



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

Trabajo Fin de Máster

**METABOLISMO Y PROSPECTIVA  
ENERGÉTICA EN EL ÁMBITO  
REGIONAL.  
APLICACIÓN AL SISTEMA  
ENERGÉTICO ANDALUZ**

**Alumno/a: Galán Cano, Lucía**

Tutor/a: Prof. D. Julio Terrados Cepeda  
Cotutor/a: Prof. D. Blas Ogayar Fernández

Dpto.: Departamento. Ingeniería Gráfica, Diseño  
y Proyectos.

**Marzo, 2023**



## Universidad de Jaén

Departamento de Ingeniería  
Gráfica, Diseño y Proyectos

D. Julio Terrados Cepeda y D. Blas Ogáyar Fernández, tutores del Trabajo Fin de Master titulado: ***Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional. Aplicación al sistema energético andaluz***, que presenta Lucía Galán Cano, autorizan su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, marzo de 2023

La alumna:

Firmado por GALAN CANO LUCIA  
- 77364497H el día 22/03/2023  
con un certificado emitido  
por AC FNMT Usuarios

Lucía Galán Cano

Los tutores:

TERRADOS CEPEDA JULIO - 25981938B	Firmado digitalmente por TERRADOS CEPEDA JULIO - 25981938B Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=IDCES-25981 938B, givenName=JULIO, sn=TERRADOS CEPEDA, cn=TERRADOS CEPEDA JULIO - 25981938B Fecha: 2023.03.22 11:04:40 +01'00'	OGAYAR FERNANDE Z BLAS - 26457056H	Firmado digitalmente por OGAYAR FERNANDEZ BLAS - 26457056H Fecha: 2023.03.22 09:22:50 +01'00'
--	--	---	---

Julio Terrados Cepeda / Blas Ogáyar Fernández

## **Resumen del Trabajo Fin de Máster**

El Trabajo Fin de Máster persigue el modelado del sistema energético andaluz y el estudio de su comportamiento metabólico para, mediante análisis de escenarios, establecer una prospectiva energética en el largo plazo y evaluar el cumplimiento futuro de las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible(ODS).

Para ello, en primer lugar se desarrolla una revisión bibliográfica de las metodologías de prospectiva energética aplicables a regiones, seguida de un análisis de las herramientas informáticas aplicables, con especial énfasis en el uso de LEAP. Posteriormente, se realizará una recopilación de datos estadísticos, bibliográficos y sectoriales del sistema energético andaluz.

A partir de esta información se llevará a cabo un estudio de la condición energética en la región de Andalucía evaluando su situación en relación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y describiendo los escenarios prospectivos establecidos para el año 2030 y 2050. Este análisis también contemplará la evolución de las emisiones y los impactos ambientales.

Posteriormente, se desarrolla un modelo en el software LEAP para evaluar diferentes escenarios energéticos futuros para Andalucía. El modelo se basa en datos recopilados sobre el sistema energético andaluz y utiliza los resultados del análisis de prospectiva energética y la evaluación de los ODS para generar diferentes escenarios. Estos escenarios permiten evaluar el impacto de diferentes políticas y estrategias en la transición energética de Andalucía, incluyendo la electrificación de la demanda, la integración de energías renovables, la mejora de la eficiencia energética y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Una vez realizado el análisis, se procederá a la evaluación del cumplimiento futuro de los ODS a nivel andaluz, identificando los principales desafíos y obstáculos que se presentan en el camino hacia una transición energética sostenible.

Finalmente se ofrecerán sugerencias y planes de acción para mejorar la situación energética en Andalucía y avanzar hacia un sistema energético más sostenible, eficiente y equitativo, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las políticas energéticas y climáticas de la Unión Europea.

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
Aplicación al sistema energético andaluz

## **Abstract**

The Master's Thesis aims to model the Andalusian energy system and study its metabolic behaviour in order to establish a long-term energy foresight and assess future compliance with the goals set out in the Sustainable Development Goals (SDGs) through scenario analysis.

To this end, a literature review of energy foresight methodologies applicable to regions will be carried out, followed by an analysis of the applicable IT tools, with special emphasis on the use of LEAP. Subsequently, a compilation of statistical, bibliographical and sectoral data on the Andalusian energy system will be carried out.

Based on this information, a study of the energy situation in the region of Andalusia will be carried out, assessing its situation in relation to the Sustainable Development Goals (SDGs) and describing the prospective scenarios established for 2030 and 2050. This analysis will also consider the evolution of emissions and environmental impacts.

Subsequently, a model is developed in LEAP software to evaluate different future energy scenarios for Andalusia. The model is based on data collected on the Andalusian energy system and uses the results of the energy foresight analysis and the SDG assessment to generate different scenarios. These scenarios allow assessing the impact of different policies and strategies on Andalusia's energy transition, including the electrification of demand, the integration of renewable energies, the improvement of energy efficiency and the reduction of greenhouse gas emissions.

Once the analysis has been carried out, an assessment will be made of the future fulfilment of the SDGs at Andalusian level, identifying the main challenges and obstacles on the road to a sustainable energy transition.

Finally, suggestions and action plans will be offered to improve the energy situation in Andalusia and move towards a more sustainable, efficient and equitable energy system, in line with the Sustainable Development Goals and the European Union's energy and climate policies.

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
Aplicación al sistema energético andaluz

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

1. Objetivo, alcance y antecedentes del Trabajo de Fin de Máster .....	17
2. Análisis del metabolismo energético y su aplicación a sistemas energéticos .....	19
2.1 Significado e historia del concepto de metabolismo urbano.....	19
2.2 Métodos para evaluar el metabolismo urbano .....	21
2.2.1 Análisis de flujo de materiales .....	22
2.2.2 Análisis de flujo de energía.....	23
2.3 Metabolismo urbano energético.....	23
2.3.1 Metodologías para evaluar el metabolismo energético.....	25
2.3.2 Metabolismo energético en regiones .....	26
3. Prospectiva y transición energética en regiones.....	27
3.1 Metodologías para evaluar la transición energética a través de la prospectiva.....	27
3.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	32
3.2.1 Indicadores de los ODS .....	34
3.2.2 Indicadores aplicables a regiones.....	37
3.2.3 Selección de Indicadores más relevantes.....	41
3.3 Marco estratégico con respecto a los ODS .....	42
3.3.1 Directrices europeas .....	43
3.3.2 Directrices españolas.....	44
4. Análisis del sistema energético Andaluz.....	47
4.1 Introducción .....	47
4.2 Infraestructuras energéticas en Andalucía.....	48
4.2.1 Infraestructuras para la gestión de la transmisión y distribución de energía eléctrica. ....	49
4.2.2 Generación eléctrica no renovable .....	50

