación	+	+	=	+	-	+	=
Bosques: pérdida, degradación	+	+	=	+	=	+	*
Biodiversidad: pérdida, fragmentación de los hábitats	+	+	+	+	=	+	=
Agua: escasez, polución	+	+	=	+	=	+	=
Zonas marítimas costeras	=	+	+	+	=	+	=
Atmósfera: polución	=	+	=	+	=	=	=
Industria: contaminación, residuos	=	+	=	+	=	+	*

+ Incremento; - Decremento; = Mantenimiento relativamente estable; * no conocido

FUENTE: PNUMA (1997,2000)

5.3. Evolución del consumo mundial

Los síntomas y desequilibrios nombrados en el apartado anterior, así como la situación medioambiental global descrita, están íntimamente ligados al consumo global de materia prima y uso de la energía y por consiguiente, al desarrollo económico de cualquier sociedad.

El desarrollo económico no se entiende si no es ligado con las actividades de producción y consumo, además de la inversión y comercio exterior. La economía transforma recursos naturales en bienes y servicios que finalmente se convertirán en residuos produciendo degradación del medio ambiente. Tradicionalmente, el crecimiento económico iba ligado a un mayor uso de recursos, sin embargo, ahora se observa un aumento en la eficacia de los

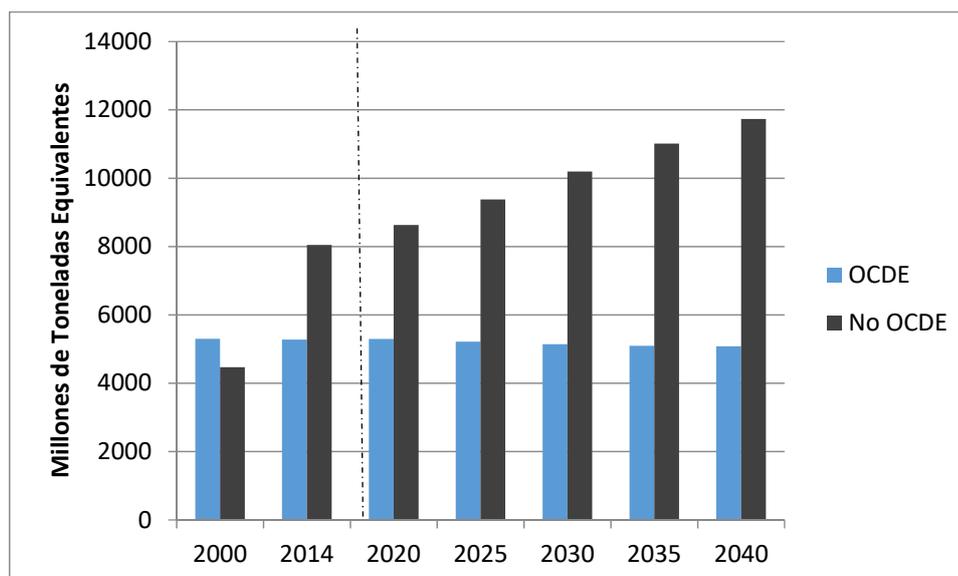
procesos, reduciendo notablemente el uso de recursos y, por lo tanto, reduciendo la contaminación generada y el impacto ambiental. (Herrero, 2017)

5.3.1. Consumo asimétrico de recursos naturales

Para conseguir llegar a unas estrategias que permitan un desarrollo sostenible hay que hacer un análisis previo del modelo de producción y consumo para comprender la situación actual. Con el siguiente repaso de consumo de los principales recursos naturales se tratará de ver su evolución y las diferencias en las tendencias de consumo entre los diferentes países.

Pese al aumento del consumo por parte de los países en desarrollo, sigue existiendo una elevada diferencia en la tendencia del consumo energético primario entre países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y desarrollo Económico (OCDE) y el resto del mundo como se aprecia en el Gráfico 8.

Gráfico 8. Evolución y proyección del consumo de energía primaria en la OCDE y Resto del Mundo.

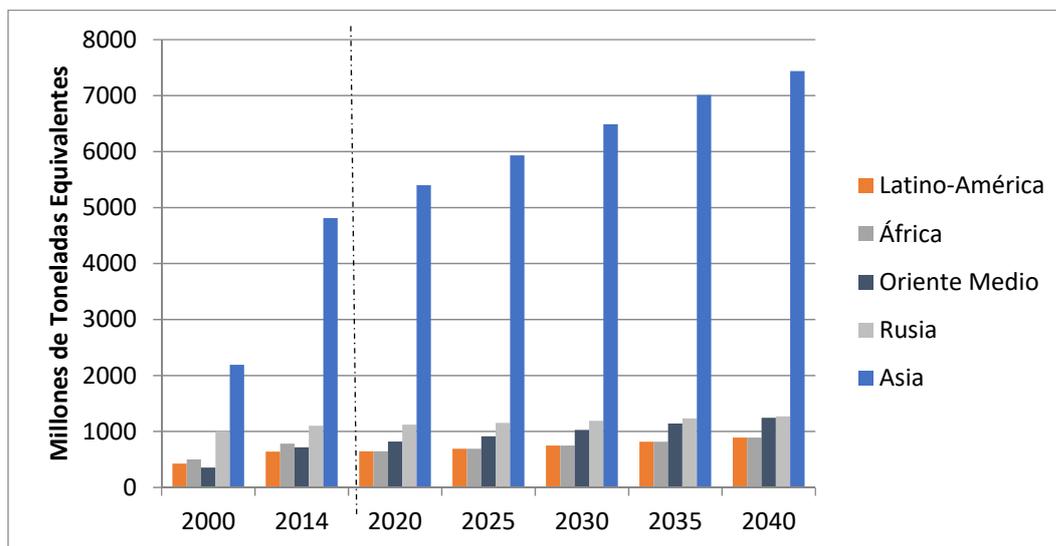


FUENTE: elaboración propia a partir de (IEA, 2018)

Gracias a una mayor eficiencia en la industria, se aprecia una estabilización en el consumo de ciertos materiales en países industrializados. Esta eficiencia ha permitido reducir las tasas de crecimiento en la demanda de energía, metales y minerales. Pese a este avance en la eficiencia, el aumento del volumen de la actividad económica ha contrarrestado estos avances, y por ello no se produce una reducción en el consumo, pero sí produce el estancamiento del consumo energético.

Contrario a lo que ocurre en países miembros de la OCDE, los países que no tienen una legislación restrictiva relacionada con el uso energético y emisiones contaminantes, siguen en aumento en el uso de la energía como muestra el Gráfico 9.

Gráfico 9. Evolución y consumo de energía primaria en países no pertenecientes a la OCDE.



FUENTE: elaboración propia a partir de (IEA, 2018).

El consumo energético de Asia es 1,67 veces más alto que el conjunto de países fuera de la OCDE en el año 2014, mientras que, según el escenario descrito por el IEA, en el año 2040 esta diferencia ascenderá a 1,73 veces. Estos datos se traducen en que en el año 2014 Asia demandó el 36,1% de toda la energía mundial, mientras que la previsión para 2040 el porcentaje asiático asciende al 44,24%.

Fijándose en los países en vías de desarrollo, se observa que tienen un mayor consumo, que se deriva de sus crecientes necesidades. Pese a un ritmo elevado de industrialización, sus niveles de consumo iniciales son muy bajos, por lo que las desigualdades con los países más desarrollados siguen siendo muy elevadas. En estos países en los que ha surgido un aumento industrial, se les denomina “semiindustrializados” o “recién industrializados” y en ellos aumenta la población que logran llegar a lo que se denomina consumo moderno, entrando así en una clase social de ingresos equivalente a los países desarrollados. Las actuales preocupaciones surgen en base a estos países en desarrollo industrial, puesto que puedan continuar su desarrollo según la tendencia actual, consumiendo recursos y contaminando (Myers, 1997).

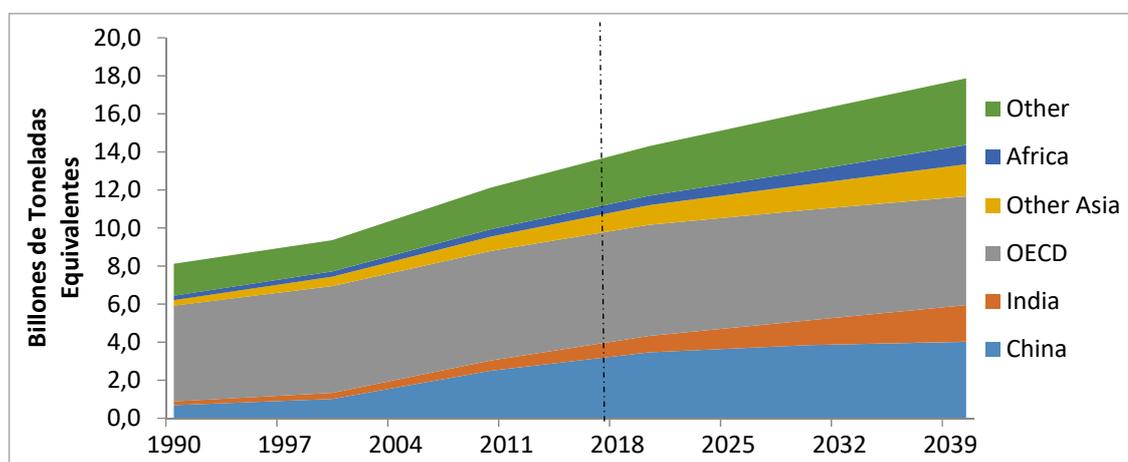
Es obvio que el aumento del consumo de recursos a nivel mundial es beneficioso para el desarrollo de la sociedad, pero cabe destacar que debido a su mala distribución y su excesivo uso producen efectos perjudiciales que pueden llegar a ser irreversibles en el medio ambiente, siendo los países industrializados y desarrollados los que más sufren estos problemas ambientales.

5.3.2. Evolución del consumo de la Energía

El aumento de la actividad económica mundial conlleva el incremento del uso de recursos. El aumento porcentual de consumo global de energía desde el año 1990 hasta 2010 ha sido de un 42% pese a las importantes mejoras en el área de la eficiencia energética. (Herrero, 2017)

Como muestran los datos proporcionados por el informe Energy Outlook de 2018 realizado por BP, la demanda energética continuará aumentando en los próximos veinte años. En el año 2035 se prevé un aumento de la demanda energética mundial del 34%, a un ritmo de 1,4% anual. Este aumento en la demanda, no se realiza de forma homogénea con todas las formas energéticas, pues existe un aumento del uso de combustibles con bajo peso en carbono. Como se aprecia en los datos, todo el crecimiento de la demanda pertenece a países no miembros de la OECD.

Gráfico 10. Demanda energética por regiones.

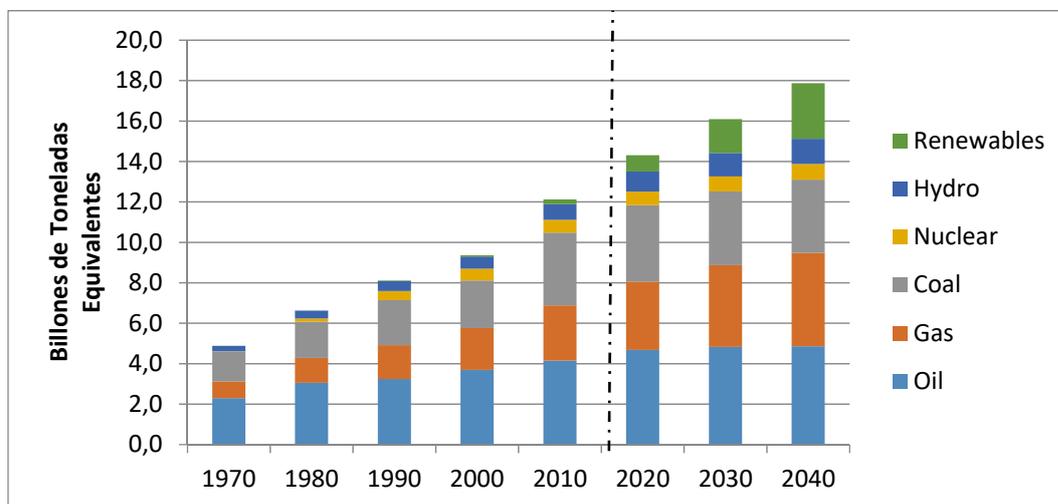


FUENTE: elaboración propia a partir de (BP, 2018)

Hasta nuestros días, una gran proporción de la energía utilizada ha sido proveniente de hidrocarburos o combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Los hidrocarburos mueven la industria y la agricultura proveyendo tanto combustible como componentes. El consumo global de energía en 2018 asciende a 11,8 billones de toneladas equivalentes de energía, de las cuales el 78% provienen de los hidrocarburos (IEA, 2018). Varios indicadores aclaran

que a partir del 2030 el mundo energético será significativamente diferente a lo que conocemos actualmente (Zillman, y otros, 2008).

Gráfico 11. Consumo de energía primaria por tipo de combustible.



FUENTE: elaboración propia a partir de (BP, 2018)

Pese al aumento observable de las formas energéticas renovables, las fuentes procedentes de hidrocarburos seguirán siendo predominantes en los siguientes años.

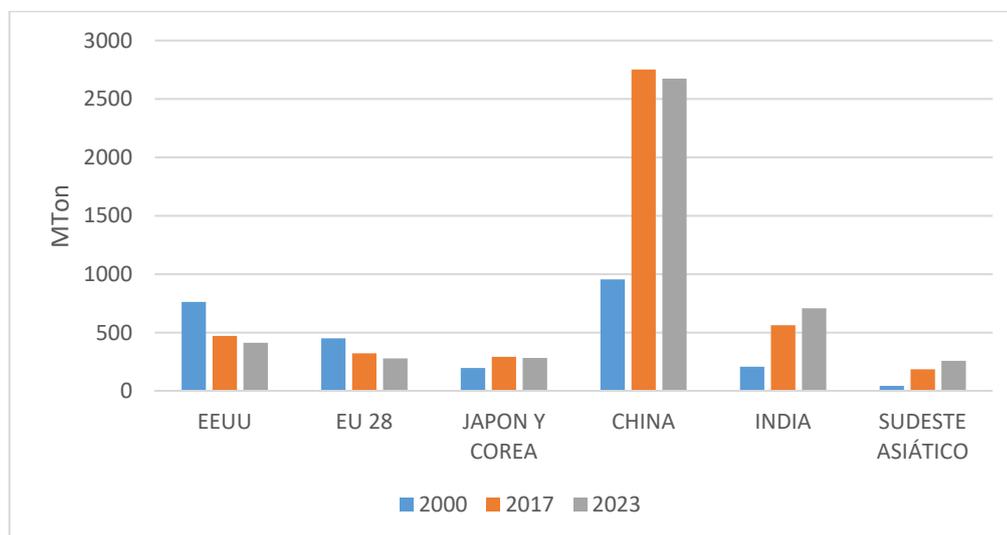
5.3.3. Consumo e impacto del carbón

Debido a las regulaciones existentes en países pertenecientes a Estados Unidos y Europa, la demanda de carbón disminuye, pese a ser países altamente industrializados. Por otro lado, el dato más llamativo se encuentra en China en el año 2017, en donde aumenta la demanda de carbono en un 288,17% respecto del año 2000. Una de las principales razones de este gran crecimiento es el aumento en el PIB del país, el cual aumenta un 1010,73% en este periodo de tiempo según datos del Banco Mundial (World Bank, 2018). La predicción que realiza la Agencia Internacional de Energía (IEA) para el año 2023 para Estados Unidos, Europa y Japón es una reducción en la demanda del carbón, en China después del gran aumento industrial que ha tenido lugar se consigue estabilizar en los siguientes años, y en países de la India o el sudeste asiático sigue aumentando ligeramente, lo que indica que son países en pleno desarrollo industrial.

Pese a ver en el Gráfico 12 los grandes aumentos que existen en ciertos países sobre la demanda de carbón, en los datos mundiales de demanda, vemos no solo una estabilización de la misma desde el año 2015, sino que como se aprecia en el Gráfico 13, las predicciones realizadas en 2018 para los

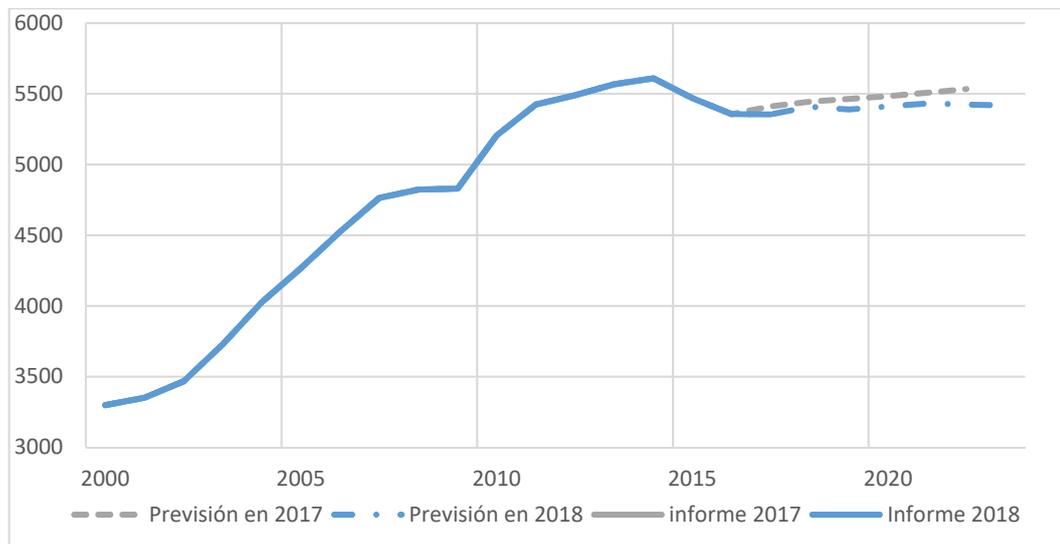
siguientes años son más optimistas que las realizadas el año anterior, lo que nos hace prever que cada vez más medidas restrictivas son tomadas con relación al uso del carbón.

Gráfico 12. Demanda de carbón en los años 2000 y 2017, y predicción para 2023.



FUENTE: elaboración propia a partir de (IEA, 2018)

Gráfico 13. Evolución y predicción de la demanda mundial de carbón.

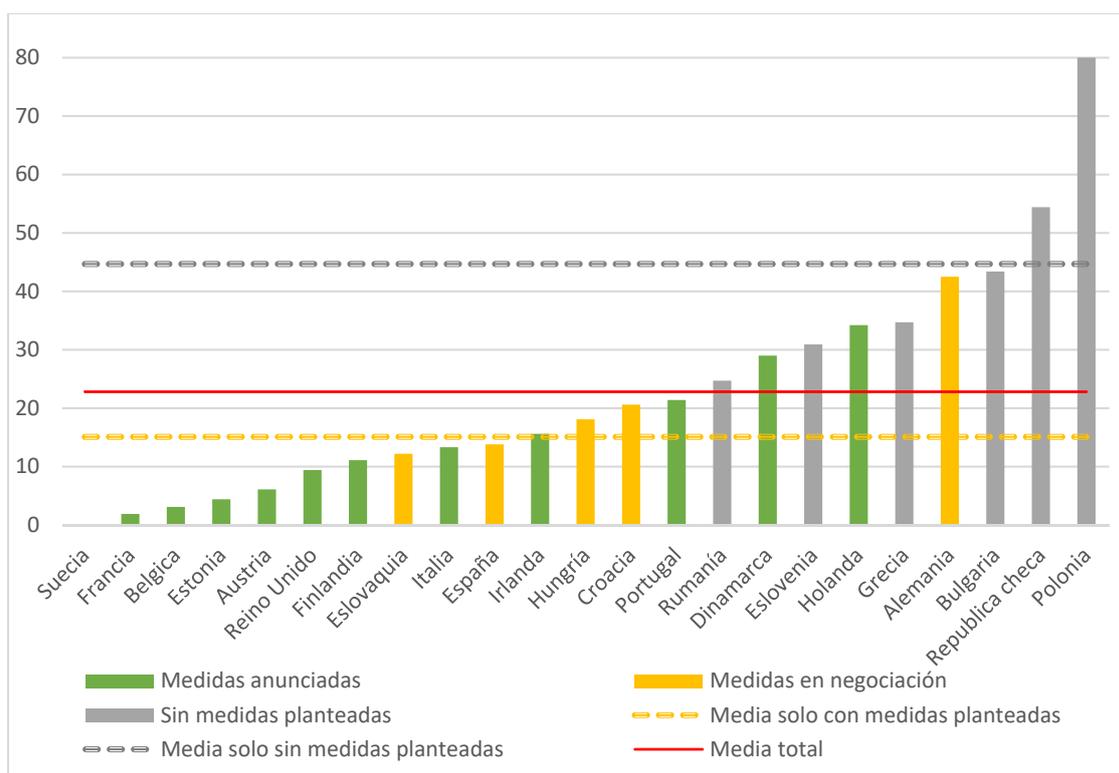


FUENTE: Elaboración propia a partir de (IEA, 2018)

Por último, resulta interesante ver las grandes diferencias que existen dentro de Europa en relación a la generación de energía a partir de la combustión de carbón (Gráfico 14). Podemos dividir Europa en dos partes, Europa Occidental y Europa del Este. La diferencia entre el porcentaje de generación energética a partir del carbón entre las dos es muy notable. Frente a una media de 15,1%

de los países que han establecido o están en proceso de establecer medidas restrictivas al carbón, los países que aún no se han planteado estas medidas tienen una media de 44,7% de energía generada gracias a la combustión del carbón. Todo apunta a que países como Polonia o República Checa acaben tomando medidas contra el uso del carbón, reduciendo así notablemente la media europea en generación de energía por combustión de carbón, y reduciendo así la demanda europea y, por consiguiente, la demanda mundial de carbón.

Gráfico 14. Porcentaje de energía generada a partir del carbón en Europa.



FUENTE: Elaboración propia a partir de (IEA, 2018)

De todos los combustibles, el carbón es el que más impacto genera en el medio ambiente. Todas las fases del desarrollo del carbón y su uso tienen un impacto tanto a corto como largo plazo en la vida humana, sociedad, cambio climático...etc. Este impacto se ha magnificado por las enormes cantidades de carbón quemado cada año. En torno a un billón de toneladas en EEUU, y China, que quema más carbón que EEUU, UE y Japón juntos (Zillman, y otros, 2008).

La extracción de carbón tiene múltiples efectos en la vida humana, tierras cercanas, aguas superficiales, aguas subterráneas, en la atmósfera, el uso del suelo y en los modos de vida. La minería puede destruir el suelo orgánico, diezmar la forma del terreno, causar desprendimientos, contaminar las aguas tanto superficiales como subterráneas con sedimentos, solidos disueltos o

sustancias tóxicas. Pozos abiertos pueden generar polvo y problemas de contaminación atmosférica, exterminar peces y fauna, destruir los hábitats naturales y rutas de migración animal. Los residuos mineros abandonados pueden eliminar el valor económico y estético la zona. Millones de hectáreas utilizadas para la minería quedan abandonadas, incluso con regulaciones estrictas como la de EEUU.

5.3.4. Consumo e impacto del petróleo

Desde los años 50, el petróleo se ha convertido en la fuente energética más importante, con la capacidad energética más alta por unidad y su relativa abundancia. Actualmente el petróleo proporciona aproximadamente un 40% de la energía mundial, llegando a un 90% en el transporte (EIA, 2019). El 84% del petróleo extraído es procesado como combustible, mientras que el 14% restante es usado en la industria química. Por unidad energética, produce menos CO₂ que el carbón, sin embargo, cada fase del desarrollo del petróleo y su uso tienen, a corto y largo plazo, impactos bastante significantes en la salud humana, sociedad, aire, agua o tierras (Zillman, y otros, 2008).

La exploración de petróleo en aguas marinas utilizando tecnología sísmica⁸ puede dañar a ciertos animales marinos, afectando al hábitat y patrones migratorios. Lo mismo ocurre en la tierra, donde esta tecnología afecta al ecosistema, fauna, requiere construcción de carreteras y puede causar grandes choques culturales con la población indígena o nativa de la zona.

El transporte de petróleo puede tener aún mayor repercusión medioambiental, proveniente de la construcción de la línea de tuberías, de los derrames de tanques, o de su almacenamiento. Un ejemplo de estas construcciones de tuberías es el oleoducto Chad-Camerún, que consta con alrededor de 890Kms de longitud, y ha experimentado en su vida dos fugas de petróleo. Debido a su construcción y uso se han desarrollado diversos problemas medioambientales, llegando a afectar a una gran parte del arrecife marino de Kribi, Camerún (IFC, 2003).

El proceso actual de combustión de petróleo para producir energía es una de las principales causas de la contaminación atmosférica. Mientras que la generación de electricidad y la actividad industrial son parte del problema

⁸ La exploración sísmica es un proceso geofísico que permite determinar la profundidad, forma y disposición de cada capa terrestre mediante el uso de ondas acústicas producidas de forma artificial y refractándose en sensores (geófonos). Su finalidad es la de localizar rocas que almacenen hidrocarburos (petróleo y gas). Este método se utiliza tanto en un entorno terrestre como marítimo.

medioambiental, la mayoría de las emisiones provienen del sector del transporte.

5.3.5. Consumo e impacto del gas natural

Entre los combustibles fósiles podemos decir que el gas natural es el más “limpio”. A corto plazo es una posible mejora sobre el carbón y petróleo, pero no es una solución sostenible puesto que también presenta problemas relacionados con el cambio climático, la salud o con el medio ambiente. Actualmente, el gas natural proporciona alrededor del 24% de la energía mundial. Cerca de la mitad es utilizado en la industria para producir calor o como factor en productos (plásticos, químicos, fertilizantes, medicinas, explosivos...etc.) Otro cuarto restante es utilizado en viviendas, y el resto se divide entre su uso comercial o en un mercado actualmente en crecimiento para la generación eléctrica.

Los impactos del gas natural son similares a los producidos por la exploración, perforación, refinación y las fases de transporte del petróleo, y pese a que es un material explosivo, es más seguro que el petróleo.

Puesto que el gas natural es químicamente menos complejo y tiene menos impurezas en comparación con el carbón o el petróleo, sus emisiones son significativamente menores por unidad de energía producida.

5.4. Factores para pensar en una transición energética baja en carbono

Existen cinco factores claves para pensar en la sustitución del carbono. El primero es el cambio climático y otros daños medioambientales. La estrecha relación entre el cambio climático y el dióxido de carbono proveniente del uso de los combustibles fósiles está ahora reconocida por consensos científicos, como por ejemplo se recoge en el informe del IPCC (IPCC, 2007), donde se especifica que el cambio climático es una realidad, y la actividad humana, especialmente el uso de combustibles fósiles, es una causa directa. Los esfuerzos en esta área son importantes, como queda reflejado en el Protocolo de Kioto, en el cual se establecen límites para las emisiones (Zillman, y otros, 2008).

El segundo factor es el denominado “Seguridad Energética”. La provisión de suministro energético es una preocupación a nivel tanto gubernamental como de cada individuo de la sociedad. La inseguridad aparece por factores no solo económicos, sino también políticos o incluso naturales, que puedan interrumpir el suministro. En el “*World Energy Outlook 2006* “ (IEA, 2006) se subraya el

hecho de “la amenaza al mundo de la seguridad energética es real y está en crecimiento”. La mayoría de las reservas mundiales de petróleo se encuentran en el Medio Oriente en países que están afectados por inestabilidad política y guerras.

El tercer factor que nos hace buscar alternativas es el gran incremento en la demanda energética global. Este crecimiento incluye transporte a base de petróleo u hogares calentados con combustibles fósiles. El aumento de la demanda global de energía en un 50% en el 2030 tendrá consecuencias de seguridad energética y repercusiones en el medioambiente, sobre todo en el calentamiento global.

El mercado, la política y las restricciones institucionales deben ser considerados como la cuarta razón de la importancia de explorar una transición a una economía baja en carbono. Más que el problema de la escasez de reservas de petróleo, según el IEA, el gran problema es la gran magnitud de las investigaciones requeridas para mantener el nivel de facilidades actual de suministro energético en todos los sectores.

Por último, el quinto factor que nos hace plantearnos un futuro energético diferente se refiere a acceso a la energía. Un tercio de la población mundial tiene un acceso deficiente a servicios de energía modernos (IEA, 2018).

Estos cinco factores indican que el modelo económico energético actual, fuertemente dependiente de los combustibles fósiles, no es sostenible en un medio-largo plazo.

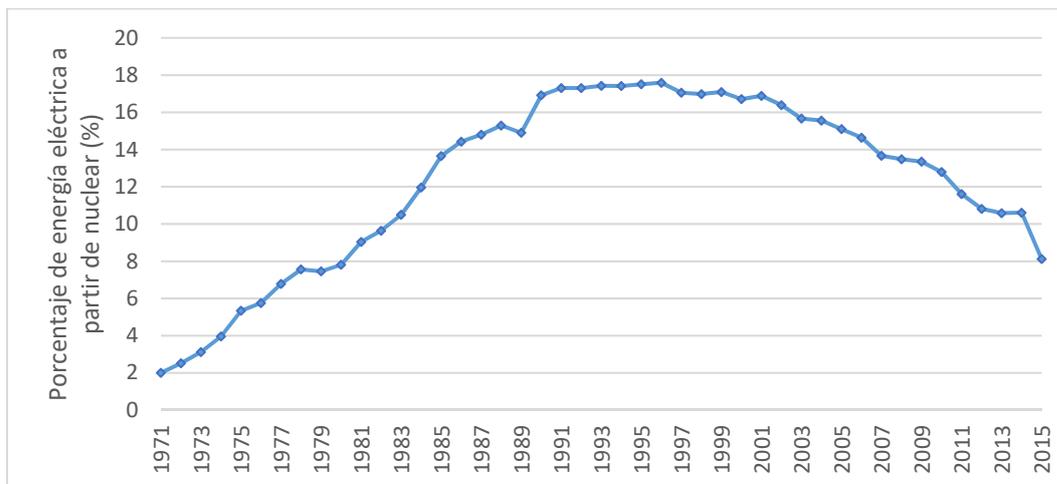
5.5. Alternativas energéticas

Por todo lo expuesto anteriormente, es clara la necesidad de buscar nuevas alternativas que sustituyan el uso de combustibles fósiles para la generación de energía, puesto que como se observa en el Gráfico 10, la demanda energética seguirá en aumento en los próximos años.

