



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD DEL SECTOR ENERGÉTICO DE ESPAÑA MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE
ÍNDICES BASANDOS EN LOS INDICADORES ENERGÉTICOS PROPUESTOS POR EL ORGANISMO
INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA ATÓMICA.

AUTOR: IRENE PEDRO CERDÁN

TUTOR: SOFÍA CARLOS ALBEROLA

Selección ISABEL MARTÓN LLUCH

Curso Académico: 2019-20

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

AGRADECIMIENTOS

“Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de mis padres, mis tutoras y de mis amigos. Gracias”

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

RESUMEN

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se definen en diferentes ámbitos para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad. Para implementar estrategias de sostenibilidad es necesario disponer de herramientas que permitan medirla y valorar el efecto que produce para conseguir alcanzar las metas establecidas en los diferentes ODS. En este sentido, la disponibilidad de indicadores permite analizar características clave para el desarrollo sostenible de un sistema en el ámbito social, económico y ambiental. Los indicadores de sostenibilidad muestran la disparidad entre los objetivos políticos establecidos por el sistema observado y el comportamiento de su sociedad. Este Trabajo Fin de Grado se centra en el análisis del ODS 7 *Energía asequible y no contaminante* mediante indicadores energéticos. Para ello primero, selecciona los indicadores energéticos considerados más representativos. A partir de ellos, el cálculo del índice de desarrollo sostenible (ISUD) y del índice de sostenibilidad estandarizada (SSEI) sirve en este estudio como metodología para conocer el grado en el que la sostenibilidad requerida se ha alcanzado en el sistema. El sistema seleccionado es el sector energético de España y se estudia en qué categorías se cumple con los objetivos de sostenibilidad establecidos por el Gobierno y en cuáles no. Por tanto, esta información refleja dónde es necesaria mayor acción política así como cuán sostenible es el desarrollo del sector energético en el país, es decir cómo de cerca se encuentra de lograr las metas expuestas en el ODS. En base a los datos obtenidos, se discuten las conclusiones más relevantes del estudio.

Palabras Clave: Objetivos de Desarrollo Sostenible, energía, indicadores, índice de desarrollo sostenible índice de sostenibilidad estandarizada.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

RESUM

Els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) es defineixen en diferents àmbits per a per a erradicar la pobresa, protegir el planeta i assegurar la prosperitat. Per a implementar estratègies de sostenibilitat és necessari disposar d'eines que permeten mesurar-la i valorar l'efecte que produeix per a aconseguir aconseguir les metes establides en els diferents ODS. En aquest sentit, la disponibilitat d'indicadors permet analitzar característiques clau per al desenvolupament sostenible d'un sistema en l'àmbit social, econòmic i ambiental. Els indicadors de sostenibilitat mostren la disparitat entre els objectius polítics establits pel sistema observat i el comportament de la seua societat. Aquest Treball Fi de Grau se centra en l'anàlisi del ODS 7 *Energia assequible i no contaminant* mitjançant indicadors energètics. Per a això primer, selecciona els indicadors energètics considerats més representatius. A partir d'ells, el càlcul de l'índex de desenvolupament sostenible (ISUD) i de l'índex de sostenibilitat estandarditzada (SSEI) serveix en aquest estudi com a metodologia per a conèixer el grau en el qual la sostenibilitat requerida s'ha aconseguit en el sistema. El sistema seleccionat és el sector energètic d'Espanya i s'estudia en quines categories es compleix amb els objectius de sostenibilitat establits pel Govern i en quins no. Per tant, aquesta informació reflecteix on és necessària major acció política així com quant sostenible és el desenvolupament del sector energètic al país, és a dir com de prop es troba d'aconseguir les metes exposades en el *ODS. Sobre la base de les dades obtingudes, es discuteixen les conclusions més rellevants de l'estudi.

Paraules clau: Objectius de Desenvolupament Sostenible, energia, indicadors, índex de desenvolupament sostenible índex de sostenibilitat estandarditzada.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

ABSTRACT

Sustainable Development Goals (SDG) are defined in different scopes to eradicate poverty, protect de planet and assure prosperity. To implement sustainability strategies, it is necessary to have tools that allow the measurement and assess the effect it produces to achieve the goals established in the different SDG. In this regard, the availability of indicators allow the analysis of key characteristics for the sustainable development of a system in social, economic and environmental scopes. The indicators of sustainability show the discrepancy between the political goals established by the observed system and the “behavior” of its society. This Degree Final Project focuses on the analysis of SDG 7 *Affordable and clean energy* using energy indicators. For this it selects the most representative indicators considered. Then, the calculation of the index of sustainable development (ISUD) and the standardized sustainability index (SSEI) is used as methodology in order to know the degree to which the sustainability required is attained in the system. The selected system is Spain’s energy sector and studies in which categories the objectives established by the Government are met and which are not. Therefore, this information reflects where more politic action is needed and how sustainable the development of the energy sector is in the country. In other words, how closely is to achieve the goals set out in the SDG. Based on the data obtained, the most relevant conclusions in the study are discussed.

Keywords: Sustainable Development Goals, energy, indicators, index of sustainable development, standardized sustainability index

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

ÍNDICE

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Introducción	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Objetivos	4
1.3. Estructura del documento	5
2. Antecedentes: Sistema de Indicadores Energéticos de la IAEA, IEA, AEMA y Eurostat	6
2.1 Dimensiones del Sistema de Indicadores Energéticos.....	7
2.1.1 Dimensión Social	8
2.1.2 Dimensión Económica	8
2.1.3 Dimensión Ambiental	9
2.2 Metodología	9
3. Metodología para el cálculo de índices	11
3.1 Transformación.....	12
3.2 Ponderación	13
3.3 Cálculo del ISUD y SSEI	15
3.3.1 Índice de Desarrollo Sostenible	15
3.3.2 Índice de Sostenibilidad Estandarizado	15
4. Sector Energético Español	18
4.1 Criterios de Selección de Indicadores	18
4.2 Indicadores Energéticos del Ámbito Económico.....	19
4.2.1 Objetivos Nacionales	19
4.2.2 Definiciones	22
4.3 Indicadores Energéticos del Ámbito Ambiental	25
4.3.1 Objetivos Nacionales	25
4.3.2 Definiciones	29

5. Resultados	34
5.1 Indicadores de Dimensión Económica	34
5.2 Indicadores de Dimensión Ambiental	46
5.3 ISUD	60
5.4 SSEI	62
6. Conclusiones	65
7. Bibliografía	66

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. Motivo del Presupuesto	1
2. Contenido del Presupuesto	2
2.1 Coste Mano de Obra	2
2.2 Coste Material	6
3. Presupuesto Final	7

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS MEMORIA

Tabla 1. Objetivos de la Unión Europea en materia de consumo de energías renovables para 2020 a partir de 2010.....	20
Tabla 2. Objetivos de España en eficiencia del consumo de energía primaria y final para 2020	21
Tabla 3. Sectores Industriales de Uso Energético Intensivo	26
Tabla 4. Objetivos nacionales de techos de emisiones de contaminantes atmosféricos.....	27
Tabla 5. Objetivos nacionales de reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos en comparación con año base 2005	28
Tabla 6. Valores límite diarios y anuales de concentraciones de emisión de contaminantes atmosféricos.....	28
Tabla 7. Códigos del Eurostat asociados a términos desglosados del balance de emisiones. ..	30
Tabla 8. Resumen de indicadores a emplear	33
Tabla 9. Datos para calcular el indicador de aumento de eficiencia energética en el consumo primario total I_{EF_TPC} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	35
Tabla 10. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en el consumo final total I_{RENEW_TFC} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.....	37
Tabla 11. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en el consumo final total del sector transporte I_{RENEW_TRANSP} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	39
Tabla 12. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en el consumo de energía primaria I_{RENEW_TPC} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	41
Tabla 13. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en la generación de electricidad I_{RENEW_ELE} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	43
Tabla 14. Datos para calcular el indicador de dependencia energética I_{ENER_DEP} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.	45
Tabla 15. Datos para calcular el indicador de porcentaje de emisiones de GEI aumentadas con respecto a las de 1990 I_{GEI_15} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2012.	48
Tabla 16. Datos para calcular el indicador de porcentaje de emisiones de GEI del RCDE reducidas con respecto a las de 2005 I_{GEI_21} , del resto de emisiones I_{GEI_10}	
Tabla 17. Resultados del indicador de porcentaje de emisiones de GEI pertenecientes y el de no pertenecientes al RCDE reducidas con respecto a las de 2005 antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 2013 y 2017	49

Tabla 18. Datos para calcular el indicador de emisiones de contaminantes atmosféricos I_{NO_x} , I_{COVNM} , y I_{SO_2} , sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.....	52
Tabla 19. Datos para calcular el indicador de emisiones de contaminantes atmosféricos I_{NH_3} y $I_{PM_{2,5}}$, sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	54
Tabla 20. Datos para calcular el indicador de concentración de contaminantes atmosféricos (SO_2 y NO_x) en zonas urbanas I_{CON_CA} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.	58
Tabla 21. Datos para calcular el indicador de concentración de contaminantes atmosféricos (NMVOC, PM_{10} Y $PM_{2,5}$) en zonas urbanas I_{CON_CA} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	59
Tabla 22. Valores del ISUD para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	61
Tabla 23. Valores del ISUD para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	61
Tabla 24 Valores del SSEI para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	64
Tabla 25. Valores del SSEI para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017	64

TABLAS PRESUPUESTO

Tabla 1. Coste de mano de obra por hora de la mano de obra desglosado.....	2
Tabla 2. Horas dedicadas a la elaboración del proyecto	3
Tabla 3. Cuadro de precios desglosado de la mano de obra	4
Tabla 4. Coste de ordenador.....	6
Tabla 5. Coste licencia <i>Microsoft Office 365</i>	6
Tabla 6. Cuadro de precios costes materiales	7
Tabla 7. Presupuesto Final.	7

FIGURAS

Fig1. Porcentaje de combustibles fósiles en el consumo de energía final. Años 1990-2017	1
Fig2. Nivel de dependencia energética de importaciones en España y de la Unión Europea. Años 1990-2017	2
Fig3. Objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (ODS).....	2
Fig.4 Ejemplo de cajetín con información básica del indicador ENV3 de la guía y metodología de la IAEA.	10
Fig. 5 Ejemplo de estructura de red de los pesos de un conjunto de indicadores [I1,I15]	16
Fig6. Situación del consumo de renovables en España en los últimos años, medido en porcentaje.	20
Fig 7. Balance de emisión bruta total desagregada en sectores y actividades, año 2017.....	25
Fig8. Evolución de la eficiencia energética del consumo de energía primaria <i>IEF_TPC</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	34
Fig9. Evolución del porcentaje de fuentes renovables en el consumo de energía final <i>IRENEW_TFC</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	36
Fig10. Evolución del porcentaje de fuentes renovables en el consumo de energía final en el transporte <i>IRENEW_TRANSP</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	38
Fig11. Evolución del porcentaje de fuentes renovables en el consumo de energía primaria <i>IRENEW_TPC</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	40
Fig12. Evolución del porcentaje de fuentes renovables empleadas para la generación de electricidad <i>IRENEW_ELEC</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	42
Fig13. Evolución del porcentaje de dependencia de importaciones netas en el sector energético <i>IENER_DEP</i> y los objetivos políticos límite establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	44
Fig14. Evolución del porcentaje de emisiones de GEI aumentadas con respecto a las de 1990 <i>IGEI_15</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2012.....	46
Fig15. Evolución del porcentaje de emisiones de GEI del RCDE reducidas con respecto a las de 2005 <i>IGEI_21</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 2013-2017	47
Fig16. Evolución del porcentaje de emisiones de GEI no pertenecientes al RCDE reducidas con respecto a las de 2005 <i>IGEI_10</i> y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 2013-2017.....	47
Fig17. Evolución de las emisiones de dióxido de azufre SO_2 (<i>ISO2</i> ,) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	50
Fig18. Evolución de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (<i>ICOVNM</i>) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	51
Fig19. Evolución de las emisiones óxidos de nitrógeno (<i>INOx</i>) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	51

Fig20. Evolución de las emisiones de material particulado $PM_{2,5}$ (IPM2,5) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	53
Fig21. Evolución de las emisiones de amoniaco NH_3 (INH3) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	55
Fig22. Evolución de la concentración de dióxido de azufre SO_2 (ICON_SO2,) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	56
Fig23. Evolución de la concentración de óxidos de nitrógeno NO_x (ICON_NOx) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	57
Fig24 Evolución de la concentración de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (ICON_NMVOC) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017.....	57
Fig25. Evolución de la concentración de material particulado PM_{10} (ICON_PM10) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017	58
Fig26. Evolución del ISUD en el periodo de tiempo 1990-2017.....	60
Fig27. Representación en gráfico de estructura de red de los pesos de actuación relativos de los indicadores en el año 2017.....	62
Fig. 28 Evolución del SSEI en el periodo de tiempo 1990-2017	63

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD DEL SECTOR ENERGÉTICO DE ESPAÑA MEDIANTE LA
ELABORACIÓN DE ÍNDICES BASADOS EN LOS ÍNDICADORES ENERGÉTICOS PROPUESTOS POR EL
ORGANISMO INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA ATÓMICA

DOCUMENTO 1: MEMORIA

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El suministro de energía accesible y eficiente es indispensable para el desarrollo sostenible de cualquier sociedad. En otras palabras, es necesario un sistema energético que permita a las comunidades desarrollarse socioeconómicamente de forma que satisfagan las necesidades actuales sin que ello comprometa a futuras generaciones y garantice el equilibrio social, económico y medio ambiental. Un suministro energético seguro y fiable actúa como medio para la erradicación de la pobreza, la transición a economías modernas, así como una sociedad de bienestar.

Actualmente, la constante industrialización así como el crecimiento de la población hacen que la demanda energética a nivel mundial aumente de forma exponencial. En España, la mayor parte de energía consumida proviene de los combustibles fósiles, llegando estos a representar un 66,29% en el consumo de energía final en el año 2018 mostrado en la fig.1, por encima de la media de la Unión Europea (UE).

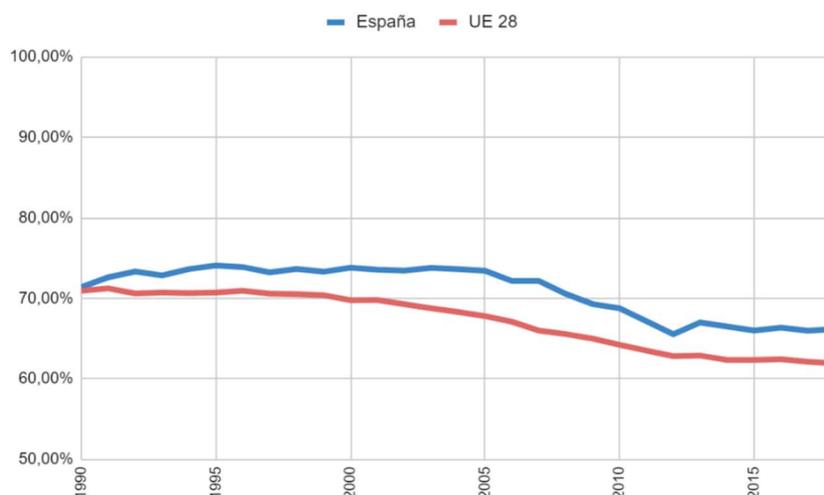


Fig1. Porcentaje de combustibles fósiles en el consumo de energía final. Años 1990-2017

No es de extrañar que además se encuentre entre los países de la UE con mayor porcentaje de dependencia energética. Situándose su pico más alto en el año 2008 con un 81,60% y en un 73,72% en el año 2017 tal y como se muestra en la fig. 2. Es un valor situado muy por encima de la media comunitaria, con un valor de 55,3% para ese mismo año. La gran dependencia y la limitación de los recursos fósiles son insostenibles.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

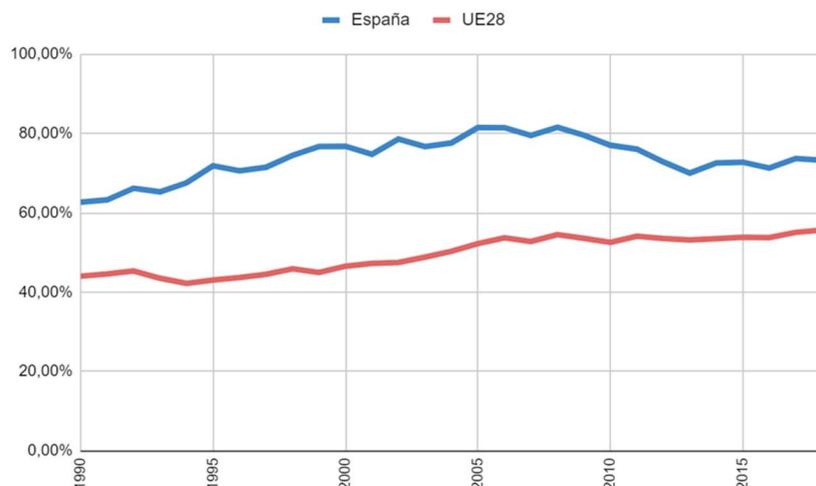


Fig2. Nivel de dependencia energética de importaciones en España y de la Unión Europea. Años 1990-2017

El concepto de sostenibilidad comienza a discutirse por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, en el cual se recalca el impacto negativo que estaba teniendo el desarrollo industrial y el crecimiento de la población en el medio ambiente, y alertaban la necesidad de actuar. A partir de ahí y a lo largo de los años, se han implantado una serie de metas para garantizar la sostenibilidad desde un punto de vista económico, ambiental y social.

Un claro ejemplo a **nivel mundial** son los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, expuestos en la fig. 3, adoptados en 2015 por los dirigentes mundiales miembros de las Naciones Unidas a causa de la aprobación de la Agenda 2030. Estos 17 objetivos son sinónimo de compromiso entre naciones.



Fig3. Objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (ODS)

Concretando en el ámbito del presente Trabajo Fin de Grado, se encuentra el ODS 07 *Energía limpia y no contaminante* recoge los objetivos de:

1. Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos
2. Aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas
3. Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética

Por otro lado, en el ámbito **Europeo** destaca la aprobación del **“Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020”** establecido en 2007 y en vigor desde 2009. También conocido como 20/20/20, incluye objetivos en relación al aumento de eficiencia energética, disminución de emisión de GEI y al aumento del uso de energías renovables, respectivamente, con fecha límite para su consecución en 2020.

Para asegurar el cumplimiento de estas metas, las entidades gubernamentales deben no sólo conseguir el uso sostenible de recursos disponibles sino la aplicación de medidas estratégicas y su posterior control periódico. Para ello, se necesita conocer el estado de progreso actual del país, qué aspectos necesitan mejorar y cómo hacerlo. Además es primordial contar con metodologías numéricas que evalúen los efectos que provocan estas medidas sobre el sector energético y si promueven o no su desarrollo sostenible a lo largo del tiempo.

Ahí radica el propósito indicadores energéticos. La disponibilidad de indicadores y su uso permiten conocer características concretas de un sistema en base a tres ámbitos fundamentales: la sociedad, la economía y el medioambiente. Muestra cuan diferente es el comportamiento de la sociedad de los objetivos establecidos para un periodo de tiempo dado, permitiendo así, la mejor toma de decisiones políticas en materia de energía. Los indicadores cuantifican el grado de sostenibilidad de un país respecto a determinados aspectos.

No obstante, que un país sea sostenible en una cuestión concreta no implica que el desarrollo de su sociedad en conjunto también lo sea. Los alemanes Holger Schlör, Wolfgang Fischer y Jürgen-Friedrich Hake (2012) publican un artículo *“Métodos para medir el desarrollo sostenible del sector energético alemán”* en el cual mediante una recopilación de los indicadores más representativos para el sector energético alemán, elaboran dos índices que permiten mostrar el nivel de sostenibilidad del sector en su conjunto y que se utilizan en este trabajo: Índice de Desarrollo Sostenible (ISUD) y Índice de Sostenibilidad Estandarizado (SSEI).

Es por ello por lo que hace falta índices que, agrupando un conjunto de indicadores dado, evalúen el comportamiento sostenible global a lo largo del tiempo. Porque la sostenibilidad no se fundamenta en el cumplimiento de unas metas concretas, sino el proceso, las medidas aplicadas para llegar hasta ellas.

1.2 Objetivos

En este Trabajo Fin de Grado tiene como objeto fundamental analizar y cuantificar la sostenibilidad del sector energético español mediante el uso de indicadores energéticos recogidos en la publicación dirigida por la IAEA y dos índices: índice de desarrollo sostenible (ISUD) y índice de sostenibilidad Estandarizado (SSEI).

Para ello es necesario alcanzar los siguientes objetivos:

- Analizar el sistema de indicadores energéticos de la IAEA.
- Analizar el procedimiento de cálculo de los índices ISUD y SSEI.
- Determinar, según la situación económico-social del país, qué indicadores son los más representativos.
- Comprobar si España cumple los objetivos europeos en materia energética 20/20/20
 - Aumento de eficiencia energética en un 20%.
 - Consumo de renovables en un 20%.
 - Disminución de emisión de GEI en un 20% con respecto a 1990.
- Estudiar la calidad del aire en el sector, puesto que es un indicador clave en el ámbito medioambiental.
- Estudiar la dependencia energética del país, que es uno de los indicadores que define la vulnerabilidad del sistema energético.
- Cuantificar la sostenibilidad del sistema energético de España en su conjunto, agrupando los ámbitos social, ambiental y económico.
- Exponer conclusiones a partir de resultados obtenidos.