4.2.3 Generación eléctrica renovable .....	52
4.2.4 Generación térmica renovable .....	54
4.2.5 Geotermia .....	55
4.2.6 Infraestructuras de gas y petróleo.....	55
4.3 Consumo de energía primaria.....	60
4.4 Consumo de energía final .....	64
4.5 Emisiones de CO <sub>2</sub> en la región de estudio.....	68
4.6 Porcentaje de producción propia y fiabilidad del suministro eléctrico .....	70
4.7 Marco Estratégico Andaluz .....	70
4.8 Seguimiento de los ODS en Andalucía .....	72
5. Prospectiva energética en Andalucía (horizonte 2030/2050).....	79
5.1 Creación del modelo energético para el año base en Andalucía .....	80
5.1.1 Modelado de la demanda .....	82
5.1.2 Modelado de la generación y transformación de energía .....	85
5.2 Creación del modelo energético para el escenario tendencial eficiente..	95
5.2.1 Modelado de la demanda .....	95
5.2.2 Modelado de la generación y transformación de energía .....	109
5.3 Creación del modelo energético para el escenario tendencial no eficiente .....	117
5.3.1 Modelado energético de la demanda.....	117
5.3.2 Modelado de la transformación y generación de energía .....	128
5.4 Otros modelos.....	132
5.4.1 Escenario 1 – Sector transporte eficiente .....	133
5.4.2 Escenario 2– Generación energía eléctrica eficiente.....	136
5.4.3 Escenario 3– Sector residencial y de servicios eficiente.....	140
5.4.4 Escenario 4– Sector industrial eficiente .....	143

.....	144
5.4.5 Escenario modelado para 2050 .....	146
5.5 Dificultades presentadas en el modelo energético.....	151
6. Análisis del estado de Andalucía en términos de cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible .....	153
6.1 Análisis cuantitativo del estado energético de Andalucía con respecto a los objetivos establecidos en el marco estratégico Andaluz .....	153
6.2 Análisis cuantitativo del estado energético de Andalucía con respecto a los indicadores de los ODS seleccionados.....	157
7. Análisis cualitativo del estado energético de Andalucía .....	161
7.1 Análisis de las causas y consecuencias de los problemas energéticos que presenta Andalucía .....	161
7.2 Estudio de las carencias en Andalucía para encontrar posibles soluciones a los problemas planteados .....	164
7.3 Desafíos que se plantean en el contexto de la planificación energética	165
7.4 Diagnostico global del sistema energético de Andalucía .....	166
8. Conclusiones.....	169
9. Bibliografía y fuentes de información .....	173

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Revisión bibliográfica de los estudios de metabolismo urbano .....	20
Tabla 2. Indicadores establecidos para el ODS 7 por Naciones Unidas .....	35
Tabla 3. Indicadores establecidos para el ODS 13 por Naciones Unidas .....	37
Tabla 4. Indicadores establecidos por la ONU y la Junta de Andalucía para el ODS 7 .....	38
Tabla 5. Indicadores establecidos por la ONU y la Junta de Andalucía para el ODS 13 .....	39
Tabla 6. Indicadores establecidos por Eurostat y la Junta de Andalucía para el ODS .....	40
Tabla 7. Indicadores establecidos por Eurostat y la Junta de Andalucía para el ODS 13 .....	40
Tabla 8. Indicadores establecidos por REDS y la Junta de Andalucía para el ODS 7 .....	41
Tabla 9. Indicadores establecidos por REDS y la Junta de Andalucía para el ODS 13 .....	41
Tabla 10. Selección de los Indicadores más relevantes Fuente: Elaboración Propia .....	42
Tabla 11. Objetivos establecidos para 2020 y seguimiento .....	44
Tabla 12. Infraestructuras de transporte y distribución a 31/12/2021 .....	50
Tabla 13. Potencia total instalada en diciembre de 2021 .....	51
Tabla 14. Características principales de la potencia de cogeneración a 30/06/2022 .....	51
Tabla 15. Evolución anual de cogeneración (MW) .....	52
Tabla 16. Información general sobre la potencia eléctrica renovable instalada (MW) (30/06/2022) .....	53
Tabla 17. Crecimiento anual de la capacidad de generación de energía renovable en Andalucía (MW) .....	54
Tabla 18. Superficie solar térmica total instalada. Evolución anual m2 .....	54
Tabla 19. Evolución del Uso de biomasa y biogás como fuentes de energía térmica (ktep/año) .....	55

Tabla 20. Infraestructuras de gas en Andalucía .....	56
Tabla 21. Capacidad de almacenamiento operativa a 31/12/2021 .....	58
Tabla 22. Objetivos de la Estrategia Energética Andaluza 2020 .....	71
Tabla 23. Indicadores para la evaluación de Andalucía con respecto a los ODS 7 .....	74
Tabla 24. Indicadores para la evaluación de Andalucía con respecto a los ODS 13 .....	77
Tabla 25. Datos sobre el consumo de energía final en Andalucía .....	82
Tabla 26. Consumo de energía final por sectores (GWh) .....	83
Tabla 27. Datos energéticos necesarios para modelar la generación de energía .....	87
Tabla 28. Capacidad de refino en TM/A de La Rábida y San Roque .....	89
Tabla 29. Conversión en la capacidad de refino para tener TEP/año .....	90
Tabla 30. Evolución de las fuentes energéticas en el área de transporte dentro del escenario eficiente .....	96
Tabla 31. Evolución de las fuentes energéticas en el área Industrial dentro del escenario eficiente .....	99
Tabla 32. Evolución de las fuentes energéticas en el área residencial dentro del escenario eficiente .....	101
Tabla 33. Evolución de las fuentes energéticas en el área de servicios dentro del escenario eficiente .....	104
Tabla 34. Evolución de las fuentes energéticas en el área primaria dentro del escenario eficiente .....	106
Tabla 35. Tendencia futura para el sector transporte en el escenario no eficiente .....	117
Tabla 36. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente .....	119
Tabla 37. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente .....	120
Tabla 38. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente .....	122

Tabla 39. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente .....	123
Tabla 40. Datos energéticos tendenciales sobre generación de energía eléctrica 2030 escenario no eficiente.....	128
Tabla 41.Comparación de emisiones en los distintos escenarios .....	133
Tabla 42.Análisis comparativo en las emisiones de los escenarios propuestos .....	137
Tabla 43. Análisis comparativo en las emisiones de los escenarios propuestos .....	140
Tabla 44. Análisis comparativo en las emisiones de los escenarios propuestos .....	143
Tabla 45. Estructura en el mix energético del sector transporte (estimación) .....	146
Tabla 46. Estructura en el mix energético del sector industria (estimación) .....	147
Tabla 47. Estructura en el mix energético del sector residencial (estimación) .....	147
Tabla 48. Estructura en el mix energético del sector servicios (estimación) ..	147
Tabla 49. Estructura en el mix energético del sector primario (estimación) ...	147
Tabla 50. Tabla comparativa y datos arrojados por LEAP .....	154
Tabla 51. Tabla comparativa y datos arrojados por LEAP .....	156
Tabla 52. Tabla comparativa y datos arrojados por LEAP .....	157
Tabla 53. Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS .	158
Tabla 54.Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS ..	159
Tabla 55.Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS ..	159
Tabla 56.Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS ..	160
Tabla 57. Análisis DAFO para la situación energética en Andalucía.....	167