5.5.1. Energía Nuclear

La búsqueda de una energía libre de gases de efecto invernadero está renovando el interés en la energía nuclear, es decir, de la generación de electricidad a partir del calor proveniente de la fisión atómica. El uso de esta energía tuvo un gran éxito en el último decenio del siglo XX, pero con la entrada del siglo XXI su producción a nivel mundial comenzó una tendencia decreciente que continua hasta nuestros días como se observa en el Gráfico 15:

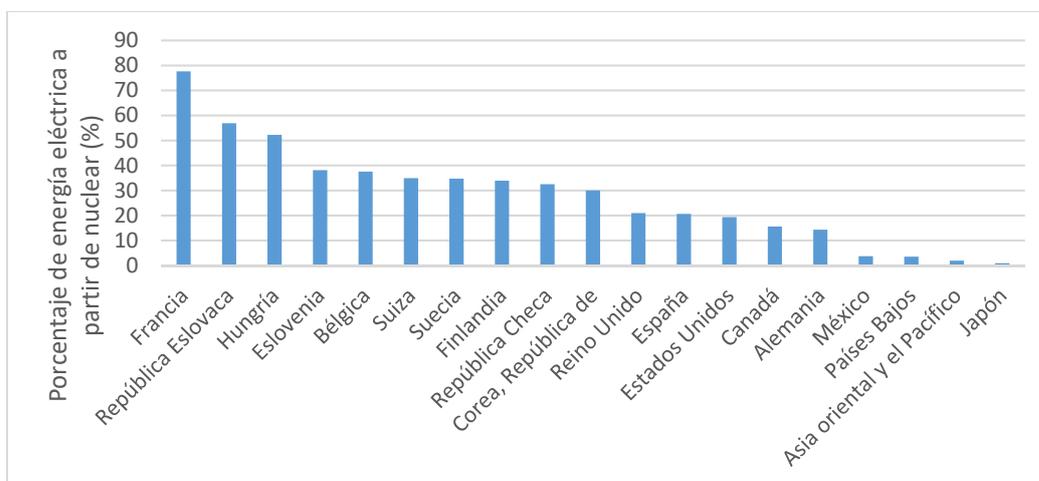
Gráfico 15. Producción eléctrica a partir de energía nuclear a nivel mundial en porcentaje.



FUENTE: elaboración propia a partir de (Banco Mundial, 2015)

Por otro lado, se observa una clara diferencia en su producción en los diferentes países del mundo como vemos en el Gráfico 16.

Gráfico 16. Producción eléctrica a partir de energía nuclear por países.

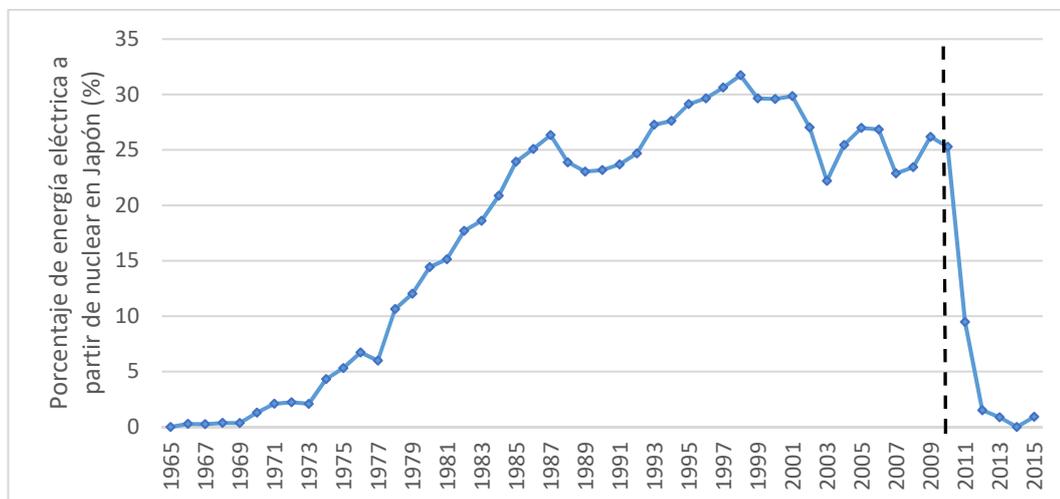


FUENTE: Elaboración propia a partir de (Banco Mundial, 2015).

Mientras que los países europeos como Francia con un 77,6% o Eslovaquia con un 56,87% de producción eléctrica mediante energía nuclear, llama la atención el nulo porcentaje de los países asiáticos que, como se ha descrito previamente, tienen un alto porcentaje de consumo energético a nivel mundial. Viendo las cifras del uso de energía nuclear de Japón (Gráfico 17) vemos un descenso de la producción nuclear desde un 25,3% en 2010 a un 1,5% en 2012. Esto se puede explicar por el accidente nuclear en Fukushima el 11 de marzo de 2011, por lo que el escaso uso de esta energía actualmente en estos

países se debe al miedo generado por los problemas que causan los incidentes nucleares.

Gráfico 17. Evolución de la producción de energía eléctrica a partir de energía nuclear en Japón



FUENTE: elaboración propia a partir de (Banco Mundial, 2015)

Existen riesgos únicos “nucleares” que no se encuentran con ninguna otra fuente de energía, entre los que se encuentran los riesgos para la salud humana, seguridad nacional y sobre todo los depósitos de residuos radiactivos. (Zillman, y otros, 2008)

El riesgo de un acontecimiento catastrófico puede ser mínimo, pero sus consecuencias son devastadoras, como se puede apreciar en el primer escape significativo de material radiactivo ocurrido en un reactor en 1957 en Windscale, en Inglaterra, y por supuesto, el gran desastre de 1986 en Chernóbil, en Ucrania. Los riesgos más presentes los encontramos en la radiactividad del aire y agua generada por las plantas, en donde aparentemente, en los alrededores de las plantas hay mayor riesgo de sufrir cáncer de mama y otras enfermedades relacionadas con la radiactividad.

El problema más importante y actual relacionado con la energía nuclear es la falta de métodos para la gestión de los residuos radiactivos generados en las plantas, residuos que continúan teniendo radiactividad durante cientos de miles de años. Las plantas generan dos tipos de basura, las llamadas de alto y de bajo nivel radiactivo. Por falta de un método apropiado de almacenamiento, actualmente los residuos radiactivos de alto nivel son almacenados en “piscinas” o contenedores de refrigeración, muchas de las veces dentro de las propias plantas, generando un alto peligro de catástrofe.

5.5.2. Biomasa

A lo largo de la mayoría de la historia de la humanidad, la quema de biomasa ha sido la primera fuente de energía. La biomasa se refiere a material vegetal, animal y otros desechos biodegradables. Hasta ahora, se trata sobre todo de madera, pero puede incluir gases o desechos vegetales, desechos de cultivos, estiércol animal o residuos de madera de la construcción. Todo esto puede ser quemado directamente o reconvertido en un combustible sólido, líquido o gas para producir calor o electricidad. Además, puede tener varios usos industriales, desde que muchos productos hasta ahora producidos con petróleo, pueden hacerse con biomasa, como pinturas, plásticos, adhesivos... etc.

Puesto que la biomasa contiene oxígeno, elemento que no se encuentra en los combustibles a base de petróleo, proporciona una mayor y completa combustión, además de reducir la contaminación atmosférica. Por ello se piensa en su uso en transporte.

Comparada con los combustibles fósiles, encontramos varios beneficios en su uso, como por ejemplo que genera menos contaminación en la atmósfera o en el agua. Desde un punto de vista del uso de la tierra, la biomasa proporciona una utilización eficiente de la tierra de cultivo inactiva, incrementando las cualidades del terreno y reduciendo la erosión. (IEA, 2006)

5.5.3. Energía Hidráulica

A diferencia de los combustibles fósiles, la energía hidráulica es considerada como una fuente de energía renovable limpia, que no genera residuos, no contamina el aire, tiene un bajo coste de operarla, una producción flexible... etc. Sin embargo, los impactos ambientales que generan las presas son muy peligrosos, modificando los ecosistemas, los bosques o áreas naturales. La fauna también sufre una gran amenaza, como barreras en las rutas migratorias, suponiendo una notable tasa de mortalidad para diversas especies de peces o pérdida del hábitat (Gonzalez, 2001).

Por otro lado, existe un problema de seguridad. La mayoría de las presas del mundo son antiguas, sobrepasando en varios casos su vida útil esperada. Muchos países no tienen un adecuado seguimiento del estado de las presas ni un plan para hacer frente a sus deterioros derivados de su uso.

5.5.4. Eólica

La energía eólica es la fuente energética que más rápido ha crecido en el mundo. Pese a que es la fuente con menor coste de las energías renovables,

sigue suponiendo un pequeño porcentaje en la fuente energética de la mayoría de países.

Los molinos eólicos transforman el viento directamente en energía mecánica. Las turbinas eólicas lo transforman en energía eléctrica. Este tipo de recurso tiene numerosas ventajas: su uso no utiliza agua, no emite contaminación, no genera desperdicios ni es peligroso para la seguridad humana. Las turbinas eólicas pueden ser construidas en menos de un año, y en su primer año de uso se cubre los costos energéticos necesarios para su producción.

El mayor problema que supone la creación de parques eólicos es la necesidad de utilizar una gran área de suelo, lo que supone un importante impacto en el entorno en dónde se extienden. Otro problema se encuentra en la localización de estos parques, puesto que generalmente los lugares dónde se encuentran los vientos más fuertes, es lejos del lugar de demanda de la energía, lo que supone la instalación de caras líneas para transmitir la energía, lo que hace que esta fuente energética tenga baja competitividad en costes a diferencia del resto.

5.5.5. Solar

Se trata de la forma energética más antigua de todas, utilizada por el ser humano durante miles de años. Esta energía puede ser convertida en calor y electricidad mediante una variedad de tecnologías ya desarrolladas. Los beneficios de usar esta fuente son varios. Es la fuente energética más limpia, es gratuita, inagotable, limpia, y libre de ruido. El uso de paneles solares no produce desechos, emisiones ni proporciona un riesgo para la salud. Se puede instalar cerca del lugar dónde se destine la electricidad, reduciéndose así infraestructuras, transporte o impactos procedentes de la construcción.

Su problema principal reside en el propio horario solar. Mientras que otras fuentes pueden estar trabajando durante 24h al día, esta fuente energética solamente está disponible durante el día. Las placas solares son bastante costosas y su producción contiene materiales tóxicos como por ejemplo el cadmio o el arsénico. Al igual que ocurre con la energía eólica, necesita una gran área para poder instalar un campo solar.

5.5.6. Geotérmica

La energía geotérmica tiene un gran potencial a la hora de proveer vapor, calor o electricidad. La primera vez que se utilizó este recurso para producir electricidad se remonta a 1903 en Italia, y hoy en día, es la tercera fuente energética renovable más usada, después de la hidráulica y de la biomasa. Es generada en más de veinte países, con China o Estados Unidos a la cabeza. En

países como por ejemplo Islandia llega a cubrir la mitad de la demanda eléctrica (Zillman, y otros, 2008).

La actual tecnología produce electricidad mediante la perforación y extracción de agua hirviendo y vapor para producir energía mediante turbinas. Esta fuente de energía se puede considerar relativamente limpia puesto que, si la comparamos con una planta equivalente de combustión de gas natural, emite solamente un sexto del CO₂ que la de gas natural y prácticamente nada de gases que contengan óxidos de nitrógeno (NO_x). Otras ventajas son que la energía geotérmica está en constante disposición, no requiere un sistema complejo de transporte, no necesita almacenamiento ni combustiones.

6. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE ECUACIONES PARA LA PROYECCIÓN DE CONSUMO E INTERCAMBIO INTERSECTORIAL

El objetivo último del TFG es la obtención de proyecciones futuras para los coeficientes técnicos (Matriz A) en el método Input - Output mundial, en función de la evolución de las Intensidades Energéticas. Este análisis se ha centrado en la autocorrelación de cada factor y en la relación de los cambios en los coeficientes técnicos con las variaciones en las intensidades energéticas.

6.1. Fuentes de datos utilizados

6.1.1. Base de datos WIOD

En el capítulo 3 se ha señalado que las tablas Input-Output son una de las herramientas más utilizadas a la hora de conocer las relaciones entre los sectores de cualquier sistema económico. En nuestro caso, trataremos la economía mundial como un sistema único, es decir, como un sistema aislado que depende de sí mismo sin relaciones comerciales con el exterior.

Esto es así puesto que, el sistema económico, además de generar riqueza, realiza una serie de transacciones en concepto de bienes y servicios con el resto de sectores tanto del propio país, como importaciones y exportaciones fuera del país, lo que conlleva una modificación, no solo de la economía del país de origen, sino de la de todos aquellos con los que se realice una transacción económica. Por ello, las industrias de cada país se encuentran interconectadas entre ellas, y se puede considerar la industria global como un único sistema.

Para analizar dichas relaciones, se ha utilizado como fuente principal las tablas WIOT (World Input-Output Tables), englobadas dentro del proyecto WIOD (World Input-Output Database)⁹. Estas tablas contienen datos de las transacciones económicas (en millones de dólares americanos) de los 43 principales países del mundo desde 1995 hasta 2014. Aunque WIOD ofrece datos hasta el año 2014, en este estudio solamente se utilizarán hasta el año 2009, para que los datos sean cronológicamente homogéneos con el proyecto MEDEAS. Por la misma razón, los sectores económicos utilizados serán los 35 que también utiliza el proyecto MEDEAS (Tabla 3).

⁹ El proyecto WIOD fue fundado por la Comisión Europea, como parte del séptimo Programa Marco. Actualmente este proyecto se encuentra financiado exclusivamente por la Fundación Alemana Científica.

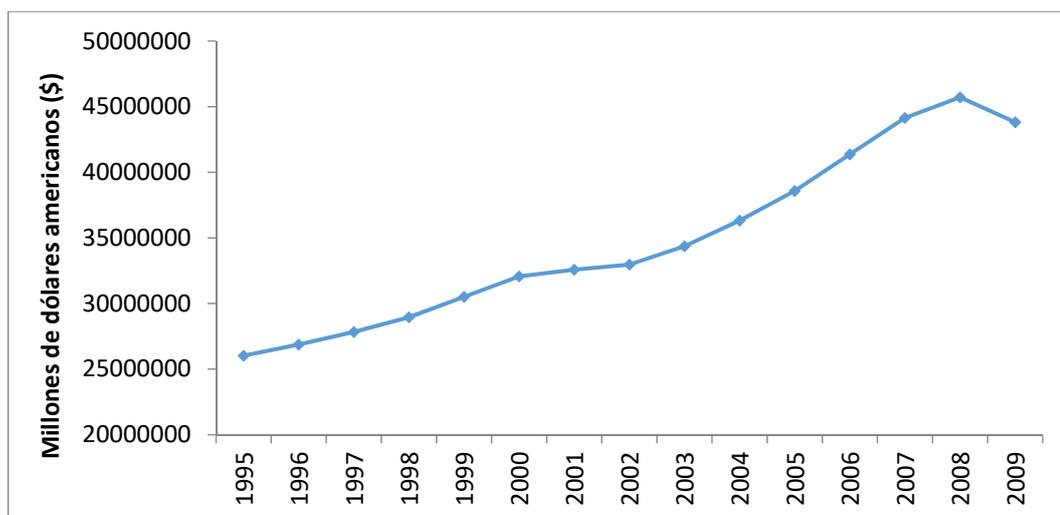
Tabla 3. Sectores económicos en las tablas WIOD

36. Agricultura, caza, pesca y silvicultura	55. Comercio al por mayor, excepto vehículos y motocicletas
37. Minería y explotación	56. Comercio al por menor, excepto vehículos, motocicletas y reparación de artículos del hogar.
38. Comida, bebida y tabaco	57. Hoteles y restauración
39. Textil y producto textil	58. Transporte interior
40. Cuero y calzado	59. Transporte marítimo
41. Madera, productos de madera y corcho	60. Transporte aéreo
42. Pulpa, papel, imprenta y publicaciones	61. Actividades de apoyo al transporte. Actividad de agencias de viajes
43. Petróleo, refinería y combustible nuclear	62. Telecomunicaciones y servicios de mensajería
44. Productos químicos	63. Servicios financieros
45. Plásticos y gomas	64. Actividad real
46. Otros minerales no metálicos	65. Actividades de alquiler
47. Metales básicos y metal procesado	66. Administración pública y defensa
48. Maquinaria	67. Educación
49. Equipamiento eléctrico y óptico	68. Sanidad
50. Equipamiento de transporte	69. Otros servicios comunitarios, sociales y personales
51. Productos reciclados	70. Hogares privados con personal contratado
52. Suministro de electricidad, gas y agua	
53. Construcción	
54. Venta, reparación y mantenimiento de vehículos y motocicletas al por menor	

La base de datos WIOD ofrece las matrices Input – Output anuales de los 43 países con mayores transacciones intersectoriales y uno a mayores que engloba todos los países resultantes. Para poder trabajar estos datos como una única matriz hay que realizar una serie de pasos. Tal y como se explica en el apartado 3.3 (Matriz inversa de Leontief y Coeficiente técnico de la matriz Input-Output), para poder trabajar los datos de varias matrices input – output es necesario realizar sus coeficientes técnicos. La matriz A, es el resultado de dos operaciones. Primero armonizar los precios, es decir, utilizar un único precio común para todas las matrices input – output de los diferentes países. Esto se consigue mediante el uso de cadenas de valor (Timmer, y otros). El segundo paso para la confección de la Matriz A, consiste en recopilar todas las tablas input – output inter-regionales deflactadas en una sola matriz (Matriz A) sin relaciones externas.

La Matriz A permite obtener una radiografía del sistema económico mundial en la que se aprecia el volumen de transacciones comerciales que se producen entre los 35 sectores económicos. Las transacciones totales de cada sector se recogen en la Tabla 17 del Anexo 1. En conjunto, entre 1995 y 2008 han experimentado un aumento del 192,7% (Gráfico 18), pasando de 26.000 millones de dólares a 43.800 millones de dólares. Esto resulta coherente con el aumento de la competencia del sector industrial.

Gráfico 18. Evolución mundial de las transacciones económicas.

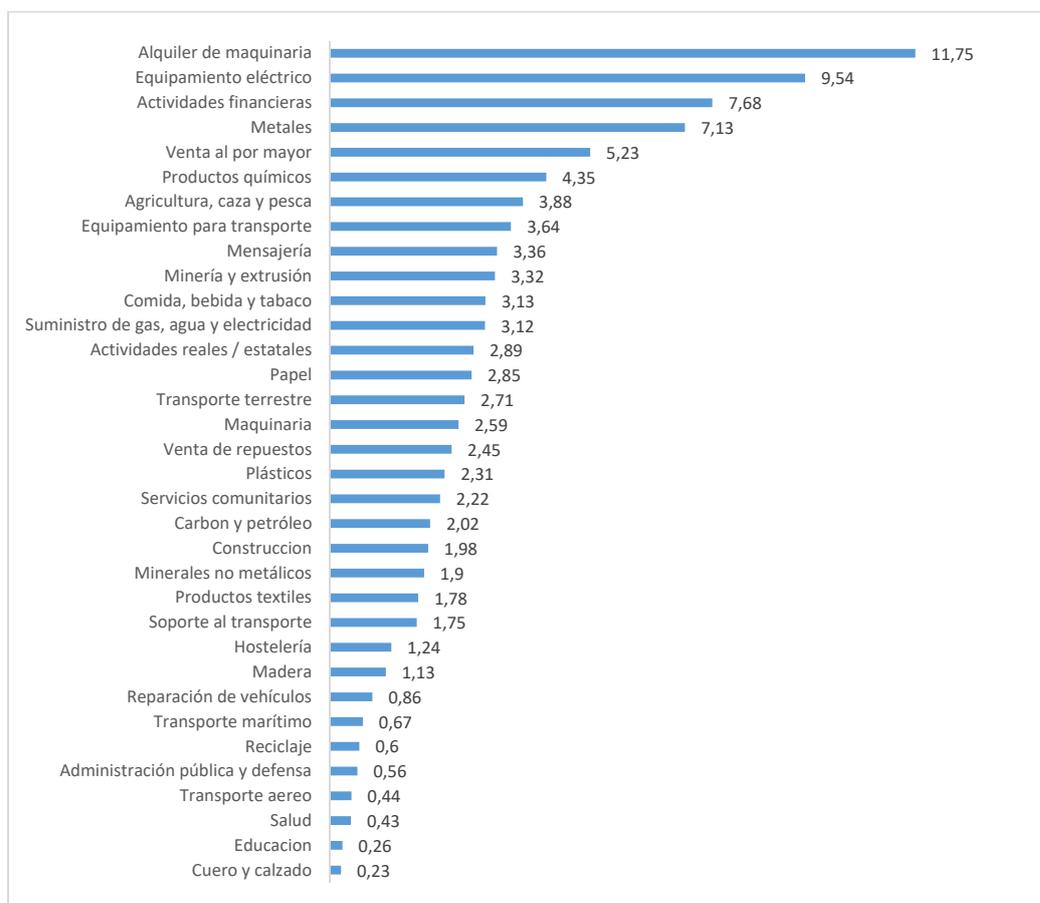


FUENTE: elaboración propia a partir de (WIOD).

El Gráfico 19 permite apreciar que, en términos relativos, en las transacciones mundiales para el año 2009 los sectores con más peso son, en primer lugar, el sector de alquiler de maquinaria y equipo (11,55%), los servicios financieros (7,55%), el sector de los metales básicos y procesados (7,22%), equipamiento eléctrico y óptico (6,75%) y, por último, el comercio al por mayor (5,93%).

Los datos la evolución y distribución sectorial, se pueden enmarcar dentro del incremento económico global, puesto que las transacciones siguen en aumento, y el sector de alquiler de equipos en 2009 se encuentra en primera posición. Esto implica que cada vez surgen más industrias, y con ello, la producción de inputs para abastecerlas.

Gráfico 19. Peso en porcentaje de cada sector en las ventas de las transacciones intersectoriales mundiales del año 2009.



FUENTE: Elaboración propia a partir de (WIOD)

6.1.2. Escenarios futuros e Intensidad energética

Existen varias razones por las cuales la matriz de coeficientes puede verse alterada con el tiempo. Algunas de ellas son las siguientes:

- Cambio tecnológico (mecanización, robotización...).
- Economías de escala. Sectores que crecen mucho requieren menor proporción de inputs.
- Nuevos productos o sectores.
- Cambio energético (electrificación del transporte...).
- Cambio en los precios
- Sustitución de importaciones (No afecta a nivel mundial)

En este trabajo, se estudiarán los cambios de la Matriz A originados por un cambio energético. Para ello, se requiere de una serie de escenarios que describan el mix energético futuro. Estos escenarios los desarrolla el proyecto MEDEAS:

Escenario 1: Optimismo económico con algunas reformas de mercado. fuerte enfoque en el mecanismo de mercado competitivo, eficiente, libre comercio y rápido crecimiento económico asociado, pero que incluye algunos supuestos de políticas adicionales dirigidos a corregir algunas fallas del mercado con respecto al desarrollo social, el alivio de la pobreza o el entorno. El escenario suele suponer un rápido desarrollo y difusión de la tecnología y la convergencia de los niveles de ingresos en todo el mundo. Se supone que el crecimiento económico coincide con un bajo crecimiento de la población (dada una rápida caída en los niveles de fertilidad). Los recursos energéticos y materiales escasos se actualizan a reservas o se sustituyen de manera eficiente a través de las señales del mercado (aumento de precios). Eventualmente, todos se beneficiarán de la globalización y los avances tecnológicos remediarán los problemas ecológicos.

Escenario 2: Desarrollo sostenible global. Una fuerte orientación hacia la protección del medio ambiente y la reducción de la desigualdad, basada en soluciones encontradas a través de la cooperación global, el cambio de estilo de vida y la tecnología (tecnologías más eficientes, desmaterialización de la economía, economía de servicios e información, etc.). Los elementos centrales son un alto nivel de conciencia ambiental y social combinado con un enfoque global coherente para el desarrollo sostenible. Dentro de este escenario, se asume que un alto nivel de coordinación gubernamental internacional es necesario y posible para enfrentar problemas internacionales como el alivio de la pobreza, la protección del clima y la conservación de la naturaleza. Implica una regulación de los mercados, pero a escala global y basada en la convicción de que los límites de la Tierra están a la vista y que, por lo tanto, son necesarias políticas proactivas.

Escenario 3: Competición entre regiones .Este escenario asume que las regiones se centrarán más en su autosuficiencia, soberanía nacional e identidad regional, lo que llevará a la diversidad, pero también a las tensiones entre regiones y / o culturas. Los países están preocupados por la seguridad y la protección, enfatizando principalmente los mercados regionales (proteccionismo, desglobalización) y prestando poca atención a los bienes comunes. Debido a la reducción significativa en la difusión tecnológica, las mejoras tecnológicas progresan más lentamente.

Escenario 4: Desarrollo regional sostenible. Este escenario es la versión "amigable" de la anterior, donde la globalización tiende a ser deconstruida y un cambio importante en los valores tradicionales y las normas sociales ocurre contra el consumismo sin sentido y la falta de respeto por la vida. Los ciudadanos y los países deben asumir las responsabilidades que pueden asumir, proporcionar ayuda o establecer un ejemplo verde para el resto del

mundo, desde un sentido del deber, por convicción o por razones éticas o para resolver principalmente sus propios problemas. De hecho, aunque las barreras para los productos se reconstruyen, las barreras para la información tienden a eliminarse. La atención se centra en encontrar soluciones regionales para los problemas sociales y ambientales actuales, que generalmente combinan cambios drásticos en el estilo de vida con la descentralización de la gobernanza.

Para este trabajo, se ha seleccionado como escenario posible el Escenario 2 puesto que contiene la principal condición de globalidad. Además, con el fin de comparar resultados, se ha utilizado un escenario a mayores (Escenario BAU) procedente de: (O'Neill, y otros, 2014).

Escenario BAU: Mitad de camino. En este mundo, continúan las tendencias típicas de las últimas décadas, con algunos avances hacia el logro de los objetivos de desarrollo, las reducciones en la intensidad de recursos y energía a tasas históricas y disminuyendo lentamente la dependencia de los combustibles fósiles. El desarrollo de los países de bajos ingresos se desarrolla de manera desigual, mientras que algunos países progresan relativamente bien, mientras que otros se quedan atrás. La mayoría de las economías son políticamente estables con mercados parcialmente conectados y conectados globalmente. Existe un número limitado de instituciones globales comparativamente débiles. Los niveles de ingreso per cápita crecen a un ritmo medio en el promedio mundial, con niveles de ingreso lentamente convergentes entre países en desarrollo e industrializados. Las distribuciones de ingresos intrarregionales mejoran ligeramente con el aumento del ingreso nacional, pero las disparidades siguen siendo altas en algunas regiones. Las inversiones en educación no son lo suficientemente altas como para retardar rápidamente el crecimiento de la población, particularmente en países de bajos ingresos. El logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio se retrasa varias décadas, dejando a las poblaciones sin acceso a agua potable, saneamiento mejorado y atención médica. Del mismo modo, existe un único éxito intermedio para abordar la contaminación del aire o mejorar el acceso a la energía para los pobres, así como otros factores que reducen la vulnerabilidad al clima y otros cambios globales.

Como comparación entre los dos escenarios utilizados (BAU y escenario 2), se muestra la Tabla 4:

Tabla 4. Comparación de escenarios usados en el proyecto

	BAU	Escenario 2
Crecimiento PIB	Tendencias históricas	Alto
Crecimiento poblacional	Medio	Medio
Disponibilidad de recursos de energías no renovables	Medio	Medio
Desarrollo de instalaciones de energía renovables	Medio	Muy rápido
Desarrollo tecnológico	Medio	Lento
Objetivo principal	No definido	Seguridad
Protección ambiental	Reactivas y proactivas	Reactivas
Comercio	Globalización débil	Barreras comerciales

FUENTE: (MEDEAS, 2019)

En resumen, tendremos un escenario (BAU) que continuará las tendencias actuales sin provocar cambios bruscos ni en el crecimiento económico mundial, ni en el mix energético utilizado, mientras que el Escenario 2 provocará un importante cambio en las fuentes energéticas (reducción del carbono) con el fin de potenciar la mejora medioambiental, y experimentará un aumento brusco en el PIB a nivel mundial.

6.2. Metodología

El objetivo principal es encontrar una relación que consiga estimar valores futuros de los 1225 elementos de la Matriz A:

$$\Delta a_{ij}(t) = b1 \times \Delta a_{ij}(t - 1) + b2 \times \Delta IE_{liq}(t) + b3 \times \Delta IE_{gas}(t) + b4 \times \Delta IE_{elect}(t) + b5 \times \Delta IE_{heat}(t) + b6 \times \Delta IE_{solid}(t) + \epsilon \quad (6.1)$$

Dónde:

$\Delta a_{ij}(t)$: Variación relativa del elemento a_{ij} entre los años t-1 y t.