1.3 Estructura

La disertación del Trabajo Final de Grado se aborda de la siguiente forma:

En el primer capítulo se expone el marco teórico. La sección se centra especialmente en el conjunto de Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible (IEDS) desarrollado por organismos de renombre internacional: Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), Agencia Internacional de la Energía (IEA), Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) y la Oficina Europea de Estadística (Eurostat). También se introduce la trayectoria del desarrollo de indicadores energéticos, incluyendo toda la labor de indicadores energéticos realizada por las Naciones Unidas.

En el segundo capítulo se profundiza en la metodología de cálculo empleada, publicada en *“Methods of measuring sustainable development of the German energy sector”* (SCHLÖR Y OTROS, 2013), para analizar la sostenibilidad. Consiste en el cálculo del Índice de Desarrollo Sostenible (ISUD) y Índice de Sostenibilidad Estandarizado (SSEI), a partir de la agregación de indicadores.

En el tercer capítulo se definen los indicadores más representativos y su metodología, así como se justifica la selección de los indicadores que se han considerado más apropiados para evaluar el sistema energético de España de los 30 definidos en el sistema de indicadores elaborado por la IAEA. Aunque el estudio se centra en el uso del sistema de indicadores del IAEA, en el transcurso del trabajo se evidenció la necesidad de utilizar indicadores que no se tenían definidos en dicho sistema los cuales se exponen también en este capítulo ya que se consideran adecuados para este trabajo.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos de los indicadores a lo largo de un periodo de tiempo determinado para el sector energético de España, tanto a nivel individual como en colectivo, esto último reflejado en los índices ISUD y SSEI.

Finalmente, en el quinto capítulo se discuten las conclusiones del estudio. En este capítulo se hace un análisis resumen del trabajo realizado, de su importancia y de los resultados de los índices. Se evalúa pues si el sistema energético de España está en camino o no a una situación sostenible y si las medidas políticas adoptadas son o no adecuadas.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

2. ANTECEDENTES: SISTEMA DE INDICADORES ENERGÉTICOS DE LA IAEA, CON LA IEA, AEMA, Y EUROSTAT

La publicación del Informe Brundtland en 1987 provocó que numerosas organizaciones se embarcan en proyectos para crear indicadores que permitieran medir el impacto que el desarrollo económico y social estaban teniendo en el medioambiente.

Un indicador es un dato que sirve para obtener información acerca de las características o grado de intensidad de un ámbito concreto. Aplicado a la sostenibilidad, un indicador muestra la conexión entre el uso de la energía con la economía, la sociedad y el medio ambiente. De esta forma, mediante el análisis conjunto de varios indicadores se puede obtener una visión general que muestre cuan de sostenible es el sistema estudiado. Y en consecuencia, viendo su variación a lo largo del tiempo, se puede analizar qué medidas hay que tomar, así como su efectividad, para alcanzar esa sostenibilidad en el sector. Para que los indicadores puedan ser aplicados y entendidos a nivel internacional, es necesario llegar a un consenso sobre cómo calcular esos indicadores.

La idea de crear un sistema de indicadores, aplicables a nivel mundial, se consolidó en 1992 en la llamada *Cumbre de la Tierra*, con la elaboración del *Programa 21*. En el apartado 6 del capítulo 40 del plan, se insta a “desarrollar el concepto de indicadores del desarrollo sostenible a fin de establecer esos identificadores” y a “hacer recomendaciones para el desarrollo armónico de indicadores en los planos nacional, regional y mundial y para la incorporación de un conjunto apropiado de estos indicadores en informes y bases de datos comunes de acceso generalizado para su utilización en el plano internacional”

Es por ello por lo que las Naciones Unidas crea el Comité de Desarrollo Sostenible (CDS) nada más finalizar la Cumbre de la Tierra. Este, mediante el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UNDESA) (1995) publica el primer conjunto de indicadores. Se encuentran recogidos en la publicación *“Indicadores de Desarrollo Sostenible: Guía y Metodología”*. Esta lista cuenta actualmente, tras varias revisiones a lo largo de los años, con 50 indicadores clasificados en 4 ámbitos: social, ambiental, económico e institucional. Sólo 5 de ellos se centran directamente en la influencia del uso de energía.

Paralelamente a la labor de las Naciones Unidas, 5 organismos de gran reconocimiento internacional publican sus propios sistemas de indicadores. Es el caso de *“Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías”* (2005) proyecto iniciado en 1999 por la IAEA en colaboración con la Eurostat, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UNDESA), La Agencia Internacional de Energía (AIE) y la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) y que es el primer ejemplo de consenso entre varias organismos. Representa una metodología fiable para evaluar el sistema energético de un país basándose en indicadores. Permiten a los representantes políticos comprobar el progreso del sector energético en relación a los objetivos fijados de sostenibilidad.

Los objetivos principales de este sistema de indicadores son:

- Ayudar a completar la labor de la CDS recogida en la Agenda 21, Capítulo 40.
- Proporcionar una visión completa del sistema energético de un país, considerando el contexto social y económico.
- Comprobar el progreso del sector energético de cada país en relación a los objetivos fijados.
- Ayudar a los políticos, mediante un formato simple y entendible, a evaluar y aplicar medidas energéticas efectivas

La IAEA agrupa 30 Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible (IEDS) centrados en el acceso, la asequibilidad y el ahorro energético. Los indicadores de esta lista pueden englobar a su vez un conjunto de indicadores, por considerarse necesarios para proporcionar una información más rigurosa sobre un tema concreto. Están clasificados en tres grandes pilares que constituyen las principales dimensiones del desarrollo sostenible, en consonancia y complementando los publicados por la CDS: social, económica y ambiental. Estos ámbitos se clasifican a su vez en 7 temas y 19 subtemas.

Cada indicador lleva asociada una hoja de metodología donde se describen los pasos a seguir para su correcta elaboración e implementación. En la subsección 2.2 se profundiza más en el tema.

2.1 Dimensiones del sistema de indicadores de la IAEA

El motivo por el que el desarrollo sostenible debe ser clasificado en varias áreas reside en su propia definición “El concepto de desarrollo sostenible significa fundamentalmente la posibilidad de mejorar la calidad de vida, de un modo que sea sostenible económica y ambientalmente, a largo plazo, con el respaldo de la estructura institucional del país” (IAEA, 2008)

No obstante, a diferencia del set de indicadores de las Naciones Unidas, el conjunto de indicadores definidos por la IAEA sólo incluye dimensión económica, ambiental y social. No incluye la dimensión institucional debido a que consideran que a día de hoy no hay indicadores que aporten una información lo suficientemente precisa como para ser útil.

2.1.1 Dimensión Social

Refleja la necesidad de las personas de todo el mundo de tener acceso a servicios de energía básicos en la forma de energía comercial a precios asequibles. Tienen mayor relevancia en los países en vías de desarrollo que aún no disponen para toda la población de servicios energéticos modernos.

El ámbito social constituye uno de los pilares más influyentes en el desarrollo sostenible. El uso de la energía o la falta de ésta tiene repercusión directa en cuestiones como la equidad social y -la calidad de vida, reflejada en- el nivel económico, la salud, la educación... Disminuir el impacto negativo que provoca el uso de energía en la sociedad es uno de los objetivos recogidos por las Naciones Unidas en los ODS.

Por ello, para facilitar ese informe divide este aspecto en dos temas

- Equidad. Constituye uno de los objetivos más importantes en el desarrollo sostenible. Abarca los subtemas de accesibilidad y asequibilidad energética así como su distribución y su disponibilidad.
- Salud. Centrado especialmente en el tema de seguridad energética y los accidentes relacionados con su uso.

2.1.2 Dimensión Económica

Es más que evidente estrecha relación de dependencia que hay entre el sistema energético de un país y su economía. Sin un suministro de energía seguro y accesible, el desarrollo económico se ve limitado, afectando así al resto de sectores: residencial, transporte, industrial... y afecta a su vez al empleo y a la productividad. Es primordial contar con un buen sistema energético en el país para fomentar la economía y garantizar servicios adecuados a la sociedad.

Por todo esto, se puede decir que la relevancia de la dimensión económica está más que fundamentada. La OIEA decide clasificar esta área de la sostenibilidad de nuevo en 2 temas

- El primer tema se centra en patrones de uso y producción. Aquí trata la parte de eficiencia energética, uso de energía primaria, energía final, diversificación de recursos energéticos y precios.
- El segundo tema tiene que ver con la seguridad, centrado en las reservas energéticas y especialmente en la importación de éstas. Si un país depende energéticamente de otro, el hecho de no poder abastecer por sí mismo su demanda incrementa la gravedad de las consecuencias una interrupción energética.

2.1.3 Dimensión Ambiental

El funcionamiento del sector energético, la producción y uso de energía, tiene una influencia principal en el medio ambiente: la contaminación. Por ello, los temas en los que se clasifica este ámbito son la localización donde puede producirse dicha contaminación: atmósfera (aire), agua y tierra.

En cuanto al primer tema, la atmósfera, los subtemas principales son: la calidad del aire, afectada por contaminantes como azufres, óxidos de nitrógeno y ozono entre otros; y el cambio climático, producido por los llamados GEI (Gases de Efecto Invernadero).

En relación al agua y la tierra, éstas se ven afectadas por los contaminantes que produce la extracción y el uso de energía, destacando especialmente los contaminantes radioactivos y aquéllos considerados perjudiciales para la salud, como lo son: dióxido de azufre SO_2 , óxidos de nitrógenos NO_x , compuestos volátiles no metánicos COVNM, amoníaco NH_3 , y material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ entre otros.

2.2 Metodología

Como se explica al principio del apartado, cada indicador lleva asociado una hoja de metodología. Esta hoja tiene la finalidad de proporcionar toda la información requerida para una elaboración adecuada del indicador. No obstante, las indicaciones dadas son sólo recomendaciones, dada la dificultad que supone encontrar ciertos datos. Por tanto, se pueden efectuar los cambios necesarios según la disponibilidad de datos y definición de objetivos.

El formato explicado a continuación está hecho de forma que sea compatible al formato desarrollado por el CDS de las Naciones Unidas:

1. Cajetín con información básica, como el de la figura 4. Consiste en una definición breve, unidades recomendadas a emplear, sugerencia de alternativas y su correspondencia al Programa 21.
2. Contexto político: Explica la finalidad del indicador, la relación con el desarrollo sostenible, que acuerdos a nivel internacional hay con respecto al indicador, si hay objetivos a cumplir que puedan medirse con el indicador, así como la relación que puede tener con otros indicadores.
3. Descripción de metodología: Profundiza en el tema que trata el indicador y expone los diferentes modos de medirlo, así como sus limitaciones. También habla sobre las definiciones alternativas al indicador en cuestión.
4. Evaluación de datos: Ofrece todas las fuentes, nacionales e internacionales, donde se pueden obtener los datos al igual que qué datos son necesarios.
5. Referencias.

ENV3: Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos

Breve definición	Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de todas las actividades relacionadas con la energía, incluidos la producción de electricidad y el transporte. Los principales motivos de la preocupación creciente son las emisiones de sustancias acidificantes, como óxidos de azufre (SO _x) y de nitrógeno (NO _x); gases formadores de ozono (precursores del ozono), como los compuestos orgánicos volátiles (COV), NO _x y monóxido de carbono (CO); así como las partículas finas.
Unidades	Toneladas o 1 000 toneladas
Definiciones alternativas	Cambio porcentual de las emisiones en el tiempo; emisiones por unidad de uso bruto de energía
Datos auxiliares/indicadores	Ninguno
Programa 21	Capítulo 9: Protección de la atmósfera

Fig.4 Ejemplo de cajetín con información básica del indicador ENV3 de la guía y metodología de la IAEA.

Cabe recordar de nuevo que los indicadores de este informe constituyen sólo una recomendación, de forma que el análisis de resultados debe efectuarse teniendo en cuenta la situación del país estudiado.

Los Indicadores Energéticos de Desarrollo Sostenible (IEDS) de la OIEA, AIE, Eurostat y AEMA representan una herramienta que cuantifica el avance de los países y el efecto de las decisiones tomadas o a tomar. Todos estos organismos tienen además de forma independiente una serie de indicadores creados por ellos, manteniendo siempre consonancia entre los mismos.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

3. METODOLOGÍA CÁLCULO DE ÍNDICES

El método de medida utilizado en este trabajo se fundamenta en dos conceptos: los indicadores, siguiendo las pautas de la OIEA, Eurostat, IEA y AEMA recogidas en *“Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías”* (2008) y los índices de desarrollo sostenible (ISUD) y de sostenibilidad estandarizado (SSEI), definidos en el artículo *“Methods of measuring sustainable development of the German energy sector”* (Holger Schlör y otros, 2012)

Explicado en apartados anteriores, un indicador es un parámetro que muestra de forma cuantitativa la situación característica de un sistema en un ámbito concreto en un periodo de tiempo determinado. Por otro lado, un índice es, “Conjunto de parámetros agregados o ponderados” (UNDESA, 2000) en nuestro caso esos parámetros son los indicadores. De forma que, en general la expresión de un índice es:

$$\text{Índice} = \sum_{n=1}^N I_n \quad n = 1, \dots, N \quad (1)$$

Siendo I_n el valor del indicador n y N el número total de indicadores.

La agregación es, “La combinación de categorías relacionadas, usualmente en la rama común de una jerarquía, para proporcionar información a un nivel más amplio al cual se toman observaciones detalladas” (OECD, 2001)

Resumiendo, la metodología consiste en calcular los diferentes índices a través de la suma de indicadores con propiedades similares para obtener un resultado global aproximado de la sostenibilidad del cual se pueden sacar conclusiones más específicas sobre ésta. De hecho, esta explicación resume lo que se pretende hacer en este Trabajo Fin de Grado.

Remitiendo al artículo mencionado al inicio del capítulo, hay diferentes tipos de agregación de variables “agregación espacial, agregación temporal y agregación temática”. Esta clasificación se debe a que un parámetro se define por su localización temporal, espacial y por su tipología.

La agregación espacial consiste en agrupar un conjunto de parámetros de áreas diferentes, pero que están comprendidos en el mismo periodo de tiempo y pertenecen a la misma categoría o tema.

Por otro lado, la agregación temporal consiste en agrupar un conjunto de parámetros comprendidos en diferentes periodos de tiempo, pero que tienen la misma localización espacial y pertenecen a la misma categoría.

Finalmente, la agregación temática consiste en agrupar un conjunto de parámetros pertenecientes a diferentes categorías, pero con la misma localización espacial y temporal.

Trasladando estos conceptos al foco principal de este Trabajo Fin de Grado que es la sostenibilidad, se escoge la agregación temática. En este caso, los indicadores son los parámetros, que pertenecen a dimensiones diferentes de la sostenibilidad, pero todos aportan información sobre el sector energético de España y se calculan para un periodo de tiempo concreto. En el siguiente párrafo se exponen los pasos a seguir para agregar los indicadores y obtener los índices.

1. Selección de los indicadores más apropiados y representativos del sistema energético a analizar.
2. Transformación de indicadores mediante normalización.
3. Ponderación de los diferentes indicadores que conforman el índice.
4. Evaluación de la sostenibilidad mediante el cálculo del **ISUD** (Índice de Desarrollo Sostenible) y del **SSEI** (Índice estándar de sostenibilidad) para determinar y calcular en que grado está conseguida la sostenibilidad

A continuación en las siguientes subsecciones se profundizan en los pasos 2, 3 y 4. El paso 1, que consiste en la selección de indicadores adecuados para el estudio, se expone en el siguiente capítulo debido a su extensión.

3.1 Transformación

El proceso de transformación es la etapa del proceso en la que se “preparan” los datos. Cada indicador tiene unas unidades propias, no todos coinciden. Por tanto, se utiliza el método de normalización calculando el ratio entre el valor actual del indicador y el valor objetivo. De esta manera, los indicadores toman un valor adimensional, lo que permite poder operar con ellos de forma conjunta posteriormente. Así, se vuelve un valor adimensional que permite efectuar los cálculos posteriores.

Según si el objetivo a conseguir es una reducción o un aumento hacia una cantidad concreta, éste se situará como dividendo o como divisor.

- Si es un aumento:

$$x_n = \frac{VA_n}{OBJ_n}; \quad n = 1, \dots, N \quad (2)$$

- Si es una reducción:

$$x_n = \frac{OBJ_n}{VA_n}; \quad n = 1, \dots, N \quad (3)$$

Siendo x_n el valor normalizado del indicador n , OBJ_n el valor límite del indicador n , VA_n el valor actual del indicador n y N el número total de indicadores.

Una vez obtenidos los ratios (x_n), hay que elegir el método de actuación para aquellos indicadores normalizados con un valor por encima de 1 que, en nuestro caso, indican un sobrecumplimiento del objetivo de sostenibilidad establecido por las entidades gubernamentales. Si se opera con ellos manteniendo los valores obtenidos, el exceso de cumplimiento compensa el incumplimiento de otros indicadores.

$$\text{Si } x_n \geq 1 \rightarrow x_n \geq 1 \quad n = 1, \dots, N \quad (4)$$

Esta idea es expresada por H. Schlör como una “Compensación Excedente de Sostenibilidad” (SSC). Este autor introduce la idea de que la sostenibilidad de algunos ámbitos compensa la insostenibilidad de otros a efecto conjunto, de manera que puede haber un “sobrecumplimiento” de objetivos.

No obstante, con la finalidad de efectuar un estudio lo más restrictivo posible, se va a eliminar la compensación excedente de cualquier indicador, SSSC. Ello quiere decir que, a cualquier indicador que haya superado su objetivo de forma que el valor sea mayor que 1, dejar su valor normalizado en 1, quitando así la posible compensación que ejercería en indicadores que no han cumplido su objetivo.

$$\text{Si } x_n \geq 1 \rightarrow x_n = 1 \quad n = 1, \dots, N \quad (5)$$

3.2 Ponderación

Una vez seleccionados y normalizados los indicadores, hay que decidir la forma de ponderarlos. La ponderación influye a la hora de calcular los Índices de Sostenibilidad (ISD). Se han planteado dos tipos de ponderación: Ponderación equitativa de pilares “Equal Pillar Method” o la ponderación equitativa de los indicadores “Equal Indicator Method”.

La sostenibilidad se divide en las siguientes dimensiones o pilares: social, económica y ambiental. La ponderación equitativa de pilares consiste en dar la misma valoración a cada uno de esos pilares, sin importar el número de indicadores asociados a cada uno. Si no puede distribuirse el mismo número de indicadores para cada ámbito, la ponderación de estos sería diferente. El índice quedaría definido como.

$$ISD = \left(\sum_{j=1}^3 \frac{\sum_{n=1}^{M_j} x_n}{3} \right) \quad (6)$$

Donde M_j es el número de indicadores por pilar, j el número de pilares y x_n el indicador normalizado.

En la ponderación equitativa de indicadores, como el nombre indica, los N indicadores tienen la misma ponderación. Pero si tampoco pueden clasificarse de forma equitativa por pilares, la ponderación diferencial resulta en los ámbitos. En este caso el índice se calcularía como.

$$ISD = \left(\sum_{n=1}^N x_n \right) \cdot \frac{1}{N} \quad (7)$$

En este Trabajo Fin de Grado los indicadores más representativos para analizar el sector energético de España no pueden distribuirse de forma equitativa en los tres ámbitos, de modo que la ponderación más apropiada es la ponderación equitativa de los indicadores. De modo que a mayor número de indicadores pertenecientes a un ámbito, mayor ponderación le corresponde.

Además, haciendo de nuevo referencia al artículo escrito por H.Schlör, de entre las dos opciones de ponderación, considera la ponderación equitativa de indicadores "Equal Indicator Method" es más restrictiva que la ponderación equitativa de pilares. Es por ello por lo que se considera más adecuada y por tanto se utiliza en este análisis.

3.3 Evaluación: ISUD y SSEI

3.3.1 Índice de Desarrollo Sostenible (ISUD)

La función del Índice de Desarrollo Sostenible (ISUD) consiste en “combinar los indicadores individuales... y calcular el grado de sostenibilidad alcanzado, o no, por el sector”. Por tanto, este índice es la forma absoluta de calcular el grado de sostenibilidad. Como se justifica en las subsecciones anteriores, para el estudio de este trabajo se elimina cualquier compensación de objetivos entre indicadores y se considera la ponderación equitativa de los mismos. Este índice se calcula anualmente en el periodo de tiempo comprendido entre 1990 y 2017.

Conocidos los valores normalizados de cada indicador (x_n) para calcular el ISUD utilizamos la siguiente fórmula, adaptada de la fórmula de cálculo de ISD (7)

$$ISUD = \left(\sum_{n=1}^N x_n \right) \cdot \frac{1}{N} \quad (8)$$

Siendo N el número total de indicadores.

En este caso, como se ha explicado en el apartado anterior, el cumplimiento de ciertos objetivos no compensa el incumplimiento de otros. Por tanto, el índice puede comprenderse en rango de 0 a 1. Si el ISUD es igual a 1, el desarrollo del sistema energético es sostenible. Indica por tanto que el sector ha cumplido todos los objetivos y metas establecidas por el Gobierno.

En caso de ser menor a 1, significa que no han alcanzado todos los objetivos y que por tanto las estrategias políticas deben ser replanteadas y analizar por qué no han sido efectivas.

3.3.2 Índice Estandarizado de Sostenibilidad (SSEI)

El SSEI sirve para estudiar la sostenibilidad de cada uno de los indicadores con respecto al resto, es decir, cuan de sostenible es un indicador si lo comparamos con el resto. Es una forma relativa de estudiar los indicadores escogidos. Para determinar el índice hay que obtener previamente el peso de cada indicador a_i . Consiste en calcular los ratios de cada indicador siguiendo la fórmula a continuación:

$$a_i = \frac{\ln(x_i) - \ln(\min_{i=1}^N(x_i))}{\ln(\max_{i=1}^N(x_i)) - \ln(\min_{i=1}^N(x_i))} \quad i = 1, \dots, N \quad (9)$$

Donde $\max_{i=1}^N(x_i)$ y $\min_{i=1}^N(x_i)$ significan el indicador con valor más elevado de todos y con valor más pequeño de todos, respectivamente.