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama esquemático de flujo de materiales nacional .....	23
Ilustración 2. Flujos de energía que suelen incluirse en balances energéticos a nivel nacional.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 3. Objetivos energéticos a nivel Internacional, nacional y regional ..	43
Ilustración 4. Evolución de Red de Transporte en Andalucía 2010/11 .....	57
Ilustración 5. Evolución de la red de distribución gasista en Andalucía .....	57
Ilustración 6. Cartografía energética de Andalucía.....	59
Ilustración 7. Análisis comparativo en el consumo energético primario a nivel Internacional, nacional y regional .....	60
Ilustración 8. Comparativa en el cumplimiento de objetivos de reducción de consumo energético en UE, España y Andalucía. ....	61
Ilustración 9. Análisis comparativo del consumo energético a a nivel internacional, nacional y regional .....	61
Ilustración 10. Desarrollo en la demanda de energía primaria en función de fuentes energéticas (ktep) .....	62
Ilustración 11. Desarrollo de las emisiones de gases de CO2 relacionadas con la demanda de energía primaria en Andalucía.....	63
Ilustración 12. Análisis comparativo del consumo energético final a nivel internacional, nacional y regional .....	64
Ilustración 13. Comparativa en el consumo de calefacción y refrigeración en Andalucía, España y UE .....	65
Ilustración 14. Comparativa por sectores del consumo energético a nivel internacional, nacional y regional en el 2019.....	65
Ilustración 15. Comparativa de fuentes energéticas en UE, España y Andalucía .....	67
Ilustración 16. Comparativa de las emisiones de CO2 por fuentes .....	69
Ilustración 17. Evolución de emisiones por fuentes.....	69
Ilustración 18. Esquema general del modelo energético de Andalucía .....	81
Ilustración 19. Estructura de la demanda en LEAP .....	83

Ilustración 20. Demanda del año base clasificada por sectores.....	84
Ilustración 21. Emisiones de CO2 (kilotoneladas) en el año base.....	85
Ilustración 22. Emisiones de CO2 relacionadas con la generación de energía eléctrica (kilotoneladas).....	88
Ilustración 23. Generación de energía (GWh) del año base .....	88
Ilustración 24. Configuración de la actividad de refino de petróleo .....	90
Ilustración 25. Capacidad en tep/año de refino de petróleo para el año 2019 2019 .....	91
Ilustración 26. Emisiones que guardan relación con la producción de gas natural (en kilotoneladas) para el año 2019 .....	91
Ilustración 27. Capacidad en tep/año de la producción de gas natural en Andalucía en el año 2019.....	92
Ilustración 28. Emisiones asociadas a la producción de gas natural (en kilotoneladas) para el año 2019 .....	93
Ilustración 29. Diagrama Sankey para el año base .....	94
Ilustración 30. Desarrollo del consumo en el área de transporte en el escenario eficiente.....	96
Ilustración 31. Demanda prevista para el área de transporte referido al escenario 2030 eficiente.....	97
Ilustración 32. Emisiones previstas para el sector transporte en el área de transporte referido al escenario 2030 eficiente.....	97
Ilustración 33. Desarrollo del consumo en el área industrial en el escenario eficiente .....	98
Ilustración 34. Demanda prevista para el sector industria en el escenario 2030 eficiente.....	99
Ilustración 35. Emisiones previstas para el sector Industria en el escenario 2030 eficiente .....	100
Ilustración 36. Desarrollo del consumo en el área residencial en el escenario eficiente.....	101
Ilustración 37. Demanda prevista para el sector residencial en el escenario 2030 eficiente .....	102

Ilustración 38. Emisiones previstas para el sector residencial en el escenario 2030 eficiente.....	102
Ilustración 39. Desarrollo de la distribución del consumo energético final en el área de servicios (escenario de eficiencia) .....	103
Ilustración 40.Demanda prevista para el sector servicios en el escenario 2030 eficiente.....	104
Ilustración 41.Emisiones previstas para el sector servicios en el escenario 2030 eficiente.....	105
Ilustración 42. Desarrollo del consumo en el área primaria en el escenario eficiente.....	106
Ilustración 43.Demanda prevista para el sector primario en el escenario 2030 eficiente.....	107
Ilustración 44.Emisiones previstas para el sector primario en el escenario 2030 eficiente.....	107
Ilustración 45.Demanda total para el año base .....	108
Ilustración 46.Emisiones totales en el año base.....	109
Ilustración 47. Tendencias futuras en la generación de energía eléctrica en escenario eficiente .....	111
Ilustración 48.Tendencia futura en emisiones relacionadas con la generación de energía eléctrica.....	112
Ilustración 49 Tendencia futura en la capacidad de refino (suposición) para el escenario 2030 eficiente Fuente: Elaboración propia a través de LEAP .....	113
Ilustración 50. Tendencia futura asociada a las emisiones en el refino de petróleo .....	114
Ilustración 51. Tendencia futura asociada a las emisiones gas natural.....	115
Ilustración 52 Tendencia futura en la capacidad de refino (suposición) para el escenario 2030 eficiente .....	115
Ilustración 53.Diagrama Sankey para el año 2019 del escenario eficiente ....	116
Ilustración 54.Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario eficiente ....	116
Ilustración 55. Tendencia futura en la demanda del sector transporte (escenario no eficiente).....	118

Ilustración 56. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector transporte (escenario no eficiente) .....	118
Ilustración 57. Tendencia futura en la demanda del sector industria (escenario no eficiente).....	119
Ilustración 58. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector industria (escenario no eficiente) Fuente: Elaboración propia a través de LEAP.....	120
Ilustración 59. Tendencia futura en la demanda del sector residencial (escenario no eficiente).....	121
Ilustración 60. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector residencial (escenario no eficiente) .....	121
Ilustración 61. Tendencia futura en la demanda del sector residencial (escenario no eficiente).....	122
Ilustración 62. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector servicios (escenario no eficiente) .....	123
Ilustración 63. Tendencia futura en la demanda del sector primario (escenario no eficiente).....	124
Ilustración 64. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector primario (escenario no eficiente) .....	124
Ilustración 65. Tendencias futuras para el año 2030 en Andalucía .....	125
Ilustración 66. Evolución de las emisiones en el escenario no eficiente .....	126
Ilustración 67. Evolución de la demanda en el escenario no eficiente .....	126
Ilustración 68. Comparación de la demanda (GWh) entre escenario tendencial 2030 eficiente y no eficiente .....	127
Ilustración 69. Comparación de las emisiones (kt) entre escenario tendencial 2030 eficiente y no eficiente .....	127
Ilustración 71. Evolución tendencial en escenario no eficiente de las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica .....	129
Ilustración 70. Evolución tendencial en escenario no eficiente de la generación de energía.....	129
Ilustración 72. Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario no eficiente. ....	130