$\Delta a_{ij}(t - 1)$: Variación del elemento a_{ij} entre los años t-2 y t-1.

$\Delta IE_{liq}(t)$: Variación de la Intensidad Energética de Líquidos entre los años t y t-1.

$\Delta IE_{gas}(t)$: Variación de la Intensidad Energética de Gas entre los años t y t-1.

$\Delta IE_{elect}(t)$: Variación de la Intensidad Energética Eléctrica entre los años t y t-1.

$\Delta IE_{heat}(t)$: Variación de la Intensidad Energética de Calor entre los años t y t-1.

$\Delta IE_{solid}(t)$: Variación de la Intensidad Energética de Sólidos entre los años t y t-1.

b_i : coeficientes de cada uno de los índices anteriores.

ϵ : ruido.

La fórmula (6.1), nos indica que la variación relativa de los coeficientes de la Matriz A (Δa_{ij}) en un periodo determinado (t) se puede expresar en función de los valores que tenían dichos coeficientes en un periodo anterior (t-1), y de la variación de los cinco tipos de intensidades energéticas (líquida, gas, eléctrica, calor y sólidos) durante el mismo periodo. Además, se incluye un elemento que resume todos aquellos aspectos que no se pueden controlar denominado "ruido" (ϵ).

A su vez, la variación relativa de cada elemento a_{ij} se obtendrá de la siguiente manera:

$$\Delta a_{ij}(t) = \frac{a_{ij}(t) - a_{ij}(t - 1)}{a_{ij}(t - 1)} \quad (6.2)$$

Una vez obtenida la expresión matemática que permite calcular las variaciones de cada elemento a_{ij} (fórmula 6.2), se calcula el valor estimado de a_{ij} (\hat{a}_{ij}):

$$\hat{a}_{ij}(t) = \Delta a_{ij}(t) * a_{ij}(t - 1) + a_{ij}(t - 1) \quad (6.3)$$

El siguiente paso es calcular el error cometido en las estimaciones del valor a_{ij} calculado (\hat{a}_{ij}) respecto de los datos reales que se tienen (desde 1995 hasta 2014):

$$e_{a_{ij}}(t) = a_{ij}(t) - \hat{a}_{ij}(t) \quad (6.4)$$

$$\hat{e}_{a_{ij}}(t) = \frac{|e_{a_{ij}}(t)|}{a_{ij}(t)} \times 100 \quad (6.5)$$

Para considerar un error como aceptable, la fórmula (6.4) debe devolver un valor inferior al 10%. En este caso, y como último paso, se procederá a calcular el valor de a_{ij} en un periodo (t).

Puesto que la fórmula 6.1 tiene varios elementos, dividiremos el trabajo a seguir en varias fases. Primeramente, se hará un estudio de correlación entre las diferentes Intensidades Energéticas y la Matriz A para determinar los coeficientes b_2 , b_3 ... b_6 . Posteriormente, se realizará la Autocorrelación la de la Matriz A para determinar el coeficiente b_1 . Finalmente, y utilizando los datos que tenemos, se calculará el error que se comete en la predicción de los valores de la Matriz A utilizando la expresión que hemos desarrollado.

6.3. Estudio de correlación entre la Matriz A con las Intensidades Energéticas

El primer paso para obtener la expresión matemática que estime los valores futuros en el intercambio sectorial en función de las Intensidades Energéticas consiste en determinar la existencia o no de relaciones entre cada elemento de la Matriz A (elemento a_{ij}) y los diferentes tipos de Intensidades, como se ha visto anteriormente. Esto es, ver si se puede explicar la variación del valor de transacción intersectorial a_{ij} con la variación en el mismo periodo temporal de cada una de las cinco Intensidades Energéticas. En la fórmula 6.1 se resalta en negrita los coeficientes (b_2 , b_3 ... b_6) que se van a determinar en este apartado.

$$\begin{aligned} \Delta a_{ij}(t) = & b_1 \times \Delta a_{ij}(t-1) + \mathbf{b2} \times \Delta IE_{liq}(t) + \mathbf{b3} \times \Delta IE_{gas}(t) \\ & + \mathbf{b4} \times \Delta IE_{elect}(t) + \mathbf{b5} \times \Delta IE_{heat}(t) + \mathbf{b6} \\ & \times \Delta IE_{solid}(t) + \epsilon \end{aligned} \quad (6.1)$$

Para ello, se ha utilizado el análisis de correlación, mediante el cual, a través de los *Coefficientes de Correlación* se testa la relación existente entre dos variables X e Y (Walpole, y otros, 2007). En nuestro caso, la variable Y se corresponde con cada una de las 1225 (35x35) variaciones de los elementos a_{ij} , y la variable X con cada variación de las cinco Intensidades Energéticas para cada valor a_{ij} . De esta forma se determina si existe valor del coeficiente b_i o, al contrario, dicho coeficiente es nulo.

Para medir la relación lineal entre dos variables X e Y se ha utilizado el coeficiente de Pearson (Milton, y otros). Definido como:

$$\rho = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{(Var X)(Var Y)}} \quad \rho \in [-1, 1] \quad (6.6)$$

El parámetro ρ (ro) asume valores entre -1 y 1 incluidos, siendo estos valores los que indican una relación lineal perfecta, negativa o positiva respectivamente. Un valor de 0 indica que las variables X e Y no tienen correlación. Ha de tenerse cuidado con la interpretación de los valores obtenidos en esta correlación, puesto que los valores de r^{10} , pertenecientes al intervalo [-1,1] no son proporcionales entre sí. Esto quiere decir que dos correlaciones con valores de 0,3 y 0,6, por ejemplo, solamente indica que existe correlación una un poco más fuerte que otra, pero sería un error concluir que la segunda es doblemente mejor que la primera (Walpole, y otros, 2007).

Las varianzas y covarianza de la fórmula 6.6 se estiman de la siguiente manera:

$$Var X = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n$$

$$Var Y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / n$$

$$Cov(X, Y) = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) / n$$

Si denominamos

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

El estimador ρ viene dado por:

¹⁰ El coeficiente de Pearson ρ se trata de un coeficiente poblacional. En el caso muestral, resulta más correcto formular este coeficiente como r: coeficiente de correlación muestral.

$$\rho = r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \quad (6.7)$$

Puesto que en la fórmula 6.7 tenemos que $r = S_{xy}/\sqrt{S_{xx}S_{yy}}$, sustituyendo en la expresión anterior, tenemos que:

$$\frac{SEE}{S_{yy}} = 1 - r^2$$

Siendo:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2$$

Despejando el coeficiente de determinación se tiene:

$$r^2 = \frac{S_{yy} - SSE}{S_{yy}} \quad 6.8$$

Donde S_{yy} mide la variabilidad total de Y, y SSE mide la variabilidad aleatoria de Y mediante la estimación de la regresión lineal. Por su parte, $S_{yy} - SSE$ mide la variabilidad de Y explicada por el modelo de regresión lineal. El coeficiente r^2 , denominado *coeficiente muestral de determinación*, expresa la proporción que existe en la variación total de los valores de Y, que son explicados u ocasionados por una relación lineal con la variable X. Por ello, el valor de este coeficiente se encuentra en el intervalo [0,1], ya que se trata de un porcentaje. Así, un $r^2 = 0,3$, significa que el 30% de la variación de los valores de Y, son explicados por los valores de X.

De acuerdo con la metodología descrita anteriormente, ha sido necesario calcular, para cada uno de los 14 años la correlación entre la variación relativa de los coeficientes de la Matriz A de cada uno de los 1225 (35x35) elementos ($\Delta a_{ij}(t)$), con las cinco variables explicativas: la variación relativa de las intensidades energéticas de líquidos, gas, eléctrica, calor y sólidos.

En conjunto, esta operativa implica realizar 17.150 correlaciones lineales a partir de 85.750 datos, que se recogen en el fichero Excel adjunto (TFG.xlsm). En total, este documento se compone de 31 hojas: las cuatro primeras páginas de datos, en donde se recogen tanto la Matriz A de todos los años descritos, como las Intensidades Energéticas de los mismos años, y 27 hojas con las operaciones necesarias para el cálculo de la predicción de la Matriz A que se explicarán a lo largo de este trabajo. Las dos últimas hojas recopilan las predicciones realizadas para los años 2030 y 2050 según el escenario dado.

Debido a la gran cantidad de datos empleados, se ha recurrido a la programación VBA (Macros en Excel), para poder realizar todas las operaciones necesarias. Los códigos de programación de dichas macros se recogen detalladamente en el ANEXO 2. MACROS VBA.

Para poder trabajar los datos de una forma ordenada, se extraen las variaciones de todos los años de los datos de inicio, realizando así las 14 primeras hojas del Excel adjunto, nombradas como V1, V2, V3... V14, correspondientes a las variaciones anuales relativas desde 1996 hasta 2009 de la Matriz A. El siguiente paso ha consistido en agrupar las 17.150 variaciones una sola matriz que se encuentra en la hoja "Variaciones1" del Excel adjunto. Debido a las dimensiones de la tabla, resulta imposible adjuntarla en este trabajo, por lo que se muestra un ejemplo de la misma a continuación:

Tabla 5. Variaciones relativas anuales de la Matriz A

	Sec. 1	Sec.2	Sec.3	Sec.4	...	Sec. 32	Sec.33	Sec.34	Sec.35	
Sector 1	1995-1996	-0,028	0,110	0,007	-0,041		-0,023	0,093	-0,154	-0,034
	1996-1997	-0,010	-0,073	0,018	0,023		0,038	0,016	0,069	0,059
	1997-1998	0,012	-0,071	-0,007	-0,044		-0,020	-0,058	-0,013	0,139
	1998-1999	0,010	-0,016	-0,027	-0,053		-0,085	0,172	0,001	0,109
	1999-2000	-0,007	0,186	0,026	-0,035		-0,135	-0,322	-0,022	0,152
	2000-2001	-0,010	-0,135	0,011	-0,056		-0,096	-0,033	0,022	0,062
	2001-2002	0,018	0,092	-0,005	-0,017		-0,135	-0,001	0,008	-0,007
	2002-2003	-0,023	-0,059	0,043	-0,012	0,010	-0,098	0,021	-0,184
	2003-2004	0,014	-0,119	0,015	-0,043		0,084	-0,025	0,046	-0,001
	2004-2005	-0,005	-0,007	0,035	0,007		0,321	-0,024	0,043	0,021
	2005-2006	-0,024	-0,190	0,068	-0,029		-0,289	-0,012	0,025	-0,026
	2006-2007	-0,058	-0,068	0,057	-0,047		-0,004	-0,003	0,017	-0,010
	2007-2008	-0,018	0,090	-0,007	-0,035		0,039	0,003	0,000	-0,047
	2008-2009	0,034	0,051	-0,016	-0,037		0,012	0,004	0,018	0,082
⋮					...					
Sector 35	1995-1996	-0,024	-0,022	0,049	-0,029		0,162	0,576	-0,182	-0,101
	1996-1997	-0,144	-0,144	-0,144	-0,144		-0,144	-0,144	-0,144	-0,144
	1997-1998	0,226	0,226	0,226	0,226		0,226	0,226	0,226	0,226
	1998-1999	0,055	0,055	0,055	0,055		0,055	0,055	0,055	0,055
	1999-2000	-0,112	-0,099	0,939	-0,493		2,306	0,374	1,437	1,731
	2000-2001	0,062	-0,025	0,169	-0,282		0,314	-0,406	0,268	0,174
	2001-2002	-0,033	-0,011	0,040	-0,306	...	0,263	0,567	0,109	0,072
	2002-2003	0,142	-0,023	-0,090	-0,265		-0,352	-0,163	0,165	0,189
	2003-2004	0,124	0,017	-0,077	-0,060		2,098	0,622	0,079	0,138
	2004-2005	0,071	0,012	0,079	0,000		0,191	0,720	-0,162	-0,101
	2005-2006	0,185	0,016	0,070	0,019		-0,335	0,984	-0,054	0,050
	2006-2007	0,145	0,006	-0,107	-0,296		0,475	-0,263	-0,238	-0,195
	2007-2008	0,049	0,036	0,144	-0,127		-0,433	-0,476	-0,264	-0,251
	2008-2009	-0,114	-0,086	0,060	0,239		0,423	0,585	0,206	0,226

FUENTE: elaboración propia

La Tabla 5 muestra las 14 variaciones del sector uno (Agricultura, pesca y caza) y del sector 35 (Consumo final de empleados del hogar) respecto a los cuatro primeros y cuatro últimos. En ella, se muestran los aumentos en las

transacciones anuales como una variación positiva, mientras que los datos negativos implican una disminución en el valor a_{ij} de un año (t-1) al año (t) en términos porcentuales.

Una vez se tiene en la misma hoja tanto las variaciones de todos los años de la Matriz A como las variaciones de Intensidades Energéticas, se puede realizar el estudio de correlación entre ambas variaciones.

El estudio de correlación compara las 14 variaciones (desde 1996 hasta 2009) de cada elemento de la Matriz A (a_{ij}), como se puede observar en la Tabla 5, con las variaciones relativas anuales de cada una de las cinco Intensidades Energéticas. Para ello, se utiliza la Macro 2 cuyo desarrollo se describe en el ANEXO 2. MACROS VBA.

A modo de ejemplo, se expone un fragmento de dicha macro:

```
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" & fila +
17 & "C" & 1 + k & ";F" & 3 + k & "C41:F" & 3 + k & "C54)"
```

La macro genera una tabla con un total de 6.125 celda, cada una de ellas conteniendo su fórmula correspondiente. El resultado final puede consultarse en la Tabla 18 del Anexo 1.

El ejemplo anterior se refiere a la parte de la Macro 2 en el cual introduce en una celda previamente seleccionada la fórmula correspondiente al Coeficiente de Correlación entre la variación de la Matriz A y la variación de la Intensidad Energética Eléctrica. Para conseguir que realice la operación 6.125 veces sin errores, se utiliza una serie de contadores como por ejemplo "fila" que se ve en el ejemplo, que sirve para determinar dónde comienza a seleccionar los datos que se introducirán en la fórmula. Para introducir la fórmula, es primordial que se seleccionen correctamente los valores sobre los que hacer el estudio de correlación, para ello, se realizan 2 bucles, correspondientes a las filas y columnas (35x35 sectores), el bucle "i" correspondiente a las filas, y el bucle "k" correspondiente a las columnas. De esta forma, cada vez que se recorra el primer bucle, se introducirán las cinco fórmulas correspondientes a las cinco Intensidades Energéticas. Tras finalizar los elementos a_{i1} , se repetirá el proceso para los elementos a_{i2} y así sucesivamente hasta que finalice las 35 columnas ($k=35$).

En la tabla completa, que se encuentra en la hoja "Correlación1" del Excel adjunto, podemos ver los sectores con mayor correlación. El sector que mayor correlación presenta con el resto es el sector 8 (Petróleo, carbón y energía nuclear), lo que nos indica una fuerte dependencia en términos de Intensidad Energética del resto de sectores con el petróleo o el carbón. En el lado opuesto, el sector de la madera (sector 6), no se encuentra correlacionado en gran

medida con ningún otro, lo que significa que la variación en términos de Intensidad Energética apenas influye en la variación de la venta de madera.

Para tener un control más estricto, además de los coeficientes de correlación se ha realizado un análisis de los coeficientes muestrales de determinación o coeficiente r^2 tal y como se ha explicado previamente. Su cálculo ha requerido modificar la Macro 2 de la siguiente manera:

```
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" & fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 3 + k & "C41:F" & 3 + k & "C54)"
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEFICIENTE.R2 (F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" & fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 3 + k & "C41:F" & 3 + k & "C54)"
```

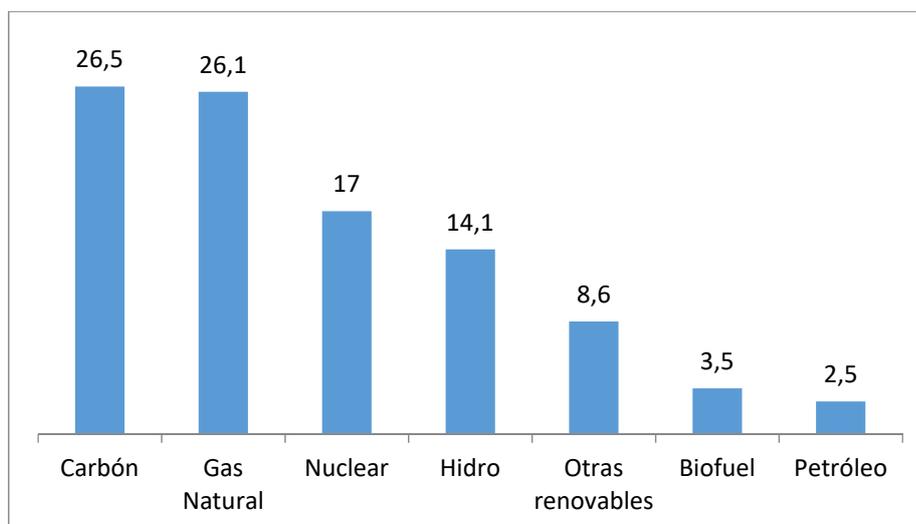
Cambiando en la programación de la macro el texto seleccionado en negrita en el ejemplo anterior, se realizará un nuevo estudio, esta vez de correlación con el coeficiente r^2 . Ambos estudios se copian en una nueva hoja del Excel adjunto que se denomina "Correlacion1", además, haciendo uso de reglas condicionales, se muestran dichas tablas en formato de colores, de tal manera que a simple vista se aprecia el lugar dónde existe correlación. Un ejemplo de ello es la Tabla 18, adjunta en el Anexo 1.

6.3.1. Estudio de la Sexta Intensidad Energética

Como se muestra en el Gráfico 20, en la generación de energía eléctrica el gas natural juega un papel muy importante, alrededor del 26,1% en 2018, sumando así prácticamente lo mismo que todas las energías renovables (26.2%), siendo esta la suma de Biofuel, Hidroeléctrica y "Otras Renovables". En dicha gráfica, la serie de datos "Otras renovables" incluye los porcentajes de las energías eólica, solar y geotérmica que se destinan para la generación de electricidad.

Debido a esta dependencia de la electricidad frente al gas, se decide plantear una nueva Intensidad Energética que englobe ambas juntas ($I_{Eelec+gas}$). Para comprobar si realmente la unión de las dos Intensidades Energéticas en una sola tiene relevancia, se repite el estudio anterior (cuando solamente se tienen 5 Intensidades), añadiendo una nueva fila para la nueva variable.

Gráfico 20. Fuentes de generación eléctrica mundial en 2018



FUENTE: Elaboración propia a partir de (IEA, 2018)

Este estudio, se incluye en el fichero Excel adjunto (TFG.xlsm). La pestaña “Variaciones2” contiene los datos necesarios, y la pestaña “Correalcion2” los resultados de los dos análisis, tanto el de correlación, como el de r^2 . Para realizar este nuevo estudio, se utilizará la misma macro que en el caso anterior (Macro 2), añadiendo únicamente las siguientes dos líneas de código:

Cells(9 + cont, 57 + i).Select

'ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" & fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 183 + k & "C41:F" & 183 + k & "C54)"

Gracias a esto, se genera una nueva fila con la nueva variable (Intensidad Eléctrica de Gas + Electricidad). El resultado obtenido es contrario a lo que se pensaba. La correlación que existe entre la nueva Intensidad Energética, (Gas y Eléctrica), y las variaciones de los elementos de la Matriz A, son iguales o incluso menores que los existentes entre las dos Intensidades por separado.

Siguiendo con el ejemplo anterior, la correlación que tiene el sector 8 (carbón y petróleo) con el resto de sectores en este caso resulta igual, o incluso en la mayoría de los casos, menor que con las dos intensidades por separado. Por ejemplo, si nos fijamos en la correlación del elemento $a_{8,7}$, es decir, entre las ventas del sector 8 (petróleo, carbón y energía nuclear) al sector 7 (sector del papel), la correlación con la Intensidad Energética gas es de 0,64, mientras que la correlación de la nueva intensidad (gas + eléctrica) es de 0,61

En definitiva, con este intento se pretendía crear una nueva variable que tuviese una mayor correlación con las variaciones relativas de la Matriz A que

las dos intensidades energéticas por separado, pero no se utilizará en adelante debido al resultado negativo que nos proporciona.

6.4. Autocorrelación de la Matriz A

El coeficiente “b1” de la fórmula (6.1), se refiere a aquel que va multiplicando al valor de la variación del elemento a_{ij} en el periodo (t-2, t-1). Antes de calcular el valor de este coeficiente hay que determinar si tiene valor o, por el contrario, su valor es 0. Para ello, al igual que ocurre en el apartado anterior, se realiza un estudio de correlación. En este caso, se estudia una única variable, por lo que la autocorrelación que hemos definido es en realidad una prueba de linealidad.

$$\begin{aligned} \Delta a_{ij}(t) = & \mathbf{b1} \times \Delta a_{ij}(t - 1) + b2 \times \Delta IE_{liq}(t) + b3 \times \Delta IE_{gas}(t) \\ & + b4 \times \Delta IE_{elect}(t) + b5 \times \Delta IE_{heat}(t) + b6 \\ & \times \Delta IE_{solid}(t) + \epsilon \end{aligned} \quad (6.1)$$

Para este estudio, se toma la matriz de 17.150 elementos en la que se recogen todas las variaciones de los coeficientes técnicos de la Matriz A. Esta matriz se corresponde con la que se utilizó en el apartado dedicado al *Estudio de correlación entre la Matriz A con las Intensidades Energéticas*, que se encuentra en la hoja “Autocorrelación” del Excel adjunto. Para llevar a cabo este estudio ha sido necesario definir una nueva macro, (Macro 3) que se adjunta en el Anexo 2. En este estudio se realiza una comprobación de la existencia de relación entre las variaciones de cada elemento a_{ij} . En este caso, a diferencia del apartado anterior, el estudio únicamente será el de coeficiente r^2 .

La Macro 3 realiza operaciones secuenciales con el fin último de crear una tabla (35x35) con cada una de las autocorrelaciones. En el primer paso la macro selecciona sucesivamente cada celda e introduce la fórmula de correlación. Para ello se añaden dos bucles igual que en la macro anterior, que ayudan a recorrer por un lado las filas (bucle i) y por otro las columnas (bucle k). Para la selección de celdas que conforman la tabla de autocorrelaciones se utiliza la siguiente secuencia de comandos:

Cells(45 + i, 42 + k).Select

Se aprecia claramente en este ejemplo el uso de los dos bucles. Primeramente, se recorre el bucle “i” 35 veces, lo que supondría completar la primera columna. Posteriormente, el valor de k se aumenta en uno, y se vuelve a repetir el bucle i 35 veces, con lo que se completaría la segunda columna, y así sucesivamente hasta que el bucle k se complete 35 veces y se finalice la tabla entera.

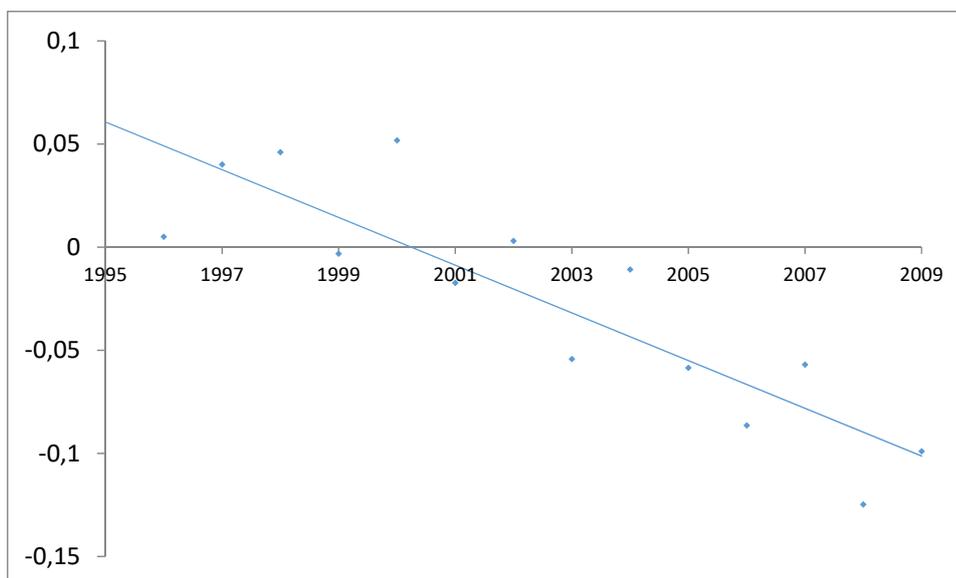
En el segundo paso, la macro selecciona cada celda, e introduce la fórmula correspondiente. Para ello se hace uso de la siguiente expresión:

```
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEFICIENTE.R2(F" & fila + 2 & "C" & k + 2 & ":F" & fila + 15 & "C" & k + 2 & ";F2C2:F15C2)"
```

El resultado de este estudio se adjunta en la página "Autocorrel" del fichero Excel adjunto. Debido a sus dimensiones (1225 celdas), se añade solamente un extracto de esta tabla en el Anexo 1 (Tabla 19). El resultado contiene una graduación de colores siendo el más claro o blanco sin correlación, y siendo el verde oscuro en dónde mayor correlación existe, para poder hacer un análisis visual de una forma rápida y sencilla. En este extracto, se puede apreciar la buena Autocorrelación que existe en el sector 27 con el resto de las columnas, esto es, cada elemento a27j.

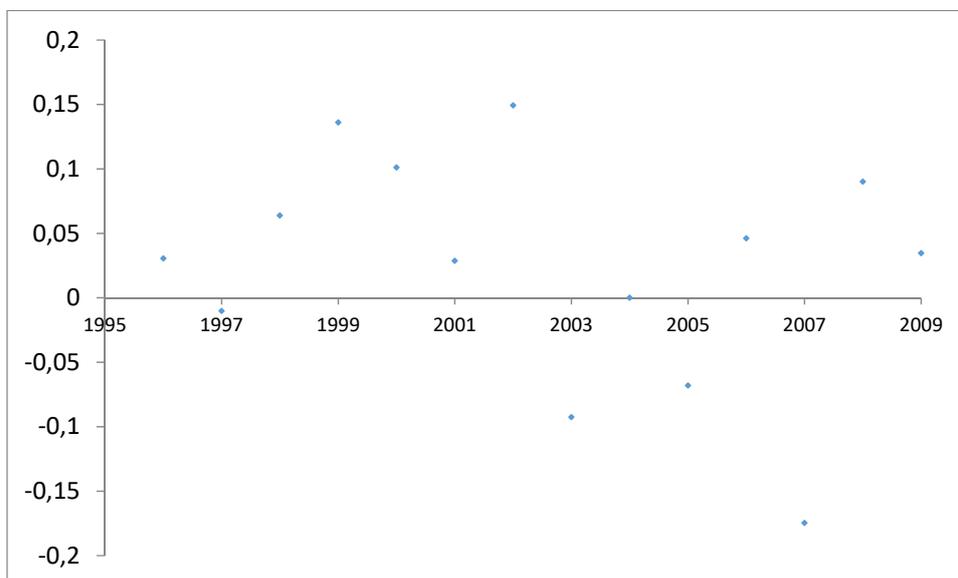
Si comparamos las variaciones relativas temporales de los elementos a_{19.4} y a_{8.24} (Gráfico 21 y Gráfico 22 respectivamente), se aprecia a simple vista grandes diferencias. En la primera de ellas se puede observar claramente una tendencia lineal mientras que la segunda no presenta ningún tipo de linealidad. En el estudio de autocorrelación esta impresión visual se definirá mediante cifras. El elemento a_{19.4} tiene un valor de autocorrelación de 0.77, valor muy elevado de correlación, lo que coincide con la tendencia lineal vista en sus datos, mientras que el valor de r^2 para el elemento a_{8.24} se reduce a 0.08, mostrando así la nula autocorrelación.

Gráfico 21. Variación temporal de los elementos a_{19.4} de la Matriz A



FUENTE: Elaboración propia

Gráfico 22. Variación temporal de los elementos $a_{8,24}$ de la Matriz A



FUENTE: Elaboración propia

6.5. Cálculo de coeficientes y funciones para la proyección de la Matriz A

El primer paso para el cálculo de los coeficientes $b_1, b_2 \dots b_6$ de la fórmula (6.1) para la proyección de los elementos a_{ij} de la Matriz A vista anteriormente, es conocer si dichos coeficientes son nulos o tienen un determinado valor. Para ello, se hará uso de los dos estudios de correlación realizados previamente, por un lado, el estudio de correlación de las variaciones de la Matriz A y las Intensidades Energéticas (epígrafe 6.3) para $b_2, b_3 \dots b_6$ y, por otro lado, el estudio de Autocorrelación de las variaciones de la Matriz A (epígrafe 6.4) para b_1 . Con estos resultados y estableciendo un valor de correlación mínimo se obtiene el primer paso, conocer si los coeficientes son nulos o tienen valor. El valor de correlación que se considera como adecuado es de 0,3, tanto para el estudio de correlación como para el estudio de autocorrelación. De esta forma, cada elemento cuyo valor en el estudio sea de mayor de 0,3 tendrá un valor de coeficiente, frente a aquellos valores de correlación que sean menor de 0,3 cuyo coeficiente correspondiente se considera nulo, puesto que se le atribuye una correlación con un valor lo suficientemente bajo como para considerarlo irrelevante.

Para calcular el valor de cada coeficiente de la función, se realiza una regresión lineal múltiple, en donde las seis variables explicativas serán las cinco

variaciones relativas de Intensidades Energéticas y las variaciones relativas de los elementos a_{ij} .