El peso de cada indicador también se denomina “puntuación de actuación relativo a_i ”. Al definirse mediante logaritmos, en rango de valores se comprende entre 0 y 1. Tampoco se incluirán entonces aquellos indicadores con valor nulo. Los resultados de los pesos de cada indicador pueden adaptarse a un gráfico radial o de red como el mostrado en la figura 4.

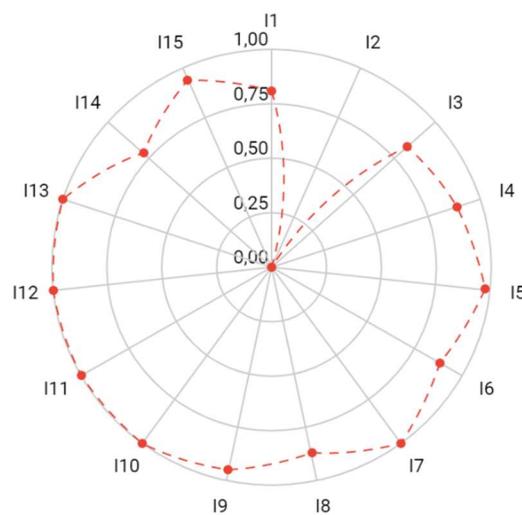


Fig. 5 Ejemplo de estructura de red de los pesos de un conjunto de indicadores [I1,I15]

En la fig. 5, el valor 1 hace referencia al mayor nivel de sostenibilidad de un indicador, y el valor cero el nivel más bajo. Hay S_i sectores, marcados en gris, para i indicadores distribuidos en un área del círculo A. De manera que cada sector circular comprende el ángulo γ_i :

$$\gamma_i = \frac{2\pi}{N} \quad (10)$$

Donde N es el número total de indicadores.

Los pesos de actuación relativos a_i de cada indicador están marcados con puntos rojos. Cada par de puntos a_i y a_{i+1} , definen un triángulo con el origen del gráfico. El área de un triángulo cualquiera ST_i se calcula de la siguiente forma.

$$ST_i = \frac{1}{2} a_i \cdot [a_{i+1} \sin(\gamma_i)] ; \quad i = 1 \dots N \quad (11)$$

De manera que, sumando los i triángulos correspondientes comprendidos entre cada par de puntos a_i y a_{i+1} , obtenemos a partir de las ecuaciones (10) y (11) la siguiente fórmula

$$S = \sum_{i=1}^N ST_i = \frac{1}{2} \sqrt{1 - \cos^2\left(\frac{2\pi}{N}\right)} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot a_{i+1} \quad (12)$$

Donde la expresión $\sqrt{1 - \cos^2\left(\frac{2\pi}{N}\right)} = \sin\left(\frac{2\pi}{N}\right)$

La relación entre la suma de triángulos x_i y el área total del círculo $A =$ se obtiene el Índice de Sostenibilidad Estandarizado (SSEI) del sector energético.

$$SSEI = \frac{S}{A} = \frac{\frac{1}{2} \sqrt{1 - \cos^2\left(\frac{2\pi}{N}\right)} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot a_{i+1}}{\pi r^2} ; \quad r = 1 \quad (13)$$

En el apartado de resultados, se expone el SSEI para todos los años, no obstante sólo se ofrece el gráfico sobre el peso relativo de los indicadores a_i del año 2017, para proporcionar un esbozo de la situación actual del sector energético.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

4. SECTOR ENERGÉTICO ESPAÑOL

4.1 Criterios de Selección de Indicadores

El conjunto de indicadores de las organizaciones internacionales recogido en *“Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías” (2005)* recopila un total de 30 indicadores. No obstante, muchos de hechos mantienen estrechas relaciones entre sí, por lo que para efectuar cualquier análisis el número de indicadores necesarios es mucho menor. Hay que escoger los indicadores en función de las metas y objetivos establecidos por el país así como en función de la información disponible.

Según las guías y metodologías de la Comisión de Desarrollo Sostenible (CSD) de las Naciones Unidas para los indicadores de desarrollo sostenible, a la hora de seleccionar un indicador es necesario que presente las siguientes características:

1. Deben servir para medir la efectividad de las estrategias hacia el desarrollo sostenible
2. Disponibilidad datos e información contrastada, suficiente y de calidad
3. Deben cubrir las dimensiones del desarrollo sostenible
4. Entendibles, claros, sin ambigüedades
5. Estar respaldados por conceptos sólidos
6. Medibles
7. Lo más similar posible a los indicadores ya definidos para el ámbito internacional.

La característica recogida en el punto número 2, la disponibilidad de datos e información contrastada, constituye el reto principal a la hora de calcular indicadores. A pesar de que actualmente hay mayor transparencia e información disponible ofrecida por numerosos organismos, no siempre se encuentra desglosada de la forma más adecuada y muchas veces los datos ofrecidos discrepan entre sí. La criba de datos debe ser muy exhaustiva., lo que implica que refiere una gran cantidad de trabajo.

Además, es importante tener grupo de indicadores lo más reducido posible pero que al mismo tiempo permitan un análisis amplio y profundo sobre el desarrollo sostenible en sus 3 dimensiones: social, económica y ambiental. Un uso de número de indicadores demasiado amplio tiende a convertir los resultados en información ambigua y de complicada interpretación. Este es el motivo por el cual, a lo largo del tiempo, se van actualizando las listas de indicadores a grupos cada vez más pequeños. También se debe a que muchos de ellos mantienen una relación entre sí tan estrecha que utilizarlos todos resulta contraproducente a la vez que de difícil manejo.

Por otro lado, no es estrictamente necesario utilizar siempre los indicadores de la IAEA, en caso de que se requiera se pueden adaptar a otras definiciones alternativas. Hay objetivos del sector energético español que no pueden compararse con indicadores que ya estén definidos, como es el caso del objetivo de eficiencia energética establecido por la UE.

El Gobierno de España, mediante el Ministerio de Transición Ecológica (MITECO) y el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energética (IDAE) utiliza varios indicadores en sus publicaciones sobre balances energéticos anuales, recogido en el *“Libro de la Energía”*: consumo de energía primaria y final, el porcentaje de renovables en éstos; intensidades energéticas; grado de autoabastecimiento; generación eléctrica proveniente de fuentes renovables, etc.

Otros documentos publicados con regularidad por el IDAE, como el *“Estudio de la Calidad del Aire”* o el *“Plan Nacional de Control de Contaminantes Atmosféricos”*, evalúan la parte medioambiental a través de indicadores como: concentración de emisiones de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas, cantidad de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) entre otros.

En cuanto al ámbito social de la sostenibilidad, el Gobierno de España no establece objetivos claros con respecto al sector energético.

Por todo lo expuesto en los párrafos anteriores, este trabajo utiliza como criterios principales para la selección de indicadores los siguientes: la disponibilidad de datos e información contrastada de gran calidad, que sean medibles por el Gobierno y la existencia de objetivos a nivel nacional o internacional sobre los temas estudiados. A continuación se exponen los indicadores escogidos así como los objetivos a cumplir.

4.2 Indicadores Energéticos del Ámbito Económico

4.2.1 *Objetivos nacionales*

Consumo Energías Renovables

Las energías renovables –hidráulica, solar térmica, solar fotovoltaica, eólica, geotérmica y biomasa– son las energías clave para el desarrollo sostenible en el futuro, puesto que son energías que no dependen de recursos limitados. Siempre han tenido una importancia fundamental, por ello primero en 2001 Europa estableció el objetivo del **12% de consumo de renovables para el año 2010**. La finalidad de estos objetivos es disminuir la dependencia hacia los combustibles fósiles y fomentar la transición a consumir energía limpia y no contaminante. Actualmente, la Unión Europea, tras revisar la Directiva de 2001, establece unos nuevos objetivos en relación al porcentaje de renovables presentes en el consumo de energía primaria y final, recogidos en la **Directiva de Energías Renovables en 2009** (2009/28/EC). La Tabla 1 muestra los objetivos marcados por la UE en materia de energías renovables para el año 2020.

Tabla 1 Objetivos de la Unión Europea en materia de consumo de energías renovables para 2020 a partir de 2010

Sector	Objetivo
Todos	Alcanzar un 20% en el consumo de energías renovables
Transporte	Alcanzar un 10% en el consumo de energías renovables

El objetivo marcado para el sector del transporte es aplicable por igual a todos los países miembros. El **objetivo del 20% de consumo de energías renovables** se adapta a la situación de cada país y su posibilidad de conseguir esos objetivos. España asume los mismos objetivos que la Unión Europea y por lo tanto estos objetivos son los que se utilizan en este TFG.

Además España, exclusivamente a nivel nacional, recogió en el Plan Nacional de Energía (2005-2010) objetivo de conseguir **una generación de electricidad proveniente de fuentes renovables del 29,4% para el año 2010**. Posteriormente, con vistas a 2020, en el Plan de Energías Renovables de 2011-2020 se marca como objetivo una **generación de electricidad proveniente de fuentes renovables de un 38,1%**. La Fig 6 muestra la evolución del porcentaje de renovables y no renovables para cubrir la demanda de electricidad.

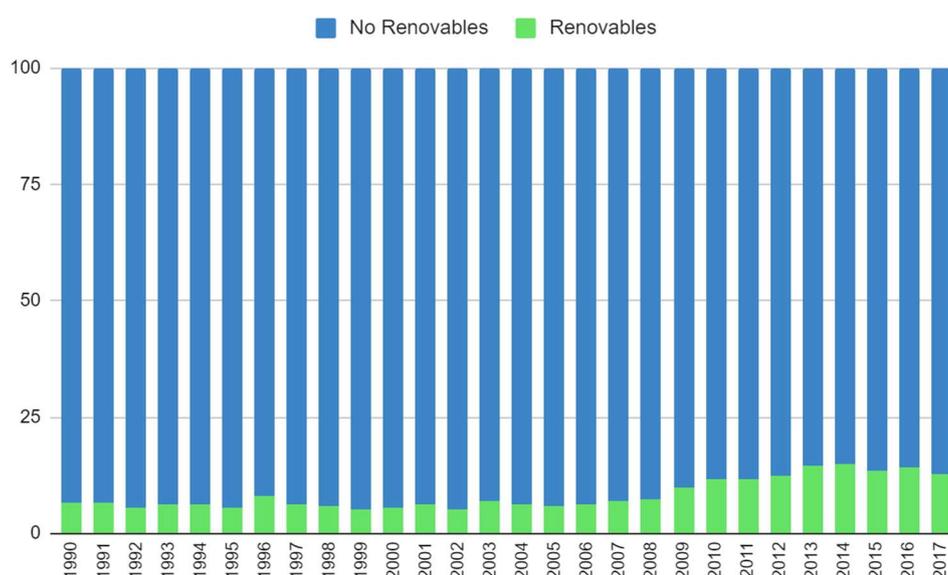


Fig6. Situación del consumo de renovables en España en los últimos años, medido en porcentaje.

Aumento de Eficiencia energética y Disminución de Dependencia Energética

Una mejora en la eficiencia energética permite, no sólo consumir menos energía, sino proteger el medioambiente, reducir la dependencia energética y reducir el gasto de electricidad. Para poder incrementar la eficiencia en el uso de la energía, es necesario reducir su consumo desde el inicio hasta el final. El objetivo se establece la Directiva 2012/27/EU en la cual se marca **una reducción del 20% del uso de energía** en toda la Unión Europea al compararlo con el valor de 2020 del escenario energético planteado en el año 2007. Para alcanzar este objetivo, los países pertenecientes a la UE establecen sus propios objetivos de eficiencia energética, siempre en acuerdo a los diferentes estados macroeconómicos en los que se encuentre el país, así como planes nacionales de eficiencia energética cada 3 años.

En el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética (PNAEE) del año más reciente, en 2017, España recoge los siguientes objetivos que se pretenden alcanzar, siguiendo un escenario energético o *business as usual* (BAU). No obstante, sólo aporta el valor del consumo de energía primaria del escenario energético de 2007 (162,8 ktep). De igual modo, en el plan garantizan que las previsiones objetivo establecidas permiten cumplir con el artículo 3 de la Directiva de Eficiencia Energética. La Tabla 2 muestra los objetivos expuestos en el PNAEE de 2017.

Tabla 2 Objetivos de España en eficiencia del consumo de energía primaria y final para 2020

Energía	Consumo límite (Mtoe)	Reducción con respecto objetivo 2020*
Primaria	122,6	24,7%
Final	87,2	NR

*El objetivo de 2020 establecido en el escenario energético elaborado en 2007

Dada la dificultad de encontrar todos los datos necesarios para su correcta elaboración, en este trabajo se utiliza el objetivo del 20% de aumento de eficiencia energética del consumo de energía primaria, ya que en los PNAEE no se define con claridad si el valor predicho del consumo de energía final para 2020 garantiza el cumplimiento del objetivo.

En cuanto a la **dependencia energética**, España tiene uno de los mayores porcentajes de dependencia de importaciones netas en el sector energético de Europa, situándose en los últimos años por encima del 70%, llegando en 2017 a alcanzar el 73,72%. El objetivo nacional establecido es **disminuir la dependencia hasta llegar a un 61%** para el año 2030, ya que era imposible conseguir un progreso significativo para 2020.

4.2.2 Definiciones

Vistos los objetivos asumidos por España en el ámbito económico, para este Trabajo Fin de Grado utilizan un total de 6 indicadores energéticos en la dimensión económica. Para el objetivo de eficiencia energética, se ha definido un indicador que permita comparar los resultados en el consumo de energía final y primaria. Los otros dos objetivos, aumento en el consumo de energías renovables y disminución de la dependencia energética, se utilizarán tres indicadores para el consumo de renovables y uno para la dependencia, respectivamente. Los tres indicadores referentes a las energías renovables se encuentran englobados en el indicador de la IAEA “Porcentaje de energías renovables en el uso de energía y electricidad” (ECO 13) y el relativo a la dependencia se encuentra en “Dependencia de las importaciones netas del sector de la energía” (ECO15).

- **Indicador Eficiencia Energética**

El indicador de **eficiencia energética** muestra el grado de optimización del uso de energía final y primaria en un sistema concreto. Un sistema energético eficiente es aquel que puede satisfacer el mismo número de servicios consumiendo cada vez menos energía.

Haciendo referencia al párrafo anterior, este indicador es de elaboración propia. La forma en la que se calcula en este TFG no es la misma que el indicador de eficiencia energética incluido en la lista de indicadores de la IAEA, que es el ratio entre la energía consumida y el Producto Interior Bruto (PIB). El indicador propuesto es más apropiado para poder comparar sus resultados con los objetivos establecidos por la Unión Europea y asumidos por España.

En consecuencia, para poder elaborar nuestro propio indicador de eficiencia energética, aplicable a países miembros de la UE, primero se recopilan los consumos energéticos en unidades de ktep. Posteriormente, se calcula el ratio entre los consumos y el consumo de 2020 basado en el escenario energético elaborado en 2007.

$$I_{EF_{TPC}} = 1 - \frac{\text{Consumo Energía Primaria año } n}{\text{Consumo Energía Primaria Total 2020 Escenario Energético 07}}; \quad (14)$$
$$n = 1990 \dots 2017$$

Se obtiene así un valor en tanto por uno que permite evaluar el aumento o disminución de eficiencia energética.

- **ECO 13: Porcentaje de energías renovables en el uso de energía y electricidad**

Este indicador permite analizar el porcentaje de energías renovables presentes en el sector energético. Para ello, se subdivide en tres indicadores: **Porcentaje de renovables en el consumo de energía primaria** I_{RENEW_TPC} ; **porcentaje de renovables en el consumo de energía final** I_{RENEW_TFC} Y **porcentaje de renovables en la generación de electricidad** I_{RENEW_ELEC}

Las energías renovables incluyen: hidráulica, solar térmica, solar fotovoltaica, parte de la biomasa, geotérmica y eólica. En cuanto a la obtención de datos, para poder tener una visión más completa de la evolución de la presencia de renovables, los datos recopilados comprenden los años 1990-2017. Dada la dificultad de encontrar el desglose de hidráulica, ésta incluye la generación por bombeo. Debido a que la obligación de publicar datos se produjo con la entrada en vigor de la Ley del Sector Eléctrico en 2007, la Red Eléctrica Española sólo cuenta con datos disponibles desde 2007.

El indicador respecto al consumo de energía final de renovables I_{RENEW_TFC} se realiza dos veces, una para el sector energético y otra para el subsector transporte $I_{RENEW_TFC_TRANS}$. Las fórmulas utilizadas para calcular cada indicador, según la IAEA, son las siguientes:

$$I_{RENEW_TFC} = \frac{\text{Consumo Energía Final de Origen Renovable}}{\text{Consumo Energía Final Total}} \quad (15)$$

$$I_{RENEW_TRANS} = \frac{\text{Consumo Energía Final de Origen Renovable Sector Transporte}}{\text{Consumo Energía Final Total Sector Transporte}} \quad (16)$$

$$I_{RENEW_TPC} = \frac{\text{Consumo Energía Primaria de Origen Renovable}}{\text{Consumo Energía Primaria Total}} \quad (17)$$

$$I_{RENEW_ELEC} = \frac{\text{Electricidad de Origen Renovable}}{\text{Generación Electricidad Total}} \quad (18)$$

Es importante reincidir de nuevo en la dificultad que supone contrastar los resultados de estos indicadores con otras fuentes. Estos indicadores se encuentran también calculados en los informes del Ministerio, de acuerdo a la metodología proporcionada en el Eurostat y las Directivas de la Unión Europea, no con la ofrecida por la IAEA. Cabe esperar diferencias en los resultados de algunos indicadores. La finalidad de este Trabajo Fin de Grado es estudiar la sostenibilidad utilizando concretamente los indicadores expuestos por la IAEA.

- **ECO 15 Dependencia de las importaciones netas del sector de la energía**

El indicador de **dependencia energética** I_{ENER_DEP} muestra el porcentaje de importaciones netas de energía en el total de energía bruta disponible. Un país energéticamente independiente garantiza seguridad energética ante cualquier tipo de problema eléctrico. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$I_{ENER_DEP} = \frac{\text{Importaciones Netas}}{\text{Energía Bruta Disponible}} \quad (19)$$

Se entiende por importaciones netas, la diferencia entre las importaciones y exportaciones energéticas de un país. La energía bruta disponible (EBD) se obtiene a partir de la fórmula 19.

$$EBP = \text{Productividad} + \text{Stock} + \text{Reciclado} + \text{Importaciones Netas} \quad (20)$$

4.3 Indicadores Energéticos del Ámbito Ambiental

4.3.1 Objetivos nacionales

Reducción Emisiones Gases Efecto Invernadero

El sector energético tiene un gran impacto ambiental dadas las cuantiosas emisiones de gases efecto invernadero (GEI) que genera. Tal como se ve en la fig. 7, el sector energético (en color azul) es el responsable del 76,1% de las emisiones de GEI en el año 2017.

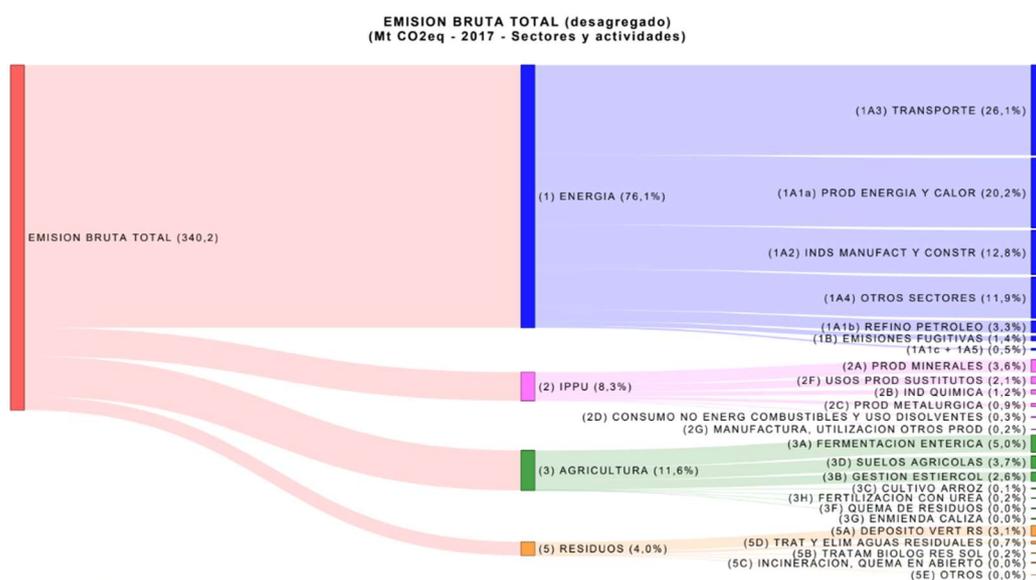


Fig 7. Balance de emisión bruta total desagregada en sectores y actividades, año 2017.

El primer periodo de compromiso del Protocolo de Kioto establece establecido entre los años 2008 y 2012, marca como objetivo principal en relación a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), reducir en un 5% las emisiones en relación a los valores obtenidos en 1990. La Unión Europea se comprometió a reducir, de forma conjunta, las emisiones en un 8%. Para ello se tuvo en cuenta la riqueza de cada país, y el objetivo marcado para España fue **no superar en un 15%** las emisiones de 1990.