Ilustración 73. Comparación de la generación de energía eléctrica (GWh) entre escenario tendencial 2030 eficiente y no eficiente .....	131
Ilustración 74. Comparación de las emisiones relacionadas con la generación de energía eléctrica (kt) entre escenario tendencial 2030 eficiente y no eficiente .....	132
Ilustración 75.Comparación en las emisiones entre el escenario 1 y el escenario eficiente.....	134
Ilustración 76. Comparación en las emisiones entre el escenario 1 y el escenario no eficiente .....	134
Ilustración 77.Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 1.....	135
Ilustración 78.Comparación en las emisiones entre el escenario 2 y el escenario eficiente.....	137
Ilustración 79.Comparación en las emisiones entre el escenario 2 y el escenario no eficiente .....	138
Ilustración 80.Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 2.....	139
Ilustración 81.Comparación en las emisiones entre el escenario 2 y el escenario no eficiente .....	141
Ilustración 82.Comparación en las emisiones entre el escenario 3 y el escenario eficiente.....	141
Ilustración 83.Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 3.....	142
Ilustración 84.Comparación en las emisiones entre el escenario 4 y el escenario eficiente.....	144
Ilustración 85.Comparación en las emisiones entre el escenario 4 y el escenario no eficiente .....	144
Ilustración 86.Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 4.....	145
Ilustración 87. Evolución de las emisiones sujetas a la demanda para 2050 (estimación).....	148
Ilustración 88. Evolución de la demanda para 2050 (estimación) .....	148
Ilustración 89. Diagrama Sankey para el escenario 2050 .....	149
Ilustración 90.Generación de energía eléctrica en el escenario tendencial 2050 (estimaciones).....	150

Ilustración 91. Emisiones relacionadas con la generación de electricidad para el escenario de 2050 (estimaciones).....	151
Ilustración 92. Primera opción para la estructura de la demanda.....	152
Ilustración 93.Evolución en el consumo energético primario para el escenario eficiente.....	155
Ilustración 94.Evolución en el consumo energético primario para el escenario no eficiente.....	155

## 1. Objetivo, alcance y antecedentes del Trabajo de Fin de Máster

Andalucía, como el resto del mundo, se ve afectada por el cambio climático. La región ha experimentado un aumento de la temperatura y una disminución de las precipitaciones en algunas zonas, lo que ha dado lugar a situaciones de sequía. Además, se ha producido un aumento del nivel del mar en la costa y un mayor riesgo de incendios forestales. Por tanto, la lucha contra el cambio climático es una preocupación importante para la región, que ha establecido objetivos ambiciosos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar la transición hacia una economía baja en carbono. La Junta de Andalucía ha desarrollado diferentes planes y estrategias para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus efectos, como el Plan Andaluz de Acción por el Clima 2021-2030 y el Plan de Adaptación al Cambio Climático de Andalucía.

El trabajo de investigación sobre el cambio climático en Andalucía es fundamental para comprender las causas, impactos y riesgos asociados al cambio climático en la región, así como para diseñar estrategias y medidas de adaptación y mitigación. Esta información es crucial para la toma de decisiones en el ámbito político, económico y social, y para orientar la gestión del territorio y de los recursos naturales hacia modelos más sostenibles.

Además, la investigación permite conocer el estado de la situación actual y las tendencias futuras en lo que respecta a las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero gases de efecto invernadero, energía, transporte, entre otros, y para evaluar la efectividad de las políticas y medidas de mitigación y adaptación ya implementadas.

Este Trabajo Fin de Máster tiene varios objetivos importantes sobre la prospectiva energética y cambio climático en Andalucía:

- Profundizar en el estudio del metabolismo energético en regiones y de las metodologías de prospectiva energética aplicables a ellas.
- Analizar la evolución del sistema energético andaluz y su situación respecto a las metas establecidas en los ODS.
- Modelar el sistema energético andaluz y estudiar su comportamiento metabólico para obtener flujos energéticos netos y las emisiones derivadas en cada uno de sus sectores, mediante herramientas como el modelo “Long-range Energy Alternatives Planning System” (LEAP)
- Aplicar el modelo energético propuesto en el sistema energético Andaluz y, mediante análisis de escenarios, establecer una prospectiva en el largo plazo y una serie de propuestas de actuación y recomendaciones para la toma de decisiones en el horizonte 2030 y 2050.

En resumen, este trabajo supone una herramienta que contribuye a comprender la situación de Andalucía con respecto al cambio climático y para diseñar políticas y estrategias que permitan alcanzar los objetivos de reducción de emisiones y promoción de energías renovables en la región.

El alcance del presente Trabajo de Fin de Máster se extiende a una amplia variedad de áreas de estudio, incluyendo la exploración de políticas públicas y estrategias que se han adoptado en Andalucía para hacer frente al cambio climático y la transición energética, así como su impacto y resultados en la región. Además, se realiza un análisis exhaustivo de la situación actual de Andalucía en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, consumo energético, producción de energía y uso de tecnologías limpias.

En este trabajo se consideran diferentes factores para la creación de escenarios futuros en cuanto a la demanda y oferta de energía en Andalucía, tales como los cambios en las pautas de consumo y los avances en la investigación y desarrollo de energías renovables. Todo ello con el objetivo de identificar oportunidades y desafíos asociados con la transición energética en la región, y de explorar posibles soluciones y estrategias para avanzar en este proceso de manera efectiva. En definitiva, este trabajo supone una herramienta valiosa para comprender la situación actual de Andalucía en cuanto al cambio climático y la transición energética, y para diseñar políticas y estrategias que permitan alcanzar los objetivos de reducción de emisiones y promoción de energías renovables en la región.

## **2. Análisis del metabolismo energético y su aplicación a sistemas energéticos**

En este capítulo se realizará un estado del arte del metabolismo urbano, necesario para profundizar en el principal objetivo de este Trabajo Fin de Máster que es el metabolismo energético. También se llevará a cabo una revisión bibliográfica de las diferentes metodologías de prospectiva energética aplicables a regiones.

### **2.1 Significado e historia del concepto de metabolismo urbano**

Para comprender el significado de metabolismo energético se necesita hacer un breve estudio sobre el metabolismo urbano, ya que la energía es uno de los muchos flujos que consumen las civilizaciones.

El concepto de metabolismo urbano se refiere a la totalidad de los procesos energéticos, constructivos y socioeconómicos presentes en una ciudad, que incluyen el crecimiento urbano, la producción y consumo de energía, así como la gestión de residuos y su eliminación. (Kennedy, 2007)

La noción de metabolismo urbano se basa en una analogía con el metabolismo de los organismos. Las ciudades tienen cierta similitud con los organismos, ya que consumen recursos de su entorno y excretan desechos.

Para realizar un estudio de metabolismo urbano se requiere la cuantificación de entradas y salidas en una región urbana. Estas entradas y salidas, son los recursos que la región requiere: energía, materiales etc

El término de metabolismo urbano comenzó a ser estudiado en el año 1965 por Abel Wolman. El motivo que le llevó a investigar sobre este concepto fue la inquietud por la calidad del aire y agua. Wolman utilizó este concepto para cuantificar los flujos de energía y materiales en una ciudad norteamericana hipotética.

Wolman cuantificó los flujos de energía, agua y materiales que entraban y salían de la región. El autor comentó que las ciudades requieren de entradas en forma de energía y materiales, dando lugar a salidas en forma de desechos y emisiones. Estos procesos en forma de salida, son los que dan lugar a los problemas ambientales, entre los más destacados están: eficiente abastecimiento de agua y contaminación del aire. (Fuente, 2018)

Desde este primer estudio, se han realizado una serie de investigaciones para abarcar más aspectos sobre este concepto. En la siguiente tabla se puede comprobar, en orden cronológico, los estudios realizados sobre este tema.