Por definición, “*el análisis de regresión múltiple es una técnica estadística que puede utilizarse para analizar la relación entre una variable (criterio) y varias variables independientes (predictores)*” (Hair, y otros, 1999). En nuestro caso, estudiaremos la relación entre la variación relativa de cada elemento a_{ij} y el resto de variables explicativas, como son las cinco variaciones relativas de las intensidades energéticas para cada sector, y la propia variación relativa del elemento a_{ij} de los años anteriores. En este estudio, cada variable independiente es ponderada, de forma que como resultado se obtiene la dependencia de la variable criterio respecto de las variables independientes.

Nuestra expresión matemática (6.1) a la cual tratamos de llegar, $\Delta a_{ij}(t) = b_1 * \Delta a_{ij}(t - 1) + b_2 * \Delta IE_{liq}(t) + b_3 * \Delta IE_{gas}(t) + b_4 * \Delta IE_{elect}(t) + b_5 * \Delta IE_{heat}(t) + b_6 * \Delta IE_{solid}(t) + \epsilon$ es, en realidad, el modelo lineal que trataremos de encontrar en este apartado.

De forma esquemática, los datos para realizar una regresión múltiple se expresan de la siguiente forma (Chatterjee, y otros, 1977):

Tabla 6. Datos para la realización de una regresión lineal múltiple

Número de observación	y	X ₁	X ₂	X ₃	...	X _p
1	y ₁	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁		X _{p1}
2	y ₂	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂		X _{p2}
3	y ₃	X ₁₃	X ₂₃	X ₃₃		X _{p3}
.
.
.
n	y _n	X _{1n}	X _{2n}	X _{3n}		X _{pn}

FUENTE: (Chatterjee, y otros, 1977)

La relación que existe entre y , y $x_1...x_p$ se representa mediante un modelo lineal:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + u_i \quad (6.8)$$

Donde $\beta_0 \dots \beta_p$ son constantes denominadas coeficientes de regresión parcial del modelo (o simplemente coeficientes de regresión) y u_i es una alteración aleatoria. En nuestro caso concreto, tendremos 1225 tablas como la Tabla 6, siendo la variable dependiente y_i cada variación relativa $\Delta a_{ij}(t)$. Las variables independientes x_{pn} serán los valores tanto de la variación relativa del año anterior como las variaciones relativas de las intensidades energéticas. No solo

utilizaremos la regresión para conocer los valores de $b_1...b_6$ sino también para realizar un test de hipótesis sobre ellos (Flury, y otros, 1988).

Puesto que en los apartados anteriores hemos establecido la correlación existente entre la variación relativa de cada elemento de la matriz A con las variaciones relativas de las intensidades energéticas, y la correlación que existe entre las variaciones relativas de cada elemento de la matriz A, las tablas de nuestro estudio no se componen del mismo número de datos, puesto que los valores con correlaciones bajas han sido descartados previamente.

Un ejemplo de esta Tabla 6 para un elemento concreto ($a_{19,4}$) es el siguiente:

Tabla 7. Datos para realizar una regresión lineal múltiple para el elemento $\Delta a_{19,4}$

Año	Δa_{ij}	$\Delta a_{ij}(t - 1)$	ΔIE_{liq}	ΔIE_{gas}	ΔIE_{elect}	ΔIE_{heat}	ΔIE_{solid}
1996-1997	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10
1997-1998	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,19
1998-1999	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1999-2000	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,46
2001-2001	-0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,06
2001-2002	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
2002-2003	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,16
2003-2004	-0,01	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
2004-2005	-0,06	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
2005-2006	-0,09	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02
2006-2007	-0,06	-0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,06
2007-2008	-0,12	-0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52
2008-2009	-0,10	-0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,08

FUENTE: Elaboración propia

Siguiendo con el ejemplo puesto anteriormente, esta es la tabla que presenta el elemento $\Delta a_{19,4}$. Como se puede observar, existen columnas sin valor (son 0). Esto se debe, a que en los análisis de correlación previos el resultado fue bajo para el caso de la Intensidad Energética de líquidos, gas, eléctrica y de calor. Pero sí mostraba dependencia la variación relativa del elemento $a_{19,4}$ tanto con la Intensidad energética de sólidos como con la variación del año anterior, como hemos visto en el apartado anterior. Cada una de las 1225 tablas (una por cada elemento de la matriz A), se encuentran en la hoja "Funciones" del Excel adjunto (TFG.xlsm).

Debido a que los datos están organizados de una forma sencilla en el Excel TFG.xlsm, no es necesario crear macros en este caso para la compilación de los datos, pero sí para la realización de las regresiones lineales como se verá posteriormente.

El desarrollo de estas tablas requiere de dos matrices. Estas se recogen en la hoja “coeficientes”. Primero se desarrolla la matriz de subíndices, donde se muestran los 7.350 subíndices $b_1...b_6$. Los valores posibles serán 0 o 1 dependiendo del resultado de la correlación descrito anteriormente. Posteriormente, existe una segunda matriz “Valores necesarios para la realización de la regresión múltiple”. En ella nos encontramos con todas las variaciones relativas, tanto de la matriz A como de las Intensidades Energéticas para cada elemento a_{ij} , lo que supone un total de 106.785 datos recogidos.

De una forma sencilla, se realizará la última tabla (Tabla 7) gracias a una multiplicación entre los valores de la Tabla 8 y los valores de la Tabla 9. Con ello conseguimos eliminar todos aquellos datos que en los análisis previos hemos localizado como poco relevantes (Correlación menor de 0,3). Una vez se tienen todos los datos ordenados, es posible continuar con la regresión lineal múltiple.

Tabla 8. Subíndices para el elemento $a_{19,4}$

A_{ij}	B1	B2	B3	B4	B5	B6
$A_{19,4}$	1	0	0	0	0	1

FUENTE: elaboración propia

Tabla 9 Variaciones desde 1996 hasta 2009 del elemento $a_{19,4}$

Δa_{ij}	$\Delta a_{ij}(t - 1)$	ΔIE_{liq}	ΔIE_{gas}	ΔIE_{elect}	ΔIE_{heat}	ΔIE_{solid}
0,040	0,005	-0,002	-0,055	0,015	-0,166	-0,099
0,046	0,040	-0,003	0,003	-0,004	0,026	-0,192
-0,003	0,046	-0,064	-0,095	-0,015	0,158	0,011
0,052	-0,003	-0,136	-0,156	-0,076	-0,177	-0,456
-0,017	0,052	0,049	0,139	0,101	0,000	-0,062
0,003	-0,017	0,003	-0,122	-0,026	-0,083	0,147
-0,054	0,003	0,010	0,178	0,044	0,440	-0,157
-0,011	-0,054	-0,108	-0,023	-0,024	0,021	-0,014
-0,058	-0,011	-0,079	-0,114	-0,058	0,100	0,200
-0,086	-0,058	-0,055	0,100	0,020	-0,033	-0,023
-0,057	-0,086	-0,036	-0,045	0,009	-0,106	-0,060
-0,125	-0,057	0,008	0,050	0,053	-0,038	1,524
-0,099	-0,125	0,053	-0,015	0,050	-0,029	-0,083

FUENTE: elaboración propia

De forma teórica, la estimación de los coeficientes se puede realizar por dos caminos diferentes, o bien mediante un modelo de regresión lineal con matrices, o bien mediante mínimos cuadrados. En este trabajo, no se explicarán estas técnicas, debido a que los cálculos han sido desarrollados

mediante el programa informático Excel, por lo que se hará especial hincapié en los resultados, y no en el procedimiento. Para mayor información sobre la obtención de coeficientes en una regresión lineal múltiple véase (Walpole, y otros, 2007).

El resultado de una regresión múltiple se puede dividir en tres partes. La primera, un análisis de la varianza, el segundo, el valor del coeficiente de determinación R^2 y por último, el valor de los coeficientes. Todos los resultados del estudio realizado se encuentran en la hoja “funciones” del libro Excel “TFG.xlsm” adjunto.

El análisis de la varianza muestra la calidad del estudio de la regresión que se ha realizado. Este análisis se basa en el estadístico f cuyo cálculo se explica en la Tabla 10:

Tabla 10. Análisis de la varianza en una regresión lineal múltiple

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F
Regresión	SSR	K	MSR	f
Error	SSE	n-(k+1)	MSE	
Total	SST	n-1		

FUENTE: (Walpole, y otros, 2007)

Dónde:

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \text{suma de cuadrados de regresión}$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \text{suma de cuadrados de error}$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 = \text{suma total de cuadrados} = SSR + SSE$$

$$MSR = \frac{SSR}{k}$$

$$MSE = \frac{SSE}{n - (k + 1)}$$

$$f = \frac{MSR}{MSE}$$

En nuestro estudio, el análisis de la varianza nos va a dar una significación alta en todos los casos, puesto que las variables que no son significativas las hemos eliminado previamente gracias a los estudios de correlación. Esto nos ha facilitado en gran medida los cálculos, puesto que no se han tenido que repetir las regresiones ni probar combinaciones de variables diferentes. Las

regresiones resultantes ya son suficientemente significativas. Siguiendo con el mismo ejemplo, se presenta el análisis de varianza del elemento $a_{19,4}$:

Tabla 11. Análisis de la varianza de la regresión múltiple del elemento $a_{19,4}$

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	6	0,03190717	0,00531786	4,6641249	0,04148606
Residuos	6	0,00684098	0,00114016		
Total	12	0,03874815			

FUENTE: elaboración propia

Al igual que ocurría en el estudio de correlación y autocorrelación de los apartados 6.3 y 6.4 al hacer la regresión múltiple obtenemos un valor del coeficiente de determinación (R^2).

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

El coeficiente de determinación de una regresión lineal múltiple se define e interpreta como la proporción de la variabilidad total que es explicada por la ecuación resultante de la regresión. Es habitual que este valor se represente como un porcentaje ($R^2 \times 100$) debido a su significado. Al igual que en los casos anteriores de correlación, el valor del coeficiente está en el intervalo $[0,1]$. Cuando el modelo es ajustado perfectamente por los datos, el valor del coeficiente es la unidad. Cuando este valor está cerca del cero, significa que la variable dependiente y las variables independientes del modelo no guardan relación. Al igual que ocurrió anteriormente, en nuestro caso, este problema ya lo hemos solucionado eligiendo las variables que sabemos de antemano que guardan relación con la variable dependiente.

Cabe destacar la diferencia entre el coeficiente R^2 y el coeficiente r^2 . El coeficiente de correlación muestral r^2 utilizado anteriormente es utilizado en regresiones lineales simples, es decir, con una única variable explicativa. El coeficiente R^2 , o coeficiente de correlación múltiple se utiliza de forma similar pero en este caso para regresiones lineales múltiples.

Siguiendo con el caso expuesto del elemento $a_{19,4}$, tenemos que el valor de $R^2=0.647$, lo que nos asegura que las variables explicativas (Variación relativa del año anterior del propio elemento y la variación relativa de la Intensidad energética de los sólidos) explican al 64,7% la variación relativa de $a_{19,4}$. Este resultado es el esperado por dos razones, primero, el coeficiente de

autocorrelación es de 0,77 como se ha visto en el apartado anterior, y segundo, el coeficiente de correlación con la variación de la IE del calor es de 0.619.

Para la realización de las 1225 regresiones lineales se ha recurrido nuevamente a la programación VBA (macros) en Excel, la cual se adjunta en el ANEXO 2, Macro 4. Regresión lineal múltiple. La cual se explica a continuación:

Al igual que ocurre en todos los casos anteriores, es necesario realizar dos bucles (i y k) que se recorren 35 veces, lo que supone el total de los 1225 elementos de nuestra matriz A. Resulta interesante en este caso ver como la macro automáticamente abre una aplicación de Excel con la siguiente expresión:

```
Application.Run "ATPVBAEN.XLAM!Regress"
```

Esto, es equivalente a hacer de forma manual: “Datos” > “Análisis de Datos”; acción que abre un menú que permite la realización de diversos análisis estadísticos. Posteriormente, se seleccionarán todos los datos que existan de la Tabla 6 de cada elemento para realizar la regresión con el siguiente código:

```
ActiveSheet.Range(Cells(7 + comienzo, 2), Cells(19 + comienzo, 2)),  
ActiveSheet.Range(Cells(7 + comienzo, 3), Cells(19 + comienzo, 8)), False, False, ,  
ActiveSheet.Cells(7 + sum, 13)
```

Como se puede apreciar en el ejemplo, se han introducido una serie de variables como “comienzo”, las cuales son necesarias para ir recorriendo cada uno de los 111.475 datos que se van a analizar. Para poder trabajar de una forma sencilla y ordenada los datos, se trasladan los resultados de la regresión múltiple a una tabla final, la cual recoge todas las fórmulas finales de los 1225 elementos. Para ello se precisa de un último bucle por cada regresión, de siete repeticiones, que será el encargado de copiar el valor de las siete variables explicativas en dicha tabla. Se adjunta en el ANEXO 1, Tabla 20, un ejemplo con las primeras 15 y las últimas 15 fórmulas creadas.

Hay que tener en cuenta, que el sector 35: sector de empleados del hogar, es un sector muy específico que no realiza prácticamente ningún gasto energético, por ello, en todas sus fórmulas no existe ninguna variable explicativa suficientemente fuerte para considerarla.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras realizar los estudios correspondientes de correlación y utocorrelación para la estimación de las expresiones matemáticas que nos permiten el desarrollo de la matriz A futura, es importante estudiar el error cometido en las proyecciones de los coeficientes técnicos. Para ello, se proyectarán los coeficientes desde el año 1995 hasta 2009 y se comparan con los datos reales. Posteriormente, se repasarán los resultados obtenidos en las predicciones teniendo en cuenta el error cometido.

7.1. Error cometido en el cálculo de funciones

La expresión de partida nuevamente es la expresión (6.1):

$$\Delta a_{ij}(t) = b1 \times \Delta a_{ij}(t - 1) + b2 \times \Delta IE_{liq}(t) + b3 \times \Delta IE_{gas}(t) + b4 \times \Delta IE_{elect}(t) + b5 \times \Delta IE_{heat}(t) + b6 \times \Delta IE_{solid}(t) + \epsilon$$

Esta expresión, nos devuelve el valor de la variación relativa del elemento a_{ij} en un año t . Por ello, resulta más interesante hacer una comparación entre los datos finales obtenidos mediante su uso y los datos reales del elemento a_{ij} . Para ello, se parte de la fórmula que hemos utilizado con anterioridad para calcular la variación relativa de cada elemento:

$$\Delta a_{ij}(t) = \frac{a_{ij}(t) - a_{ij}(t - 1)}{a_{ij}(t - 1)} \quad (7.1)$$

Si de la fórmula anterior se despeja el valor de $a_{ij}(t)$:

$$a_{ij}(t) = \Delta a_{ij}(t) \times a_{ij}(t - 1) + a_{ij}(t - 1) \quad (7.2)$$

Por lo tanto, el primer paso a la hora de realizar la comparación es utilizar la ecuación de cada elemento para obtener todas las variaciones relativas desde el año 1995 hasta 2009 y posteriormente, transformar estas variaciones los valores de los elementos a_{ij} . Finalmente este dato se compara con los datos anuales que se tienen de la matriz A. El error será medido siguiendo la siguiente fórmula:

$$e_{a_{ij}}(t) = a_{ij}(t) - \hat{a}_{ij}(t) \quad (7.3)$$

Siendo $\hat{a}_{ij}(t)$ el valor obtenido mediante la estimación. Por lo tanto, $e_{a_{ij}}(t)$ es la diferencia entre el valor real y el valor estimado de $a_{ij}(t)$. Además, se tiene que:

$$e_{h_0}(t) = a_{ij}(t) - a_{ij}(t - 1) \quad (7.4)$$

Se define $e_{h_0}(t)$ como la variación absoluta del elemento a_{ij} en los años t y $t-1$. Teóricamente, el error $e_{a_{ij}}(t)$ debe ser menor que el error $e_{h_0}(t)$. El error utilizado para comprar la fiabilidad de la estimación, es el error que denominaremos error de estimación $\hat{e}_{a_{ij}}(t)$, calculado de la siguiente forma:

$$\hat{e}_{a_{ij}}(t) = \frac{|e_{ij}(t)|}{a_{ij}(t)} \times 100 \quad (6.13)$$

Este error de estimación nos devolverá un valor que interpretamos como el porcentaje de error entre la predicción hecha y el valor real del elemento a_{ij} .

Este análisis de error se encuentra en el Excel adjunto (TFG.xlsm) en la hoja "error". Debido a la gran cantidad de datos que se manejan, resulta imposible añadir en este trabajo todo el resultado final de este estudio, por lo que siguiendo con el ejemplo tomado en apartados anteriores, se muestra a continuación el resultado del elemento $a_{19.4}$:

Tabla 12. Análisis de error para el elemento $a_{19.4}$

Variación de $a_{19.4}$ según fórmula		Valor estimado de $a_{19.4}$ (t)	Valor real de $a_{19.4}$ (t)	$e_{a_{19.4}}$	e_{h_0}	\hat{e}
-0,0047	1997	0,0051	0,0052	5,0E-05	2,56E-05	9,62E-01
0,0210	1998	0,0053	0,0054	9,8E-05	2,07E-04	1,83E+00
0,0126	1999	0,0054	0,0056	1,8E-04	2,47E-04	3,20E+00
0,0115	2000	0,0057	0,0056	-8,2E-05	-1,78E-05	1,47E+00
0,0202	2001	0,0057	0,0059	1,8E-04	2,89E-04	3,00E+00
-0,0319	2002	0,0057	0,0058	8,6E-05	-1,02E-04	1,48E+00
-0,0025	2003	0,0058	0,0058	3,2E-05	1,75E-05	5,46E-01
-0,0439	2004	0,0055	0,0055	-6,0E-05	-3,14E-04	1,10E+00
-0,0313	2005	0,0053	0,0054	1,1E-04	-5,96E-05	2,07E+00
-0,0458	2006	0,0052	0,0051	-6,9E-05	-3,17E-04	1,35E+00
-0,0598	2007	0,0048	0,0047	-1,4E-04	-4,41E-04	2,92E+00
-0,1352	2008	0,0040	0,0044	3,6E-04	-2,66E-04	8,30E+00
-0,0806	2009	0,0040	0,0038	-1,9E-04	-5,49E-04	5,05E+00

FUENTE: elaboración propia

Para poder llegar a este resultado, así como a las 1225 comparaciones resultantes, se ha vuelto a hacer uso de programación VBA (macros en Excel).

En este caso, se han utilizado varias macros, las cuales se explican a continuación y se adjuntan completas en el ANEXO 2.

En primer lugar, para poder hacer una comparación entre los resultados reales y los resultados que obtenemos mediante la expresión matemática de cada elemento a_{ij} , se recopilan todos los datos de variaciones relativas tanto de los elementos de la matriz A como de las cinco intensidades energéticas. Con el fin de tener la hoja “error” ordenada para su fácil uso, la Macro 5 y la Macro 6 se encargan, respectivamente, de crear las 1225 tablas y posteriormente de copiar cada dato de variación.

Para poder utilizar la fórmula (6.1), además de los datos de las variaciones es necesario incluir en esta página los valores de los coeficientes $b_1...b_6$ que utilizará la expresión matemática. Para ello se utilizará la Macro 7. Un ejemplo de ella se muestra a continuación:

```
For i = 1 To 1225
Cells(2 + sum, 2).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C26"
Next i
```

En este ejemplo se aprecia cómo se recurre a un bucle para los 1225 elementos. La acción repetitiva que realiza esta macro consiste en seleccionar cada uno de los valores de los 6 coeficientes más el valor del error dado en el estudio del apartado anterior (regresión lineal múltiple) y los copia en la página “error”. Es necesario recurrir a la programación VBA en estos casos, debido a dos factores; en primer lugar, la gran cantidad de datos que se requieren (8575, es decir, 6 coeficientes por cada uno de los 1225 elementos), y segundo, debido a la estructura de las tablas del error. Puesto que estos datos no van seguidos unos de otros, sino que se copian a una diferencia de 30 casillas, resulta imposible realizar la copia de otra forma. De una forma similar, la Macro 8 copia cada una de las 102.900 variaciones descritas anteriormente.

Una vez se tienen todos los datos de partida en la misma hoja (“error”) en el Excel adjunto (TFG.xlms), se procede a realizar la estimación de los valores a_{ij} para los años 1997 hasta 2009. Como se puede observar, resulta imposible esta predicción para años anteriores, puesto que no se tienen dichos datos. Para realizar esta predicción, se recurre a la Macro 9. Dicha macro, va a introducir la fórmula 6.1 para cada uno de los 13 años que se van a predecir de cada elemento a_{ij} . La programación que introduce dicha expresión es la siguiente:

```
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & sum & "C2+F" & sum & "C3*F" & fila + i - 1 & "C2+F" & sum & "C4*F" & fila + i & "C3+F" & sum & "C5*F" & fila + i & "C4+F" & sum & "C6*F" & fila + i & "C5+F" & sum & "C7*F" & fila + i & "C6+F" & sum & "C8*F" & fila + i & "C7"
```

La expresión resultante en cada celda será la expresión matemática de partida (6.1), que utilizará las variaciones relativas mencionadas anteriormente:

$$\Delta a_{ij}(t) = b1 * \Delta a_{ij}(t - 1) + b2 * \Delta IE_{liq}(t) + b3 * \Delta IE_{gas}(t) + b4 * \Delta IE_{elect}(t) + b5 * \Delta IE_{heat}(t) + b6 * \Delta IE_{solid}(t) + \epsilon$$

Una vez obtenido el dato $\Delta a_{ij}(t)$ de cada uno de los 15 años estipulados se procede a realizar el error cometido en esta estimación según la fórmula (7.3). A continuación se incluye un ejemplo que pertenece al error del elemento a_{ij} :

Tabla 13. Variación relativa estimada del elemento $a_{19.4}$

$\Delta a_{19.4}$ según fórmula (6.1)	
1996-1997	-0,004678593
1997-1998	0,021036852
1998-1999	0,012607175
1999-2000	0,011471023
2000-2001	0,020189575
2001-2002	-0,031949098
2002-2003	-0,002455647
2003-2004	-0,04386601
2004-2005	-0,031328275
2005-2006	-0,045782592
2006-2007	-0,059781803
2007-2008	-0,135207249
2008-2009	-0,080633004

Como se ha explicado en el procedimiento teórico, resulta más interesante y útil la comparación de los valores de a_{ij} que las variaciones del propio elemento. Por ello, se procede a crear una nueva columna con los valores de a_{ij} a partir de las variaciones relativas obtenidas según la fórmula (7.2). Para ello, se hace uso de la Macro 10 (ANEXO 2), la cual es la encargada de introducir la expresión (7.2) y conseguir el valor a_{ij} . Esta expresión se introduce mediante la siguiente línea de programación:

```
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & 6 + k + sum & "C12+F" & 6 + k + sum & "C12*F" & 7 + sum + k & "C9"
```

Los datos que toma esta expresión será, en primer lugar, el valor real de a_{ij} del año $t - 1$ (F & 6 + k + sum & "C12) y posteriormente la multiplicación de este mismo valor por la variación relativa estimada (F & 6 + k + sum & "C12*F" & 7 + sum + k & "C9). Esta operación se repetirá 15.925 veces, es decir, 13 por cada uno de los 1.225 elementos a_{ij} . Siguiendo con el ejemplo $a_{19.4}$, se obtiene la siguiente columna:

$\Delta a_{19,4}$ según fórmula (6.1)		Valor estimado de $a_{19,4}$ (t)	
1996-1997	-0,004678593	1997	0,005104865
1997-1998	0,021036852	1998	0,005262882
1998-1999	0,012607175	1999	0,00542874
1999-2000	0,011471023	2000	0,00567244
2000-2001	0,020189575	2001	0,005703137
2001-2002	-0,031949098	2002	0,005691775
2002-2003	-0,002455647	2003	0,005763321
2003-2004	-0,04386601	2004	0,00554076
2004-2005	-0,031328275	2005	0,005308915
2005-2006	-0,045782592	2006	0,005172859
2006-2007	-0,059781803	2007	0,004798844
2007-2008	-0,135207249	2008	0,004032335
2008-2009	-0,080633004	2009	0,004042708

Una vez obtenidas las proyecciones de los valores de $a_{ij}(t)$ de los 1225 elementos, se puede realizar el estudio de error siguiendo el procedimiento descrito al comienzo del capítulo. Puesto que se trata de una operación repetitiva, de 31.850 operaciones se hará uso de la Macro 11. En dicha macro, creará las dos columnas con los dos errores ($e_{h_0}(t)$ y $e_{ij}(t)$) de cada elemento.

El código completo de dicha macro se encuentra en el ANEXO 2. En él se puede apreciar a simple vista la parte correspondiente a cada error. Primero se complete el error $e_{ij}(t)$ de cada elemento con el siguiente bucle:

```

For i = 1 To 1225
  For k = 1 To 13
    Cells(7 + k + sum, 13).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & 7 + k + sum & "C12-F" & 7 + k + sum & "C11"
  Next k
  sum = sum + 30
Next i

```

En donde se ve que, para cada uno de los 1225 elementos de la Matriz A (bucle i), construye 13 filas (bucle k) que serán las correspondientes a los errores de los 13 años (desde 1997 hasta 2009). Nuevamente se hace uso de un sumatorio "sum" el cual es el encargado de cambiar el número de fila para ir recorriendo todas las tablas hechas previamente.

Por otro lado, y de forma similar a este bucle, se tiene el correspondiente al del error $e_{h_0}(t)$. Se muestra a continuación el fragmento correspondiente:

```
For i = 1 To 1225
```

```
  For k = 1 To 13
```

```
    Cells(7 + k + sum, 14).Select
```

```
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & 7 + k + sum & "C12-F" & 6 + k + sum & "C12"
```

```
  Next k
```

```
  sum = sum + 30
```

```
Next i
```

La consecución de operaciones es muy similar al ejemplo anterior, cambiando la fórmula introducida, la cual se corresponde con la fórmula (7.4).

Siguiendo con el ejemplo expuesto (elemento $a_{19.4}$), se expone a continuación los resultados a modo de ejemplo de los dos errores correspondientes:

$\Delta a_{19.4}$ según fórmula (1)	Valor estimado de $a_{19.4}$ (t)	e_{h_0}	$e_{19.4}$
1996-1997 -0,004678593	1997 0,005104865	2,5588E-05	4,95839E-05
1997-1998 0,021036852	1998 0,005262882	0,000206702	9,82686E-05
1998-1999 0,012607175	1999 0,00542874	0,000246959	0,00017937
1999-2000 0,011471023	2000 0,00567244	-1,78376E-05	-8,21684E-05
2000-2001 0,020189575	2001 0,005703137	0,000289352	0,000176487
2001-2002 -0,031949098	2002 0,005691775	-0,000102116	8,57329E-05
2002-2003 -0,002455647	2003 0,005763321	1,74538E-05	3,16414E-05
2003-2004 -0,04386601	2004 0,00554076	-0,000314349	-6,01474E-05
2004-2005 -0,031328275	2005 0,005308915	-5,95637E-05	0,000112134
2005-2006 -0,045782592	2006 0,005172859	-0,000317081	-6,88915E-05
2006-2007 -0,059781803	2007 0,004798844	-0,000441192	-0,000136068
2007-2008 -0,135207249	2008 0,004032335	-0,000265502	0,000364939
2008-2009 -0,080633004	2009 0,004042708	-0,000548787	-0,000194221

Para finalizar el estudio de error, falta realizar la última columna, la cual expresa el valor porcentual del error cometido en la predicción de los elementos a_{ij} según la expresión (7.5). Nuevamente se recurre a la programación VBA, en este caso la Macro 12. Dicha macro crea la última columna que se puede ver en la hoja "error", en las tablas de cada elemento. En ella se introduce año a año el error cometido en la estimación de a_{ij} . Tal y como ocurre en los dos casos anteriores, se ha recurrido a dos bucles que generan un total de 15.925 fórmulas en sus respectivas celdas. El siguiente ejemplo de código es el encargado de introducir dicha expresión:

```
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=ABS(F" & 7 + k + sum & "C13)*100/F" & 7 + k + sum & "C12"
```

El resultado final del estudio de error se encuentra en la hoja "error" del libro Excel adjunto (TFG.xlsm). En dicha hoja se encuentran los 1225 estudios de

error correspondiente a cada una de las predicciones para los elementos a_{ij} . A continuación, se muestra el ejemplo $a_{19,4}$ con su tabla completa:

Tabla 14. Errores del elemento $a_{19,4}$

$\Delta a_{19,4}$ según fórmula (1)	Valor estimado de a_{ij} (t)	e_{h_0}	$e_{19,4}$	$\hat{e}_{19,4}$
1996-1997 -0,004678593	1997 0,005104865	2,5588E-05	4,95839E-05	0,961
1997-1998 0,021036852	1998 0,005262882	0,000206702	9,82686E-05	1,832
1998-1999 0,012607175	1999 0,00542874	0,000246959	0,00017937	3,198
1999-2000 0,011471023	2000 0,00567244	-1,78376E-05	-8,21684E-05	1,469
2000-2001 0,020189575	2001 0,005703137	0,000289352	0,000176487	3,001
2001-2002 -0,031949098	2002 0,005691775	-0,000102116	8,57329E-05	1,483
2002-2003 -0,002455647	2003 0,005763321	1,74538E-05	3,16414E-05	0,546
2003-2004 -0,04386601	2004 0,00554076	-0,000314349	-6,01474E-05	1,097
2004-2005 -0,031328275	2005 0,005308915	-5,95637E-05	0,000112134	2,068
2005-2006 -0,045782592	2006 0,005172859	-0,000317081	-6,88915E-05	1,349
2006-2007 -0,059781803	2007 0,004798844	-0,000441192	-0,000136068	2,918
2007-2008 -0,135207249	2008 0,004032335	-0,000265502	0,000364939	8,299
2008-2009 -0,080633004	2009 0,004042708	-0,000548787	-0,000194221	5,046

FUENTE: Elaboración propia

Los resultados de este caso concreto dan muy positivos, puesto que ningún valor es superior al 10%. De esta forma, podemos afirmar que los datos futuros que se estimen para el elemento 19.4 van a ser próximos a la realidad de los mismos. En la hoja "error", junto con esta última columna, en la fila inferior, se añade la media de los errores para cada una de las 1225 tablas, con lo que se consigue una estimación global de los mismos. En este caso, la media de error para el elemento $a_{19,4}$ resulta ser de 2,56%. Para este proceso, se utiliza la Macro 13.