Posteriormente, en el segundo periodo de compromiso (2013-2020), Europa se compromete a **reducir las emisiones en un 20%** teniendo como año base 1990. Para cumplirlo, la UE crea el “Paquete de Medidas sobre Clima y Energía hasta 2020”. En él se divide el objetivo final en dos subobjetivos, uno obligatorio para todos los estados miembros y otro adaptado a la situación de cada país, siguiendo el “reparto de esfuerzos”:

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

- Obligatoria: Reducción del 21% de todos los GEI incluidos en el Comercio de Emisiones,
- España sólo: Reducción del 10% del resto de emisiones de GEI no incluidas en el Comercio de Emisiones.

Los GEI relativos al sector energético, incluidos en el Régimen de Comercio de Emisiones son, según el Eurostat: CO₂ procedente de sectores industriales de uso energético intensivo (Energy-Intensive Industries), generación de calor y electricidad y la aviación comercial. La reducción es con respecto al año 2005. En la Tabla 3 se ve los sectores industriales que la EIA considera de uso energético intensivo:

Tabla 3 Sectores Industriales de Uso Energético Intensivo

Comida	Fabricación de comida, bebida y productos tabaqueros.
Pulpa y Papel	Fabricación de papel, imprenta y actividades relacionadas.
Productos Químicos Básicos	Productos químicos inorgánicos, orgánicos, resinas y de agricultura; incluye el uso de productos químicos como materia prima.
Refinerías de Petróleo	Refinerías
	Fabricación de productos de carbón, incluido el carbón y el gas natural utilizados como materias primas
Acero y Hierro	Fabricación de hierro y acero, incluyendo los hornos de coquilla.
Metales no Férreos	Principalmente aluminio. Puede incluir también otros metales no férreos como el cobre, el zinc y tin
Minerales No metálicos	Principalmente cemento y otros minerales no metálicos como productos de vidrio, cal, yeso y arcilla.

Reducción Emisiones de Contaminantes Atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos tienen una gran influencia en la calidad del aire. En el Protocolo de Gotemburgo (1999) se instó en la lucha contra la acidificación del medio y el ozono troposférico. Para alcanzar su cometido, la Unión Europea elaboró la **Directiva 2001/81/CE**, sobre techos nacionales de emisión, (entendiendo por techos la cantidad máxima de una sustancia expresada en kilotoneladas que puede emitir un Estado miembro en un año civil), de determinados contaminantes atmosféricos: dióxido de azufre SO_2 , óxidos de nitrógenos NO_x , compuestos volátiles no metánicos COVNM y amoníaco NH_3 . Los países miembros tenían como fecha límite para cumplir las metas expuestas en la Directiva el año 2020. En particular, para el caso de España estos techos son los expuestos en la Tabla 3 (en Gg).

Tabla 4 Objetivos nacionales de techos de emisiones de contaminantes atmosféricos

Contaminante	Techo de emisión (Gg)
SO_2	746
NO_x	847
COVNM	662
NH_3	353

En 2016, se somete la Directiva de 2001 a revisión, y la Unión Europea implanta una normativa nueva sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos, recogida en la **Directiva (UE) 2016/2284** de Techos Nacionales de Emisión. En esta directiva, se incluye a los contaminantes atmosféricos el material particulado $\text{PM}_{2,5}$. Con la entrada en vigor de esta, Europa instaba a los Estados miembros a elaborar programas nacionales para alcanzar y controlar la reducción de los siguientes contaminantes.

España asume los compromisos de reducción de emisiones para 2020 recogidos en la tabla 4, teniendo como año de referencia 2005:

Tabla 5 Objetivos nacionales de reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos en comparación con año base 2005

Contaminante	Reducción para 2020	Techo Emisión (Gg)
SO ₂	67%	802,90
NO _x	41%	175,50
COVNM	22%	399,20
NH ₃	3%	14,23
PM2,5	15%	89,40

Límites de Concentración Contaminantes Atmosféricos

La Directiva 2008/50/CE establece, entre sus objetivos principales, “definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto”^[1]. Estos objetivos además han de establecerse de acuerdo a las directrices de la Organización Mundial de la Salud. Por tanto, España establece unos valores objetivo (VO), valores límite (VL) y umbrales de alerta de concentraciones de contaminantes atmosféricos que protejan la salud humana y la vegetación, que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 6 Valores límite diarios y anuales de concentraciones de emisión de contaminantes atmosféricos

Contaminante	Valor Límite	Año de Aplicación
SO ₂	125 µg/m ³	2005
	20 µg/m ³	2008
NO ₂	40 µg/m ³	2010
	30 µg/m ³	2008
PM10	40 µg/m ³	2005
PM2,5	25 µg/m ³	2015
CO	10 µg/m ³	2005
C ₆ H ₆	5 µg/m ³	2010

4.3.2 **Definiciones**

Teniendo en cuenta los tres objetivos principales expuestos, para analizar la sostenibilidad del sector energético de España en la dimensión medioambiental, se utilizan tres indicadores recogidos en la guía elaborada por la IAEA: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por la producción y uso de energía (ENV1), Concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas (ENV2) y Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos (ENV3). Cada uno de estos indicadores engloba otros indicadores, expuestos posteriormente.

Los objetivos expuestos en la sección 4.3.1 se establecen para mejorar la sostenibilidad ambiental en todos los sectores, pero dado el objeto de este trabajo, los adaptamos al sector energético ya que las emisiones generadas por este son mucho mayores que las de los otros sectores. Además esta opción se encuentra validada y recogida en las hojas de metodología de indicadores de la IAEA.

- **ENV1: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Uso y Producción de Energía**

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son aquellos que contribuyen al cambio climático y al calentamiento global. Se clasifican en CO₂, CH₄, N₂O como principales; y HFCS, PFCS, SF₆, NF₃ como secundarios pero que también influyen en este fenómeno. Debido a las numerosas revisiones de normativa realizadas por la Unión Europea en relación a los objetivos de reducción de emisiones de GEI, se ha de calcular varias veces el indicador:

- Desde 1990 hasta 2012 → Objetivo de no superar el 15% de las emisiones en comparación al año base, 1990.

$$I_{\text{GEI}_{15}} = 1 - \frac{\text{GEI (año } n)}{\text{GEI (año 1990)}}; n = 1991 \dots 2012 \quad (21)$$

- Desde 2013 hasta 2020 → Se desglosa en dos el objetivo de conseguir una disminución del 20%.

$$I_{\text{GEI}_{21}} = \frac{\text{GEI de RCDE (año } n)}{\text{GEI de RCDE (año 2005)}}; n = 2013 \dots 2018 \quad (22)$$

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Por un lado se elabora un indicador que se compare con el objetivo de reducción del 21% de los GEI incluidos en el Régimen de Comercio de Derechos de Emisiones de la Unión Europea (RCDE), iniciada en 2013.

Dicho anteriormente, el Eurostat recopila todos los GEI pertenecientes al Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE). Para mayor transparencia y precisión tiene todos los gases desglosados en categorías que permiten la distinción entre si pertenecen o no al Sistema de Comercio de Emisiones. Cada categoría tiene un código asociado, como muestra la Tabla 6.

Tabla 7 Códigos del Eurostat asociados a términos desglosados del balance de emisiones

Comida	CRF1A2E	Acero y Hierro	CRF1A2A
Pulpa y Papel	CRF1A2D	Metales no Férricos	CRF1A1B
Productos Químicos Básicos	CRF1A2C	Minerales No metálicos	CRF1A2F
Refinerías de Petróleo	CRF1A1B	Generación de Calor y de Electricidad	CRF1A1
	CRF1A1C		
Aviación Comercial	CRF1A3A	Energía	CRF1

De este modo, los GEI del RCDE y el resto de GEI se calculan así

$$\text{GEI de RCDE} = \text{CRF1A1} + \text{CRF1A2A} + \text{CRF1A2B} + \text{CRF1A2C} + \text{CRF1A2D} + \text{CRF1A2E} + \text{CRF1A2F} + \text{CRF1A3A} \quad (23)$$

Por otro lado, se utiliza otro indicador para el resto de GEI que no se incluyen en el comercio de emisiones $I_{\text{GEI}_{10}}$, con un objetivo de reducción del 10%. La reducción de emisiones base también es la del año 2005. Las unidades de medida son kilo toneladas equivalentes de CO₂ (ktoe eq. CO₂)

$$I_{\text{GEI}_{10}} = \frac{[\text{TOTAL GEI} - \text{GEI de RCDE}] (\text{año } n)}{[\text{TOTAL GEI} - \text{GEI de RCDE}] (\text{año } 2005)}; n = 2013 \dots 2018 \quad (24)$$

De modo que, para calcular los índices ISUD y SSEI, se utiliza un único indicador en el periodo de tiempo que va de 1990 a 2012, y se utilizan dos para 2013 hasta 2017.

- **ENV 2: Concentración de Contaminantes en Zonas Urbanas**

Este indicador evalúa la influencia del sector energético en la calidad del aire, midiendo la concentración de los siguientes contaminantes atmosféricos: dióxido de azufre SO₂; dióxido de nitrógeno NO₂; material particulado PM₁₀ y PM_{2,5}; monóxido de carbono CO y benceno C₆H₆.

Las mediciones de concentración, recopiladas por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, abarcan los años desde 2001 hasta 2017. Los datos se recogen en diferentes zonas de España, unas 32, forma horaria y diaria. Los objetivos se establecen como valores límites anuales (VAL), exceptuando el del SO₂, que viene como valor límite diario (VLD).

- *Cálculo del indicador para el dióxido de azufre SO₂*

La dificultad de calcular este indicador es compararlo con su objetivo. Al medirse como valor límite diario, la forma más completa y correcta de evaluar el efecto del SO₂ es evaluar cada una de las 132 zonas por individual. No obstante, este modo de calcular el indicador es extremadamente laborioso y además no es el objeto final de este trabajo. De modo que se ha elegido comparar las medias diarias, calculadas a partir de los valores horarios, de todas las zonas cada año y siempre escoger el valor más elevado de concentración. Se considera preciso el valor máximo que se haya obtenido a partir de un mínimo de 21 datos, de los 24 datos horarios disponibles. La fórmula para calcular el indicador resulta en la siguiente:

$$I_{CON_SO2} = \text{Media Diaria Máxima}_n; n = 2001 \dots 2017 \quad (25)$$

Donde n es el año correspondiente.

- *Cálculo del indicador para el resto de contaminantes atmosféricos (dióxido de nitrógeno NO₂; material particulado PM₁₀ y PM_{2,5}; monóxido de carbono CO y benceno C₆H₆)*

Para calcularlo se necesita calcular a partir de los valores horarios las medias diarias, y a partir de estas las medias anuales.

$$I_{CON_CA} = \text{Media Anual}_n; n = 2001 \dots 2017 \quad (26)$$

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Donde CA se reemplaza por la nomenclatura de cada contaminante atmosférico a evaluar.

- ***ENV3: Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Procedentes de los Sistemas Energéticos***

Este indicador se para los años desde 1990 hasta 2017. Para el material particulado PM_{2,5} se aplica el objetivo de la directiva de 2016, desde el año donde se disponen datos, en el 2000.

$$I_{CA} = \text{Emisión de CA del año } n; \quad n = 1990 \dots 2016 \quad (27)$$

Donde CA se refiere al contaminante atmosférico concreto: SO₂; NO₂; NH₃; COVNM; PM_{2,5};

Finalmente, en la tabla 7 se presenta a modo resumen lo más importante a considerar de cada uno de los indicadores elegidos. Así se incluyen todos los indicadores empleados para el estudio de la sostenibilidad del sector energético en España, incluyendo características:

- Correspondencia con la IAEA (código).
- Años para los que se calcula ese indicador.
- Indicadores incluidos.
- Símbolo empleado en las fórmulas.
- Unidades.

Tabla 8. Resumen de indicadores a emplear

Indicador	Código IAEA	Años	Indicadores Incluidos	Símbolo	Unidades
DIMENSIÓN ECONÓMICA					
Eficiencia Energética	Elaboración Propia	1990-2017	Eficiencia energética en el uso de energía primaria	I_{EF_TPC}	ktep
Porcentaje de Energías Renovables en el Uso de Energía y Electricidad	ECO13	1990-2017	Porcentaje en el consumo de energía final	I_{RENEW_TFC}	%
			Porcentaje en el consumo de energía primaria	I_{RENEW_TPC}	%
			Porcentaje en la generación de electricidad	I_{RENEW_ELEC}	%
		2000-2017	Porcentaje en el consumo de energía final de transporte	I_{RENEW_TRANSP}	%
Dependencia de las importaciones netas de energía	ECO15	1990-2017	Dependencia de las importaciones netas de energía	I_{ENER_DEP}	%
DIMENSIÓN AMBIENTAL					
Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI)	ENV1	1990-2012	Emisiones de GEI	I_{GEI_15}	%
		2013-2017	Emisiones de GEI incluidas en el RCDE	I_{GEI_21}	%
			Emisiones de GEI no incluidas en el RCDE	I_{GEI_10}	%
Emisión Contaminantes Atmosféricos Procedentes de Sistemas Energéticos	ENV3	1990-2017	Dióxido de azufre SO ₂	I_{SO2}	Gg
			Óxidos de nitrógeno NO _x	I_{NOX}	Gg
			Compuestos Orgánicos Volátiles COVMN	I_{COVMN}	Gg
			Amoniaco NH ₃	I_{NH3}	Gg
		2016-2017	Material Particulado PM 2.5	$I_{PM2,5}$	Gg
Concentraciones de contaminantes atmosféricos	ENV2	2001-2017	Dióxido de azufre SO ₂	I_{CON_SO2}	µg/m ³
			Dióxido de nitrógeno NO ₂	I_{CON_NO2}	µg/m ³
			COVMN	I_{CON_COVMN}	µg/m ³
			Material Particulado PM 10	I_{CON_PM10}	µg/m ³
			Material Particulado PM 2.5	$I_{CON_PM2,5}$	µg/m ³

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

5. RESULTADOS

5.1 Indicadores Dimensión Económica

Eficiencia Energética del Consumo de Energía Primaria

En la figura 8 se observa un decrecimiento de la eficiencia energética desde **1990 hasta 2007**. Esto se debe al constante crecimiento económico e industrialización, así como la ausencia de medidas políticas respecto al uso eficiente de la energía consumida.

Entre **2004 y 2008** no se cumple el objetivo del 20% de eficiencia energética. Se observa una disminución progresiva del uso eficiente de energía primaria hasta el año **2007**, para irse recuperando a partir del año 2008. Según el informe del “Libro de la Energía 2008”, el aumento de la eficiencia en ese año se debe al aumento de generación eléctrica mediante fuentes renovables, ya que las tecnologías empleadas tienen mayor rendimiento que las de otras fuentes como los combustibles fósiles.

A partir del año **2009** el consumo de energía se va reduciendo y por tanto aumenta la eficiencia energética, teniendo el **máximo** en **2014**. La tendencia se mantiene en mayor o menor medida hasta el **2017**, donde se ve una clara disminución, pero siempre habiendo cumplido ya el objetivo (125,79 ktep) No obstante, si la tendencia a partir de ahí no varía mucho, según el PNAEE de 2017, se puede llegar a cumplir el objetivo en 2020. Por lo que podemos afirmar que en este ámbito el sector energético se está desarrollando de forma sostenible.

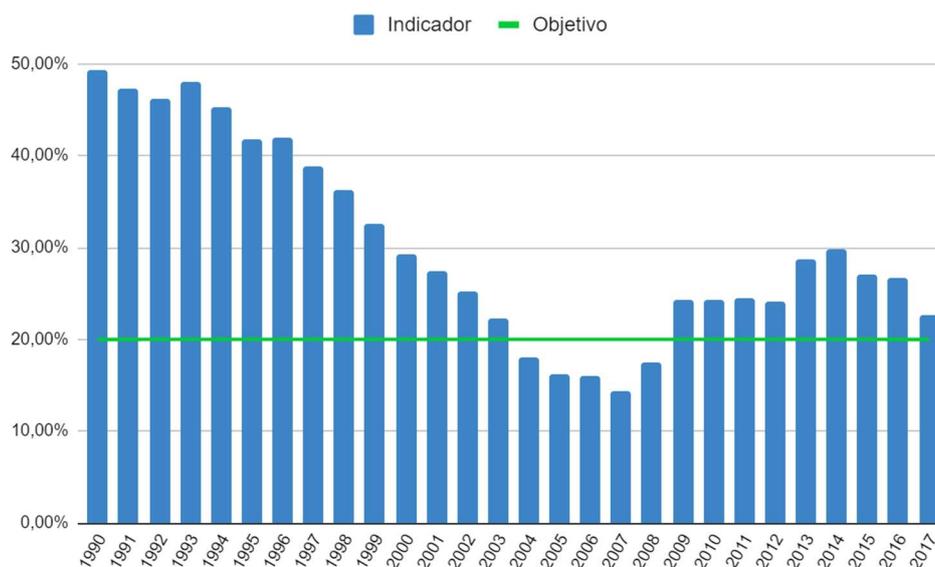


Fig8. Evolución de la eficiencia energética del consumo de energía primaria I_{EF_TPC} y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

La tabla 8 se ha elaborado a partir de datos conseguidos en la base de datos del Eurostat.

Tabla 9. Datos para calcular el indicador de aumento de eficiencia energética en el consumo primario total I_{EF_TPC} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	Consumo Energía Primaria (ktep)	Indicador	Indicador Normalizado
1990	82,56	49,29%	1,000
1991	85,72	47,35%	1,000
1992	87,63	46,17%	1,000
1993	84,68	47,99%	1,000
1994	89,20	45,21%	1,000
1995	94,72	41,82%	1,000
1996	94,47	41,97%	1,000
1997	99,63	38,80%	1,000
1998	103,87	36,20%	1,000
1999	109,73	32,60%	1,000
2000	115,01	29,36%	1,000
2001	118,01	27,51%	1,000
2002	121,80	25,18%	1,000
2003	126,55	22,27%	1,000
2004	133,35	18,09%	0,904
2005	136,56	16,12%	0,806
2006	136,74	16,01%	0,800
2007	139,35	14,40%	0,720
2008	134,44	17,42%	0,871
2009	123,38	24,21%	1,000
2010	123,34	24,24%	1,000
2011	122,98	24,46%	1,000
2012	123,41	24,20%	1,000
2013	116,06	28,71%	1,000
2014	114,20	29,85%	1,000
2015	118,60	27,15%	1,000
2016	119,29	26,73%	1,000
2017	125,79	22,73%	1,000

Porcentaje de Energías Renovables en el Consumo de Energía Final

Se aprecia una tendencia creciente progresiva de consumo de renovables a lo largo del periodo de tiempo analizado entre **1990-2016**. En **2009** se cumplió con el objetivo del consumo mínimo de 12% de renovables para 2010.

No obstante, se ve claramente que no se va a conseguir el objetivo establecido por el Gobierno para el año 2020, siendo el consumo de renovables máximo en **2014** con un 18,88%. La coincidencia de años en materia de eficiencia energética y consumo de renovables no es casualidad, se debe a, como se ha explicado anteriormente, un mejor rendimiento en las tecnologías empleadas para producir energía renovable, lo que causa necesitar menor energía y que las renovables suplan mayor demanda.

Al igual que en la fig. 8, en **2017** hay una clara disminución, se reduce 2 puntos en porcentaje. Puede deberse a que se haya vuelto a recurrir más a fuentes no renovables ya que no se aumenta la capacidad de instalación de las renovables.

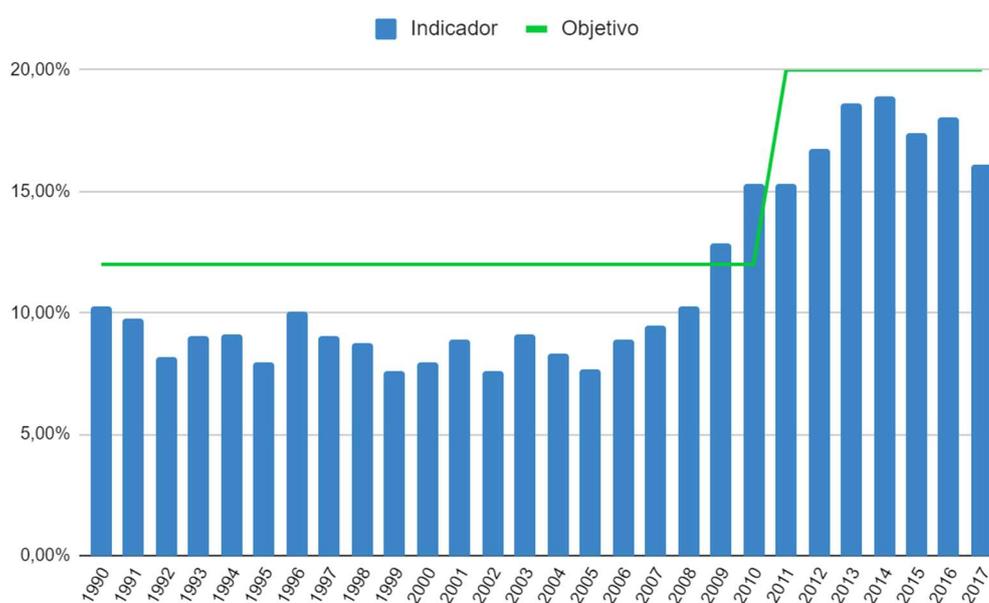


Fig9. Evolución del porcentaje de fuentes renovables en el consumo de energía final I_{RENEW_TFC} y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Los datos de la tabla 10, “TFC Renovables” corresponden al consumo final generado por renovables así como la parte de electricidad generada, todo en kilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep). El consumo final de renovables se ha obtenido de la IEA y la parte de electricidad se obtiene de MITECO. El Consumo Final Total se obtiene también de la IEA.