Author (year)	City or region of study	Notes/contribution
Wolman (1965)	Hypothetical US city of 1 million people	Seminal study
Zucchetto (1975)	Miami	Emergy approach
Stanhill (1977); Odum (1983)	1850s Paris	Emergy approach
Hanya and Ambe (1976).	Toyko	
Duvigneaud and Denayeyer-De Smet (1977)	Brussels	Includes natural energy balance
Newcombe et al. (1978); Boyden et al. (1981)	Hong Kong	Particularly comprehensive metabolism study
Girardet (1992)		Recognized link to sustainable development of cities
Bohle (1994)		Critiqued metabolism perspective for studying food in developing cities
European Environment Agency (1995)	Prague (comprehensive metabolism study)	Energy use data for Barcelona and seven other European cities given in the report.
Nilson (1995)	Gävle, Sweden	Phosphorus budget
Baccini (1997).	Swiss Lowlands	
Huang (1998).	Taipei	Emergy approach
Newman (1999); Newman et al. (1996)	Sydney	Adds liveability measures
Stimson et al. (1999)	Brisbane & Southeast Queensland	Framework relating urban metabolism to quality of life.
Hermanowicz and Asano (1999)		Water
Hendriks et al. (2000).	Vienna & Swiss Lowlands	
Warren-Rhodes and Koenig (2001).	Hong Kong	
Baker et al. (2001)	Phoenix & Central Arizona	Nitrogen balance
Sörme et al. (2001)	Stockholm	Heavy metals
Svidén and Jonsson (2001)	Stockholm	Mercury
Obernosterer and Brunner (2001)	Vienna	Lead
Færge et al. (2001)	Bangkok	Nitrogen & Phosphorus
Chartered Institute of Wastes Management (2002)	London	
Gasson (2002)	Cape Town	
Barrett et al. (2002)	York, UK	Materials
Obernosterer (2002)		Metals
Sahely et al. (2003).	Toronto	
Emmenegger et al. (2003)	Geneva	
Burstrom et al. (2003)	Stockholm	Nitrogen & Phosphorus
Gandy (2004)		Water
Lennox and Turner (2004)		State of the Environment report
Hammer and Giljum (2006)	Hamburg, Vienna and Leipzig	Materials
Kennedy et al. (2007)		Review of changing metabolism
Schulz (2007)	Singapore	Materials
Barles (2007a)	Paris	Historical study of nitrogen in food metabolism
Forkes (2007)	Toronto	Nitrogen in food metabolism
Zhang and Yang (2007)	Shenzhen, China	Develops eco-efficiency measure
Ngo and Pataki (2008)	Los Angeles	
Chrysoulakis (2008)		New project under EU 7th framework
Schremmer and Stead (2009)		New project under EU 7th framework
Barles (2009, 2007b)	Paris	Analysis of central city, suburbs and region.
Zhang et al. (2009)	Beijing	Emergy approach
Niza et al. (2009)	Lisbon	Materials
Deilmann (2009)		Studies relationship between metabolism and city surface
Baker et al. (2001)		Water
Thériault and Laroche (2009)	Greater Moncton, New Brunswick	Water
Browne et al. (2009)	Limerick, Ireland	Develops measure of metabolic efficiency

Tabla 1. Revisión bibliográfica de los estudios de metabolismo urbano  
 (Fuente: *The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design*. C.Kennedy, S.Pincetl, & P.Bunje. (2010)).

El concepto de metabolismo urbano ha sido estudiado desde perspectivas muy diversas. Por ejemplo, los primeros estudios fueron realizados por ingenieros químicos, ecologistas e ingenieros civiles, estudiando el concepto desde un punto de vista donde la naturaleza era interdisciplinaria del tema. Otra perspectiva se llevó a cabo por ecologistas bajo la dirección de Odum, los cuales entendían que el metabolismo urbano estaba bajo terminos equivalentes a energía solar. En 1990 se obtuvo un avance en el estudio del metabolismo

urbano obtenido una nueva perspectiva, que relacionaba el metabolismo urbano con el desarrollo sostenible de la ciudad.

Como bien se muestra en la tabla 1, en los últimos años se ha dado un aumento de la investigación sobre el metabolismo urbano. Según Pincetl (Pincetl, 2012) la mayoría de estudios de metabolismo urbano consideran necesario la cuantificación de recursos o de energía, pero el problema reside en la falta de datos que limita la relación que existe entre energía, lugares o personas.

## **2.2 Métodos para evaluar el metabolismo urbano**

Para realizar un modelado de una ciudad usando el concepto de metabolismo urbano, se necesita información sobre los que son considerados flujos de entradas, salidas y almacenamiento para así, cuantificarlos. Según Haberl (Haberl, 2001) existe principalmente dos formas de evaluar el metabolismo urbano. La primera, sería el análisis de flujo de materiales y energía, es decir, la cuantificación de los flujos de materiales y energía a través de un sector socioeconómico. La otra forma se basa en la evaluación del flujo de compuestos químicamente especificados como los nutrientes y metales pesados.

A parte del análisis de flujos de materia y energía, también se consideran otras metodologías como el análisis de huella de carbono o ciclo de vida, así como el uso de modelos de simulación. Por lo tanto, se puede clasificar estas metodologías como:

1. Análisis de flujos de materia y energía: Este enfoque consiste en identificar y medir los flujos de materia y energía que entran y salen de la ciudad, incluyendo la generación y el consumo de energía, los desechos y la gestión de los recursos.
2. Análisis de huella de carbono: Este enfoque mide la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la ciudad y su contribución al cambio climático.
3. Análisis de ciclo de vida: Este enfoque evalúa el impacto ambiental de los sistemas urbanos a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la extracción de los recursos, hasta su disposición final.
4. Modelos de simulación: Estos modelos utilizan técnicas de simulación para evaluar el impacto de diferentes escenarios de desarrollo urbano y energético, sobre el medio ambiente y la calidad de vida en la ciudad.

Estas metodologías se utilizan combinadas o por separado, dependiendo de los objetivos y los recursos disponibles para la evaluación del metabolismo urbano energético.

El enfoque actual se encuentra en los materiales, sin embargo, sobre la década de 1970 se centraban en flujos de energía. En el presente Trabajo Fin de Máster se contemplará exclusivamente el análisis de flujos energéticos, aunque también se mencionará (debido a su evidente importancia), el análisis de flujos de

materiales, pues otro punto de vista para entender el concepto de energía estaría en la transformación de la materia. Haberl (Haberl, 2001), afirma la directa relación entre materia y energía, ya que como bien explica en uno de sus artículos, los materiales pueden utilizarse para reducir los flujos de energía y, a la inversa, la energía puede usarse para aumentar la eficiencia del uso de materiales.

### **2.2.1 Análisis de flujo de materiales**

Las zonas urbanas se caracterizan por una gran población y grandes densidades de materiales, esto lleva a altos niveles de flujos de energía y materiales (Graedel, 1999).