Puesto que el total de filas en la hoja "error" asciende a 36.740, se introduce una matriz 35 x 35, donde con un conjunto de colores se puede ver a simple vista el resultado global del análisis de los errores. Con ayuda de las macros 14 a 16. Se trata de una matriz totalmente automatizada, en la cual se muestra de base los elementos ($a_{1,1}...a_{35,35}$) y en la que, con ayuda de tres botones que activan dichas macros, se rellenan de colores para mostrar los elementos en los que, algún error es menor que el dado (Macro 14), la media de los errores es menor que el valor dado (Macro 15) o si existe algún error en el elemento a_{ij} mayor que el error dado (Macro 16).

Los resultados finales del estudio de error, los cuales van a concluir si las predicciones futuras de cada elemento son fiables o no, son:

El número total de errores calculados asciende a 15.925 (13 errores por cada uno de los 1225 elementos), de los cuales, 13.634 son inferiores al 10%. De aquí en adelante, se considerarán los resultados sin tener en cuenta el sector 35 (Sector de empleados del hogar), puesto que, como se ha comentado anteriormente, se trata de un sector muy específico que no requiere aporte energético, y apenas tiene relación con el resto de sectores. Por ello mismo, si eliminamos de los resultados este sector, obtenemos que el total de errores estimados es de 15.470, siendo 13.322 aquellos inferiores a un 10%. Esto supone que, sin contar el sector 35, se tiene un 86,11% de predicciones significativas.

Además de este resultado global, la media de los 13 errores de cada elemento a_{ij} , nos indica que el 91% de las medias es inferior al 10%.

Por lo tanto, podemos afirmar que para aquellos 1.088 elementos a_{ij} cuyo error a la hora de realizar las proyecciones desde 1997 hasta 2009 ha sido menor del 10%, se prevé una estimación futura bastante relevante. Por otro lado, la estimación para aquellos valores cuya media de error supera el 10% se espera que su proyección no sea adecuada.

7.2. Proyección de la Matriz A

En este apartado, se realizarán las proyecciones de la matriz A para los años 2030 y 2050. Con ello, se espera tener una visión general de las transacciones económicas intersectoriales a nivel mundial, según las variaciones en las intensidades energéticas para estos años.

La proyección de esta matriz se realizará mediante la fórmula (6.1) calculada en los apartados anteriores.

$$\Delta a_{ij}(t) = b1 \times \Delta a_{ij}(t - 1) + b2 \times \Delta IE_{liq}(t) + b3 \times \Delta IE_{gas}(t) + b4 \times \Delta IE_{elect}(t) + b5 \times \Delta IE_{heat}(t) + b6 \times \Delta IE_{solid}(t) + \epsilon$$

Puesto que para su utilización se requiere de las variaciones relativas anuales de las intensidades energéticas, se hará uso de los dos escenarios futuros explicados anteriormente: escenario BAU y escenario 2. Ambos escenarios facilitados por el proyecto MEDEAS. Los datos de ambos escenarios se encuentran en la hoja "prediccionIE" del libro Excel adjunto (TFG.xlsm). En ellas vemos los valores de las Intensidades Energéticas para los 35 sectores industriales en los que se trabaja, en el intervalo temporal 1995 - 2060.

En el capítulo 4.1 (Intensidad Energética) se define Intensidad Energética como:

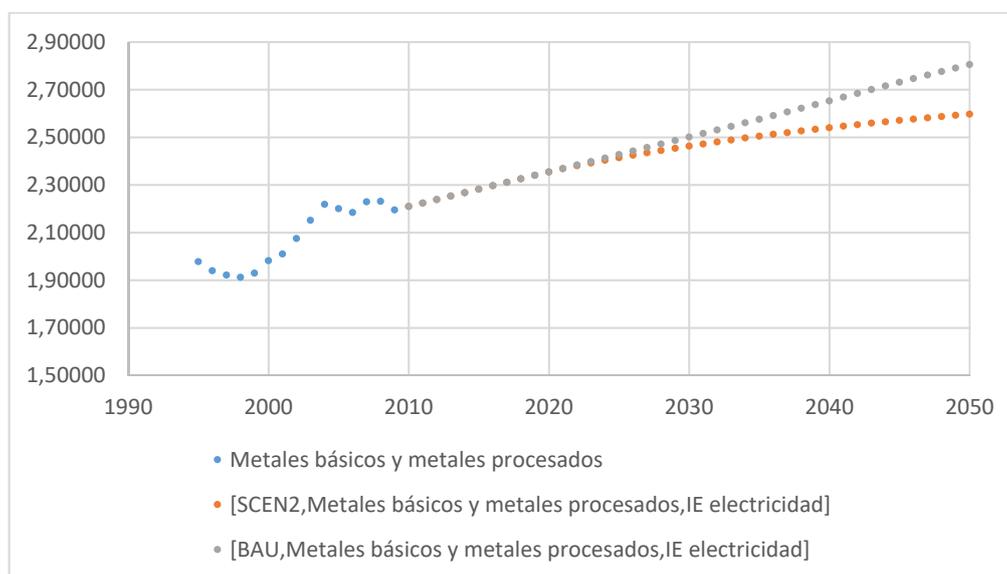
$$IE = \frac{\text{Consumo Energético}}{\text{PIB}}$$

En nuestro caso concreto, hay que tener en cuenta que al tratarse de un estudio sectorial no se puede hablar de PIB sino que se trata de la producción. Por lo tanto, una reducción en la Intensidad Energética, para un tipo de energía (por ejemplo líquidos) es debida, o bien a una mejora en la eficiencia energética, lo que conllevaría un menor uso energético para el mismo nivel productivo (por ejemplo, una mejora técnica en los motores de los vehículos, provoca un descenso en el consumo de gasolina de los mismos) o bien a una sustitución de los líquidos por otra energía (por ejemplo, la sustitución del motor de combustión tradicional por el motor eléctrico).

Para realizar los siguientes gráficos, se cogen los datos reales de partida (1995 – 2009) y a partir de ahí se proyectan las predicciones de los dos escenarios (BAU y escenario 2):

La Intensidad Energética eléctrica tiene más peso en el sector 12: Sector de los metales básicos y fabricados. Es decir, en comparación con el resto de sectores respecto a su producción, es el sector que más energía de fuente eléctrica utiliza. Su evolución histórica hasta 2009 (véase Gráfico 23) representa un aumento del uso eléctrico. Los dos escenarios futuros se asemejan hasta el año 2030, en el cual comienzan dos tendencias distintas. Por un lado, el escenario BAU continua un aumento en el uso energético de este sector, mientras que, en el escenario 2 se aprecia en este año una tendencia hacia un límite que aparentemente está en un valor de 2,6, al cual se llegaría en el año 2050. En este caso, ambos escenarios sugieren un aumento en el uso de la electricidad como fuente energética.

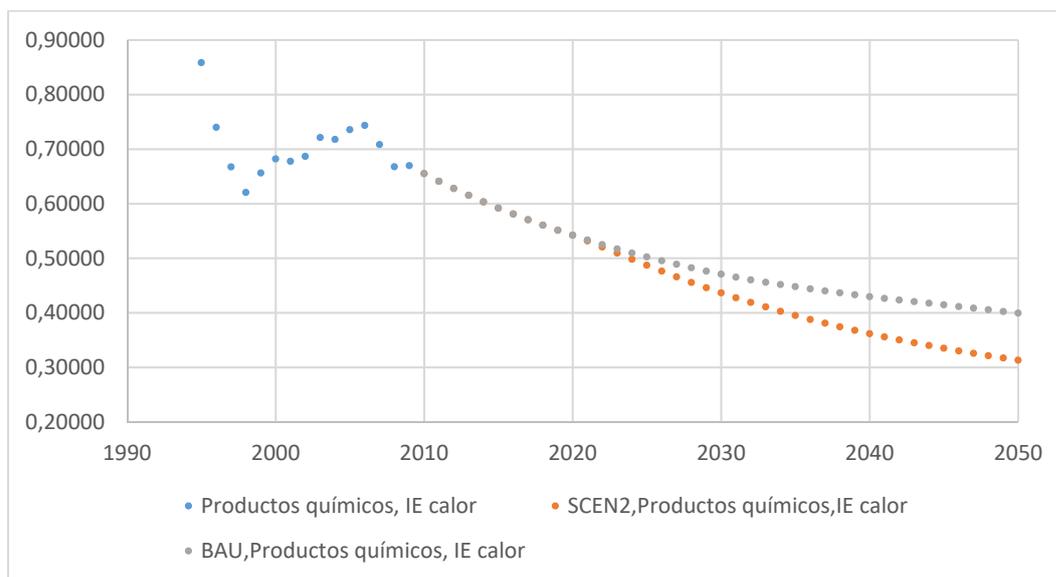
Gráfico 23. Proyección Intensidad Energética (Eléctrica) en el sector 12.



FUENTE: Elaboración propia a partir de MEDEAS

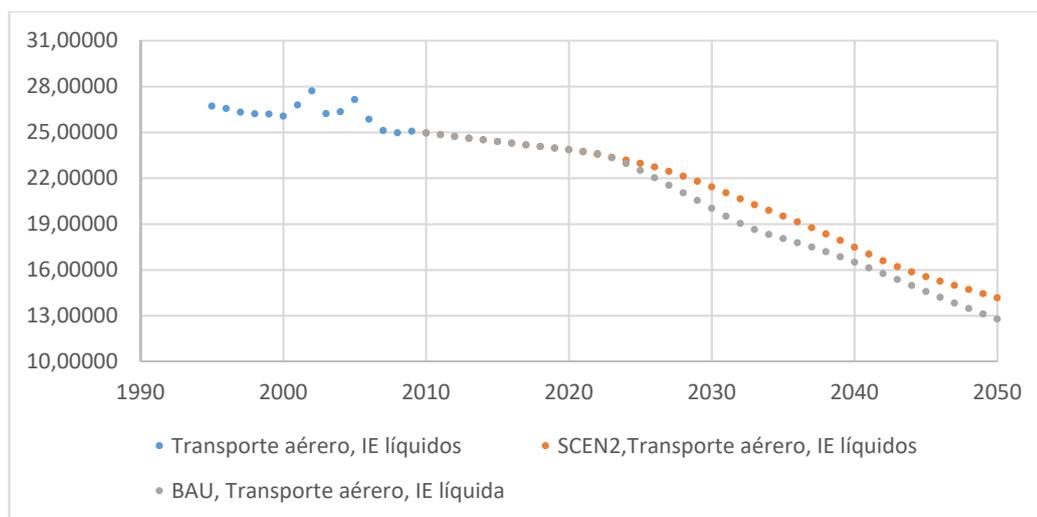
La Intensidad Energética calor tiene un mayor peso en el sector 9: Sector químico. Como se aprecia en el Gráfico 24, los datos históricos desde 1998 hasta 2006 experimentan un aumento, siendo este año el máximo pico, a partir del cual comienza un descenso en el uso de esta energía. En este caso, la diferencia entre ambas proyecciones reside en el límite al cual tienden. Mientras que el escenario BAU tiende a un límite en 0,35, el escenario 2 continúa el descenso siendo su valor un 22% menor.

Gráfico 24. Proyección Intensidad Energética (Calor) en el sector 9.



FUENTE: elaboración propia a partir de MEDEAS

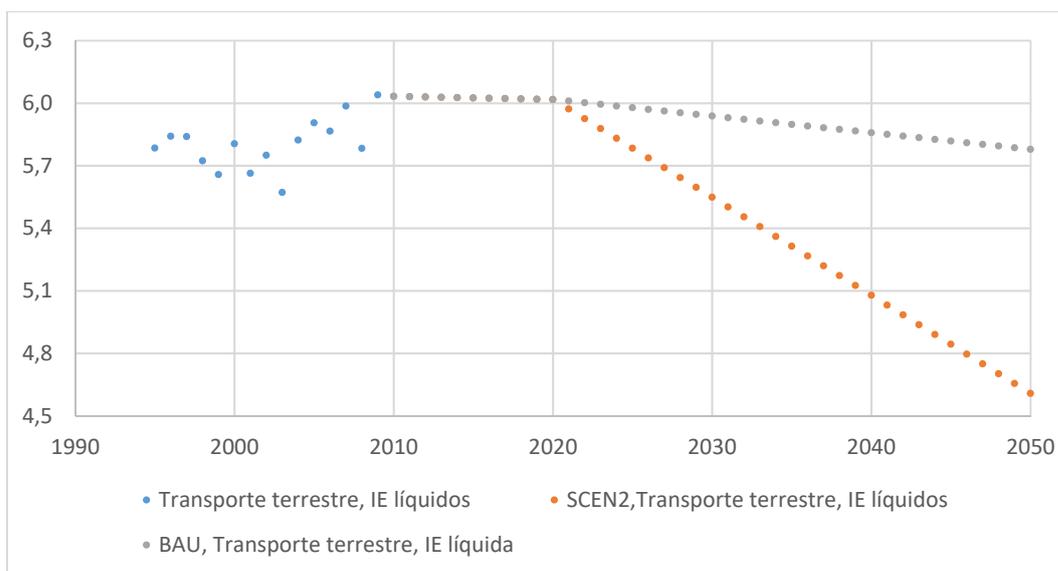
La Intensidad Energética de líquidos influye en mayor medida en los tres sectores referentes al transporte: sector 25 (aéreo), sector 24 (marítimo) y sector 23 (terrestre), en orden decreciente de importancia. En el Gráfico 25 observamos la evolución de la Intensidad energética en el sector del transporte aéreo. Ambas tendencias son muy similares y decrecientes, lo que se corresponde no con una disminución en el transporte aéreo, sino en las mejoras en la eficiencia.

Gráfico 25. Proyección Intensidad Energética (Líquidos) en el sector 25.

FUENTE: Elaboración propia a partir de MEDEAS

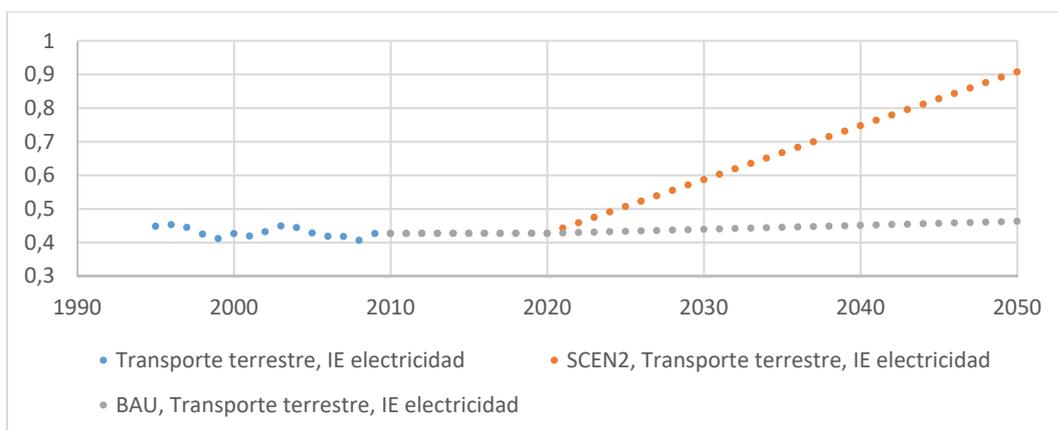
El Gráfico 26 muestra la proyección de la Intensidad Energética de líquidos en el sector 23 (transporte terrestre). Resulta interesante ver las grandes diferencias que existe según los distintos escenarios. Además, esta gráfica se explica perfectamente con la Gráfico 27. En el escenario BAU se mantiene casi constante el valor actual tanto de la intensidad energética eléctrica como de líquido, lo que corresponde con una proyección que mantiene el sector del automóvil tal y como se encuentra actualmente (la ligera reducción en la IE de líquidos puede deberse a la mejora en la eficiencia de los motores de combustión), mientras que en el escenario 2 se ve como desde el año 2020 se proyecta un gran descenso en el uso líquido frente al uso eléctrico, el cual experimenta un gran aumento. Este último se entiende como la transición del motor de combustión por el motor eléctrico.

Gráfico 26. Proyección Intensidad Energética (Líquidos) en el sector 23.



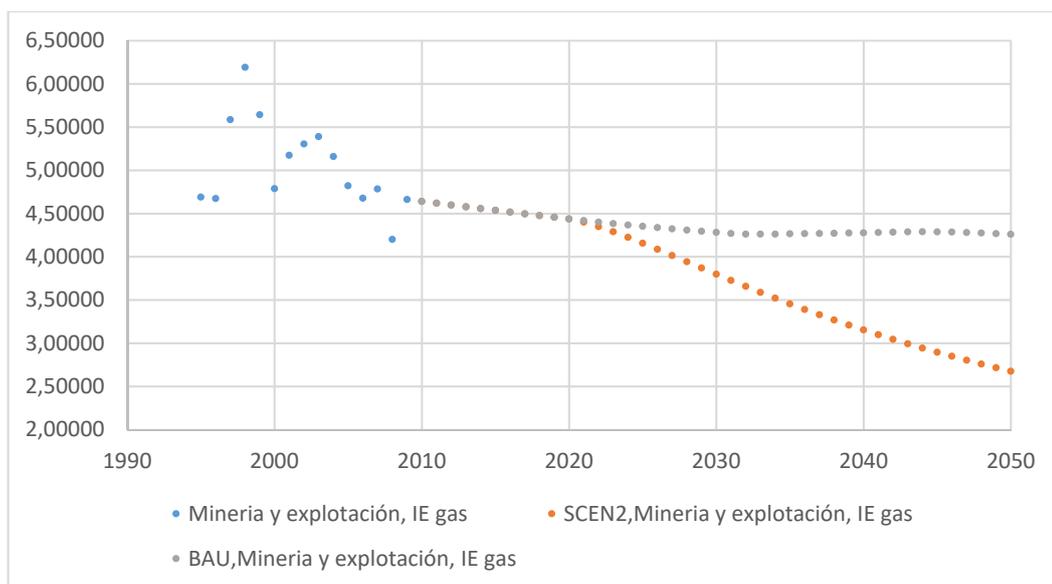
FUENTE: Elaboración propia a partir de MEDEAS

Gráfico 27. Proyección Intensidad Energética (Electricidad) en el sector 23.



FUENTE: Elaboración propia a partir de MEDEAS

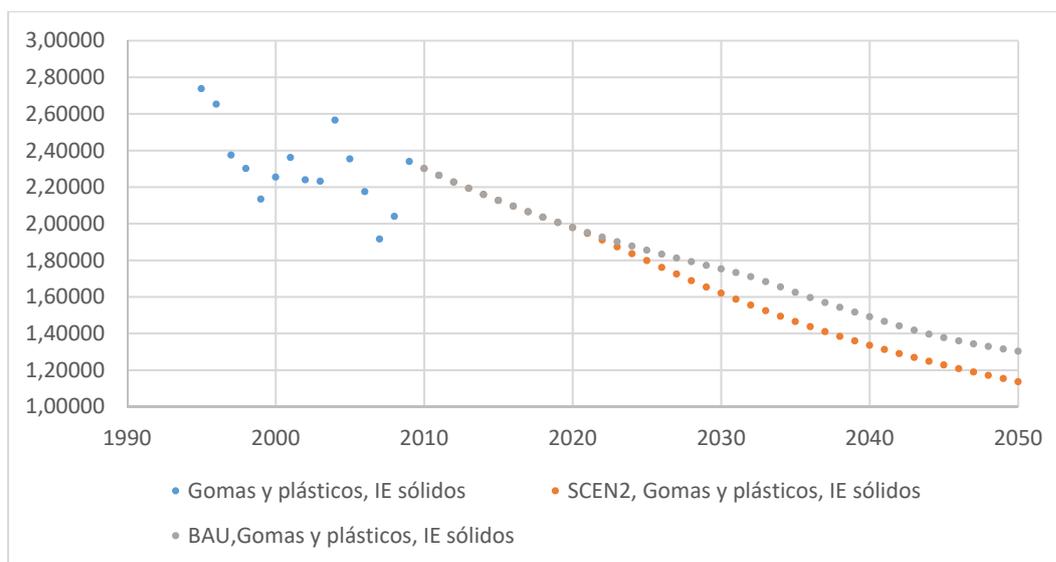
En el caso de la Intensidad Energética de gas, el sector en el cual más peso tiene es el sector 2 (Minería y extracción de combustibles fósiles). En este caso, ambas predicciones son distantes. Por un lado, el escenario BAU predice un futuro en el cual el uso de los combustibles fósiles se mantiene constante, y por ello no se reduce la intensidad energética del gas en su extracción. Por otro lado, el escenario 2 muestra el caso contrario, en el cual el uso del gas se reduce con el fin de conseguir combustibles fósiles, por lo que supone un futuro con un bajo peso de carbono en el mix energético. Esto se puede apreciar en el Gráfico 28:

Gráfico 28. Proyección Intensidad Energética (Gas) en el sector 2.

FUENTE: Elaboración propia a partir de MEDEAS

Por último, el sector en el cual la Intensidad Energética de sólidos tiene una mayor influencia es en el sector 10 (Gomas y plásticos). En este caso, los dos escenarios coinciden en el descenso en la Intensidad Energética de los sólidos en el sector de los plásticos, reduciéndose entre un 30% y un 40% según el escenario utilizado en el año 2030 (Gráfico 29):

Gráfico 29. Proyección Intensidad Energética (Sólidos) en el sector 10.



FUENTE: Elaboración propia a partir de MEDEAS

Como conclusión a las proyecciones de las Intensidades Energéticas hasta el año 2050, se puede ver dos tendencias claramente diferenciadas, y compartidas por ambos escenarios en la mayoría de los casos. Se aprecia un mayor uso en la energía eléctrica, mientras que las energías procedentes de combustibles fósiles experimentan un decrecimiento en los próximos años.

Para poder hacer una simulación hasta un año t , la fórmula (6.1) requiere de dos grupos de datos. Por un lado, las Intensidades Energéticas del propio año t , que proceden de las predicciones realizadas por el proyecto MEDEAS (ejemplos anteriores) y, por otro lado, de la variación relativa del propio elemento en el año anterior. Por ello, es necesario realizar la proyección año a año, con el fin de conseguir las variaciones de todos los años.

Esta operativa requiere introducir un total de 539.000 datos en sus respectivas celdas (440 para cada uno de los 1225 elementos a_{ij}). Por ello, se recurre nuevamente a la programación VBA. Las proyecciones se realizan todas en la misma hoja del Excel, "MatrizA2050". En ella nos encontraremos con una matriz vacía, la cual se irá rellenando automáticamente según la opción que se elija con los botones que se encuentran a su lado. Estos botones ejecutan una de las cuatro macros que se adjuntan en el ANEXO 2 (Macro 17 – 20). Puesto que la diferencia entra las cuatro se encuentra o bien en los datos que recoge (escenario 2 o BAU) o bien en el año que interesa proyectar, se explicará únicamente la programación referente a la Macro 17, que se corresponde con el código que genera la simulación según el escenario SCEN2 para el año 2050.

Lo primero que realiza la macro, es buscar los coeficientes de la fórmula (6.1) para el elemento a_{ij} en la hoja "error". Posteriormente, se copian todos los datos referentes al periodo temporal 1995 - 2009. Estos datos son los correspondientes a variaciones relativas, tanto de Intensidades Energéticas como del propio elemento a_{ij} que se han utilizado hasta el momento. A continuación, utilizando los datos de las predicciones de las Intensidades Energéticas, se introducirán las variaciones relativas según la siguiente fórmula:

$$\frac{IE(t) - IE(t - 1)}{IE(t - 1)}$$

El fragmento de la programación dedicado a ello es el siguiente:

```
Cells(19 + x, 4).Select
```

```
Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 16 & "-prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ""
```

Esto se realiza para cada una de las cinco Intensidades Energéticas.

Una vez todos los datos son copiados en la tabla de la hoja "MatrizA2050", automáticamente se genera el valor de a_{ij} tanto para el año 2030 como para el año 2050, y la macro correspondiente copia su valor en la matriz predicción. Estas operaciones se repiten 1225 veces para completar la Matriz A para un año determinado (2050 o 2030).

El proceso para la generación de la proyección de la Matriz A esta totalmente automatizado. En el momento que son tanto introducidos los datos iniciales, como las predicciones de las Intensidades Energéticas para cada valor, automáticamente se va generando la predicción del año t , hasta llegar a 2050 o 2030. Por último, la Macro correspondiente a la predicción que se esté realizando copiará el valor del elemento $a_{ij}(t)$ en la Matriz Predicción (hoja "MatrizA2050" del Excel adjunto). El resultado final de las 4 Matrices A se encuentran en las últimas dos hojas del Excel adjunto ("SCEN2" y "BAU" según el escenario utilizado)

Para evaluar el resultado de las proyecciones, hay que tener en cuenta los resultados expuestos en el apartado 7.1. Aquellos elementos cuyo error de cálculo difería en más de un 10% con el valor real no se tendrán en cuenta, puesto que no se puede asegurar su viabilidad (siendo el total de estos valores un 12,5%). Por lo tanto, los resultados obtenidos que se consideran fiables son un total de 1085 resultados (1085 para cada una de las 4 Matrices A proyectadas). Los resultados obtenidos para el año 2050 tanto para el escenario BAU como para el escenario 2 son de gran calidad, puesto que

únicamente existen cuatro datos anómalos (datos cuyo valor para a_{ij} es mayor que la unidad).

Las proyecciones de la matriz A nos permiten observar de forma general los valores que asumen los elementos a_{ij} dependiendo del escenario y en un año dado. Para poder realizar un estudio de un solo elemento, y ver su evolución temporal según un escenario dado, se procede a realizar dos nuevas macros (21 y 22 del ANEXO 2). En este caso, realiza el mismo estudio que realizaban anteriormente para completar la predicción de la matriz A, pero para un elemento a_{ij} dado por el usuario. Para que funcione esta macro, se necesita introducir un elemento en las celdas marcadas para ello en la página “matrizA2050” del Excel adjunto y pulsar sobre el botón correspondiente. En este momento, la macro recoge los valores de “i” y “j” con las siguientes dos líneas de código:

```
i = Worksheets("matrizA2050").Range("O51").Value  
j = Worksheets("matrizA2050").Range("O54").Value
```

Una vez se tienen los valores, la macro realizará una búsqueda en la pestaña “error” para copiar los valores de las variaciones relativas, tanto del elemento a_{ij} como la de las intensidades energéticas para comenzar la simulación hasta el año 2050. El código necesario para localizar y seleccionar la celda que contiene el valor a_{ij} dado es el siguiente:

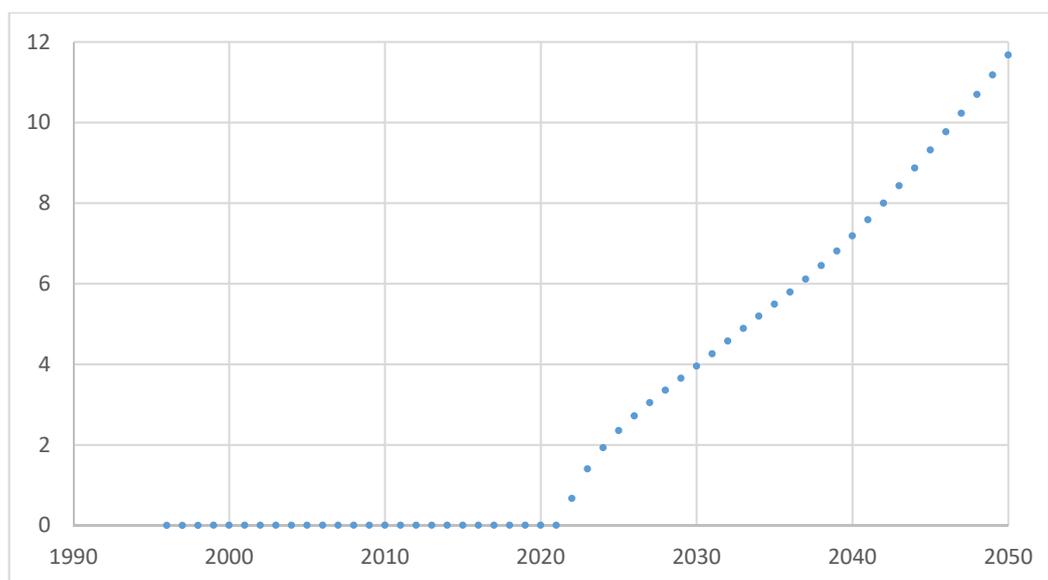
```
With Sheets("error").Range("A:A")  
    Set Rng = .Find(What:=FindString, _  
        After:=.Cells(.Cells.Count), _  
        LookIn:=xlValues, _  
        LookAt:=xlWhole, _  
        SearchOrder:=xlByRows, _  
        SearchDirection:=xlNext, _  
        MatchCase:=False)  
    If Not Rng Is Nothing Then  
        Application.Goto Rng, True  
    Else  
        MsgBox "ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO"  
    Exit Sub
```

Además de buscar el elemento, la propia macro avisará al usuario si ha introducido un elemento que no existe con el mensaje “ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO” parando automáticamente su funcionamiento.