Tabla 10. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en el consumo final total I_{RENEW_TFC} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	TFC Renovables (ktep)	TFC (ktep)	Indicador	Indicador Normalizado
1990	6.244,31	60.630,00	10,30%	0,515
1991	6.184,53	63.166,00	9,79%	0,490
1992	5.237,36	63.876,00	8,20%	0,410
1993	5.664,46	62.364,00	9,08%	0,454
1994	5.981,51	65.715,00	9,10%	0,455
1995	5.506,11	68.859,00	8,00%	0,400
1996	6.952,23	69.298,00	10,03%	0,502
1997	6.630,91	73.229,00	9,06%	0,453
1998	6.812,31	77.898,00	8,75%	0,437
1999	6.085,35	80.092,00	7,60%	0,380
2000	6.793,43	85.494,00	7,95%	0,397
2001	8.010,37	89.594,00	8,94%	0,447
2002	6.904,91	90.922,00	7,59%	0,380
2003	8.774,76	96.030,00	9,14%	0,457
2004	8.312,57	99.385,00	8,36%	0,418
2005	7.864,11	102.060,00	7,71%	0,385
2006	8.875,71	99.349,00	8,93%	0,447
2007	9.635,17	101.748,00	9,47%	0,473
2008	10.066,34	97.997,00	10,27%	0,514
2009	11.689,39	90.942,00	12,85%	0,643
2010	14.123,69	92.240,00	15,31%	0,766
2011	13.627,65	88.838,00	15,34%	0,767
2012	14.173,56	84.663,00	16,74%	0,837
2013	15.071,00	81.092,00	18,59%	0,929
2014	14.997,49	79.419,38	18,88%	0,944
2015	14.006,16	80.599,66	17,38%	0,869
2016	14.902,48	82.519,70	18,06%	0,903
2017	13.661,61	84.899,37	16,09%	0,805

Porcentaje de Energías Renovables en el Consumo de Energía Final del Sector Transporte

El porcentaje de renovables responsables de satisfacer la demanda del sector transporte está muy lejos del valor objetivo a alcanzar para 2020. Puede deberse a que en ese periodo de tiempo y a día de hoy los vehículos de transporte como los trenes o los coches siguen funcionando en su mayoría a partir de los combustibles como la gasolina, el gasoil o el diésel.

Los vehículos eléctricos son una minoría aún. En 2019 el número de vehículos eléctricos matriculados alcanzó solamente la cifra de 24261, lo que constituye apenas el 0,9% (GUTIERREZ, D., 2020) Igualmente, las energías renovables representan aún menos de la mitad de la demanda eléctrica, por lo que se tardará bastante tiempo en alcanzar los objetivos. Sería recomendable impulsar medidas que favorecieran la renovación del parque automovilístico y que la sociedad vaya apostando más por los coches eléctricos o híbridos.

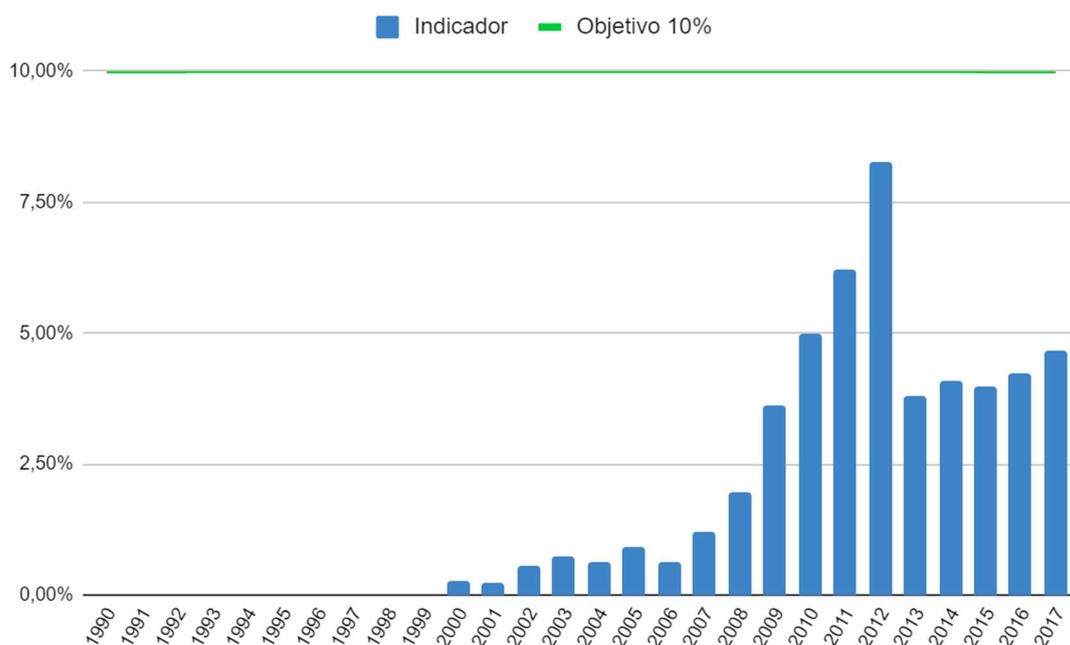


Fig10. Evolución del porcentaje de fuentes renovables en el consumo de energía final en el transporte I_{RENEW_TRANSP} y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Los datos aportados en la tabla 11 bajo el título “Renovables en Transporte” se obtienen de la IEA, mientras que el “Consumo en Transporte” se obtiene de la base de datos del Eurostat.

Tabla 11. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en el consumo final del sector transporte I_{RENEW_TRANSP} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	Consumo en Transporte (ktep)	Renovables en Transporte (ktep)	Indicador	Indicador Normalizado
1990	21.485,50	0,00	0,00%	0,00
1991	22.357,13	0,00	0,00%	0,00
1992	23.590,97	0,00	0,00%	0,00
1993	23.248,12	0,00	0,00%	0,00
1994	24.083,69	0,00	0,00%	0,00
1995	24.370,43	0,00	0,00%	0,00
1996	25.990,31	0,00	0,00%	0,00
1997	25.991,17	0,00	0,00%	0,00
1998	28.419,95	0,00	0,00%	0,00
1999	29.791,45	0,00	0,00%	0,00
2000	30.534,79	80,00	0,26%	0,03
2001	31.929,24	80,00	0,25%	0,03
2002	32.563,30	187,00	0,57%	0,06
2003	34.254,22	257,00	0,75%	0,08
2004	35.653,73	229,00	0,64%	0,06
2005	36.974,62	339,00	0,92%	0,09
2006	37.896,62	242,00	0,64%	0,06
2007	38.977,70	480,00	1,23%	0,12
2008	37.180,25	732,00	1,97%	0,20
2009	34.782,09	1.264,00	3,63%	0,36
2010	34.214,15	1.704,00	4,98%	0,50
2011	32.422,46	2.020,00	6,23%	0,62
2012	29.732,97	2.459,00	8,27%	0,83
2013	28.169,74	1.076,00	3,82%	0,38
2014	28.391,99	1.161,00	4,09%	0,41
2015	29.404,97	1.170,00	3,98%	0,40
2016	30.589,21	1.295,00	4,23%	0,42
2017	31.700,79	1.482,00	4,67%	0,47

Porcentaje de Energías Renovables en el Consumo de Energía Primaria

Al igual que con la energía final, visto en la figura 9 y tabla 10, el porcentaje de energías renovables en el consumo de energía primaria no alcanza el objetivo establecido para el año 2020, llegando como **máximo** en el año **2014** a representar el 15,03% (ver Tabla 12)

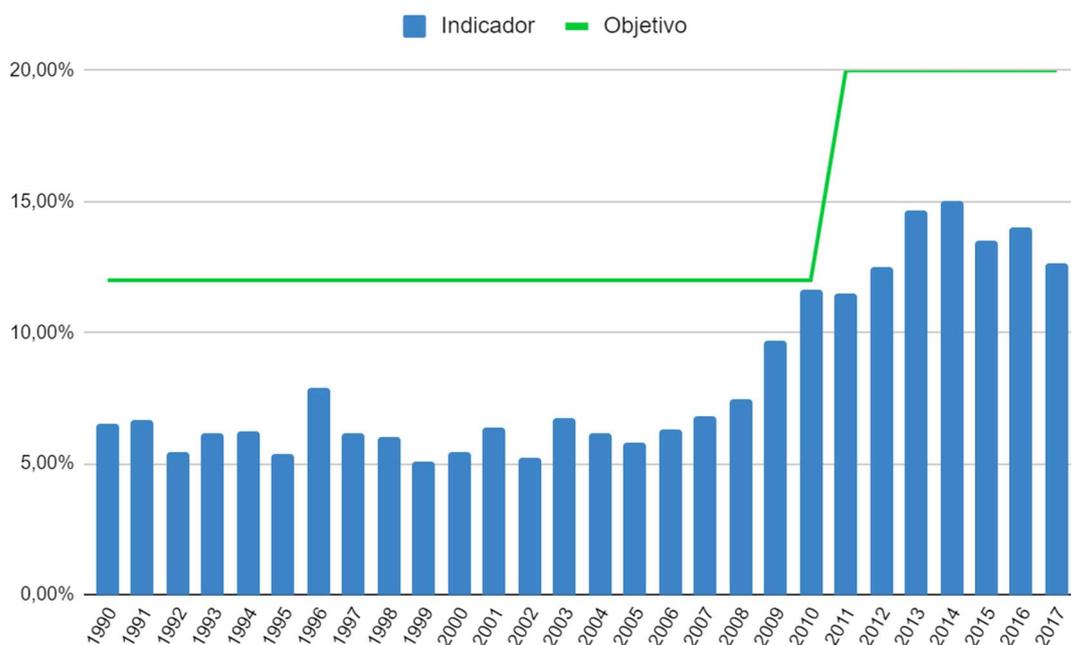


Fig11. Evolución del porcentaje de fuentes renovables en el consumo de energía primaria I_{RENEW_TPC} Y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

La tabla 12 se realiza a partir de los balances energéticos proporcionados anualmente por el MITECO en el “Libro de Energía”. Estos datos concretamente pertenecen al “Libro de Energía 2017”.

Tabla 12. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en el consumo de energía primaria I_{RENEW_TPC} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	Energías No Renovables (ktep)	Energías Renovables (ktep)	Saldo Eléctrico (ktep)	Consumo Primario Total (ktep)	Indicador	Indicador Normalizado
1990	89.008,00	6.201,00	-36,00	95.173,00	6,52%	0,543
1991	85.562,00	6.113,00	-58,00	91.617,00	6,67%	0,556
1992	88.324,00	5.088,00	55,00	93.467,00	5,44%	0,453
1993	84.258,00	5.572,00	109,00	89.939,00	6,20%	0,517
1994	89.141,00	5.958,00	160,00	95.259,00	6,25%	0,521
1995	96.715,00	5.507,00	386,00	102.608,00	5,37%	0,448
1996	81.161,00	6.985,00	91,00	88.237,00	7,92%	0,660
1997	101.425,00	6.644,00	-264,00	107.805,00	6,16%	0,513
1998	106.190,00	6.782,00	293,00	113.265,00	5,99%	0,499
1999	112.255,00	6.028,00	492,00	118.775,00	5,08%	0,423
2000	117.353,00	6.815,00	382,00	124.550,00	5,47%	0,456
2001	119.311,00	8.156,00	297,00	127.764,00	6,38%	0,532
2002	124.071,00	6.893,00	458,00	131.422,00	5,24%	0,437
2003	126.725,00	9.196,00	109,00	136.030,00	6,76%	0,563
2004	133.752,00	8.816,00	-260,00	142.308,00	6,20%	0,517
2005	136.776,00	8.397,00	-115,00	145.058,00	5,79%	0,483
2006	135.993,00	9.163,00	-282,00	144.874,00	6,32%	0,527
2007	137.847,00	10.008,00	-495,00	147.360,00	6,79%	0,566
2008	132.373,00	10.552,00	-949,00	141.976,00	7,43%	0,619
2009	118.077,00	12.597,00	-697,00	129.977,00	9,69%	0,808
2010	115.412,00	15.075,00	-717,00	129.770,00	11,62%	0,968
2011	115.230,00	14.860,00	-524,00	129.566,00	11,47%	0,573
2012	114.073,00	16.162,00	-963,00	129.272,00	12,50%	0,625
2013	103.807,00	17.771,00	-581,00	120.997,00	14,69%	0,734
2014	100.886,00	17.796,00	-293,00	118.389,00	15,03%	0,752
2015	106.321,00	16.620,00	-11,00	122.930,00	13,52%	0,676
2016	106.093,00	17.454,00	659,00	124.206,00	14,05%	0,703
2017	113.443,00	16.509,00	788,00	130.740,00	12,63%	0,631

Porcentaje de Energías Renovables en la Generación de Electricidad

En la figura 13 se puede observar la evolución del porcentaje de energías renovables empleado para la generación de electricidad. A pesar de los continuos picos que se producen entre los años 1990 y 2005, se puede ver una clara tendencia creciente que se pronuncia más a partir del año 2006. Esto puede deberse a, como se ha dicho en los párrafos anteriores, al incremento de instalaciones de fuentes renovables.

Los objetivos marcados para el 2010 se cumplen ese mismo año y en adelante. Por otro lado, el objetivo marcado para 2020 sólo se alcanza en tres años (2013, 2014 y 2016), no obstante, puede considerarse que el consumo de electricidad generado por renovables se va estableciendo en valores cercanos al objetivo del 38,1%.

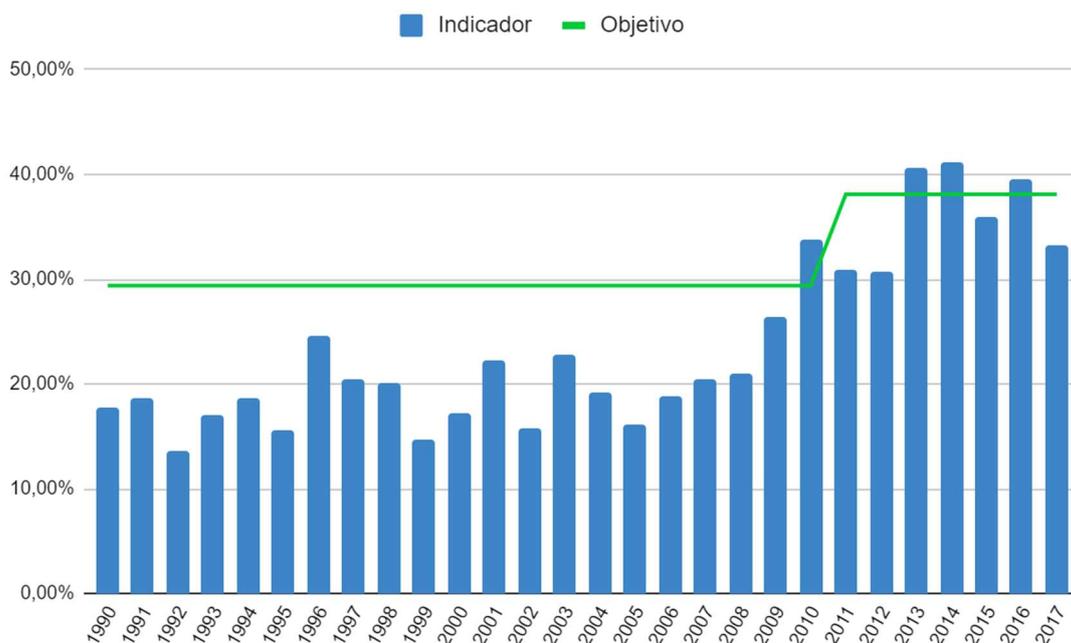


Fig12. Evolución del porcentaje de fuentes renovables empleadas para la generación de electricidad I_{RENEW_ELEC} y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Los datos que se proporcionan a continuación se obtienen del MITECO y de la IEA:

Tabla 13. Datos para calcular el indicador de porcentaje de renovables en la generación de electricidad I_{RENEW_ELEC} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	Electricidad Renovables (GWh)	Electricidad TOTAL (GWh)	Indicador	Indicador Normalizado
1990	26.879,00	151.923,00	17,69%	0,602
1991	28.991,00	155.801,00	18,61%	0,633
1992	21.760,00	158.722,00	13,71%	0,466
1993	26.614,00	156.802,00	16,97%	0,577
1994	30.189,00	161.853,00	18,65%	0,634
1995	26.183,00	167.090,00	15,67%	0,533
1996	42.772,00	174.459,00	24,52%	0,834
1997	38.851,00	190.402,00	20,41%	0,694
1998	39.346,00	195.216,00	20,16%	0,686
1999	30.668,00	208.459,00	14,71%	0,500
2000	38.648,00	224.468,00	17,22%	0,586
2001	52.604,00	236.036,00	22,29%	0,758
2002	38.499,00	244.951,00	15,72%	0,535
2003	59.506,00	260.706,00	22,83%	0,777
2004	53.784,00	279.975,00	19,21%	0,653
2005	47.353,00	294.084,00	16,10%	0,548
2006	56.628,00	299.460,00	18,91%	0,643
2007	62.240,00	305.059,00	20,40%	0,694
2008	65.705,00	313.758,00	20,94%	0,712
2009	77.592,00	294.620,00	26,34%	0,896
2010	101.642,00	301.527,00	33,71%	1,000
2011	90.632,00	293.847,00	30,84%	0,810
2012	91.294,00	297.559,00	30,68%	0,805
2013	116.274,00	285.631,00	40,71%	1,000
2014	114.756,00	278.750,00	41,17%	1,000
2015	101.084,00	280.911,00	35,98%	0,944
2016	108.837,00	274.772,00	39,61%	1,000
2017	91.444,00	275.726,00	33,17%	0,870

Dependencia de las Importaciones Netas en el Sector Energético

La dependencia energética puede considerarse uno de los principales problemas del sector energético Español. Siempre se ha situado entre los países con mayor dependencia de importaciones netas de energía, llegando incluso a suplir más del 75% de su demanda con energía importada del extranjero entre los años 1999 y 2011, tal y como se observa en la tabla 14 y la figura 13. Esto se debe a la escasez de recursos energéticos disponibles en el país, sobre todo de combustibles fósiles, que incluso a día de hoy siguen satisfaciendo la mayor parte de la demanda de los distintos sectores, especialmente en transporte.

Como se observa en la fig. 13, a lo largo de las últimas décadas no se han producido grandes mejoras en el tema de dependencia energética. La cantidad de energía importada comienza a decrecer a partir del año 2008, lo que podría asociarse al aumento de instalación de plantas de fuentes renovables. No obstante, la disminución parece haberse estancado en los últimos años, llegando como máximo a disminuir a un 70,06% en 2013, visto en la tabla 14.

Si se comparan estos resultados al objetivo establecido para el año 2030 de una dependencia energética del 61%, el desarrollo del sector energético en este aspecto aún está lejos de ser sostenible. Las entidades gubernamentales deben tomar más medidas al respecto.

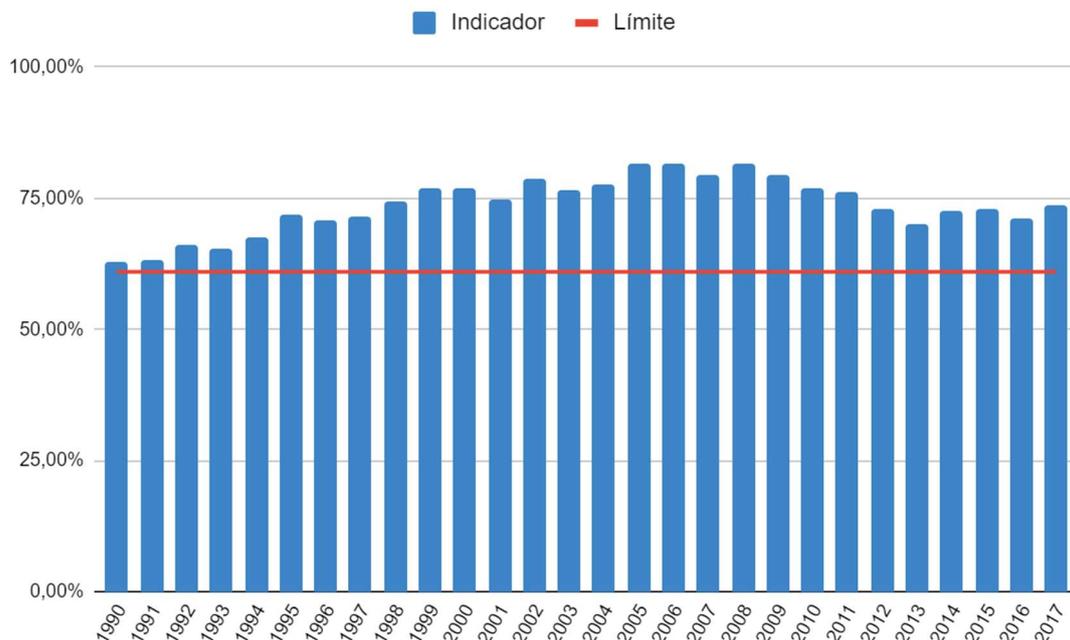


Fig13. Evolución del porcentaje de dependencia de importaciones netas en el sector energético I_{ENER_DEP} y los objetivos políticos límite establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Para la elaboración de la tabla 14 se utiliza la base de datos del Eurostat, en el apartado de “Balances Energéticos”.