Para conocer el metabolismo urbano de la región o ciudad, se requiere un conocimiento detallado de principales flujos de materiales. Según Hendricks et al. (Hendricks, y otros, 2000) se debe llevar a cabo una gestión de estos siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

1. Cuantificación de flujos de materiales y crecimiento de su existencia.
2. Evaluación de la consecuencia de estos flujos a nivel medioambiental, económico y social.
3. Control sobre los flujos de materiales, teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible. (Niza, Rosado, & Ferrao, 2020)

El control de flujos de materiales se puede considerar una herramienta que proporciona la desagregación de los datos y una forma de caracterizar la dinámica del metabolismo en una economía (Niza & Ferrao, 2005).

La herramienta que sirve para gestionar este flujo de materiales se denomina MFA (Material Flow Analysis) y se basa principalmente en el principio de conservación de la masa. Esta herramienta examina los materiales que entran a un sistema, las existencias y flujos de este sistema y las salidas resultantes a otros sistemas (Niza, Rosado, & Ferrao, 2020) .Ha sido utilizada en numerosos estudios a nivel local, regional y nacional para conocer los materiales que son consumidos y el control que se puede ejercer sobre estos.

La contabilidad de los flujos de materiales (MFA), facilita la evaluación de tendencias del consumo de materiales por lo que se considera una forma de caracterizar la dinámica del metabolismo de una economía. (Niza & Ferrao, 2005).

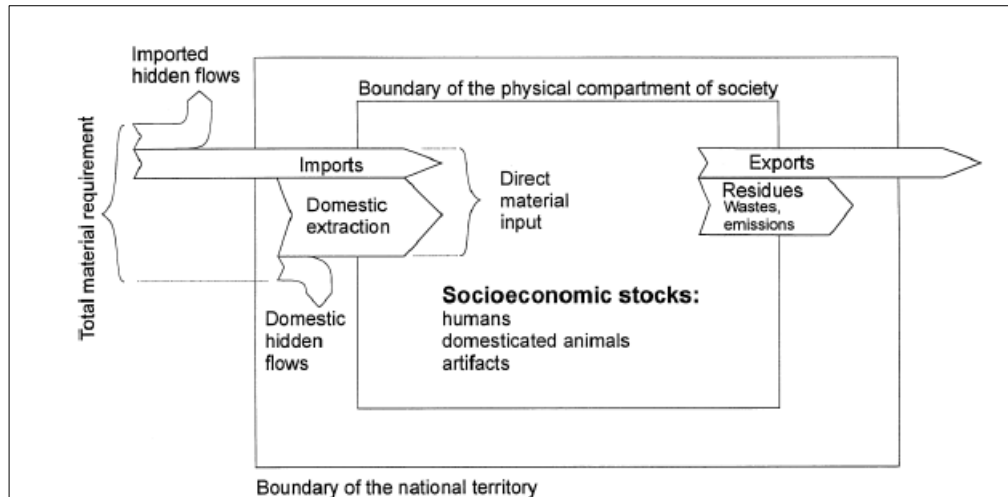


Ilustración 1. Diagrama esquemático de flujo de materiales nacional.  
(Fuente: "Energy Metabolism of Societies Part I" Haberl (2001))

## 2.2.2 Análisis de flujo de energía

La energía está directamente ligada a la materia pues no es más que el resultado de la transformación de esta, por lo que cuando se realiza el análisis de flujo de materia, la energía está incluida. Según Haberl (Haberl, 2001) el análisis de energía en la ciudad es esencial y necesario para conseguir una completa concepción sobre el metabolismo social.

Es importante considerar tanto la energía directa como la indirecta que se consume en un sector para realizar un análisis energético completo. La energía directa se refiere a la que entra en el sistema y puede ser de origen primario o intermedio (combustibles, electricidad, etc.), mientras que la energía indirecta se encuentra en los productos que entran en el sector.

Haberl (Haberl, 2001) sostiene que los flujos de energía deberían formar parte del análisis de metabolismo social, sobre todo porque el mantenimiento de un flujo continuo de materiales, solo es posible cuando se dispone de un flujo de energía para alimentar los procesos de transporte, y transformación que forman parte de una sociedad.

## 2.3 Metabolismo urbano energético.

Una vez se conoce el término metabolismo urbano, se va a profundizar dentro de este concepto, en el metabolismo energético y en las distintas formas de evaluarlo. Como ya se ha mencionado con anterioridad el metabolismo urbano energético se enfoca específicamente en los flujos de energía que entran y salen de una ciudad o región urbanizada.

Para poder evaluar el concepto de metabolismo urbano Haberl (Haberl, 2001) afirma en uno de sus estudios que lo que pretende lograr es devolver el análisis energético a la agenda de investigación de metabolismo.

Para explicar el metabolismo energético de la sociedad se acude a los balances energéticos, los cuales, son utilizados para analizar los flujos energéticos de la ciudad.

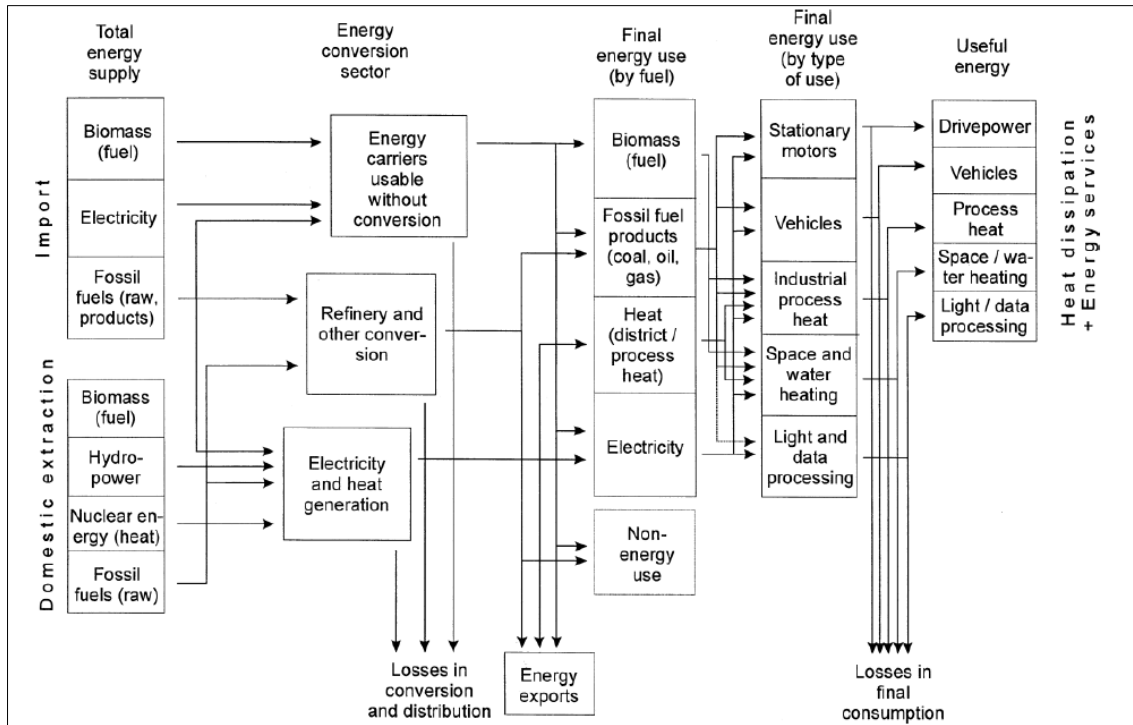


Ilustración 2. Flujos de energía que suelen incluirse en balances energéticos a nivel nacional.  
(Fuente: "Energy Metabolism of Societies Part I" Haberl (2001))