Uno de los datos anómalos comentados anteriormente, es referente al elemento $a_{24.12}$. Con la macro descrita, obtenemos su evolución temporal a lo largo de los años (véase Gráfico 30).

Como se aprecia, hasta el año 2020 los datos se ajustan a valores normales $[0,1]$, pero es en este año cuando comienza a crecer el valor de una forma anómala. Este hecho se repite en los otros tres elementos cuyos valores sobrepasan la unidad.

Gráfico 30. Evolución del elemento $a_{24.12}$ según escenario BAU



FUENTE: Elaboración propia

El elemento $a_{24.12}$ corresponde a las transacciones desde el sector 24 (transporte marítimo), al sector 12 (metales básicos y procesados). La fórmula correspondiente a este intercambio es la siguiente:

$$a_{24.12}(t) = 0,273 \times b3 + 0,0373$$

Sabiendo que el error en la estimación comienza en el año 2020, y que este elemento tiene dependencia única del coeficiente $b3$, siendo este el relativo a la Intensidad Energética del Gas, hay que fijarse en la proyección dada por el escenario BAU de la Intensidad Energética Gas para este elemento:

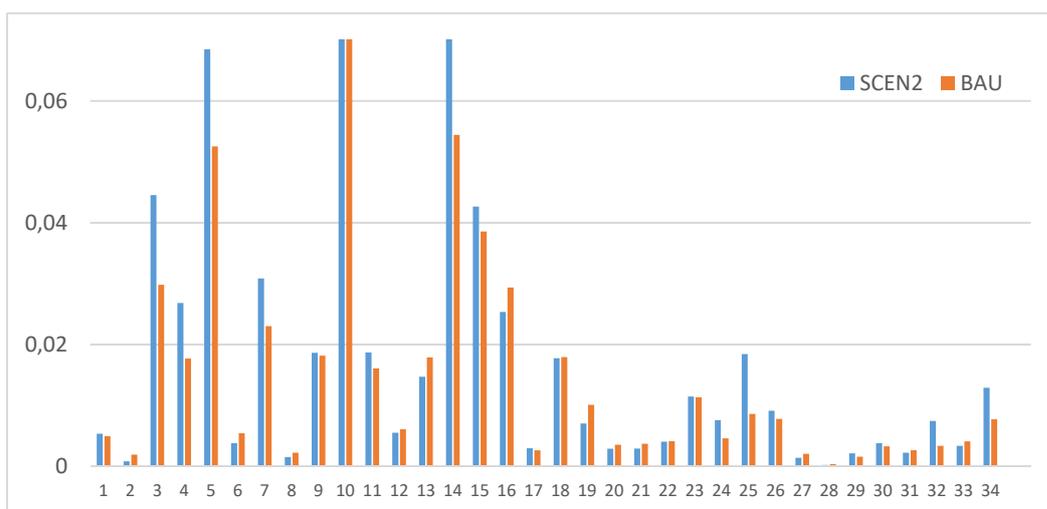
Tabla 15. Valor de la Intensidad Energética Gas para el sector 24

2021	2022	2023	2024	2025	2026
0,00001	0,00294	0,01429	0,03201	0,05353	0,07659

Puesto que la fórmula 6.1 está expresada en términos de variación relativa, la variación entre el año 2021 y 2022 tiene un valor de 293%. Como este valor es el que va multiplicando al coeficiente b_3 en este caso, provoca que el valor comience a crecer de una forma descontrolada. Este suceso ocurre en los otros tres elementos en los cuales el valor supera la unidad.

Uno de los sectores que se puede proyectar sin error en ninguno de sus 34 elementos (como se explicó previamente, el sector 35 no se tiene en cuenta en este estudio) es el sector 10 (sector del plástico). En el Gráfico 31 se muestra las diferencias a la hora de proyectar con un escenario o con otro. El dato correspondiente al elemento $a_{10.10}$ se representa cortado, puesto que su valor es de 0,6 y no se apreciaría el resto de resultados. Como se observa los dos escenarios nos dan resultados muy parejos entre sí. Resulta más interesante observar que ocurre con cualquiera de estos escenarios (se ha escogido el escenario 2) y los datos reales de 2009 (Gráfico 32)

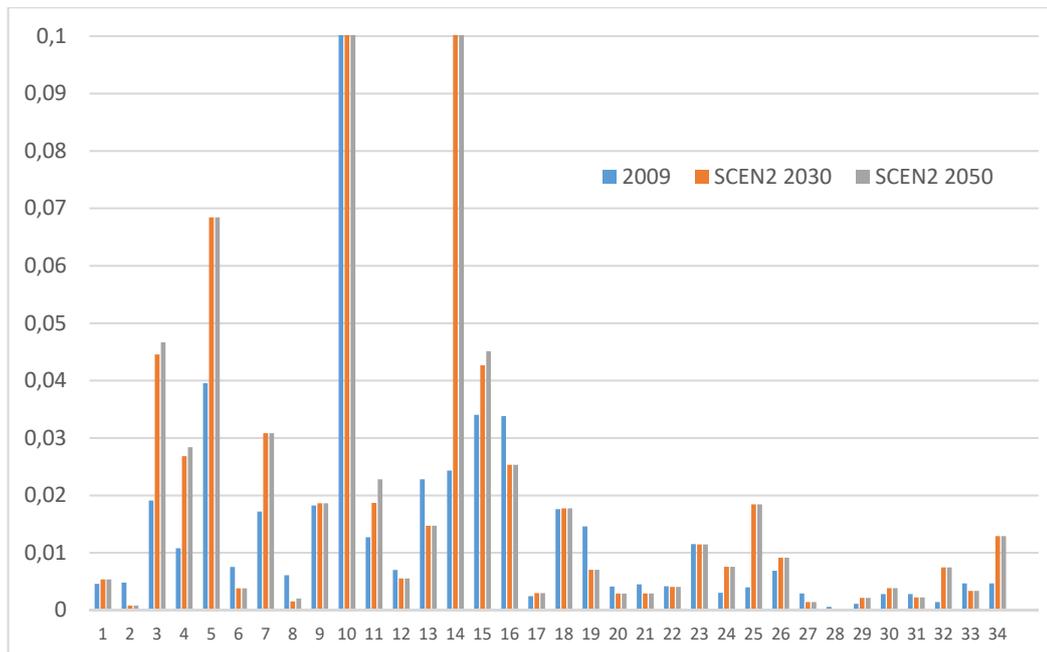
Gráfico 31. Relaciones intersectoriales del sector 10 en el año 2030 según escenarios



FUENTE: elaboración propia

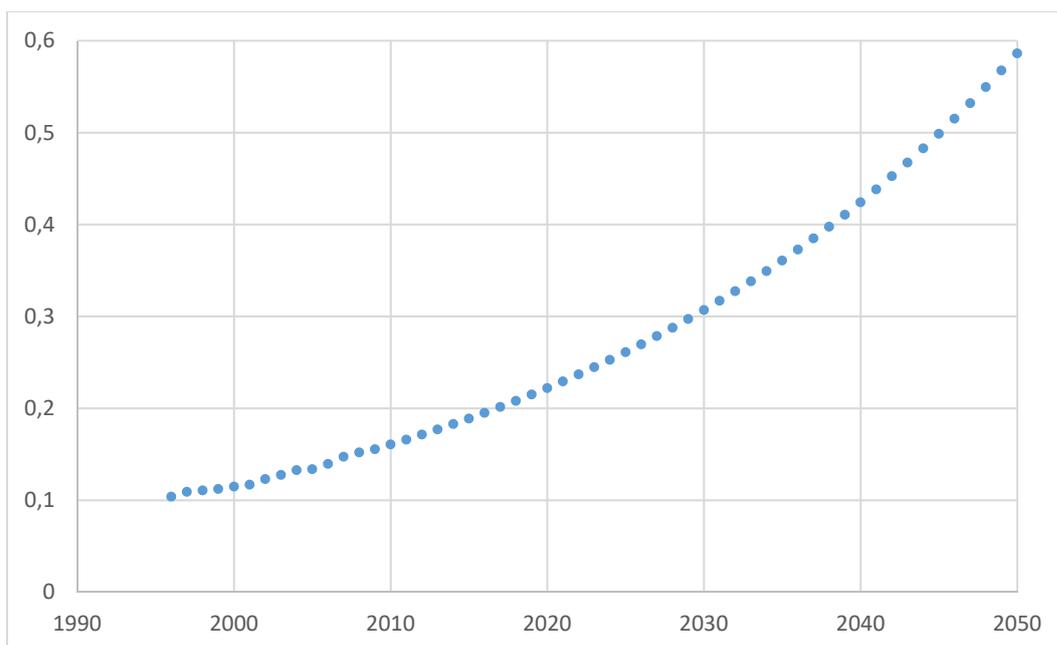
En el siguiente gráfico se puede ver la tendencia que describe el sector 10 (sector del plástico). Pese al esfuerzo de gran número de organizaciones (National Geographic, 2018), la tendencia en la economía intersectorial del plástico es creciente. En el 61% de los sectores, el peso económico del plástico es mayor en 2050 que en 2009, incluso en el escenario más “ecológico”.

Gráfico 32. Relaciones intersectoriales del sector 10 en 2009, 2030 y 2050.



FUENTE: elaboración propia

En los gráficos anteriores, se ve claramente que el sector con mayor transacción para el sector del plástico es con su propio sector (sector 10). Resulta interesante observar la evolución anual del valor $a_{10.10}$ para ver la tendencia en este intercambio intersectorial. Véase Gráfico 33. Con ello podemos concluir que lejos de reducir la producción de plásticos, esta tiende a aumentar de forma exponencial en los próximos años.

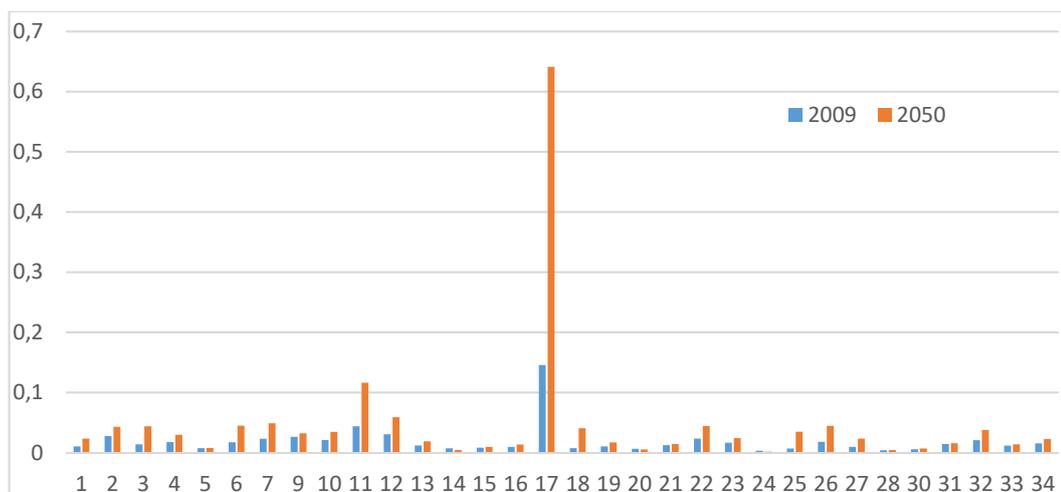
Gráfico 33. Evolución temporal del elemento $a_{10,10}$ según SCEN2

FUENTE: elaboración propia

De la misma forma que se ha estudiado el sector 10, se procede a repasar las tendencias en los sectores energéticos: sector 8 (Carbón y petróleo) y sector 17 (Suministro eléctrico, gas y agua). Para ambos casos se utilizará exclusivamente el Escenario 2. Además, en las gráficas correspondientes a los siguientes análisis se quitarán los sectores económicos que previamente se hayan descartado en el 6.5.

Tal y como se ha expuesto en el capítulo 5 (Transición energética), la proyección para el año 2050 en los intercambios sectoriales del sector eléctrico (sector 17) son crecientes. Esta evolución se aprecia de una forma visual en el Gráfico 34. Este aumento, supone de media en el total de los sectores un 92,80% en el intervalo temporal de estudio. Estos datos son los esperados, debido a la creciente demanda energética y la transición energética hacia energías limpias.

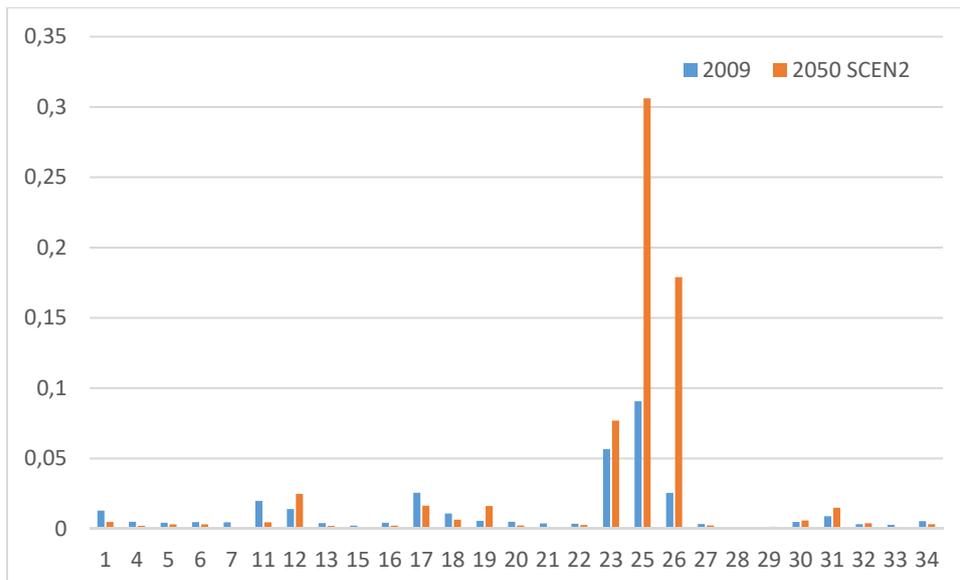
Gráfico 34. Comparación 2009 – 2050 para el sector 17



FUENTE: elaboración propia

Por otro lado, la comparación en el sector 8 (Carbón y petróleo) entre el año 2009 y la proyección para el año 2050 es muy dispar dependiendo del sector observado (véase Gráfico 35). En 19 de los 27 sectores en los que los datos son aceptables para los intercambios intersectoriales de este sector, el valor de dicho intercambio económico decrece (70,4 %) con una disminución media de 46,9% en cada sector en el cual se consume menos combustible fósil (carbón o petróleo). Sin embargo, en 8 de los 27 sectores (19,6% de los sectores) se produce un incremento en el año 2050. Este incremento supone un aumento medio del 159%. El sector con el aumento más notable en la demanda de petróleo es el sector 25 (sector del transporte aéreo). Pese a las mejoras en la eficiencia técnica que se comentaron con anterioridad, el sector del transporte aéreo experimenta un aumento de la demanda de este tipo de recursos. Además, el sector 23 (sector del transporte terrestre), pese a tener un aumento en la Intensidad Energética eléctrica (Gráfico 27), aumenta la demanda de este tipo de energía (combustibles fósiles líquidos).

Gráfico 35. Comparación 2009 - 2050 para el sector 8



FUENTE: elaboración propia

8. CONCLUSIONES

El estudio previo que conlleva la realización de este Trabajo Fin de Grado ha supuesto una profunda búsqueda de información en torno a los problemas medioambientales que están sujetos al uso de la energía. El mix energético utilizado por la sociedad actual, ha derivado en graves consecuencias para el planeta, lo cual requiere de unas medidas inmediatas para su supervivencia. En este entorno de cambio, no solo se ve afectado el individuo sino también la industria a nivel mundial, la cual es la principal demandante de energía. La relación entre las relaciones industriales mundiales, expuestas en las tablas Input – Output, y la energía consumida para lograr su producción, expresada como Intensidad Energética, ha sido el camino seguido para lograr el objetivo de este trabajo.

Por un lado, se ha expuesto la metodología Input – Output, en donde se explica el significado de cada matriz, así como su desagregación en expresiones matemáticas para las ventas y demandas sectoriales. Además, se ha incluido el desarrollo de la Matriz Inversa de Leontief, la cual ha sido necesario a la hora de trabajar con los coeficientes técnicos de la Matriz A.

Por otro lado, ha sido necesario un coeficiente denominado Intensidad Energética que relaciona el uso energético de un sector con la producción del mismo. Todo ello ha sido desarrollado y relacionado con el consumo energético mundial, así como con las tendencias futuras del mix energético.

En este contexto, el objetivo final de este Trabajo Fin de Grado ha sido proyectar los coeficientes técnicos futuros de la Matriz A según el escenario energético dado. Para ello ha sido necesario el análisis de correlación entre las variaciones relativas de cada coeficiente técnico y las intensidades energéticas (Líquidos, Gas, Sólidos, Calor y Eléctrica). Por otro lado, se ha estudiado la autocorrelación de las variaciones de los propios elementos de la Matriz A. Todo ello, con el fin de conseguir una expresión matemática para cada coeficiente técnico que permita realizar la proyección deseada.

Dada la alta incertidumbre de la información utilizada, los resultados obtenidos han sido considerados satisfactorios, puesto que el error en la estimación de los mismos no ha superado el 10% de media. Por ello, gracias a las predicciones, se puede tener una visión general de las transacciones económicas futuras (en el año 2030 y 2050) teniendo en cuenta la evolución del uso energético. Estos valores estimados únicamente podrán ser contrastados con los valores reales en los años pertinentes. Además, ha de tenerse cuidado con la interpretación de los resultados, puesto que existen un

gran número de factores que provocan modificaciones en la demanda energética que no se han tenido en cuenta para este trabajo.

El desarrollo práctico del trabajo se ha realizado íntegramente con el programa informático Excel, con el uso de programación VBA. A lo largo del mismo, se ha observado que esta herramienta es útil para operaciones simples, pero resulta excesivamente lenta cuando el número de operaciones es extenso. En concreto, la obtención de la Matriz A estimada, ya sea para 2030 o para 2050 y con cualquiera de los dos escenarios posibles, requiere un tiempo de ejecución aproximado de 40 minutos en una CPU Intel Core i5-8400 de 2,8GH con 500GB de memoria. Por ello, esta herramienta no resulta práctica a la hora de realizar simulaciones con un gran número de variables o repeticiones.

Las proyecciones obtenidas de la Matriz A, para cualquiera de los dos escenarios, remarcan el crecimiento que está teniendo la industria a nivel mundial, puesto que existe un aumento generalizado en el valor de las transacciones sectoriales mundiales. Este aumento, conlleva necesariamente un aumento del uso energético para lograr ese aumento de producción. Las políticas anunciadas y establecidas en diferentes países inducen un cambio en el mix energético tanto a corto como a largo plazo hacia una economía baja en carbono, procurando un mayor uso de energías “limpias”. Según los resultados obtenidos en este trabajo, estas políticas de cambios son insuficientes en determinados sectores, en los que existe una continuidad o incluso aumento de la demanda de este tipo de energía. Por ello, la conclusión final a la que se llega, es que las políticas tomadas en los últimos años respecto al uso energético y frente al cambio climático conllevan una leve mejoría en ciertos sectores, pero las proyecciones a medio y largo plazo denotan carencias en el mix energético, lo que implica la necesidad de cambios inminentes en relación con el uso de la energía.

El siguiente paso a seguir, será tratar de integrar la información obtenida en este trabajo en los módulos de MEDEAS para que se ejecute en tiempo real.

Puesto que la variación de la Matriz A no se debe exclusivamente a la relación con el uso energético, una posible continuación de este trabajo resulta del estudio de correlación entre los sectores. Esto es, determinar si la causa de variación de un elemento de la Matriz A, es debido al avariación de otro elemento. Además, existen otro tipo de variables no energéticas que pueden modificar las variaciones de los coeficientes técnicos que no se han tenido en cuenta para este trabajo, como por ejemplo las previsiones sobre el comercio internacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango, Fernadno del Castillo Cuervo y Galbete, Jose MARía Martinez. 1986.** *Sobre la utilización de la matriz inversa de Leontief en economías abiertas.* 1986.
- Banco Mundial. 2015.** *Producción de electricidad a partir de fuentes nucleares (% del total).* 2015.
- BP. 2018.** *Energy Outlook.* 2018.
- Bullard, C. W.;Penner, P. S.; Pilati, D. A. . 1978.** *Net Energy Analysis Handbook for Combinig process and Imput-Output Analysis.* 1978.
- Bullard, Clark W. y Herendeen, Robert A. 1975.** *The energy cost of goods.* 1975.
- Carbon Brief. 2018.** *The impacts of climate change at 1.5C, 2C and beyond.* 2018.
- CCE. Eficiencia energética.** s.l. : Camara de Comercio de España.
- CDS. 1997.** Comisión de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas. Nueva York : s.n., 1997.
- Charter, Martin, y otros.** *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology.* [ed.] Sangwon Suh. s.l. : Springer.
- Chatterjee, Sampit y Price, Bertram. 1977.** *Regression Analysis by Example.* 1977.
- Clark, Paul y burnley cheney, Hollis. 1967.** *Economía Interindustrial. Insumo producto y programación lineal.* 1967.
- Constanza, Robert. 1980.** *Embodied Energy and Economic Valuation.* 1980.
- Csereklyei, Z. 2016.** *Energy and economic growth: the stylized facts.* 2016.
- Duarte, Vânia. 2019.** *El mix energético del futuro.* Caixa Bank Research. 2019.
- EIA. 2019.** *ANNUAL ENERGY OUTLOOK 2019.* U.S. Energy Information Administration. 2019.
- European Commission. 2015.** 2015.
- Flury, Bernhard y Riedwyl, Hans. 1988.** *Multivariate statistics. A practical approach.* Cambridge : Chapman and Hall, 1988.

Fouquet, R. 2010. *The slow search for solutions: lessons from historical energy transitions by sector and service.* 2010.

García, Jorge de la Garza, Morales, Blanca Nieves y Cavazos, Beatriz González. 2013. *Análisis estadístico multivariante.* s.l. : Mc Graw Hill, 2013.

Gonzalez, David. 2001. Upbeat Plan for a Dam in Belize Turns Nasty. *The New York Times.* Marzo de 2001.

Gutiérrez, Carlos Gómez. 2018. *EL DESARROLLO SOSTENIBLE.* UNESCO. 2018.

Hair, Joseph F., y otros. 1999. *Análisis multivariante.* s.l. : Prentice Hall, 1999.

Herrero, Luis M. Jiménez. 2017. *Transición hacia la coevolución global.* Madrid : Piramide, 2017.

Hwang, M.J., Yang, C.W y Huang, B.N. 2008. *Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach.* 2008.

IEA. 2018. *Coal 2018. Analysis and forecasts to 2023.* International Energy Agency. 2018.

—. **2018.** *Electricity Statistics. Detailed, comprehensive annual data on electricity and heat.* 2018.

—. **2019.** *Energy and Climate Change.* International Energy Agency. 2019.

—. **2006.** *Renewables-Based Technology: Sustainability Assessment.* International Energy Agency. 2006.

—. **2018.** *World Energy Outlook.* International Energy Agency. 2018.

—. **2006.** *World Energy Outlook 2006.* International Energy Agency. 2006.

IFC. 2003. *Chad-Cameroon Pipeline Project.* International Finance Corporation. 2003.

INE. 2014. *Contabilidad nacional anual de España: tablas Input-Output.* Instituto Nacional de Estadística. 2014.

IPCC. 2014. *Cambio climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Informe para responsables de política.* Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.

—. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007.

—. 2018. *Global Warning of 1.5°C*. 2018.

Iturre, Héctor Cervini. 2002. *Bases y aplicaciones del modelo insumo-producto*. México DF : AZCAPOTALCO, 2002.

jiménez, Ezequiel uriel y Manzano, Joaquín Aldás. 2005. *Análisis Multivariante Aplicado*. s.l. : Thomson, 2005.

Kagawa, Shigemi. 2012. *Frontiers of environmental Input-Output Analysis*. s.l. : Routledge, 2012.

Malthus, Robert. 1798. *Primer ensayo sobre la población*. s.l. : Altaya, 1798.

MEDEAS. 2019. 2019.

Miller, Ronald E. y Blair, Peter D. 2009. *Input-Output Analysis, Foundations and* . s.l. : Cambridge, 2009.

Milton, Susan y Arnold, Jesse. *Introduction to probability and statics. Principles and applications for Engineering and the computing sciences*. s.l. : McGraw-Hill.

Morán, Miguel Ángel Tarancón. 2003. *Técnicas de análisis económico input-output*. Universidad de Castilla La Mancha. Toledo : s.n., 2003.

Myers, N. 1997. *Consumption in Relation to Population*. 1997.

Naciones Unidas. 2012. *Conferencia de Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible*. 2012.

National Geographic. 2018. *Acuerdo global contra el plástico*. 2018.

O'Neill, B, y otros. 2014. *A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways*. 2014.

ONU. 2018. *Sustainable Development Goal*. 2018.

Organización Internacional de Normalización. 2006. *ISO 14040*. 2006.

PNUMA. 2012. *Perspectivas del medio ambiente mundial. Medio ambiente para el futuro que queremos*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nairobi : s.n., 2012.

Ramírez, Pedro. *El sistema de Leontief y su solución matemática*. Departamento de Matemáticas, Universidad de Antioquia.

Rebeco, José F. De Gregorio. 2007. *Macroeconomía. Teoría y políticas.* [ed.] María Fernanda Castillo. México : Universidad de Chile, 2007.

Reiner. 2016. *Learning through a portfolio of carbon capture and storage demonstration projects.* 2016.

Stern, David. 2010. *Energy Economics.* Australian National University. Canberra : s.n., 2010.

Stern, David I. y Csereklyei, Zsuzsanna. 2015. *Global energy use: Decoupling or convergence?* 2015.

Stern, David. 2004. *The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve.* 2004.

Such, S.; Huppes, G. 2005. *Methods for Life cycle Inventory for a Product.* 2005.

Tahir Mahmood, Eatzaz Ahmad. 2018. *Energy Strategy Reviws.* 2018.

Tanaka, John Fujio. 2011. *Applications of Leontief's Input-Output Analysis.* 2011.

Timmer, M, y otros. *The world input-output database (WIOD): contents, sources and methods.* Intitute for International and Development Economics.

Triola, Mario F. 2013. *Estadística.* s.l. : Pearson, 2013.

UNITED NATIONS. 1987. *Development and international economic co-operation.* 1987.

Vanclay, Frank y Esteves, Ana Maria. 2011. *New Directions in Social Impact Assessment.* s.l. : EE, 2011.

Walpole, Ronald E., y otros. 2007. *Probabilidad y Estadística pra ingeniería y ciencias.* s.l. : Pearson Education, 2007.

WIOD. World Input-Output Tables. [En línea] <http://www.wiod.org/home>.

World Bank. 2018. *Energy intensity level of primary energy.* 2018.

—. **2018.** *GDP.* 2018.

Wright, David J. 1974. *Energy Policy.* London : s.n., 1974.

WWF. 2016. *Informe Planeta Vivo.* World Wildlife Fund. 2016.

Zillman, Donald N, y otros. 2008. *Beyond the Carbon Economy*. s.l. : Oxford, 2008.

ANEXO 1. TABLAS

Tabla 16. Matriz Input-Output de España de 2015 (millones de euros).