Tabla 14. Datos para calcular el indicador de dependencia energética I_{ENER_DEP} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	Energía Bruta Disponible (ktep)	Exportaciones (ktep)	Importaciones (ktep)	Importaciones Netas (ktep)	Indicador	Indicador Normalizado
1990	92.115,62	12.576,54	70.358,23	57.781,69	62,73%	0,972
1991	95.768,45	13.939,38	74.546,92	60.607,55	63,29%	0,964
1992	97.679,50	12.840,09	77.516,16	64.676,07	66,21%	0,921
1993	93.560,89	12.772,32	73.883,46	61.111,15	65,32%	0,934
1994	98.395,26	11.636,76	78.149,19	66.512,43	67,60%	0,902
1995	105.872,31	8.988,09	85.101,97	76.113,87	71,89%	0,848
1996	105.999,64	8.752,20	83.616,87	74.864,67	70,63%	0,864
1997	113.572,10	8.728,07	89.950,57	81.222,50	71,52%	0,853
1998	119.254,76	9.738,43	98.599,26	88.860,83	74,51%	0,819
1999	124.582,20	7.847,94	103.462,65	95.614,72	76,75%	0,795
2000	130.038,77	8.708,92	108.573,60	99.864,69	76,80%	0,794
2001	134.013,21	7.385,20	107.622,40	100.237,20	74,80%	0,816
2002	137.770,22	7.175,91	115.518,86	108.342,95	78,64%	0,776
2003	142.458,21	8.189,76	117.504,89	109.315,14	76,73%	0,795
2004	148.816,42	9.758,86	125.313,20	115.554,33	77,65%	0,786
2005	152.394,82	9.848,80	134.095,08	124.246,27	81,53%	0,748
2006	152.545,94	11.763,55	136.088,33	124.324,78	81,50%	0,748
2007	155.353,62	13.424,50	137.014,53	123.590,03	79,55%	0,767
2008	150.462,84	13.385,83	136.159,28	122.773,46	81,60%	0,748
2009	138.883,27	14.517,37	125.068,56	110.551,20	79,60%	0,766
2010	138.409,30	15.286,24	121.963,48	106.677,24	77,07%	0,791
2011	137.968,21	17.187,54	122.168,67	104.981,12	76,09%	0,802
2012	137.337,89	25.439,33	125.514,65	100.075,33	72,87%	0,837
2013	127.851,09	29.904,37	119.476,05	89.571,69	70,06%	0,871
2014	125.967,28	32.154,26	123.633,99	91.479,72	72,62%	0,840
2015	130.292,32	30.313,04	125.163,08	94.850,05	72,80%	0,838
2016	131.746,80	30.982,04	124.939,46	93.957,41	71,32%	0,855
2017	137.450,70	32.858,29	134.183,99	101.325,71	73,72%	0,827

5.2 Indicadores Dimensión Ambiental

Emisiones de gases de Efecto Invernadero (GEI)

En la figura 14 se muestra la evolución del indicador de emisiones desde el año 1990 hasta 2012, así como su objetivo de no superar las emisiones de GEI en un 15% con respecto a 1990, marcado en el Protocolo de Kioto. En las figuras 15 y 16 se muestra la evolución de los GEI pertenecientes al Régimen de Comercio de Derechos de Emisión y del resto de emisiones de GEI comunarias, así como los nuevos objetivos políticos.

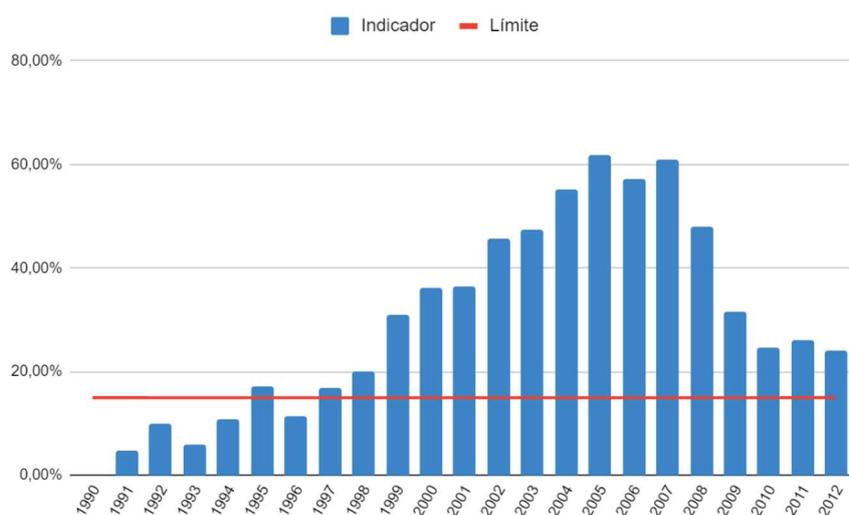


Fig14. Evolución del porcentaje de emisiones de GEI aumentadas con respecto a las de 1990 $I_{GEI_{15}}$ y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2012.

En la figura 14, se ve que a pesar haber una tendencia decreciente a partir del año 2007, no se ha cumplido en ningún momento el objetivo implantado tras el Protocolo de Kioto de no aumentar las emisiones en un 15% con respecto a 1990. El periodo de crecimiento de emisiones es coherente con los acontecimientos producidos a lo largo de ese tiempo con el sector energético. Además de la industrialización y el crecimiento económico, en la figura 9 se ve como las energías renovables eran responsables de generar apenas el 10% del consumo final total, dejando prácticamente el total del abastecimiento generado por combustibles fósiles, que son mucho más contaminantes y son las responsables de la generación de GEI.

Posteriormente, la disminución apreciada a partir de 2008 y el constante descenso hasta el 2017 (ver figuras 15 y 16) puede deberse al incremento del uso de energías renovables, que apenas emiten contaminación.

Se ve como a partir de 2013, se cumplen con los objetivos establecidos en la Directiva ese mismo año para los GEI pertenecientes a RCDE. Para las otras emisiones, sólo no se cumple en el año 2017, pero apenas por un 0,40%. Por lo que no es motivo de preocupación si las medidas políticas y el desarrollo industrial continua como en los últimos años.

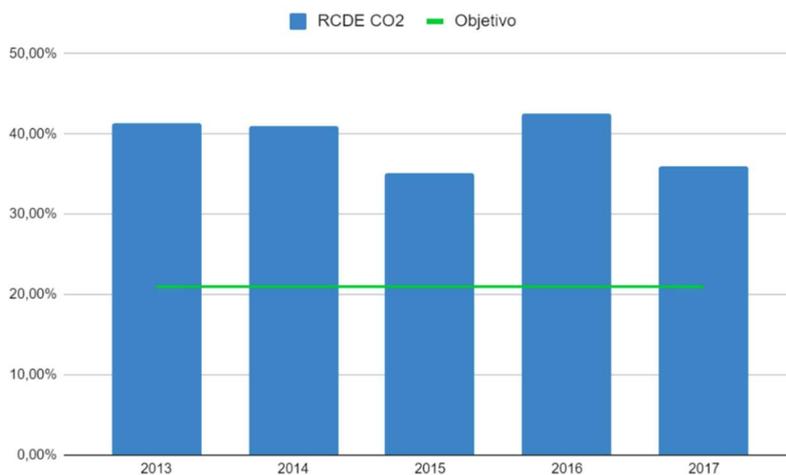


Fig15. Evolución del porcentaje de emisiones de GEI del RCDE reducidas con respecto a las de 2005 $I_{GEI_{21}}$ y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 2013-2017

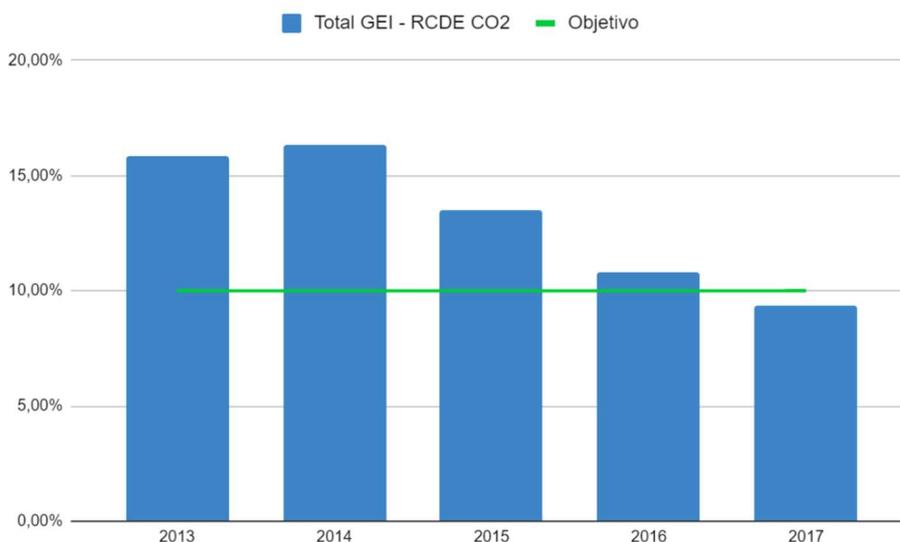


Fig16. Evolución del porcentaje de emisiones de GEI no pertenecientes al RCDE reducidas con respecto a las de 2005 $I_{GEI_{10}}$ y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 2013-2017

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

A continuación se proporcionan los datos calculados para realizar las figuras anteriores, recogidos en las tablas 15, 16 y 17. Como se explica en la sección 4.3.2 al definir el indicador ENV1, la fuente de datos utilizada es la del Eurostat.

Tabla 15. Datos para calcular el indicador de porcentaje de emisiones de GEI aumentadas con respecto a las de 1990 $I_{GEI,15}$ y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2012.

Año	GEI (kt eqv CO ₂)	Indicador	Indicador Normalizado
1990	213.027,76	AÑO BASE	AÑO BASE
1991	223.497,18	4,90%	1,00
1992	234.314,18	10,00%	1,00
1993	225.903,44	6,00%	1,00
1994	236.097,74	10,80%	1,00
1995	249.927,71	17,30%	1,00
1996	237.271,89	11,40%	1,00
1997	249.008,55	16,90%	0,89
1998	256.054,52	20,20%	0,74
1999	278.886,86	30,90%	0,49
2000	290.061,18	36,20%	0,41
2001	291.085,37	36,60%	0,41
2002	310.634,29	45,80%	0,33
2003	314.312,70	47,50%	0,32
2004	330.618,19	55,20%	0,27
2005	344.724,54	61,80%	0,24
2006	335.098,60	57,30%	0,26
2007	343.163,15	61,10%	0,25
2008	315.188,17	48,00%	0,31
2009	280.551,11	31,70%	0,47
2010	265.813,50	24,80%	0,60
2011	268.448,90	26,00%	0,58
2012	264.509,40	24,20%	0,62

Tabla 16. Datos para calcular el indicador de porcentaje de emisiones de GEI del RCDE reducidas con respecto a las de 2005 $I_{GEI,21}$, del resto de emisiones $I_{GEI,10}$.

Año	Total GEI	Sector CO2	Industria CO2	Aviación CO2	RCDE CO2	Total GEI - RCDE CO2
2005	343.553,49	125.895,78	66.752,36	3.997,11	196.645,25	146.908,24
2013	238.989,40	72.419,75	40.576,88	2.394,99	115.391,62	123.597,78
2014	239.076,90	75.685,39	38.049,00	2.379,51	116.113,90	122.963,00
2015	254.438,34	85.721,24	39.180,33	2.478,76	127.380,33	127.058,01
2016	243.847,80	70.484,28	39.686,31	2.675,02	112.845,61	131.002,19
2017	258.913,24	80.518,62	42.428,38	2.804,81	125.751,81	133.161,43

Tabla 17. Resultados del indicador de porcentaje de emisiones de GEI pertenecientes y el de no pertenecientes al RCDE reducidas con respecto a las de 2005 antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 2013 y 2017

Año	RCDE CO2		Total GEI - RCDE CO2	
	Indicador	Indicador Normalizado	Indicador	Indicador Normalizado
2005	AÑO BASE	AÑO BASE	AÑO BASE	AÑO BASE
2013	41,32%	1	15,87%	1
2014	40,95%	1	16,30%	1
2015	35,22%	1	13,51%	1
2016	42,62%	1	10,83%	1
2017	36,05%	1	9,36%	0,936

Emisiones de Contaminantes Atmosféricos

- SO₂, NO_x y COVNM

En todas las figuras 17, 18 y 19 se aprecia la disminución a lo largo de los años de emisiones de los contaminantes atmosféricos SO₂, COVNM y NO_x. Todas las emisiones de los últimos años se encuentran ya muy por debajo de los techos de emisión establecidos tras la Directiva (UE) 2016/2284. De manera que se puede afirmar que en cuanto a emisiones de contaminantes, el sector energético se está desarrollando de forma sostenible y no parece que la tendencia vaya a cambiar.

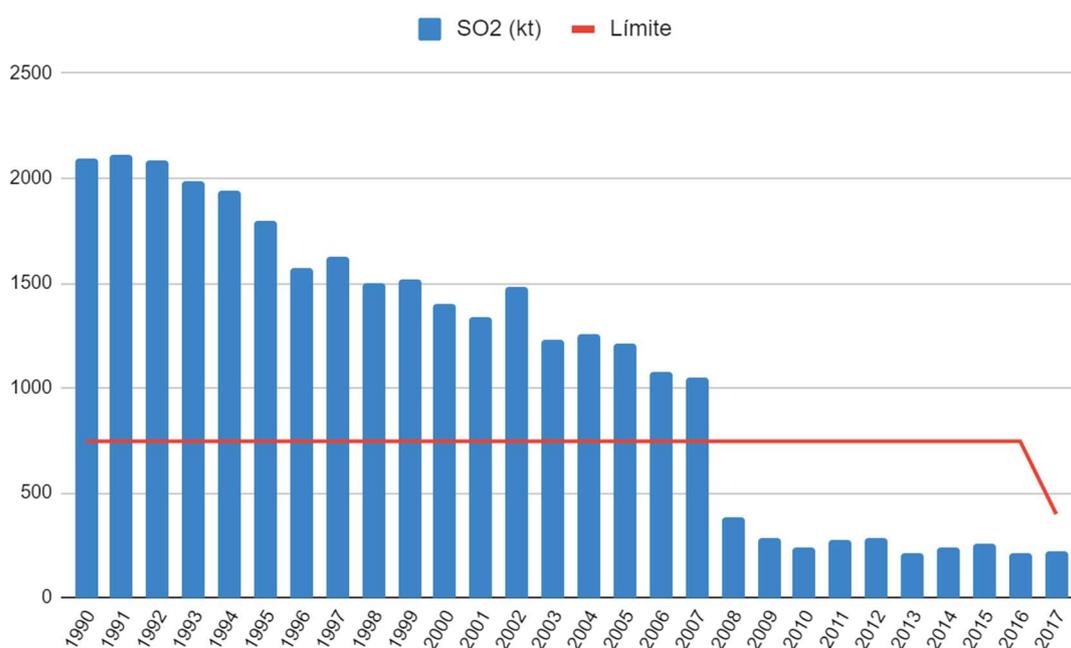


Fig16. Evolución de las emisiones de dióxido de azufre SO₂ (I_{SO2},) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

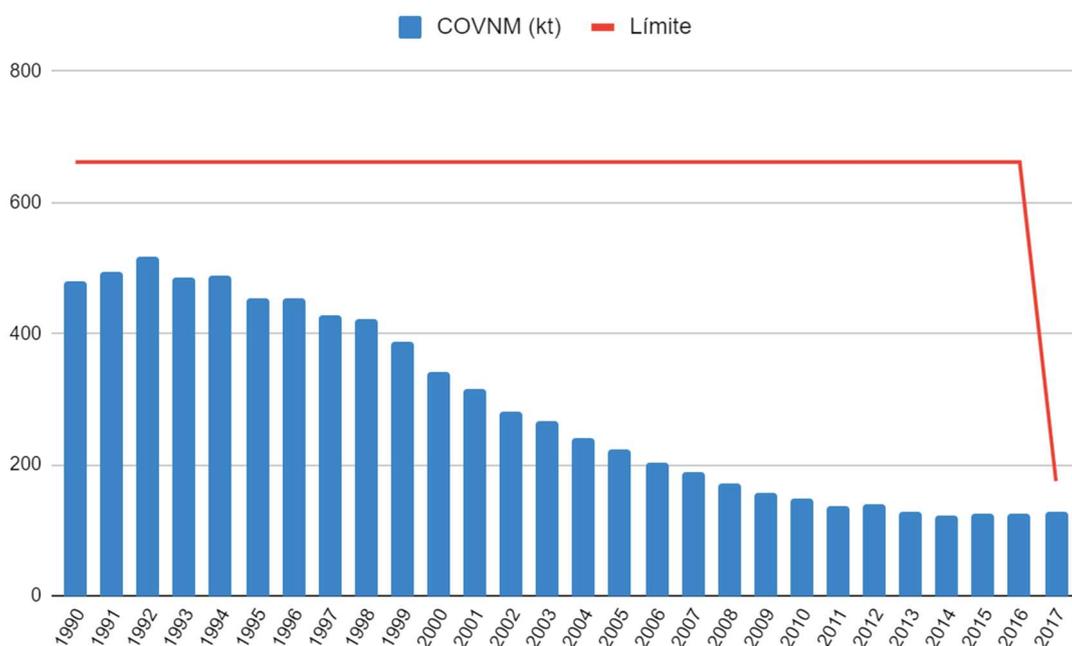


Fig18. Evolución de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (I_{COVNM}) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

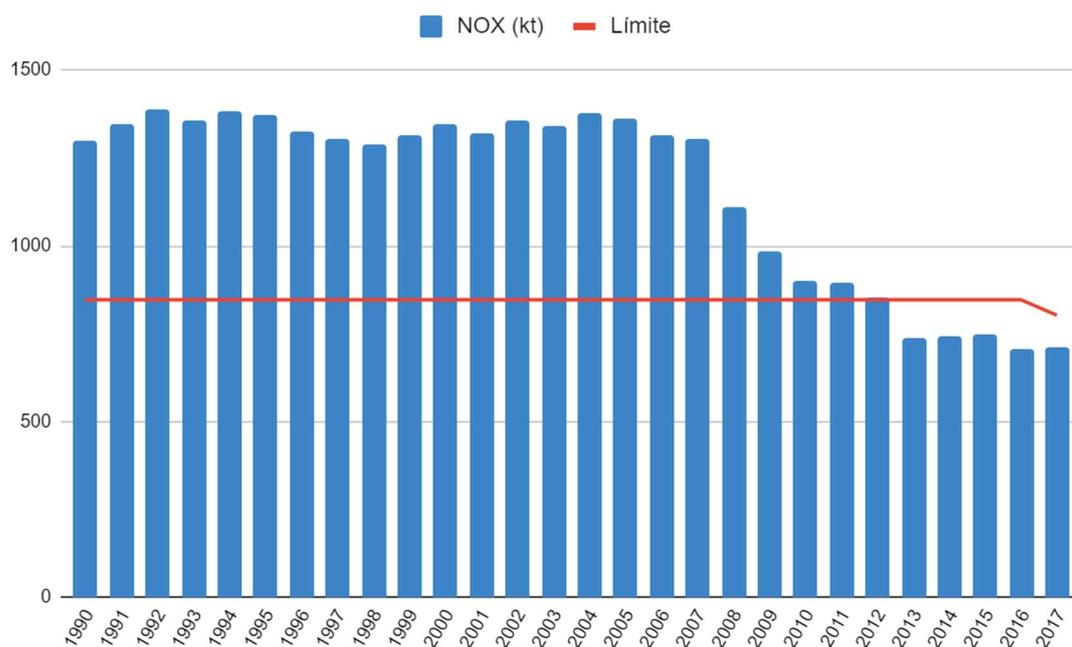


Fig19. Evolución de las emisiones óxidos de nitrógeno (I_{NOx}) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Los datos de la tabla 18 se obtienen a partir de la base de datos históricos recopilada por MITECO en el Inventario Nacional de Contaminantes Atmosféricos.

Tabla 18. Datos para calcular el indicador de emisiones de contaminantes atmosféricos I_{NO_x} , I_{COVNM} , y I_{SO_2} , sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	NO _x (kt)	Indicador Normalizado	COVNM (kt)	Indicador Normalizado	SO ₂ (kt)	Indicador Normalizado
1990	1297,216	0,653	481,040	1,000	2092,203	0,357
1991	1344,903	0,630	495,872	1,000	2109,168	0,354
1992	1390,203	0,609	518,328	1,000	2084,735	0,358
1993	1357,066	0,624	487,154	1,000	1985,328	0,376
1994	1384,223	0,612	488,774	1,000	1938,185	0,385
1995	1370,131	0,618	455,007	1,000	1796,956	0,415
1996	1326,882	0,638	454,548	1,000	1571,324	0,475
1997	1305,505	0,649	428,152	1,000	1630,318	0,458
1998	1288,842	0,657	422,626	1,000	1502,948	0,496
1999	1314,939	0,644	389,062	1,000	1518,982	0,491
2000	1348,188	0,628	341,800	1,000	1399,312	0,533
2001	1319,072	0,642	314,545	1,000	1337,619	0,558
2002	1357,140	0,624	281,706	1,000	1480,927	0,504
2003	1342,663	0,631	265,567	1,000	1230,228	0,606
2004	1376,798	0,615	240,501	1,000	1258,509	0,593
2005	1360,844	0,622	225,004	1,000	1209,692	0,617
2006	1313,283	0,645	203,280	1,000	1076,947	0,693
2007	1302,186	0,650	189,076	1,000	1049,992	0,710
2008	1109,169	0,764	172,036	1,000	386,121	1,000
2009	983,940	0,861	157,560	1,000	289,549	1,000
2010	900,709	0,940	148,103	1,000	241,902	1,000
2011	894,645	0,947	138,682	1,000	277,802	1,000
2012	854,858	0,991	139,368	1,000	282,508	1,000
2013	739,459	1,000	127,953	1,000	217,364	1,000
2014	741,728	1,000	122,477	1,000	236,682	1,000
2015	747,727	1,000	125,030	1,000	253,805	1,000
2016	709,070	1,000	126,727	1,000	210,828	1,000
2017	709,174	1,000	129,796	1,000	217,889	1,000

- NH_3 y $\text{PM}_{2,5}$

En la figura 20 se observa la evolución de las emisiones de material particulado $\text{PM}_{2,5}$ a partir del año 2000. El límite establecido es el de la Directiva de 2016, que se ha aplicado a partir de donde hay datos disponibles para efectuar un análisis más completo. Se observa como a partir del año 2011 se cumple con el techo de emisiones establecido. La tendencia decreciente es clara y a pesar de haber un ligero aumento en 2017, aún hay mucho margen antes de llegar al valor límite establecido, por lo que en materia de emisiones el sector energético es sostenible.