Según Haberl, para entender el concepto de metabolismo energético se debe tener en cuenta antes unas nociones básicas:

- El suministro de energía primaria se puede definir como energía extraída del entorno natural, flujos de energía mecánica aprovechados, energía nuclear transformada en calor o energía solar radiante utilizada para producir calor o electricidad. Para hacer un balance energético total, se tendrá que valorar también las importaciones de energía ya que muchos países industrializados dependen en gran medida de estos portadores.
- La conversión de energía se evalúa calculando los balances de conversión de los procesos en los que la energía primaria se convierte en energía final. Los procesos de conversión más importantes en países desarrollados suelen ser la generación de electricidad y calor, refinado de petróleo y procesos relacionados con el carbón.
- Se define el uso final de la energía como energía puesta al alcance de los consumidores finales. Los consumidores finales se conocen como cualquier entidad económica, que compra energía para generar servicios energéticos para producción o consumo. (Lovins, 1977)

Los balances energéticos, no solo estudian la entrada de energía de una sociedad, sino que analizan el flujo de energía en las siguientes etapas: suministro de energía, conversión, consumo final y, en algunas situaciones, energía útil. Todo esto se puede resumir, en que los balances energéticos también tienen en cuenta el destino del uso de la energía.

Para contabilizar los flujos de energía y hacer un balance energético, se debe implicar procesos como la importación de petróleo crudo a través de un oleoducto, producción de productos petrolíferos en una refinería, procesos de conversión y de energía, etc

### **2.3.1 Metodologías para evaluar el metabolismo energético**

Los estudios revisados muestran distintos métodos de evaluación del metabolismo urbano Zhang y Chen et al. (Zhang, 2013) y (Chen & Chen, 2015) realizan una clasificación de diversos métodos que se pueden llevar a cabo:

- Análisis de entradas y salidas: Se analizan flujos de energía y materia a gran escala.
- El análisis de procesos implica un examen minucioso de los recursos requeridos para producir bienes y servicios.
- Dinámica ecológica: Se realiza el análisis del sistema urbano. Se evalúa tanto su estructura como funcionamiento y también analiza los procesos metabólicos.
- Análisis de redes ecológicas: Se analiza el sistema urbano desde un enfoque energético teniendo en cuenta la relación que existe entre los componentes de materiales y energía en diferentes niveles.

Además, para llevar a cabo la evaluación del metabolismo energético de una ciudad o región, se han tenido en cuenta diversas metodologías ampliamente utilizadas en el ámbito de la investigación energética. Algunas de estas metodologías son el análisis de ciclo de vida energético, que evalúa el consumo de energía desde la extracción de recursos hasta la eliminación de residuos, y los modelos de equilibrio energético, que buscan describir la dinámica del consumo de energía en una ciudad o región. También se ha utilizado el análisis de la huella de carbono, que evalúa las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero relacionadas con la utilización de energía, y el análisis sobre la intensidad energética, que mide la cantidad de energía utilizada por unidad de producto interno bruto o por unidad de población. Es importante destacar que la elección del método de evaluación dependerá de los objetivos específicos de la evaluación.

### 2.3.2 Metabolismo energético en regiones

La especificidad geográfica a la hora de realizar un análisis de metabolismo energético es muy importante pues cada lugar será diferente y también lo serán los recursos que este posea. En la gran mayoría de estudios de metabolismo energético se analizan ciudades debido a su impacto en el medio ambiente debido a la gran concentración de población mundial. Las tendencias globales muestran un mundo cada vez más urbano.

El metabolismo urbano energético varía a nivel internacional, nacional, regional y local.

- A nivel internacional, se puede observar una tendencia hacia ciudades más sostenibles y eficientes en términos de energía y recursos. Esto se debe a la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- A nivel nacional, las políticas y regulaciones energéticas influyen en la eficiencia energética y la sostenibilidad de las ciudades. Algunos países están adoptando políticas ambiciosas para promover la transición energética y la eficiencia en la utilización de los recursos.
- A nivel regional, la disponibilidad y el costo de los recursos utilizados para producir energía, tales como las infraestructuras de movilidad y suministro, podrían afectar el metabolismo urbano energético.
- A nivel local, la densidad de población, la disponibilidad de transporte público, la eficiencia energética de los edificios y los patrones de consumo de energía, pueden influir en el metabolismo urbano energético.

En general, el metabolismo urbano energético se ve afectado por una combinación de factores a nivel internacional, nacional, regional y local, y es importante considerarlos en la planificación y gestión de las ciudades

El presente Trabajo Fin de Máster, propone el estudio a nivel regional, ya que se analizará el metabolismo energético y las correspondientes metodologías para evaluarlo en la Comunidad Autónoma de Andalucía (España). Como ya se ha comentado en apartados anteriores (Tabla 1), la mayoría de estudios sobre metabolismo urbano ha sido a nivel local, por lo que la búsqueda de información de este tipo de artículos más concretos resulta un reto.

### 3. Prospectiva y transición energética en regiones

En la actualidad, el cambio climático se considera una seria amenaza para el desarrollo socioeconómico y general del siglo XXI. Con el fin de frenar este fenómeno, es crucial reducir de manera significativa las emisiones de dióxido de carbono y controlar las emisiones de gases de efecto invernadero.

“Muchos sugieren, que la transición a una economía con bajas emisiones de carbono, sería un paso importante para satisfacer esta demanda de estabilidad climática” (Grubb, y otros, 2008) (Foxon & Pearson, 2008)

Para intentar dar solución a la incertidumbre que genera esta transición energética, se cuenta con la prospectiva energética. La prospectiva energética, es una herramienta de proyección que facilita información de la situación actual del mercado energético a nivel nacional e internacional. Este instrumento es usado para el establecimiento de prioridades y tomas de decisiones de largo plazo considerando aspectos sociales y económicos. El objetivo principal es disminuir, mediante las tecnologías en estudio, la incertidumbre que toda decisión a medio y largo plazo trae consigo.

El primer programa nacional de perspectiva fue llevado a cabo en 1993, en Reino Unido, a través de la técnica Delphi con más de 7000 personas analizando áreas entre las cuales se encontraba la energía.

Japón es uno de los países con mayores aportaciones en este estudio, llevando a cabo toda la metodología a través de una técnica tipo Delphi contando con expertos en el tema. El EPRI (Energy and Power Research Institute de USA) realiza con periodicidad documentos que sirven de base de escenarios para prospectiva llevados a cabo por el Department Of Energy (DOE) donde se tiene en cuenta la evolución de la demanda y oferta, eficiencia, impacto ambiental etc.