	Ganadería, caza	Silvicultura y tala	Agricultura y pesca	Minería	Productos alimenticios elaborados, tabaco y bebidas	Fabricación textil	Fabricación de madera	Productos de papel	Impresión y reproducción de sonidos grabados	Productos de petróleo	Productos químicos	Productos farmacéuticos	Goma y plástico	Productos no metálicos	Metales básicos	Metales elaborados	Fabricación de ordenadores y productos ópticos	Manufacture of electrical equipment	Equipamiento mecánico	Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	equipamiento de transporte	Fabricación de muebles	Reparación e instalación de maquinaria	Suministro de electricidad y gas	Suministro y tratamiento de agua	Tratamiento de residuos	Construcción
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	1.993	6	15	1	27.376	535	3	47	3	2	179	24	182	4	4	6	2	2	5	8	3	7	2	22	2	3	159
2	12	47	0	1	54	1	167	380	0	0	6	14	52	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	41	0	0	1
3	43	0	85	0	766	3	0	1	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	4	0	0	1	12	3	1	2	1	220	27	4	4	8	35	4	1	1	2	3	1	2	1	76	1	2	46
5	12.027	2	256	31	52.716	803	42	332	56	21	1.247	396	119	84	105	129	34	61	100	94	49	76	41	596	42	48	680
6	63	0	13	11	262	1.339	21	67	34	8	168	37	143	25	61	59	15	39	53	255	42	90	12	86	16	29	224
7	41	0	8	65	543	40	927	82	14	3	142	24	58	94	120	109	17	84	62	85	66	677	18	52	4	107	806
8	38	0	3	9	1.413	128	54	2.431	569	8	252	62	300	97	53	82	22	66	47	108	36	80	19	150	12	514	79
9	12	0	1	6	307	85	10	211	1.021	12	394	365	103	56	62	90	45	44	36	84	27	18	37	162	29	21	131
10	201	2	80	119	354	74	29	74	18	5.072	3.072	147	182	88	263	84	14	49	65	108	41	35	18	4.050	88	52	266
11	596	3	23	243	1.376	542	107	594	153	764	9.819	1.685	1.689	327	1.694	608	120	393	322	911	268	174	86	1.215	473	214	1.427
12	194	1	7	12	415	55	21	66	26	18	320	257	64	24	58	60	13	25	39	38	18	44	13	101	19	30	226
13	132	1	20	39	1.211	279	81	173	95	8	1.090	212	2.147	121	170	291	112	575	263	2.067	560	256	76	66	9	69	700
14	55	1	3	41	742	32	37	18	11	15	328	73	65	2.548	254	319	32	87	131	407	60	41	15	213	13	50	5.797
15	42	0	3	65	157	37	21	28	74	31	585	88	282	232	8.825	6.723	275	2.919	3.852	3.796	1.255	455	295	179	18	463	1.436
16	279	2	21	187	1.022	120	72	93	62	79	390	80	291	265	2.567	1.760	118	778	1.883	2.256	654	375	292	972	126	812	2.630
17	23	0	6	9	123	17	16	18	17	11	62	16	24	26	47	38	118	125	60	132	77	31	79	114	23	12	261
18	36	1	10	22	361	29	33	25	19	28	111	31	82	61	189	136	240	1.061	514	816	198	105	256	435	111	32	1.553
19	119	2	30	84	529	59	75	91	46	95	231	58	119	138	481	285	69	236	603	606	298	90	419	515	182	106	903
20	43	1	4	17	179	30	16	18	14	12	80	20	73	57	147	121	27	116	165	3.830	138	46	44	116	27	50	480
21	19	1	30	23	148	14	20	29	11	35	77	15	26	40	147	77	13	55	66	102	690	24	310	170	37	32	371
22	31	0	4	14	181	54	127	26	20	7	82	27	62	57	109	129	43	58	97	178	71	518	28	91	12	48	870
23	33	4	63	61	445	36	78	106	28	113	252	35	71	118	451	184	43	119	107	219	423	49	860	575	142	62	804
24	587	2	87	635	3.634	626	299	1.492	256	523	3.858	416	1.081	2.190	4.071	998	134	236	839	1.244	222	238	332	46.113	242	391	2.943
25	420	1	15	43	340	39	6	20	12	67	124	18	37	30	147	48	11	9	17	31	14	11	7	434	1.447	386	547
26	25	0	2	8	260	78	41	109	87	186	469	43	177	137	4.176	188	7	23	25	54	17	35	24	81	75	3.316	403
27	107	2	13	59	713	116	10	70	70	107	343	70	144	229	152	129	33	32	161	30	110	81	60	1.091	93	163	28.171
28	123	31	5	17	120	23	15	17	9	34	31	27	26	34	94	33	4	19	29	1.928	85	24	23	98	115	186	694

	Ganadería, caza	Silvicultura y tala	Agricultura y pesca	Minería	Productos alimenticios elaborados, tabaco y bebidas	Fabricación textil	Fabricación de madera	Productos de papel	Impresión y reproducción de sonados grabados	Productos de petróleo	Productos químicos	Productos farmacéuticos	Goma y plástico	Productos no metálicos	Metales básicos	Metales elaborados	Fabricación de ordenadores y productos ópticos	Manufacture of electrical equipment	Equipamiento mecánico	Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	equipamiento de transporte	Fabricación de muebles	Reparación e instalación de maquinaria	Suministro de electricidad y gas	Suministro y tratamiento de agua	Tratamiento de residuos	Construcción
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
29	2.659	54	214	161	7.805	1.723	794	412	400	31	2.477	541	793	687	909	2.136	357	530	1.312	417	370	1.268	444	2.789	116	772	7.076
30	653	3	86	43	886	1.095	272	39	108	122	216	18	193	82	69	313	58	61	124	111	44	568	106	238	20	58	2.579
31	272	4	38	529	5.033	477	295	480	121	545	1.544	177	462	1.309	1.206	508	44	219	496	868	228	386	85	1.385	40	246	1.514
32	4	0	1	1	56	14	10	6	2	14	26	22	11	8	23	24	1	9	26	29	6	4	10	10	2	14	29
33	3	0	8	8	42	10	5	9	5	34	79	22	13	10	28	21	4	14	12	14	42	8	42	21	5	16	52
34	128	1	225	219	1.421	233	99	260	110	330	1.445	336	238	89	935	274	66	257	287	459	213	133	42	148	17	93	424
35	10	0	1	3	191	17	6	13	15	14	70	47	22	26	24	38	1	10	37	35	4	17	4	181	22	28	313
36	64	0	5	12	271	32	11	13	16	31	243	35	36	21	57	50	10	20	52	58	58	30	13	137	13	74	594
37	6	0	2	2	143	25	3	46	162	9	100	170	16	21	16	20	12	11	19	38	13	14	9	157	23	8	84
38	2	0	1	1	154	14	2	5	218	5	52	25	3	13	4	10	7	6	16	42	12	15	6	28	5	6	51
39	42	1	43	98	1.021	124	36	40	54	108	629	203	57	138	167	92	56	75	172	105	49	94	28	1.733	64	218	1.180
40	19	0	4	5	230	27	11	15	24	52	95	39	8	38	44	46	35	25	127	61	20	19	69	206	37	34	164
41	514	15	36	71	1.559	242	71	155	95	514	574	156	212	211	479	338	79	203	352	512	309	150	120	1.087	103	121	2.518
42	272	26	46	13	153	36	15	28	11	58	76	30	40	34	47	41	7	36	31	42	24	20	11	112	22	29	684
43	6	0	0	1	41	7	1	2	2	1	17	5	7	5	12	9	0	2	12	6	5	3	1	8	4	5	46
44	6	0	2	14	911	361	48	52	92	48	159	174	152	57	133	382	96	358	328	153	66	305	88	217	50	54	3.156
45	23	4	24	63	1.449	396	75	127	96	643	520	351	303	287	211	299	85	446	499	300	189	255	64	544	130	412	1.929
46	14	2	1	68	470	25	22	64	13	295	359	166	63	136	160	174	40	113	286	486	90	11	157	430	21	98	2.721
47	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	3
48	9	0	5	5	670	52	8	23	59	25	218	119	15	59	19	37	11	31	72	195	55	72	25	134	24	30	243
49	365	1	4	32	239	66	14	40	37	5	32	19	101	34	32	78	12	93	110	122	80	50	19	318	56	36	634
50	227	2	62	294	3.351	355	146	288	651	265	991	325	299	432	348	449	327	317	468	988	384	226	221	2.292	466	200	2.199
51	64	7	37	58	624	78	50	110	64	100	350	120	79	71	238	93	23	73	106	191	68	52	25	277	21	75	1.730
52	46	1	17	10	561	46	6	16	130	117	89	99	36	19	185	19	29	19	45	116	84	46	35	396	42	59	156
53	36	4	14	11	359	32	4	6	21	23	103	37	11	9	20	8	9	19	19	52	43	48	31	128	19	90	21
54	38	0	34	5	698	60	22	40	66	149	316	107	34	59	122	73	32	23	86	167	124	151	79	362	13	70	201

	Reparación de vehículos a motor	Venta al por mayor	Comercio de recambios	Transporte terrestre	Transporte marítimo	Transporte aéreo	Actividades de soporte al transporte	mensajería	Comercio de alimentos	Publicidad	Producción de cine y televisión	Telecomunicaciones	Programación informática	Servicios financieros	Seguros	actividades auxiliares a servicios financieros	Actividades reales	Actividad de consultoría	Arquitectura e ingeniería	Investigación científica	investigación de mercados	Actividades veterinarias	Actividades administrativas	Dejebsa	Educación	Salud	Otras actividades de servicios
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
1	6	807	336	11	2	3	16	1	933	2	7	9	5	8	2	1	22	8	6	5	3	2	28	89	57	117	144
2	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	3	2	0	0	0	0	0	513	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	22	31	2
4	2	6	2	6	0	1	5	0	8	0	1	2	1	1	0	0	4	0	7	0	1	0	2	4	1	7	2
5	119	1.470	947	192	28	53	208	17	22.238	48	82	146	123	100	17	13	68	111	92	40	47	99	264	673	525	1.554	573
6	37	202	86	47	5	20	42	4	249	22	45	51	36	25	5	3	20	30	42	8	17	28	94	95	41	189	131
7	8	165	25	11	1	4	99	1	190	8	98	17	9	8	2	1	10	15	36	7	14	18	110	36	20	97	94
8	19	169	62	19	2	5	46	6	123	783	64	35	60	112	24	22	25	56	205	15	133	41	126	143	202	124	143
9	11	387	112	16	2	6	41	8	135	990	79	55	987	145	45	12	74	115	933	23	687	24	313	189	90	136	509
10	213	367	89	1.071	348	1.329	255	17	165	18	47	36	16	32	17	22	33	90	43	24	10	7	90	243	172	225	75
11	401	471	294	270	23	71	243	13	744	57	184	105	90	83	16	9	56	79	215	38	51	110	351	316	94	1.209	272
12	44	138	100	71	4	8	33	3	265	25	25	43	24	23	4	4	18	23	32	13	16	27	61	64	29	809	65
13	418	193	77	86	3	7	138	3	150	23	43	34	26	23	4	2	28	18	44	13	21	17	55	65	24	149	155
14	258	113	58	25	3	7	48	3	163	7	26	73	15	14	2	2	11	19	25	4	10	13	49	69	27	213	73
15	33	95	77	25	4	12	50	3	79	26	13	28	20	19	3	2	14	19	18	10	9	16	48	86	20	41	38
16	183	270	144	95	16	62	199	13	169	32	45	100	63	51	10	6	40	56	84	14	29	54	199	156	71	175	181
17	25	81	52	47	8	32	42	4	67	12	24	169	66	18	3	2	17	18	35	10	11	21	75	53	28	117	69
18	105	139	79	71	13	53	84	7	247	19	29	291	41	27	5	4	16	27	39	14	14	26	126	81	43	98	122
19	221	304	161	210	43	175	197	16	208	45	37	235	70	58	11	8	31	62	62	19	21	55	229	181	96	215	209
20	241	139	125	94	5	10	53	4	133	12	21	54	29	29	5	4	31	25	26	10	13	17	113	57	23	70	58
21	40	82	50	189	25	170	125	7	53	12	11	71	24	19	4	3	21	22	105	12	9	13	101	99	44	76	81
22	31	105	54	40	3	15	99	3	342	15	144	246	30	46	17	10	128	33	71	11	36	38	233	102	177	1.563	258
23	104	144	60	362	86	376	281	19	135	29	24	219	35	39	8	7	12	40	29	11	9	14	177	194	137	244	259
24	705	3.068	3.661	1.404	59	121	1.071	94	1.776	113	396	1.026	426	404	70	98	264	386	542	69	155	131	674	2.049	1.231	1.350	1.161
25	48	261	254	69	8	4	66	3	496	6	66	42	32	17	4	4	37	78	51	9	14	15	90	232	168	220	309
26	56	219	60	18	7	9	10	7	103	2	4	33	18	18	2	2	68	11	13	5	12	7	75	54	13	129	99
27	125	871	880	211	35	51	1.066	43	628	20	109	284	217	455	151	82	3.667	47	155	49	59	40	444	910	759	941	309
28	978	494	202	2.102	10	11	88	19	207	7	23	21	42	64	17	49	31	116	23	23	15	8	156	186	17	88	112

	Reparación de vehículos a motor	Venta al por mayor	Comercio de recambios	Transporte terrestre	Transporte marítimo	Transporte aéreo	Actividades de soporte al transporte	mensajería	Comercio de alimentos	Publicidad	Producción de cine y televisión	Telecomunicaciones	Programación informática	Servicios financieros	Seguros	actividades auxiliares a servicios financieros	Actividades reales	Actividad de consultoría	Arquitectura e ingeniería	Investigación científica	Investigación de mercados	Actividades veterinarias	Actividades administrativas	Deportes	Educación	Salud	Otras actividades de servicios
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
29	1.235	2.528	1.061	2.833	52	52	371	29	7.095	282	332	968	231	110	38	85	224	175	745	35	335	103	542	730	357	4.135	1.161
30	599	498	459	478	10	10	158	13	1.489	52	131	302	142	69	13	30	139	90	288	16	114	95	274	279	124	1.226	771
31	533	6.811	1.461	1.569	53	44	5.396	141	756	421	109	104	102	79	25	24	28	80	106	16	90	35	756	1.320	92	222	396
32	18	174	59	21	7	3	170	2	13	5	3	2	8	3	1	2	13	30	0	7	5	366	52	7	8	9	
33	16	302	65	97	9	746	151	30	9	11	5	12	17	229	82	88	5	24	28	33	16	11	1.018	268	11	145	236
34	644	6.476	486	9.999	654	2.077	10.724	46	145	31	17	83	84	47	19	10	33	91	74	13	38	16	185	784	17	53	71
35	17	412	216	26	3	2	86	1.309	188	14	8	421	136	174	50	39	147	109	108	19	59	41	206	241	59	118	58
36	78	349	169	106	6	18	75	10	484	35	94	181	423	455	103	120	85	222	268	107	49	70	5.945	810	150	1.167	952
37	68	399	131	22	2	11	83	8	84	475	91	84	330	295	68	46	49	98	313	31	616	9	190	345	313	197	399
38	103	470	153	19	2	22	16	3	304	74	2.764	158	547	157	62	28	26	29	62	10	394	59	373	97	50	33	118
39	242	1.020	550	217	12	288	202	45	1.346	74	403	6.750	506	653	185	206	385	271	209	54	150	50	496	1.627	486	728	592
40	31	265	80	691	9	130	284	77	85	87	40	440	5.188	465	58	66	35	101	172	105	87	15	122	783	84	352	168
41	512	1.928	1.841	772	46	152	511	58	1.419	113	132	434	361	5.177	3.233	1.112	7.098	529	333	31	130	79	913	1.204	525	1.119	829
42	160	623	394	452	33	32	145	13	258	10	25	39	44	47	1.766	44	1.370	159	137	8	26	19	233	66	49	189	99
43	84	115	71	8	0	3	7	3	28	1	1	11	3	304	4.699	1.303	42	8	4	0	3	2	57	27	13	33	7
44	1.573	6.733	10.192	472	286	91	1.290	159	6.556	410	1.215	1.007	1.081	1.935	247	282	876	1.271	866	161	808	313	1.524	1.766	187	484	2.150
45	709	2.066	1.398	303	110	21	327	47	807	182	486	602	388	882	501	172	1.408	4.894	382	153	118	41	564	608	188	737	916
46	44	122	57	111	3	62	66	22	77	75	29	419	122	20	3	3	265	184	4.077	113	162	70	453	1.056	132	42	118
47	0	2	1	2	0	0	1	0	1	0	0	1	10	1	0	0	1	1	3	72	0	0	2	3	0	2	1
48	482	2.200	706	74	9	48	68	11	185	208	179	391	111	729	292	132	68	119	50	22	909	21	279	386	28	49	359
49	75	562	396	127	2	18	147	32	249	139	95	261	223	11	4	2	34	111	75	42	83	492	117	83	134	30	325
50	635	4.929	2.722	1.142	274	818	1.362	136	830	150	262	1.065	1.062	1.248	253	99	651	1.314	693	118	227	81	4.074	3.028	808	2.315	1.095
51	138	1.324	676	1.627	125	331	1.864	20	637	32	36	202	147	85	29	15	233	170	169	17	37	27	274	335	80	176	371
52	246	466	326	50	1	42	11	0	77	32	14	498	172	59	3	5	38	81	81	174	63	44	307	145	932	463	95
53	217	1.191	357	58	1	1	8	14	493	13	19	428	76	59	13	10	33	78	79	31	37	21	124	141	85	6.483	157
54	225	1.234	187	185	13	16	158	43	851	93	205	373	169	256	35	16	152	443	240	38	186	144	1.525	649	188	776	6.301

Tabla 17. Total transacciones intermedias de cada sector en miles de millones de dólares (\$). FUENTE: (WIOD)

Sectores	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Agriculture, Hunting, Forestry and Fishing	1.257	1.272	1.277	1.329	1.376	1.365	1.374
Mining and Quarrying	905	964	930	924	989	1.084	1.018
Food, Beverages and Tobacco	908	918	935	968	981	1.007	1.033
Textiles and Textile Products	434	444	445	449	459	471	468
Leather, Leather and Footwear	59	61	64	63	61	60	62
Wood and Products of Wood and Cork	355	364	369	373	379	390	391
Pulp, Paper, Paper , Printing and Publishing	984	989	1.027	1.054	1.092	1.115	1.094
Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel	496	501	513	522	554	556	579
Chemicals and Chemical Products	1.220	1.255	1.318	1.349	1.393	1.431	1.439
Rubber and Plastics	583	609	643	668	701	726	731
Other Non-Metallic Mineral	551	566	584	583	604	620	623
Basic Metals and Fabricated Metal	2.014	2.064	2.158	2.178	2.201	2.281	2.288
Machinery, Nec	571	588	608	605	618	667	684
Electrical and Optical Equipment	1.176	1.297	1.398	1.472	1.680	1.998	1.978
Transport Equipment	917	951	1.010	1.033	1.106	1.168	1.184
Manufacturing, Nec; Recycling	171	177	185	193	198	210	211
Electricity, Gas and Water Supply	806	843	835	866	907	979	1.040
Construction	652	664	655	677	705	729	752
Sale, Maintenance and Repair of Motor Vehicles and Motorcycles; Retail Sale of Fuel	302	310	319	329	344	350	346
Wholesale Trade and Commission Trade, Except of Motor Vehicles and Motorcycles	1.653	1.716	1.765	1.844	1.919	1.981	1.997
Retail Trade, Except of Motor Vehicles and Motorcycles; Repair of Household Goods	811	834	847	883	913	928	952
Hotels and Restaurants	378	393	416	435	456	458	465
Inland Transport	847	834	849	885	922	954	962
Water Transport	129	133	143	163	180	194	211
Air Transport	141	154	161	165	173	178	168
Other Supporting and Auxiliary Transport Activities; Activities of Travel Agencies	469	485	502	527	558	586	587
Post and Telecommunications	591	650	715	790	914	1.028	1.110
Financial Intermediation	1.868	1.925	2.014	2.150	2.367	2.473	2.575
Real Estate Activities	939	929	945	986	1.021	1.079	1.114
Renting of M&Eq and Other Business Activities	2.772	2.917	3.118	3.361	3.565	3.788	3.917
Public Admin and Defence; Compulsory Social Security	224	180	179	183	191	190	197
Education	61	69	71	73	78	89	91
Health and Social Work	94	104	108	111	116	121	122
Other Community, Social and Personal Services	688	711	728	760	790	809	814
Private Households with Employed Persons	4	4	4	5	5	4	4

Tabla 17. Total transacciones intermedias de cada sector en miles de millones de dólares (\$). FUENTE: (WIOD) (continuación)

Sectores	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Agriculture, Hunting, Forestry and Fishing	1.402	1.430	1.495	1.557	1.608	1.627	1.668	1.702
Mining and Quarrying	1.024	1.108	1.189	1.277	1.369	1.380	1.619	1.454
Food, Beverages and Tobacco	1.028	1.098	1.146	1.212	1.303	1.391	1.406	1.370
Textiles and Textile Products	486	502	522	582	662	723	786	780
Leather, Leather and Footwear	62	65	63	70	83	93	102	101
Wood and Products of Wood and Cork	395	413	437	458	494	523	519	494
Pulp, Paper, Paper , Printing and Publishing	1.097	1.117	1.175	1.221	1.257	1.328	1.339	1.248
Coke, Refined Petroleum and Nuclear Fuel	604	594	656	707	833	836	1.081	883
Chemicals and Chemical Products	1.489	1.562	1.631	1.677	1.816	1.995	1.997	1.904
Rubber and Plastics	756	797	835	885	955	1.032	1.046	1.011
Other Non-Metallic Mineral	633	664	706	760	822	902	909	833
Basic Metals and Fabricated Metal	2.311	2.408	2.545	2.672	2.929	3.171	3.185	3.123
Machinery, Nec	693	764	868	947	1.098	1.276	1.343	1.137
Electrical and Optical Equipment	2.007	2.257	2.587	2.948	3.486	4.034	4.348	4.180
Transport Equipment	1.249	1.336	1.414	1.518	1.634	1.862	1.883	1.596
Manufacturing, Nec; Recycling	211	211	220	230	246	267	274	265
Electricity, Gas and Water Supply	995	1.039	1.121	1.229	1.269	1.360	1.504	1.369
Construction	771	781	765	779	812	827	848	868
Sale, Maintenance and Repair of Motor Vehicles and Motorcycles; Retail Sale of Fuel	356	359	383	399	414	424	417	377
Wholesale Trade and Commission Trade, Except of Motor Vehicles and Motorcycles	1.987	2.022	2.135	2.142	2.248	2.415	2.465	2.293
Retail Trade, Except of Motor Vehicles and Motorcycles; Repair of Household Goods	954	981	1.020	1.104	1.140	1.105	1.114	1.073
Hotels and Restaurants	471	487	518	536	558	565	568	543
Inland Transport	960	992	1.050	1.105	1.171	1.220	1.269	1.186
Water Transport	222	231	249	263	274	295	305	295
Air Transport	162	175	181	181	190	201	207	191
Other Supporting and Auxiliary Transport Activities; Activities of Travel Agencies	584	608	646	688	727	777	798	765
Post and Telecommunications	1.152	1.191	1.231	1.291	1.341	1.403	1.469	1.473
Financial Intermediation	2.619	2.698	2.753	2.941	3.154	3.297	3.242	3.367
Real Estate Activities	1.115	1.135	1.199	1.258	1.284	1.323	1.310	1.268
Renting of M&Eq and Other Business Activities	3.949	4.079	4.252	4.513	4.736	5.003	5.188	5.147
Public Admin and Defence; Compulsory Social Security	196	205	217	229	234	241	247	247
Education	91	93	103	106	107	110	111	112
Health and Social Work	122	128	134	169	173	178	178	187
Other Community, Social and Personal Services	817	833	878	909	935	955	966	974
Private Households with Employed Persons	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabla 18. Estudio de Correlación entre las Intensidades Energéticas y cada uno de los sectores

		Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. 4	Sec. 5	...	Sec. 30	Sec. 31	Sec. 32	Sec. 33	Sec. 34
Agricultura, caza y pesca	Electrica	0,066	0,088	0,000	0,007	0,020		0,121	0,059	0,002	0,013	0,261
	Heat	0,000	0,037	0,067	0,071	0,011		0,000	0,059	0,076	0,255	0,265
	Liquids	0,089	0,003	0,041	0,077	0,212		0,526	0,043	0,147	0,006	0,039
	Gas	0,004	0,072	0,114	0,241	0,014		0,397	0,014	0,057	0,001	0,033
	solid	0,036	0,055	0,009	0,006	0,173		0,183	0,000	0,030	0,015	0,002
Minería	Electrica	0,043	0,047	0,163	0,313	0,083		0,221	0,009	0,106	0,222	0,002
	Heat	0,069	0,026	0,148	0,225	0,009		0,237	0,026	0,140	0,164	0,001
	Liquids	0,018	0,001	0,048	0,195	0,088		0,137	0,000	0,041	0,122	0,002
	Gas	0,156	0,005	0,252	0,377	0,095		0,287	0,001	0,103	0,213	0,127
	solid	0,074	0,065	0,006	0,002	0,103		0,000	0,068	0,080	0,071	0,014
Comida, bebida y tabaco	Electrica	0,161	0,240	0,014	0,235	0,326		0,069	0,176	0,154	0,010	0,064
	Heat	0,004	0,025	0,054	0,080	0,021		0,434	0,013	0,040	0,015	0,022
	Liquids	0,144	0,120	0,049	0,340	0,270		0,178	0,149	0,025	0,095	0,006
	Gas	0,037	0,005	0,018	0,051	0,005		0,160	0,039	0,001	0,055	0,088
	solid	0,054	0,025	0,013	0,106	0,018		0,265	0,164	0,001	0,176	0,191
Textil	Electrica	0,056	0,112	0,051	0,374	0,008		0,001	0,080	0,130	0,014	0,000
	Heat	0,000	0,001	0,029	0,002	0,037		0,075	0,101	0,129	0,152	0,174
	Liquids	0,053	0,059	0,100	0,657	0,093		0,082	0,070	0,165	0,245	0,198
	Gas	0,011	0,071	0,018	0,006	0,103		0,200	0,124	0,010	0,013	0,005
	solid	0,010	0,153	0,003	0,007	0,032		0,309	0,001	0,026	0,256	0,312
Cuero	Electrica	0,211	0,096	0,013	0,153	0,281		0,255	0,465	0,624	0,227	0,286
	Heat	0,001	0,048	0,050	0,005	0,007		0,071	0,001	0,141	0,010	0,048
	Liquids	0,298	0,055	0,120	0,321	0,369	...	0,212	0,543	0,185	0,216	0,191
	Gas	0,106	0,256	0,157	0,193	0,000		0,342	0,213	0,135	0,078	0,597
	Solid	0,164	0,148	0,133	0,022	0,188		0,186	0,024	0,127	0,040	0,053
...												
Alquiler de maquinaria	Electrica	0,200	0,000	0,006	0,024	0,036		0,110	0,244	0,142	0,068	0,011
	Heat	0,001	0,045	0,020	0,003	0,042		0,082	0,004	0,000	0,016	0,126
	Liquids	0,067	0,195	0,038	0,079	0,049	...	0,079	0,347	0,090	0,011	0,202
	Gas	0,039	0,001	0,001	0,003	0,026		0,035	0,109	0,167	0,010	0,035
	solid	0,006	0,486	0,001	0,106	0,067		0,008	0,008	0,180	0,052	0,024
Administración pública y defensa	Electrica	0,007	0,007	0,071	0,023	0,106		0,005	0,125	0,115	0,005	0,003
	Heat	0,436	0,008	0,588	0,436	0,261		0,569	0,191	0,037	0,064	0,603
	Liquids	0,050	0,003	0,083	0,020	0,173		0,087	0,027	0,008	0,143	0,055
	Gas	0,015	0,388	0,117	0,047	0,051		0,001	0,002	0,092	0,224	0,026
	solid	0,004	0,002	0,021	0,003	0,107		0,013	0,021	0,045	0,006	0,002
Educación	Electrica	0,024	0,157	0,038	0,078	0,354		0,073	0,127	0,018	0,085	0,053
	Heat	0,205	0,061	0,003	0,016	0,001		0,023	0,055	0,014	0,396	0,008
	Liquids	0,034	0,000	0,068	0,153	0,099		0,000	0,003	0,002	0,002	0,070
	Gas	0,001	0,000	0,178	0,222	0,199		0,131	0,055	0,000	0,243	0,313
	solid	0,000	0,121	0,000	0,000	0,009		0,081	0,005	0,033	0,023	0,031
Sanidad	Electrica	0,036	0,011	0,035	0,001	0,011		0,003	0,027	0,001	0,032	0,058
	Heat	0,005	0,022	0,002	0,046	0,036		0,000	0,184	0,087	0,462	0,127
	Liquids	0,030	0,004	0,008	0,012	0,151		0,054	0,176	0,153	0,376	0,004
	Gas	0,007	0,004	0,063	0,017	0,091		0,056	0,287	0,009	0,005	0,188
	solid	0,000	0,023	0,203	0,031	0,055		0,121	0,255	0,028	0,014	0,019
Servicios comunitar.	Electrica	0,084	0,001	0,004	0,064	0,118		0,034	0,040	0,057	0,039	0,318
	Heat	0,216	0,005	0,002	0,167	0,003		0,061	0,502	0,223	0,039	0,315
	Liquids	0,031	0,054	0,012	0,092	0,047		0,008	0,000	0,025	0,211	0,065
	Gas	0,113	0,005	0,002	0,185	0,006	...	0,000	0,135	0,113	0,205	0,063
	solid	0,014	0,155	0,001	0,003	0,014		0,000	0,120	0,007	0,012	0,120