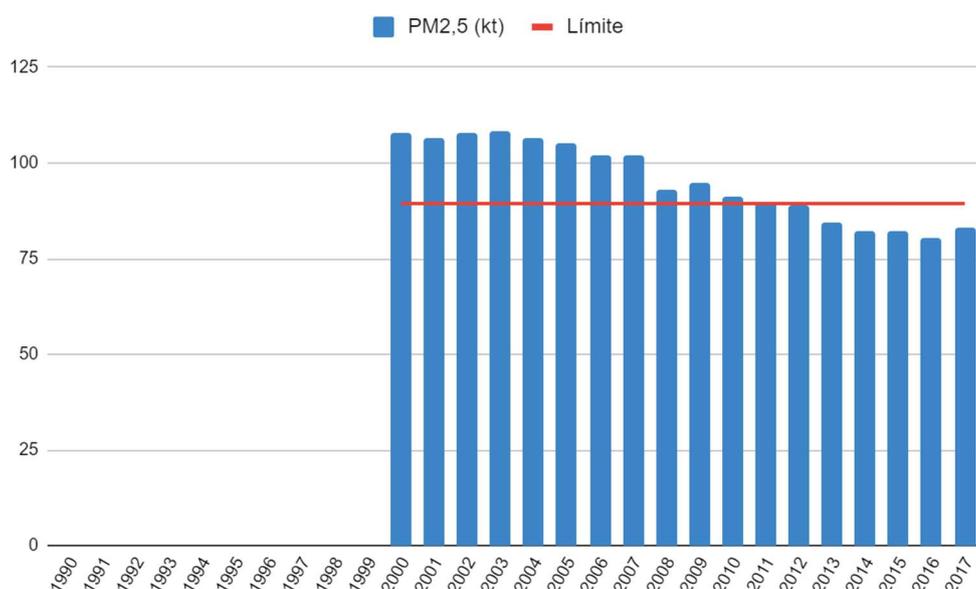


Fig20. Evolución de las emisiones de material particulado $\text{PM}_{2,5}$ ($I_{\text{PM}_{2,5}}$) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

En la tabla 19, para el material particulado, las casillas de las tablas con las siglas “NR” significa que la fuente de donde se obtienen los datos, el Inventario Nacional de Contaminantes Atmosféricos, no ha proporcionado esos valores. De manera que no se puede sacar el indicador para esos años concretos y no se incluyen en el estudio.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Tabla 19. Datos para calcular el indicador de emisiones de contaminantes atmosféricos I_{NH_3} y $I_{\text{PM}_{2,5}}$ sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	NH₃	Indicador Normalizado	PM_{2,5}	Indicador Normalizado
1990	9,039	1,000	NR	NR
1991	8,665	1,000	NR	NR
1992	8,235	1,000	NR	NR
1993	8,640	1,000	NR	NR
1994	9,468	1,000	NR	NR
1995	9,663	1,000	NR	NR
1996	10,567	1,000	NR	NR
1997	11,163	1,000	NR	NR
1998	12,526	1,000	NR	NR
1999	13,724	1,000	NR	NR
2000	14,071	1,000	107,722	0,830
2001	14,271	1,000	106,533	0,839
2002	15,379	1,000	107,766	0,830
2003	15,240	1,000	108,087	0,827
2004	15,052	1,000	106,293	0,841
2005	14,675	1,000	105,186	0,850
2006	14,059	1,000	102,233	0,875
2007	13,571	1,000	101,954	0,877
2008	13,100	1,000	92,885	0,963
2009	13,500	1,000	94,800	0,943
2010	13,008	1,000	91,273	0,980
2011	12,991	1,000	90,037	0,993
2012	12,871	1,000	89,161	1,000
2013	13,182	1,000	84,365	1,000
2014	12,634	1,000	82,097	1,000
2015	12,815	1,000	82,020	1,000
2016	12,639	1,000	80,558	1,000
2017	12,998	1,000	82,975	1,000

En cuanto a las emisiones de amoníaco NH_3 vistas en la figura 21 y en la tabla 19, se observa que el efecto nocivo que puede tener el sector energético es prácticamente nulo.

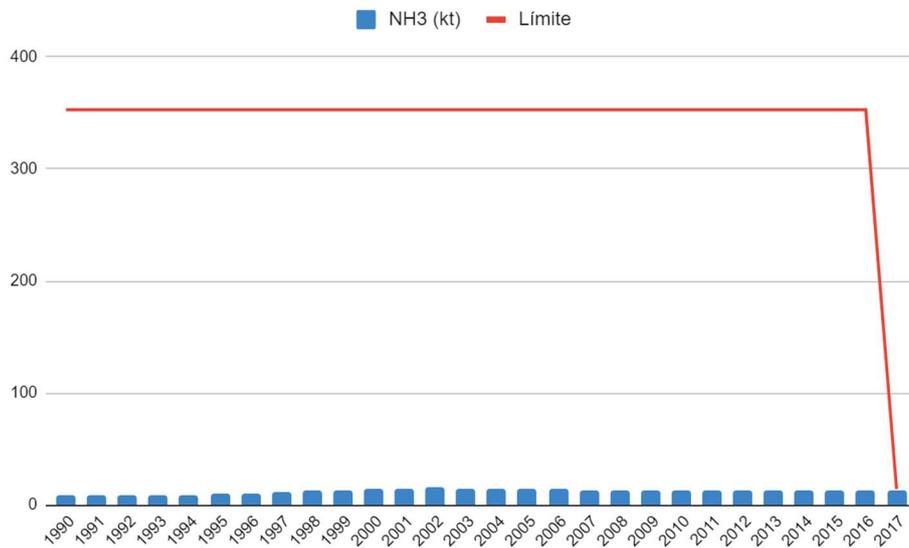


Fig21. Evolución de las emisiones de amoníaco NH_3 (I_{NH_3}) los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Concentraciones de Contaminantes Atmosféricos en Zonas Urbanas

Como se explica en el apartado 4.3.2 al definir el cálculo del indicador, ENV2: Concentraciones de Contaminantes Atmosféricos en Zonas Urbanas, los valores históricos representados en la figura 22 son las medias anuales máximas de concentración de dióxido de azufre SO₂ de entre las medias anuales de cada zona analizada en el estudio de calidad del aire.

Se observa una tendencia decreciente en la concentración de SO₂ detectada, exceptuando por algunos picos en **2007** y **2011**, que podrían achacarse a una mayor actividad industrial. Vemos también como a partir de 2012 se estabiliza esta tendencia casi alcanzando el valor límite. En el año **2017**, se consigue no rebasar el valor límite de 125 µg/m³ (llegando a los 124,917 µg/m³, ver Tabla 20). Por tanto se puede deducir que las medidas tomadas y el comportamiento del sector energético es adecuado y se desarrolla de forma sostenible.

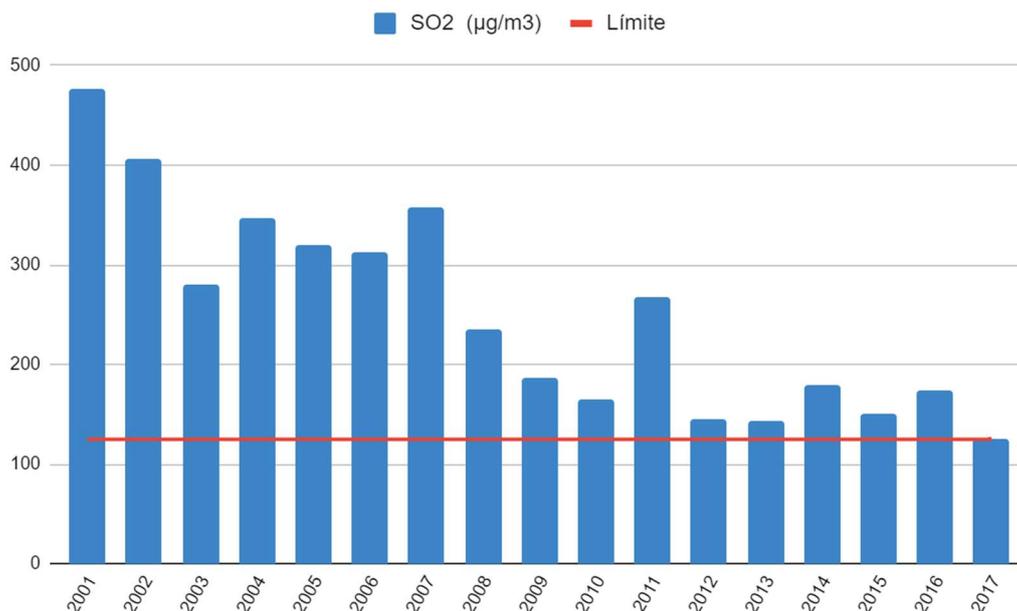


Fig22. Evolución de la concentración de dióxido de azufre SO₂ (I_{CON_SO2}) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Según vemos en el resto de figuras (ver Fig. 23, 24 y 25) las concentraciones de NO_x, COVNM y PM₁₀ en zonas urbanas llevan años cumpliendo los objetivos establecidos por el Gobierno. Concretamente para los COVNM, como se observa en la Fig. 24, se puede concluir que el sector energético tiene un efecto inocuo en la concentración presente de este contaminante atmosférico.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

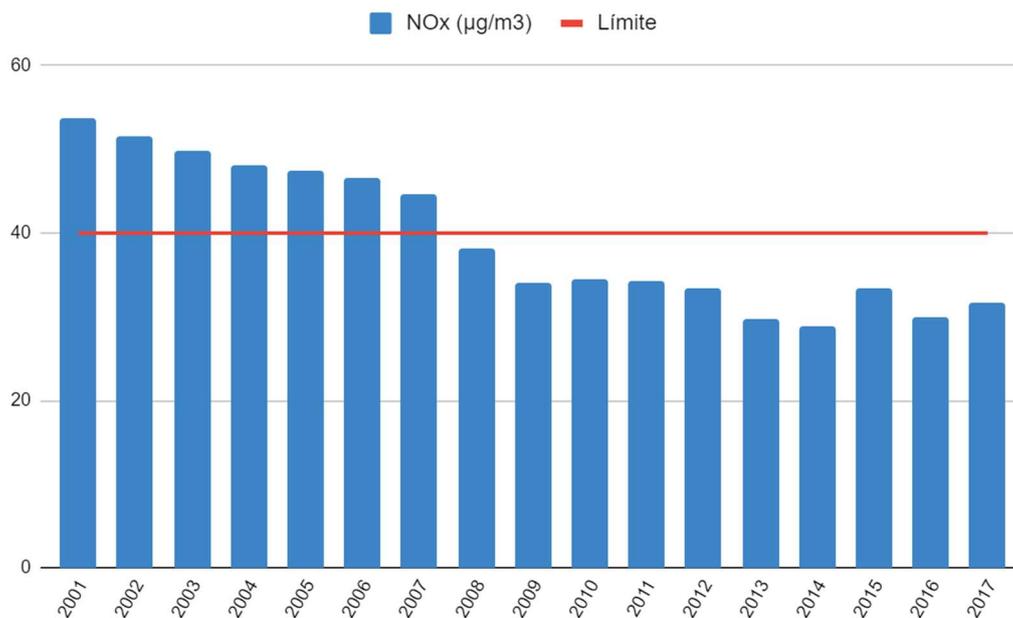


Fig23. Evolución de la concentración de óxidos de nitrógeno NO_x (I_{CON_NOx}) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Concretamente para los COVNM, como se observa en la Fig. 24, se puede concluir que el sector energético tiene un efecto inocuo en la concentración presente de este contaminante atmosférico.

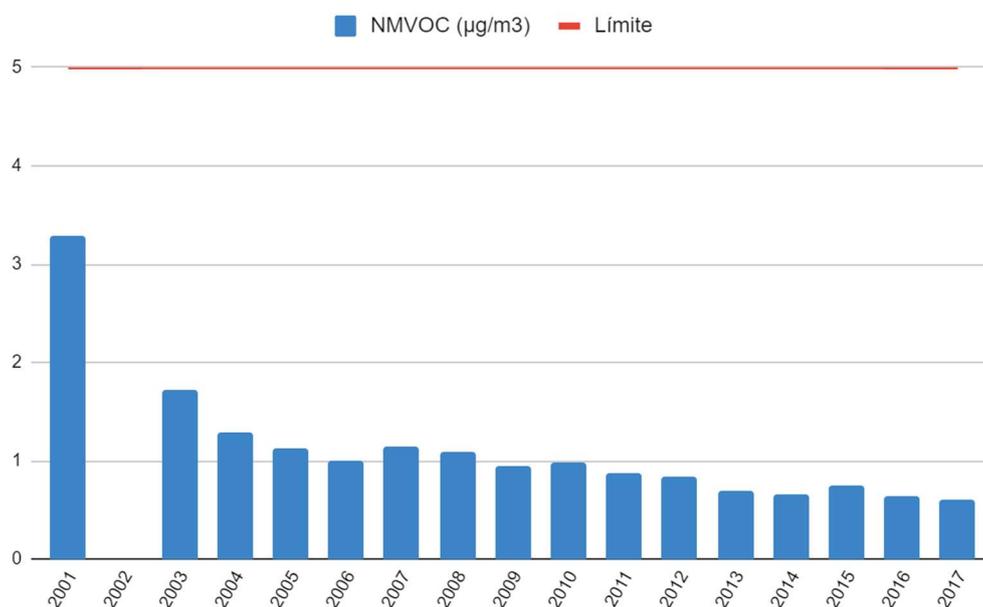


Fig24 Evolución de la concentración de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (I_{CON_NMVOC}) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

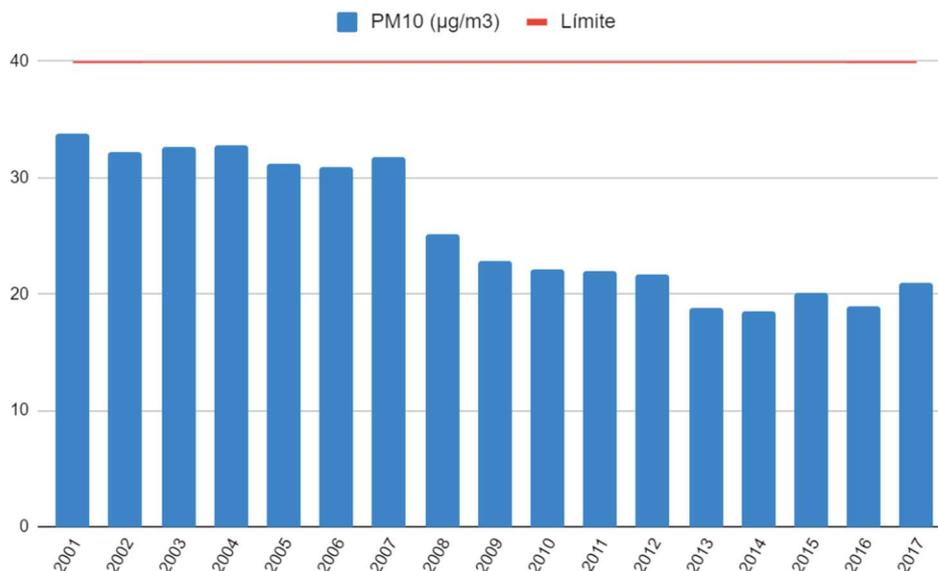


Fig 25. Evolución de la concentración de material particulado PM10 (I_{CON_PM10}) y los objetivos políticos establecidos en el periodo de tiempo 1990-2017

Tabla 20 Datos para calcular el indicador de concentración de contaminantes atmosféricos (SO_2 y NO_x) en zonas urbanas I_{CON_CA} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	SO_2 ($\mu g/m^3$)	Indicador Normalizado	NO_x ($\mu g/m^3$)	Indicador Normalizado
2001	475,590	0,263	53,747	0,744
2002	405,880	0,308	51,623	0,775
2003	280,292	0,446	49,892	0,802
2004	346,240	0,361	48,043	0,833
2005	319,670	0,391	47,557	0,841
2006	312,570	0,400	46,563	0,859
2007	358,250	0,349	44,599	0,897
2008	234,625	0,533	38,229	1,000
2009	186,170	0,671	34,059	1,000
2010	165,920	0,753	34,581	1,000
2011	268,330	0,466	34,283	1,000
2012	144,630	0,864	33,444	1,000
2013	143,790	0,869	29,780	1,000
2014	179,420	0,697	28,861	1,000
2015	151,380	0,826	33,353	1,000
2016	174,570	0,716	30,028	1,000
2017	124,917	1,000	31,717	1,000

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Las casillas de las tablas con las siglas “NR” significa que la fuente de donde se obtienen los datos no ha proporcionado esos valores, por lo que no se puede sacar el indicador y por tanto no incluir en el estudio para esos años concretos.

Tabla 21 Datos para calcular el indicador de concentración de contaminantes atmosféricos (NMVOC, PM₁₀ Y PM_{2,5}) en zonas urbanas I_{CON_CA} y sus resultados antes y después de normalizar para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017

Año	NMVOC (µg/m³)	Indicador Normalizado	PM₁₀ (µg/m³)	Indicador Normalizado	PM_{2,5} (µg/m³)	Indicador Normalizado
2001	3,292	1,000	33,852	1,000	NR	NR
2002	NR	NR	32,255	1,000	NR	NR
2003	1,724	1,000	32,695	1,000	NR	NR
2004	1,295	1,000	32,746	1,000	NR	NR
2005	1,132	1,000	31,226	1,000	NR	NR
2006	1,000	1,000	30,882	1,000	NR	NR
2007	1,146	1,000	31,767	1,000	NR	NR
2008	1,100	1,000	25,186	1,000	NR	NR
2009	0,946	1,000	22,814	1,000	NR	NR
2010	0,979	1,000	22,154	1,000	NR	NR
2011	0,877	1,000	21,980	1,000	NR	NR
2012	0,841	1,000	21,690	1,000	NR	NR
2013	0,695	1,000	18,831	1,000	NR	NR
2014	0,663	1,000	18,500	1,000	NR	NR
2015	0,745	1,000	20,064	1,000	9,649	1,000
2016	0,639	1,000	18,905	1,000	8,476	1,000
2017	0,604	1,000	21,012	1,000	9,745	1,000

5.3 Índice de Desarrollo Sostenible ISUD

Tras exponer en la sección 5.1 y 5.2 los datos y resultados de los indicadores energéticos utilizados para el estudio, en este apartado se expone los resultados obtenidos al calcular el Índice de Desarrollo Sostenible (ISUD) explicado en la sección 3 de este Trabajo Fin de Grado.

En la siguiente figura (ver Fig. 26) se observa la evolución de este índice a lo largo del periodo de tiempo analizado (1990-2017). Se observa cómo en ningún año el índice alcanza el valor de 1, es decir, el sector energético nunca ha cumplido el 100% de los objetivos planteados por el Gobierno. Estrictamente hablando, esos resultados significa que el sistema energético no es sostenible a día de hoy. Aun así, hay una clara tendencia de mejora que progresa a lo largo de los años, experimentando la mayor evolución a partir del año 2008.

Además, en el año más reciente calculado en el estudio (**2017**), tiene un ISUD del valor de 0,919 (ver Tabla 23) lo que quiere decir que el sector energético Español ha completado en un **91,9%** las metas establecidas para alcanzar el desarrollo sostenible. De manera que aun no habiendo cumplido todos los requisitos, el sector energético a día se encuentra en un camino de desarrollo mucho más sostenible que como era hace 30 años.

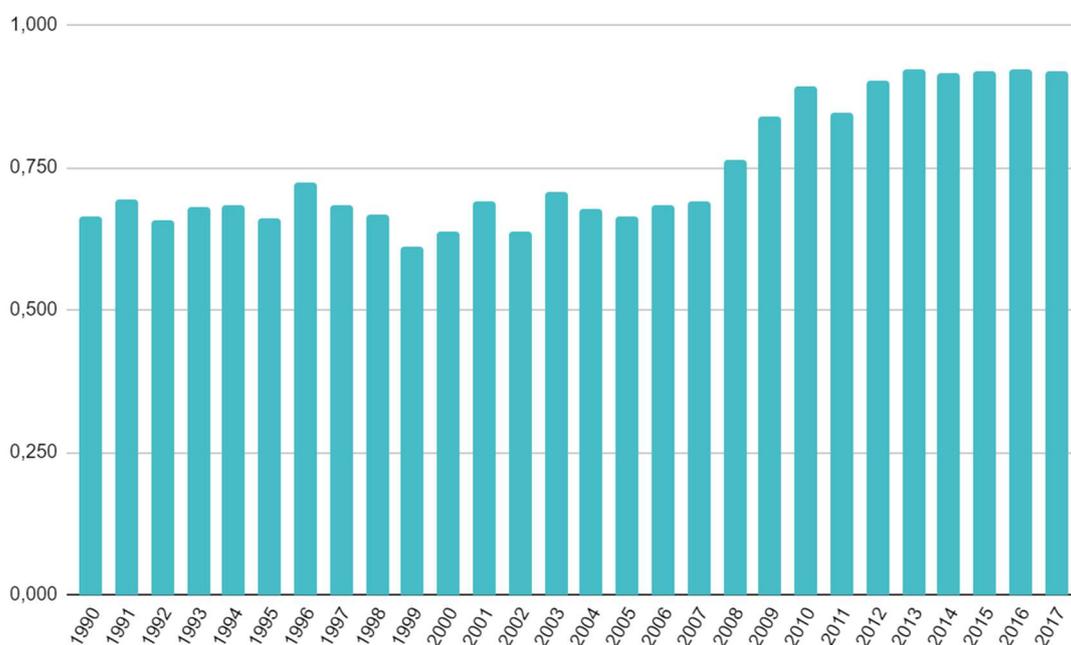


Fig26. Evolución del ISUD en el periodo de tiempo 1990-2017

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Tabla 22 y 23 Valores del ISUD para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	ISUD
1990	0,664
1991	0,693
1992	0,656
1993	0,680
1994	0,683
1995	0,660
1996	0,725
1997	0,683
1998	0,667
1999	0,611
2000	0,639
2001	0,690
2002	0,637
2003	0,707

Año	ISUD
2004	0,678
2005	0,664
2006	0,685
2007	0,692
2008	0,765
2009	0,839
2010	0,894
2011	0,847
2012	0,901
2013	0,924
2014	0,915
2015	0,920
2016	0,922
2017	0,919

5.4 Índice Sostenibilidad Estandarizado SSEI

En esta sección se exponen los resultados obtenidos al calcular el Índice de Desarrollo Sostenible Estandarizado (SSEI) explicado en la sección 3 de este Trabajo Fin de Grado (ver Tablas 24 y 25), así como la representación gráfica de los pesos de actuación relativos de los indicadores para el año más reciente calculado en el estudio, 2017 (ver Figura 27).

Se recuerda que los pesos de actuación relativa, miden cómo de próspero es un indicador con respecto a otros. Este gráfico muestra cómo de cerca está cada situación estudiada por un indicador de alcanzar su objetivo en comparación al resto. Por tanto, atendiendo a la Figura 27 se ve que aquellos indicadores con valor máximo de 1, constituyen el mayor nivel de sostenibilidad para un indicador, es decir, esos indicadores han cumplido con los requisitos necesarios para ser 100% sostenibles. En cambio, aquellos que no alcanzan el valor de 1, significa que no llegan a ser todo lo sostenibles que podrían ser.

En la figura 27 se observa que el sistema energético español es más eficaz cumpliendo con los objetivos establecidos relacionados en la dimensión ambiental, que en la dimensión económica. Los indicadores que muestran un peor peso de actuación relativa son aquellos relacionados con la dependencia energética I_{DEP_ENER} , y la presencia de renovables en el sector energético (I_{RENEW_ELEC} , I_{RENEW_TPC} , y I_{RENEW_TFC}), especialmente en el área de transporte (I_{RENEW_TRANSP}).

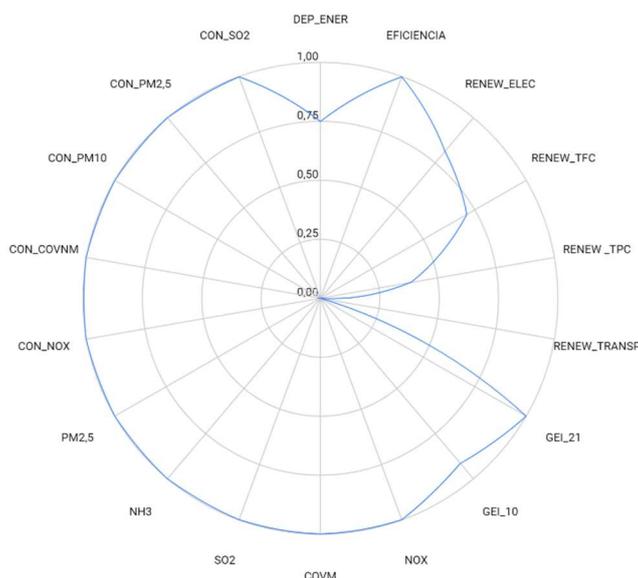


Fig27. Representación en gráfico de estructura de red de los pesos de actuación relativos de los indicadores en el año 2017

En cuanto a su evolución del SSEI, vemos que en la figura 28 se muestra una tendencia de crecimiento similar al ISUD. No obstante, se aprecian diferencias en cuanto a la progresión de ese crecimiento, siendo mucho menos suave en el caso del SSEI. Como se puede observar en la figura 28 y en la tabla 25, en el último año estudiado, el SSEI alcanza un valor de 0,721. Esto quiere decir que el sector energético está cerca de alcanzar la sostenibilidad en un 72,1%. Por tanto, se ha de continuar progresando en la toma de medidas necesarias para poder cumplir con todos los objetivos.

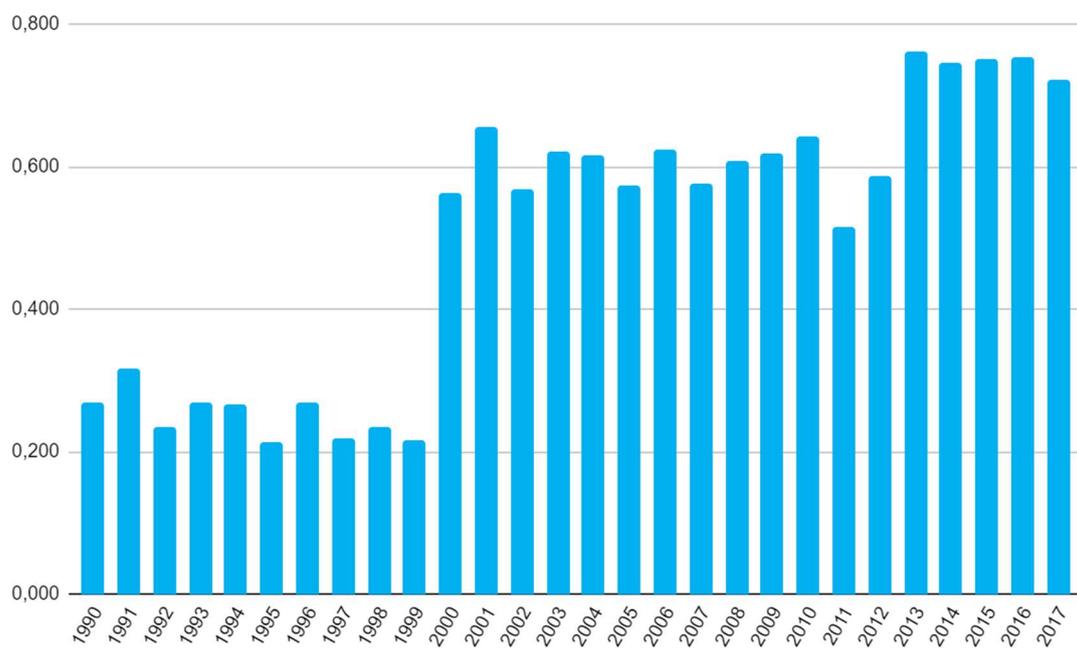


Fig. 28 Evolución del SSEI en el periodo de tiempo 1990-2017

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Tabla 24 y 25 Valores del ISUD para el periodo de tiempo comprendido entre los años 1990 y 2017.

Año	SSEI
1990	0,269
1991	0,316
1992	0,234
1993	0,269
1994	0,267
1995	0,214
1996	0,270
1997	0,219
1998	0,236
1999	0,215
2000	0,563
2001	0,655
2002	0,569
2003	0,621

Año	SSEI
2004	0,615
2005	0,574
2006	0,624
2007	0,577
2008	0,607
2009	0,619
2010	0,642
2011	0,516
2012	0,586
2013	0,763
2014	0,746
2015	0,752
2016	0,753
2017	0,721

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

6. CONCLUSIONES

En esta sección se exponen las diferentes conclusiones que se han obtenido al realizar el estudio:

- Tanto los indicadores escogidos como los índices expuestos en este estudio, *Índice de Desarrollo Sostenible* (ISUD) y *Índice de Sostenibilidad Estandarizado* (SSEI), permiten evaluar de un modo numérico y con rigor la sostenibilidad de un sistema, que es el sector energético Español en el caso de este Trabajo Fin de Grado. Resultan clave para poder cuantificar la disparidad entre el comportamiento del sector y los objetivos establecidos por los representantes políticos.
- El ISUD indica numéricamente que porcentaje de metas ha alcanzado el sector energético, evidenciando la gran progresión que ha habido con el paso de los años, llegando a situarse en 2017 en un 0,919. Para poder compensar la diferencia, el Gobierno ha de continuar realizando modificaciones y tomando medidas que permiten alcanzar todos los objetivos necesarios para conseguir un sector 100% sostenible.
- El SSEI ha permitido localizar qué áreas del sector energético español necesitan mayor intervención gubernamental. El sector energético cumple a día de hoy con los requisitos de la dimensión ambiental, pero sigue sin poder alcanzar los objetivos de la dimensión económica. como son los objetivos 20/20/20 establecidos en el *“Paquete de Medidas sobre Clima y Energía hasta 2020”*. El problema radica en la aún gran dependencia energética del sector, que necesitará medidas estrictas para poder reducirse al 61% para el año 2030.
- La búsqueda de datos sigue siendo uno de los principales problemas a la hora de elaborar estudios basados en el cálculo de indicadores. La definición a nivel internacional de indicadores e índices para medir la sostenibilidad es de vital importancia y aún no está del todo conseguido. Muchas organizaciones e instituciones siguen utilizando su propia metodología de cálculo de indicadores, y muchas veces ni proporcionan los modos de cálculo, lo que hace muchas veces realmente complicado en contraste entre resultados. Es necesaria por tanto mayor transparencia y desglose de datos así como un mayor consenso entre organizaciones.
- Los objetivos establecidos en leyes y legislaciones no siempre permiten una comparación apropiada con los indicadores ofrecidos en las guías de mayor relevancia. Para poder llevar un seguimiento más riguroso sería conveniente definir objetivos y medidas que puedan evaluarse numéricamente sin ningún problema.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

7. REFERENCIAS

Medidas y Legislación

COMISIÓN EUROPEA. (2008). *Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020*. Recuperado de https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es

COMISIÓN EUROPEA. (2005). EU Emissions Trading System (EU ETS). *Climate Action*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

IDAE, MITECO. (2011). *Plan de Energías Renovables 2011-2020*. Recuperado de: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables>

IDAE, MITECO. (2019). *Borrador Actualizado del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec_2021-2030_borradoractualizado_tcm30-506491.pdf

MITECO. (2020). *Iniciativas Internacionales, Atmósfera y Calidad del aire*. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/pol-med/iniciativas_internacionales.aspx

MITECO. (2020). *Objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero*. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx>

MITECO. (2017). *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_neeap_2017_es.pdf

MITECO (2019). *Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica*. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/impncca_spain_borrador_tcm30-496287.pdf

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

NACIONES UNIDAS (1992). Capítulo 40: Información para la adopción de decisiones, *Programa 21*. Apartados 40.6 y 40.7. Recuperado de:
<https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter40.htm>

NACIONES UNIDAS. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Energía Asequible y No Contaminante*. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

UNIÓN EUROPEA. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

UNIÓN EUROPEA. Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, por la que se modifica la Directiva 2003/35/CE y se deroga la Directiva 2001/81/CE

UNIÓN EUROPEA. Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.

UNIÓN EUROPEA. Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos

UNIÓN EUROPEA. Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa

UNIÓN EUROPEA. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Informes y Libros

MITECO. (2017) *La Energía en España 2017*. Recuperado de <https://cpage.mpr.gob.es/>

IAEA, UNDESA, IEA, EUROSTAT & AEMA (2008). *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías*. Viena, Austria: Autor.

UNDESA (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies, 3rd Edition*. Recuperado de:
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf>

SCHLÖR, H., FISCHER, W., & HAKE, J.F. (Enero 2013). Methods of measuring sustainable development of the German energy sector. *Applied Energy*, (101), p.172-p.181.

U.S ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. (2016). Industrial sector energy consumption. *International Energy Outlook*, p.113. Recuperado de:
[https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

MITECO. (2018). *Evaluación de la Calidad del Aire en España*, p.11. Recuperado de:
https://www.miteco.gob.es/images/es/informeevaluacioncalidadaireespana2018_tcm30-498764.pdf

Bases de datos

EUROSTAT. (1953). *Energy Database* [base de datos] Recuperado de
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>

MITECO. (2020) *Inventario Nacional de Contaminantes Atmosféricos* [base de datos] Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-Contaminantes.aspx>

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. (1985). *Generación, REData* [base de datos] Recuperado de <https://www.ree.es/es/datos/generacion>

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

IEA. (1974). *Data and Statistics* [base de datos] Recuperado de <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=SPAIN>

IDAE. MITECO. (1974) Consulta Consumo de Energía Final [base de datos] Recuperado de: <http://sieeweb.idae.es/consumofinal/default.asp>

MITECO. (2020) Datos de Calidad del Aire 2001-2017 [base de datos]. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/datos/Datos_2001_2017.aspx

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD DEL SECTOR ENERGÉTICO DE ESPAÑA MEDIANTE LA
ELABORACIÓN DE ÍNDICES BASADOS EN LOS ÍNDICADORES ENERGÉTICOS PROPUESTOS POR EL
ORGANISMO INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA ATÓMICA

DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

1. MOTIVO DEL PRESUPUESTO

El objetivo del presupuesto es evaluar el valor económico que tiene la realización del Trabajo Fin de Grado: *Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica*. Por tanto en los siguientes apartados se trata de cuantificar el coste que implica la elaboración de este estudio en el mundo laboral.

Al tratarse de un estudio, los costes en los que se divide en el presupuesto no son tan detalladas y tan extensas como en otros casos. Los costes utilizados son los dos siguientes:

- *Costes de mano de obra*. Estos costes engloban los gastos empleados en el número de horas que el ingeniero, el tutor y el cotutor han empleado en realizar el Trabajo Fin de Grado.
- *Costes materiales*. Estos costes engloban el resto de gastos no pertenecientes a la categoría anterior, son las herramientas empleadas para la realización del trabajo: ordenador, licencias de programas...

A continuación en el siguiente apartado se exponen en mayor detalle los costes definidos

1. CONTENIDO DEL PRESUPUESTO

2.1 Costes Mano de Obra

Para calcular los gastos generados por el empleo de mano de obra, se ha escogido para el ingeniero industrial un sueldo neto de 26.798 € anuales. Para el sueldo neto del tutor y cotutor, se ha escogido un sueldo como Catedrático de Universidad de dedicación a tiempo completo de 43.045 € anuales.

En la siguiente tabla (ver tabla 1) se define el coste por hora correspondiente a cada una de las partes. Siguiendo el calendario laboral, una jornada laboral tiene una media de trabajo de 8 horas diarias, 14 días de festividades y 30 días naturales de vacaciones (que corresponden a 22 días laborables). Por tanto, el número de días laborales son, descontando los fines de semana, 225 días, que son 1800 h anuales.

Tabla 1. Coste de mano de obra por hora de la mano de obra desglosado.

Mano de Obra	Código	Sueldo Anual	Coste por hora
INGENIERO	MO1	26.798,00 €	14,89 €
TUTOR	MO2	43.045,00 €	23,91 €
COTUTOR	MO3	43.045,00 €	23,91 €

A continuación, en la **Tabla 2**, se expone la planificación del número de horas dedicadas a la elaboración del proyecto. Desglosándolas en cada una de las partes necesarias para su realización:

1. Planificación del Trabajo
2. Investigación de Indicadores
3. Búsqueda y Análisis de Datos
4. Desarrollo del Proyecto
5. Informe

Tabla 2 Horas dedicadas a la elaboración del proyecto

	HORAS MO1	HORAS MO2	HORAS MO3
1. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO	7	20	6
Reuniones	2	2	2
Búsqueda de artículos y información similar	5	10	
Revisiones y organización plazos de entrega		8	4
2. INVESTIGACIÓN INDICADORES	38	3	0
Análisis de artículos y libros relacionados	10		
Reuniones para resolver dudas	3	3	
Selección de indicadores adecuados al estudio	25		
3. BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE DATOS	74	9	0
Consulta en bases de datos	30	5	
Recopilación de medidas políticas y legislaciones	25		
Aclaración de dudas	3	3	
Comparación de datos en diferentes fuentes	16	3	
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	95	5	0
Cálculo de los indicadores	45	5	
Cálculo del índice ISUD	2		
Cálculo del índice SSEI	18		
Representación gráfica de los resultados	10		
Análisis de los resultados	20		
5. INFORME	86	0	0
Redacción	80		
Presupuesto	6		
TOTAL HORAS	300	39	6

Estudio de la sostenibilidad del sector energético de España mediante la elaboración de índices basados en los indicadores energéticos propuestos por el Organismo Internacional de la Energía Atómica.

Finalmente en la Tabla 3 se presentan los costes correspondientes a la mano de obra MO1, MO2 Y MO3 asociados a cada una de las partes de elaboración del trabajo, así como el total.

Tabla 3 Cuadro de precios desglosado de la mano de obra

CUADRO DE PRECIOS			
NOMENCLATURA	COSTE (€/h)	HORAS (h)	TOTAL (€)
1. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO		33	725,98 €
Reuniones		6	125,43 €
MO1	14,89	2	29,78 €
MO2	23,91	2	47,83 €
MO3	23,91	2	47,83 €
Búsqueda de artículos y información similar		15	313,58 €
MO1	14,89	5	74,44 €
MO2	23,91	10	239,14 €
Revisiones y organización plazos de entrega		12	286,97 €
MO2	23,91	8	191,31 €
MO3	23,91	4	95,66 €
2. INVESTIGACIÓN INDICADORES		41	637,48 €
Análisis de artículos y libros relacionados		10	148,88 €
MO1	14,89	10	148,88 €
Reuniones para resolver dudas		6	116,41 €
MO1	14,89	3	44,66 €
MO2	23,91	3	71,74 €
Selección de indicadores adecuados al estudio		25	372,19 €
MO1	14,89	25	372,19 €
3. BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE DATOS		85	1.364,75 €
Consulta en bases de datos		35	566,20 €
MO1	14,89	30	446,63 €
MO2	23,91	5	119,57 €
Recopilación de medidas políticas y legislaciones		25	372,19 €
MO1	14,89	25	372,19 €
Aclaración de dudas		6	116,41 €
MO1	14,89	3	44,66 €
MO2	23,91	3	71,74 €
Comparación de datos en diferentes fuentes		19	309,95 €
MO1	14,89	16	238,20 €
MO2	23,91	3	71,74 €

Continuación Tabla 3

CUADRO DE PRECIOS			
NOMENCLATURA	COSTE (€/h)	HORAS (h)	TOTAL (€)
4. DESARROLLO DEL PROYECTO		100	1.533,91 €
Cálculo de los indicadores		50	789,52 €
MO1	14,89	45	669,95 €
MO2	23,91	5	119,57 €
Cálculo del índice ISUD		2	29,78 €
MO1	14,89	2	29,78 €
Cálculo del índice SSEI		18	267,98 €
MO1	14,89	18	267,98 €
Representación gráfica de los resultados		10	148,88 €
MO1	14,89	10	148,88 €
Análisis de los resultados		20	297,76 €
MO1	14,89	20	297,76 €
5. INFORME		86	1.280,35 €
Redacción		80	1.191,02 €
MO1	14,89	80	1.191,02 €
Presupuesto		6	89,33 €
MO1	14,89	6	89,33 €
6. TOTAL		345	5.542,46 €

2.2. Costes Materiales

Como se explica en el apartado 1, los costes materiales corresponden a los costes que se producen al emplear herramientas de software, hardware (entre otros) es decir, las herramientas empleadas para la elaboración del estudio. En este caso se ha contado con un ordenador y una licencia de Microsoft Office 365, como se observa en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

En el caso del ordenador, teniendo en cuenta que se ha utilizado en todo el periodo de tiempo en el que se ha desarrollado el proyecto (3 meses) y su tiempo de vida útil (8 años) se puede llegar a calcular el coste final que supondría.

Tabla 4. Coste de ordenador

Producto	Unidades	Coste	Vida Útil	Uso	Amortización	Coste Final
Microsoft, Surface Laptop 3, 13,5 ", Intel® Core™ i5-1035G7, RAM 8 GB, 256 GB, Negro	1	1.376 €	8 años	3 meses	3,125%	43 €

En cuanto a la licencia de Microsoft Office 365, el valor de coste es nulo, puesto que se trata de una licencia con uso educativo, que la Universidad Politécnica de Valencia proporciona.

Tabla 5. Coste licencia *Microsoft Office 365*

Producto	Unidades	Coste Final
Licencia Microsoft Office 365	1	0 €

Finalmente se adjunta en la tabla 6 el cuadro de precios de los costes materiales

Tabla 6. Cuadro de precios costes materiales

Producto	Unidades	Coste Final
Licencia Microsoft Office 365	1	0 €
Microsoft, Surface Laptop 3, 13,5 ", Intel® Core™ i5-1035G7, RAM 8 GB, 256 GB, Negro	1	43 €
COSTE MATERIAL TOTAL		43 €

2. PRESUPUESTO FINAL

A continuación, en la tabla 7, se presenta el presupuesto final del proyecto. Los gastos generales y el beneficio industrial para la contrata se calculan sobre el Presupuesto de Ejecución Material (PEM). Sumando ambos conceptos al PEM obtendremos el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) Finalmente, se obtiene el presupuesto total añadiendo el IVA al PEC.

Tabla 7. Presupuesto Final

Designación	Coste
COSTE DE MANO DE OBRA	5.542,46 €
COSTE MATERIALES	43,00 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	5.585,46 €
10% GASTOS GENERALES	558,55 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	335,13 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	6.479,13 €
21% IMPUESTO VALOR AÑADIDO (IVA)	1.360,62 €
PRESUPUESTO TOTAL (o BASE DE LICITACIÓN)	7.839,75 €

El coste final del proyecto asciende a SIETE MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y NUEVE CON SETENTA Y CINCO EUROS