Tabla 19. Estudio de Autocorrelación de las variaciones anuales de la Matriz A

Sector	1	2	3	4	5	6	...	30	31	32	33	34	35
1	0,00	0,05	0,15	0,19	0,01	0,07		0,24	0,21	0,00	0,00	0,00	0,04
2	0,01	0,02	0,07	0,27	0,28	0,03		0,04	0,01	0,07	0,11	0,35	0,00
3	0,07	0,04	0,04	0,08	0,11	0,24		0,60	0,02	0,01	0,18	0,26	0,03
4	0,01	0,02	0,01	0,54	0,17	0,06		0,44	0,08	0,04	0,01	0,21	0,01
5	0,13	0,06	0,00	0,14	0,07	0,06		0,09	0,06	0,00	0,12	0,02	0,01
6	0,21	0,00	0,06	0,08	0,09	0,12		0,06	0,08	0,14	0,12	0,00	0,01
7	0,03	0,08	0,08	0,00	0,00	0,04		0,08	0,18	0,33	0,04	0,20	0,00
8	0,04	0,00	0,15	0,00	0,00	0,01		0,24	0,00	0,05	0,01	0,16	0,00
9	0,02	0,01	0,05	0,28	0,01	0,00		0,01	0,43	0,13	0,11	0,04	0,01
10	0,24	0,09	0,12	0,18	0,03	0,22		0,05	0,33	0,00	0,14	0,11	0,08
11	0,16	0,03	0,20	0,43	0,33	0,32		0,17	0,02	0,21	0,18	0,00	0,00
12	0,01	0,11	0,06	0,27	0,00	0,16		0,05	0,01	0,00	0,03	0,11	0,02
13	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,08		0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,09
14	0,04	0,07	0,02	0,11	0,10	0,12		0,03	0,01	0,10	0,04	0,04	0,10
15	0,10	0,22	0,34	0,00	0,07	0,00		0,07	0,05	0,01	0,05	0,00	0,04
16	0,02	0,03	0,04	0,16	0,34	0,05		0,08	0,41	0,02	0,01	0,00	0,04
17	0,08	0,04	0,00	0,05	0,07	0,01		0,00	0,07	0,04	0,03	0,00	0,01
18	0,00	0,00	0,10	0,02	0,09	0,10		0,24	0,27	0,04	0,27	0,45	0,03
19	0,02	0,10	0,28	0,77	0,58	0,29		0,05	0,19	0,15	0,09	0,25	0,00
20	0,02	0,18	0,22	0,34	0,41	0,27		0,00	0,06	0,11	0,05	0,01	0,00
21	0,01	0,16	0,31	0,63	0,41	0,20		0,01	0,12	0,02	0,00	0,00	0,01
22	0,03	0,00	0,02	0,10	0,03	0,15		0,26	0,43	0,00	0,11	0,44	0,02
23	0,00	0,00	0,14	0,47	0,18	0,19		0,57	0,02	0,18	0,00	0,26	0,00
24	0,45	0,01	0,40	0,35	0,38	0,17		0,02	0,10	0,20	0,02	0,16	0,00
25	0,02	0,04	0,01	0,45	0,16	0,20		0,04	0,05	0,20	0,03	0,01	0,01
26	0,17	0,16	0,01	0,07	0,17	0,09		0,07	0,15	0,00	0,01	0,00	0,01
27	0,17	0,58	0,02	0,14	0,37	0,22		0,34	0,48	0,50	0,35	0,44	0,00
28	0,03	0,03	0,28	0,10	0,45	0,02		0,00	0,01	0,10	0,01	0,01	0,05
29	0,00	0,01	0,03	0,00	0,21	0,14		0,14	0,10	0,05	0,16	0,00	0,03
30	0,15	0,25	0,08	0,39	0,21	0,38		0,00	0,09	0,01	0,00	0,05	0,03
31	0,22	0,14	0,30	0,00	0,02	0,09		0,22	0,24	0,00	0,22	0,22	0,02
32	0,02	0,01	0,42	0,52	0,51	0,35		0,18	0,00	0,06	0,09	0,22	0,00
33	0,00	0,04	0,23	0,14	0,17	0,06		0,16	0,22	0,00	0,00	0,02	0,00
34	0,17	0,02	0,18	0,03	0,05	0,00		0,12	0,10	0,07	0,04	0,27	0,04
35	0,10	0,00	0,11	0,05	0,08	0,00		0,01	0,01	0,15	0,00	0,09	0,04

Tabla 20. Funciones para la predicción de transacciones económicas globales

a_{ij}	e	b1	b2	b3	b4	b5	b6
a 1.1	-0,005	0	0	0	0	0	0
a 1.2	-0,106	0	0	0	0	0	0
a 1.3	-0,002	0	0	0	0	0	0
a 1.4	0,020	0	0	0	0	0	0
a 1.5	0,054	0	0	0	0	0	0
a 1.6	0,001	0	0	0	0	0	0
a 1.7	0,051	0,218	0	0	0	0,290	0
a 1.8	0,012	0	0	0	0	0	0
a 1.9	0,017	0	0	-0,638	0	0	0
a 1.10	0,004	0	0	-0,267	0	0	0
a 1.11	-0,050	0	0	0	0	0	0
a 1.12	-0,040	0	0	0	0	0	0
a 1.13	-0,039	0	0	0	0	0	0
a 1.14	-0,073	0	0	0	0	0	0
a 1.15	-0,030	0	0	0	0	0	0
.				.			.
.				.			.
.				.			.
a 34.15	0,000	0	0	0	0	0	0
a 34.16	-0,033	0	0	0	0	0	0
a 34.17	0,005	0	0	0	0	0	-0,119
a 34.18	-0,009	0	0	0	0	0	0
a 34.19	-0,029	0	0	0	0	-0,065	0
a 34.20	-0,019	0	0	0	0	0	0
a 34.21	-0,017	0	0	0	0	0	0
a 34.22	0,003	0	0	0	0	0	0
a 34.23	0,030	0	0	0	0	0	0
a 34.24	-0,028	0	0	0	0	0	0
a 34.25	-0,016	0	0	0	0	0	0
a 34.26	0,028	0	0	0,461	0	0	0
a 34.27	-0,009	0,230	0	0	0	0	0
a 34.28	-0,005	0	0	0	0	0	0
a 34.29	-0,006	0	0	0	0	0	0
a 34.30	-0,009	0	0	0	0	0	0
a 34.31	0,009	0	0	0	0	0,089	0
a 34.32	0,011	0	0	0	0	0	0
a 34.33	-0,009	0	0	0	0	0	0
a 34.34	0,000	0	0	0	-0,133	-0,020	0
a 34.35	0,129	0	0	0	0	0	0

ANEXO 2. MACROS VBA

Macro 1. Copia de las variaciones anuales

```
Sub cop_variaciones()  
Dim cont As Integer  
cont = 0  
For j = 1 To 35  
    For k = 1 To 35  
        For i = 1 To 14  
  
            Sheets("v" & i & "").Select  
            Cells(3 + k, 1 + j).Select  
            Selection.Copy  
  
            Sheets("Autocorrel").Select  
            Cells(1 + i + cont, 2 + j).Select  
            Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
                :=False, Transpose:=False  
  
        Next i  
        cont = cont + 14  
    Next k  
    cont = 0  
Next j  
End Sub
```

Macro 2. Cálculo del coeficiente de correlación entre las variaciones de la Matriz A y las Intensidades energéticas

```
Sub Estudio()

Dim cont, sum, fila As String

cont = 0
fila = 0

Sheets("variaciones1").Select

For k = 1 To 35
  For i = 1 To 35
    Cells(4 + cont, 57 + i).Select
    'electric
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" &
    fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 3 + k & "C41:F" & 3 + k & "C54)"
    Cells(5 + cont, 57 + i).Select
    'Heat
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" &
    fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 39 + k & "C41:F" & 39 + k & "C54)"
    Cells(6 + cont, 57 + i).Select
    'Liquid
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" &
    fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 75 + k & "C41:F" & 75 + k & "C54)"
    Cells(7 + cont, 57 + i).Select
    'gas
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" & fila +
    17 & "C" & 1 + k & ";F" & 111 + k & "C41:F" & 111 + k & "C54)"
    Cells(8 + cont, 57 + i).Select
    'solid
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" &
    fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 147 + k & "C41:F" & 147 + k & "C54)"
    'gas + elect
    Cells(9 + cont, 57 + i).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEF.DE.CORREL(F" & fila + 4 & "C" & 1 + k & ":F" &
    fila + 17 & "C" & 1 + k & ";F" & 183 + k & "C41:F" & 183 + k & "C54)"

    fila = fila + 14
  Next i
  cont = cont + 5
  fila = 0
Next k

' NUMERA DE FILAS
Sheets("variaciones").Select

sum = 0
For i = 1 To 35

Cells(4 + sum, 56).Select
ActiveCell.Formula = "Fila " & i & ""
sum = sum + 5
Next i

End Sub
```

Macro 3. Cálculo de la autocorrelación en las variaciones anuales de la Matriz A

```
Sub autocorrel()  
Dim fila As String  
Dim columna As String  
columna = 0  
fila = 0  
  
Sheets("Autocorrel").Select  
For k = 1 To 35  
    For i = 1 To 35  
        Cells(45 + i, 42 + k).Select  
  
        ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=COEFICIENTE.R2(F" & fila + 2 & "C" & k + 2 & ":F" &  
fila + 15 & "C" & k + 2 & ";F2C2:F15C2)"  
        fila = fila + 14  
    Next i  
    fila = 0  
Next k  
End Sub
```

Macro 4. Regresión lineal múltiple.

```
Sub crear_funciones()
Dim cont, sum, fila, comienzo As String
cont = 0
fila = 0
sum = 0
comienzo = 0

Sheets("Funciones").Select
Range("L2:W2").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents

For i = 1 To 35
  For k = 1 To 35

    Application.Run "ATPVBAEN.XLAM!Regress", ActiveSheet.Range(Cells(7 + comienzo, 2),
Cells(19 + comienzo, 2)), _
    ActiveSheet.Range(Cells(7 + comienzo, 3), Cells(19 + comienzo, 8)), False, False, ,
    ActiveSheet.Cells(7 + sum, 13) _
    , False, False, False, False, , False

    For Z = 1 To 7
      Cells(23 + fila + sum, 14).Select
      Selection.Copy
      Cells(6 + cont, 26 + fila).Select
      Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
      :=False, Transpose:=False
      fila = fila + 1
    Next Z

    comienzo = comienzo + 13
    sum = sum + 27
    fila = 0
    cont = cont + 1
  Next k
Next i

End Sub
```

Macro 5. Cuerpo de las tablas de error

```
Sub lista()  
Dim sum As String  
sum = 0  
Sheets("error").Select  
  
For i = 1 To 1225  
  
    Range(Cells(4 + sum, 1), Cells(4 + sum, 4)).Select  
    With Selection  
        .HorizontalAlignment = xlCenter  
        .VerticalAlignment = xlBottom  
        .WrapText = False  
        .Orientation = 0  
        .AddIndent = False  
        .IndentLevel = 0  
        .ShrinkToFit = False  
        .ReadingOrder = xlContext  
        .MergeCells = False  
    End With  
    Selection.Merge  
    Selection.Value = "DATOS PARA CALCULAR LA VARIACION"  
  
    sum = sum + 30  
  
Next i  
  
End Sub
```

Macro 6. Título y nombre de cada elemento para cálculo de error

```
Sub tit()  
  
Dim sum As String  
sum = 0  
  
Sheets("error").Select  
  
For i = 1 To 1225  
Cells(6 + sum, 13).Select  
Selection.Font.Bold = True  
Selection.Value = "e aij"  
  
Cells(6 + sum, 14).Select  
Selection.Font.Bold = True  
Selection.Value = "e h0"  
  
sum = sum + 30  
Next i  
End Sub
```

Macro 7. Copia de coeficientes de cada elemento a_{ij} para cálculo de error

```
Sub coef_funcion()

Dim cont, sum As String
cont = 1
sum = 0
Sheets("error").Select
For i = 1 To 1225

Cells(2 + sum, 2).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C26"
Cells(2 + sum, 3).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C27"
Cells(2 + sum, 4).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C28"
Cells(2 + sum, 5).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C29"
Cells(2 + sum, 6).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C30"
Cells(2 + sum, 7).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C31"
Cells(2 + sum, 8).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=Funciones!F" & 5 + cont & "C32"

sum = sum + 30
cont = cont + 1
Next i

End Sub
```

Macro 8. Copia de variaciones relativas para cálculo de error

```
Sub Va()  
  
Dim sum As String  
cont = 0  
sum = 0  
  
Sheets("error").Select  
For j = 1 To 35  
  For k = 1 To 35  
    For i = 14 To 14  
  
      Cells(6 + i + sum, 3).Select  
      ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=variaciones1!F" & 75 + j & "C" & 40 + i & ""  
      Cells(6 + i + sum, 4).Select  
      ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=variaciones1!F" & 111 + j & "C" & 40 + i & ""  
      Cells(6 + i + sum, 5).Select  
      ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=variaciones1!F" & 3 + j & "C" & 40 + i & ""  
      Cells(6 + i + sum, 6).Select  
      ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=variaciones1!F" & 39 + j & "C" & 40 + i & ""  
      Cells(6 + i + sum, 7).Select  
      ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=variaciones1!F" & 147 + j & "C" & 40 + i & ""  
  
    Next i  
    sum = sum + 30  
  Next k  
Next j  
  
End Sub
```

Macro 9. Fórmula para la predicción de valores Δa_{ij}

```
Sub variacion()  
  
Dim sum, cont, fila As String  
sum = 2  
fila = 7  
  
For k = 1 To 1225  
    For i = 1 To 13  
        Cells(fila + i, 9).Select  
        ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & sum & "C2+F" & sum & "C3*F" & fila + i - 1 &  
"C2+F" & sum & "C4*F" & fila + i & "C3+F" & sum & "C5*F" & fila + i & "C4+F" & sum &  
"C6*F" & fila + i & "C5+F" & sum & "C7*F" & fila + i & "C6+F" & sum & "C8*F" & fila + i &  
"C7"  
  
        Next i  
        fila = fila + 30  
        sum = sum + 30  
    Next k  
  
End Sub
```

Macro 10. Valor de $a_{ij}(t)$ a partir de la variación relativa

```
Sub valor_de_at_calculado()
Dim sum, fila, col As String
sum = 0
fila = 0
Sheets("error").Select

  For i = 1 To 1225
    For k = 1 To 13
      Cells(7 + k + sum, 11).Select
      ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & 6 + k + sum & "C12+F" & 6 + k + sum &
"C12*F" & 7 + sum + k & "C9"
      fila = fila + 36
    Next k
    sum = sum + 30
  Next i

End Sub
```

Macro 11. Cálculo del error en la proyección de los elementos a_{ij}

```
Sub errores()  
  
Dim sum As String  
sum = 0  
Sheets("error").Select  
  
" eaij  
  
For i = 1 To 1225  
    For k = 1 To 13  
        Cells(7 + k + sum, 13).Select  
        ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & 7 + k + sum & "C12-F" & 7 + k + sum & "C11"  
    Next k  
    sum = sum + 30  
Next i  
  
"eh0  
sum = 0  
For i = 1 To 1225  
    For k = 1 To 13  
        Cells(7 + k + sum, 14).Select  
        ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=F" & 7 + k + sum & "C12-F" & 6 + k + sum & "C12"  
    Next k  
    sum = sum + 30  
Next i  
  
End Sub
```

Macro 12. Error final en la proyección de elementos a_{ij}

```
Sub porcent_error()
Dim sum As String
sum = 0
Sheets("error").Select

For i = 1 To 1225
  For k = 1 To 13
    Cells(7 + k + sum, 15).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=ABS(F" & 7 + k + sum & "C13)*100/F" & 7 + k + sum
    & "C12"
  Next k
  sum = sum + 30
Next i

sum = 0

For Z = 1 To 1225
Cells(6 + sum, 15).Select
Selection.Font.Bold = True
Selection.Value = "ê"
sum = sum + 30
Next Z

End Sub
```

Macro 13. Media de los errores

```
Sub media()
Dim sum As String
sum = 0
For i = 1 To 1225
Cells(sum + 22, 15).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=SUMA(F" & sum + 8 & "C15:F" & sum + 20 & "C15)/13"
Cells(sum + 22, 14).Select
Selection.Value = "Media"
sum = sum + 30
Next i
End Sub
```

Macro 14. Variación del color (1)

```
Sub buscar()  
Dim sum As String  
sum = 0  
Sheets("error").Select  
  
For k = 1 To 35  
    For w = 1 To 35  
        Cells(11 + w, 17 + k).Interior.Color = vbWhite  
    Next w  
Next k  
  
For i = 1 To 35  
    For Z = 1 To 35  
        For h = 1 To 13  
            If Cells(7 + h + sum, 15) < Cells(9, 20).Value Then  
                Cells(11 + Z, 17 + i).Interior.Color = vbGreen  
            End If  
        Next h  
        sum = sum + 30  
    Next Z  
Next i  
  
End Sub
```

Macro 15. Variación del color (2)

```
Sub color_media()  
Dim sum As String  
sum = 0  
  
For k = 1 To 35  
    For w = 1 To 35  
        Cells(11 + w, 17 + k).Interior.Color = vbWhite  
    Next w  
Next k  
  
For i = 1 To 35  
    For Z = 1 To 35  
        If Cells(22 + sum, 15) < Cells(9, 20).Value Then  
            Cells(11 + Z, 17 + i).Interior.Color = vbYellow  
        End If  
        sum = sum + 30  
    Next Z  
Next i  
  
End Sub
```

Macro 16. Variación del color (3)

```
Sub color_malos()
Dim sum As String
sum = 0
Sheets("error").Select

For k = 1 To 35
  For w = 1 To 35
    Cells(11 + w, 17 + k).Interior.Color = vbWhite
  Next w
Next k

For i = 1 To 35
  For Z = 1 To 35
    For h = 1 To 13

      If Cells(7 + h + sum, 15) > Cells(9, 20).Value Then

        Cells(11 + Z, 17 + i).Interior.Color = vbRed

      End If

    Next h
    sum = sum + 30
  Next Z
Next i

End Sub
```

Macro 17. Proyección de Matriz A según SCEN2 para el año 2050

```
Sub predicc()
'ECEN2
Dim cont, sum, fil As String
cont = 0
sum = 0
fil = 0

For i = 1 To 35
For j = 1 To 35

'copia los coeficientes
Sheets("error").Select
Range(Cells(2 + cont, 2), Cells(2 + cont, 8)).Select
Selection.Copy
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(3, 2).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

'copia los datos desde error
Sheets("error").Select
Range(Cells(7 + cont, 2), Cells(20 + cont, 7)).Select
Selection.Copy
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(6, 3).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

'copia las predicciones de IE
Sheets("matrizA2050").Select
For x = 1 To 41

Cells(19 + x, 4).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "=(prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ""
Cells(19 + x, 5).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "=(prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 15 & ""
```

```

Cells(19 + x, 6).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 15 & ""
Cells(19 + x, 7).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 15 & ""
Cells(19 + x, 8).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 15 & ""
Next x

'copia datos de a reales
For s = 1 To 14
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(5 + s, 12).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=error!F" & 6 + s + cont & "C12"
Next s

' Copia el dato de a2050 a la matriz
Cells(60, 12).Select
Selection.Copy
Cells(2 + i, 16 + j).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
cont = cont + 30

Next j
fil = fil + 5
Next i

End Sub

```

Macro 18. Proyección de Matriz A según SCEN2 para el año 2030

```
Sub predicc30()
'Escenario SCEN2
Dim cont, sum, fil As String
cont = 0
sum = 0
fil = 0

For i = 1 To 35
For j = 1 To 35

'copia los coeficientes
Sheets("error").Select
Range(Cells(2 + cont, 2), Cells(2 + cont, 8)).Select
Selection.Copy
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(3, 2).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

'copia los datos desde error
Sheets("error").Select
Range(Cells(7 + cont, 2), Cells(20 + cont, 7)).Select
Selection.Copy
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(6, 3).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

'copia las predicciones de IE
'ESCENARIO SCEN

Sheets("matrizA2050").Select
For x = 1 To 22
Cells(19 + x, 4).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "=(prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ""
Cells(19 + x, 5).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "=(prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 15 & ""
```

```

Cells(19 + x, 6).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 15 & ""
Cells(19 + x, 7).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 15 & ""
Cells(19 + x, 8).Select
Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 15 & ""
Next x

'copia datos de a reales
For s = 1 To 14
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(5 + s, 12).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=error!F" & 6 + s + cont & "C12"
Next s

' Copia el dato de a2050 a la matriz
Cells(60, 12).Select
Selection.Copy
Cells(2 + i, 16 + j).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

cont = cont + 30
Next j
fil = fil + 5
Next i

End Sub

```

Macro 19. Proyección de la Matriz A según BAU para el año 2050

```
Sub predicc50BAU()  
'Escenario BAU  
  
Dim cont, sum, fil As String  
cont = 0  
sum = 0  
fil = 0  
  
For i = 1 To 35  
For j = 1 To 35  
  
'copia los coeficientes  
Sheets("error").Select  
Range(Cells(2 + cont, 2), Cells(2 + cont, 8)).Select  
Selection.Copy  
Sheets("matrizA2050").Select  
Cells(3, 2).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
  
'copia los datos desde error  
Sheets("error").Select  
Range(Cells(7 + cont, 2), Cells(20 + cont, 7)).Select  
Selection.Copy  
Sheets("matrizA2050").Select  
Cells(6, 3).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
  
'copia las predicciones de IE  
Sheets("matrizA2050").Select  
For x = 1 To 22  
Cells(19 + x, 4).Select  
Selection.FormulaR1C1Local = "=" & predicciónIE!F" & 4 + 175 + fil & "C" & x + 16 & "-  
predicciónIE!F" & 4 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/predicciónIE!F" & 4 + fil + 175 & "C" & x  
+ 15 & ""  
Cells(19 + x, 5).Select
```

```

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 5 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 5 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 5 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Cells(19 + x, 6).Select

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 2 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 2 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 2 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Cells(19 + x, 7).Select

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 3 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 3 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 3 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Cells(19 + x, 8).Select

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 6 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 6 + 175 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 6 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Next x

'copia datos de a reales
For s = 1 To 14
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(5 + s, 12).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=error!F" & 6 + s + cont & "C12"
Next s

' Copia el dato de a2050 a la matriz
Cells(60, 12).Select
Selection.Copy
Cells(2 + i, 16 + j).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

cont = cont + 30
Next j
fil = fil + 5
Next i

End Sub

```

Macro 20. Proyección de la Matriz A según BAU para el año 2030

```
Sub predicc30BAU()  
'Escenario BAU  
  
Dim cont, sum, fil As String  
cont = 0  
sum = 0  
fil = 0  
  
For i = 1 To 35  
For j = 1 To 35  
  
'copia los coeficientes  
Sheets("error").Select  
Range(Cells(2 + cont, 2), Cells(2 + cont, 8)).Select  
Selection.Copy  
Sheets("matrizA2050").Select  
Cells(3, 2).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
  
'copia los datos desde error  
Sheets("error").Select  
Range(Cells(7 + cont, 2), Cells(20 + cont, 7)).Select  
Selection.Copy  
Sheets("matrizA2050").Select  
Cells(6, 3).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
  
'copia las predicciones de IE  
Sheets("matrizA2050").Select  
For x = 1 To 22  
Cells(19 + x, 4).Select  
Selection.FormulaR1C1Local = "=" & predicc30BAU & "(prediccionIE!F" & 4 + 175 + fil & "C" & x + 16 & "-  
prediccionIE!F" & 4 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 4 + fil + 175 & "C" & x  
+ 15 & ""  
Cells(19 + x, 5).Select
```

```

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 5 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 5 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 5 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Cells(19 + x, 6).Select

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 2 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 2 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 2 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Cells(19 + x, 7).Select

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 3 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 3 + fil + 175 & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 3 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Cells(19 + x, 8).Select

Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 6 + fil + 175 & "C" & x + 16 & "-" &
prediccionIE!F" & 6 + 175 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 6 + fil + 175 & "C" & x
+ 15 & ""

Next x

'copia datos de a reales
For s = 1 To 14
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(5 + s, 12).Select
ActiveCell.FormulaR1C1Local = "=error!F" & 6 + s + cont & "C12"
Next s

' Copia el dato de a2030 a la matriz
Cells(40, 12).Select
Selection.Copy
Cells(2 + i, 16 + j).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

cont = cont + 30
Next j
fil = fil + 5
Next i

End Sub

```

Macro 21. Evolución temporal para un elemento a_{ij} dado en escenario BAU

```
Sub BAUnum()  
'Escenario BAU  
Dim i, j, cont, sum, fil As String  
Dim FindString As String  
Dim Rng As Range  
cont = 0  
sum = 0  
fil = 0  
i = Worksheets("matrizA2050").Range("O51").Value  
j = Worksheets("matrizA2050").Range("O54").Value  
  
'encontrar elemento  
'FindString = InputBox("Enter a Search value")  
FindString = "a" & i & "." & j & ""  
For q = 1 To 7  
If Trim(FindString) <> "" Then  
    With Sheets("error").Range("A:A")  
        Set Rng = .Find(What:=FindString, _  
            After:=.Cells(.Cells.Count), _  
            LookIn:=xlValues, _  
            LookAt:=xlWhole, _  
            SearchOrder:=xlByRows, _  
            SearchDirection:=xlNext, _  
            MatchCase:=False)  
    If Not Rng Is Nothing Then  
        Application.Goto Rng, True  
    Else  
        MsgBox "ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO"  
        Exit Sub  
    End If  
End With  
End If  
  
ActiveCell.Offset(1, q).Select  
Selection.Copy  
Sheets("matrizA2050").Select  
Cells(3, 1 + q).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
```

```

:=False, Transpose:=False
Next q

'copia las predicciones de IE
Sheets("matrizA2050").Select
fil = i * 5
For x = 1 To 41
    Cells(19 + x, 4).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 4 + 170 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 4 + 170 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 4 + 170 + fil & "C" & x
+ 15 & ""
    Cells(19 + x, 5).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 5 + 170 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 5 + 170 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 5 + 170 + fil & "C" & x
+ 15 & ""
    Cells(19 + x, 6).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 2 + 170 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 2 + 170 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 2 + 170 + fil & "C" & x
+ 15 & ""
    Cells(19 + x, 7).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 3 + 170 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 3 + 170 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 3 + 170 + fil & "C" & x
+ 15 & ""
    Cells(19 + x, 8).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 6 + 170 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 6 + 170 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 6 + 170 + fil & "C" & x
+ 15 & ""

Next x

For w = 1 To 14
If Trim(FindString) <> "" Then
    With Sheets("error").Range("A:A")
        Set Rng = .Find(What:=FindString, _
            After:=.Cells(.Cells.Count), _
            LookIn:=xlValues, _
            LookAt:=xlWhole, _
            SearchOrder:=xlByRows, _
            SearchDirection:=xlNext, _
            MatchCase:=False)
        If Not Rng Is Nothing Then
            Application.Goto Rng, True
        End If
    End With
End If

```

```

Else
    MsgBox "ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO"
    Exit Sub
End If
End With
End If

ActiveCell.Offset(w + 5, 11).Select
Selection.Copy
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(5 + w, 12).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Next w

Sheets("matrizA2050").Select
Range("C6:H19").Select
Application.CutCopyMode = False
With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .ThemeColor = xlThemeColorAccent1
    .TintAndShade = 0.599993896298105
    .PatternTintAndShade = 0
End With

Sheets("matrizA2050").Select
Range("C6", "H19").ClearContents
MsgBox "Copie la tabla de variaciones relativas en el hueco azul para finalizar la
predicción"
If Trim(FindString) <> "" Then
    With Sheets("error").Range("A:A")
        Set Rng = .Find(What:=FindString, _
            After:=.Cells(.Cells.Count), _
            LookIn:=xlValues, _
            LookAt:=xlWhole, _
            SearchOrder:=xlByRows, _
            SearchDirection:=xlNext, _

```

```
MatchCase:=False)
If Not Rng Is Nothing Then
    Application.Goto Rng, True
Else
    MsgBox "ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO"
End If
End With
End If

ActiveCell.Select

End Sub
```

Macro 22. Evolución temporal para un elemento a_{ij} dado en escenario 2.

```
Sub SCEN2num()
'Escenario escenario 2
Dim i, j, cont, sum, fil As String
Dim FindString As String
Dim Rng As Range
cont = 0
sum = 0
fil = 0
i = Worksheets("matrizA2050").Range("O51").Value
j = Worksheets("matrizA2050").Range("O54").Value

'encontrar elemento
'FindString = InputBox("Enter a Search value")
FindString = "a" & i & "." & j & ""

For q = 1 To 7
If Trim(FindString) <> "" Then
    With Sheets("error").Range("A:A")
        Set Rng = .Find(What:=FindString, _
            After:=.Cells(.Cells.Count), _
            LookIn:=xlValues, _
            LookAt:=xlWhole, _
            SearchOrder:=xlByRows, _
            SearchDirection:=xlNext, _
            MatchCase:=False)
        If Not Rng Is Nothing Then
            Application.Goto Rng, True
        Else
            MsgBox "ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO"
            Exit Sub
        End If
    End With
End If

ActiveCell.Offset(1, q).Select
Selection.Copy
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(3, 1 + q).Select
```

```

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Next q

'copia las predicciones de IE
Sheets("matrizA2050").Select
fil = i * 5 - 5
For x = 1 To 41
    Cells(19 + x, 4).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 4 + fil & "C" & x + 15 & ""
    Cells(19 + x, 5).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 5 + fil & "C" & x + 15 & ""
    Cells(19 + x, 6).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 2 + fil & "C" & x + 15 & ""
    Cells(19 + x, 7).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 3 + fil & "C" & x + 15 & ""
    Cells(19 + x, 8).Select
    Selection.FormulaR1C1Local = "(prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 16 & "-
prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 15 & ")/prediccionIE!F" & 6 + fil & "C" & x + 15 & ""

Next x

For w = 1 To 14
If Trim(FindString) <> "" Then
    With Sheets("error").Range("A:A")
        Set Rng = .Find(What:=FindString, _
            After:=.Cells(.Cells.Count), _
            LookIn:=xlValues, _
            LookAt:=xlWhole, _
            SearchOrder:=xlByRows, _
            SearchDirection:=xlNext, _
            MatchCase:=False)
        If Not Rng Is Nothing Then
            Application.Goto Rng, True
        Else
            MsgBox "ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO"
            Exit Sub
        End If
    End With
End If

```

```

        End If
    End With
End If

ActiveCell.Offset(w + 5, 11).Select
Selection.Copy
Sheets("matrizA2050").Select
Cells(5 + w, 12).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False

Next w

Sheets("matrizA2050").Select
Range("C6:H19").Select
    Application.CutCopyMode = False
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorAccent1
        .TintAndShade = 0.599993896298105
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

Sheets("matrizA2050").Select
Range("C6", "H19").ClearContents
MsgBox "Copie la tabla de variaciones relativas en el hueco azul para finalizar la
predicción"
If Trim(FindString) <> "" Then
    With Sheets("error").Range("A:A")
        Set Rng = .Find(What:=FindString, _
            After:=.Cells(.Cells.Count), _
            LookIn:=xlValues, _
            LookAt:=xlWhole, _
            SearchOrder:=xlByRows, _
            SearchDirection:=xlNext, _
            MatchCase:=False)
        If Not Rng Is Nothing Then

```

```
Application.Goto Rng, True
Else
  MsgBox "ERROR EN EL ELEMENTO INTRODUCIDO"
End If
End With
End If

ActiveCell.Select

End Sub
```