La Unión Europea ubicó en Sevilla un Instituto de Estudios de Prospectiva Tecnológica, para hacer hincapié en las consecuencias sociales de los cambios ambientales y tecnológicos. (Mesa, Cortegoso, & Marthon, 2011)

#### 3.1 Metodologías para evaluar la transición energética a través de la prospectiva

Años atrás, el único método de prospectiva consistía en la extrapolación de tendencias del pasado. Actualmente, existen una amplia gama de métodos analíticos para comparar y clasificar tecnologías energéticas con perspectiva energética de sostenibilidad.

Las herramientas y softwares más comunes incluyen:

1. **Modelos de simulación de sistemas dinámicos:** Herramientas como Aspen HYSYS, MATLAB, DynaSim y EnergyPLAN son ampliamente utilizadas para modelar sistemas energéticos complejos y predecir su comportamiento a lo largo del tiempo.

2. **Análisis de escenarios:** Herramientas como MARKAL, LEAP, SimSEE y TimNet, se utilizan para simular diferentes escenarios energéticos y evaluar su impacto en el futuro.
3. **Modelos de soporte a la decisión:** Herramientas como @Risk, Crystal Ball y Stochastic Frontier Analysis, evalúan incertidumbres y riesgos en la prospectiva energética.
4. **Modelos de balance energético:** Herramientas como Balmorel y EnergyPLAN, son ampliamente utilizadas para modelar los flujos de energía en un sistema energético y evaluar su sostenibilidad.
5. **Modelos de análisis de ciclo de vida:** Herramientas como SimaPro y GaBi, son utilizadas para evaluar el impacto ambiental y el ciclo de vida de los sistemas energéticos.
6. **Métodos multicriterio** evalúan la transición energética en la prospectiva mediante distintos métodos. Estos métodos tienen en cuenta una amplia gama de criterios y permiten evaluar diferentes escenarios energéticos futuros en términos de sus implicaciones económicas, ambientales y sociales.

Algunos ejemplos de estos métodos son:

-Análisis multicriterio de decisiones (MCDA): Este método se utiliza para evaluar y seleccionar opciones de políticas energéticas a partir de una combinación de criterios, tales como, sostenibilidad, seguridad energética, eficiencia y asequibilidad.

-Matrices de análisis multicriterio (MCM): Este método utiliza matrices para representar y comparar diferentes opciones energéticas en términos de una serie de criterios, tales como impacto ambiental, costo y eficiencia.

-Análisis de sistemas de energía complejos (CESA): Este método se utiliza para analizar y modelar sistemas energéticos complejos, teniendo en cuenta una amplia gama de criterios, incluyendo eficiencia, sostenibilidad, seguridad energética y asequibilidad.

De todos estos métodos y herramientas mencionadas, destacan algunos debido a su gran uso en artículos científicos relacionados con la prospectiva energética:

### **Métodos multicriterio (MCDM)**

Una de estas tecnologías es MCDM (Multiple-criteria decision analysis), siendo ampliamente usado en proyectos energéticos. Por ejemplo, en el artículo *“Coding, evaluation and selection of thermal power plants- AMADM approach”* Garg y Kumar (Garg & Kumar, 2016) estudiaron diversas alternativas de centrales térmicas usando TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution) la cual se considera una técnica multicriterio.

En este mismo ámbito Terrados et al. (Terrados, Almonacid, & Leocadio, 2005) realizaron un artículo que trata sobre el uso de la planificación estratégica para impulsar el desarrollo de las energías renovables y la preservación del medio ambiente a nivel regional, específicamente en la provincia de Jaén en España. Se destaca la importancia de la participación y colaboración entre instituciones públicas y la aplicación de técnicas de gestión empresarial para diseñar un modelo energético sostenible. Se analiza la eficacia de las técnicas de análisis estratégico y se concluye que el análisis DAFO es una herramienta eficaz para diagnosticar problemas y esbozar futuras líneas de actuación.

Otra muestra del frecuente uso de esta técnica, se ve en un artículo llevado a cabo por Chatzimouratidis y Pilavachi (Chatzimouratidis & Pilavachi, 2008) donde evaluaron 10 tecnologías de generación de energía diferentes con respecto a cinco criterios medioambientales, a través del uso de AHP.

Kowalski et al. (Kowalski, Stagl, Madlener, & Omann, 2008) determinaron la tecnología energética más adecuada usando una técnica multicriterio MCDM y descubrieron que el gas natural es el mejor tipo de combustible. Beccali et al. (Beccali, Cellura, & Mistretta, 2003) aplicaron ELECTRE otra metodología MCDM para evaluar un plan de acción para la difusión de metodologías renovables a escala regional.

El artículo de Haralambopoulos y Polatidis (Haralambopoulos & Polatidis, 2002) describe un marco para el análisis de proyectos de energía renovable utilizando la técnica PROMETHEE. San Cristóbal (San Cristóbal, 2010) combinó AHP y VIKOR para seleccionar un proyecto de energía renovable que se adaptase a las políticas de energía en España e identificó la opción de biomasa como la mejor entre otras.

Para mencionar más métodos multicriterio utilizados en este ámbito se puede mencionar el análisis político, económico, social y tecnológico (PEST) o también se puede encontrar muchas investigaciones basadas en análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (DAFO). Para este tipo de métodos Terrados et al. (Terrados, Almonacid, & Pérez-Higueras, 2008) llevaron a cabo un artículo que propone una metodología para establecer estrategias a largo plazo y alcanzar un sistema energético sostenible en Andalucía, basado en recursos autóctonos y renovables. Se usan técnicas de análisis de decisión multicriterio y opinión de expertos. La metodología se aplicó a la provincia de Jaén para diseñar un plan de energías renovables estableciendo líneas estratégicas y objetivos a cumplir en 2010, con una contribución de fuentes renovables del 28,3% en términos de energía final.

### **Método Delphi**

Este enfoque se considera como uno de los métodos de prospectiva generales que tiene como objetivo, encontrar, analizar y reflexionar sobre un problema concreto mediante un grupo de expertos llegando así a un consenso.

Celiktas y Koca (Celiktas & Koca, 2010) . Se llevó a cabo una investigación que empleó el método Delphi para evaluar las perspectivas del sector en cuanto a la previsión de energías renovables.

Czaplicka et al. (Czaplicka-Kolarz, Stańczyk, & Kapusta, 2009) emplearon este método intuitivo y orientado hacia el futuro para la evaluación cualitativa y cuantitativa de la evolución futura y evaluación en su escala de tiempo. Zio y Maretti (Zio & Maretti, 2013) tratan de determinar qué fuentes de energías son las más aceptadas o preferidas por los sistemas políticos, opinión pública y mercado, así como, la dinámica de aceptabilidad que estas tienen en el cambio energético mundial. Para llevar a cabo este análisis, se usará (junto a el método AHP) la metodología Delphi.

Cascajo et al. (Cascajo, Molina, & Pérez-Rojas, 2022) realizaron un análisis los enfoques de diversos proyectos de energía mareomotriz y la tendencia futura de esta energía a través de la metodología Delphi.

### **Long-range Energy Alternatives Planning system (LEAP)**

Otra tecnología más actual y que ha sido cada vez más valorada en este ámbito es LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning system). LEAP es una herramienta informática destinada a la planificación de alternativas energéticas a largo plazo: análisis de política energética y evaluación de la mitigación de cambio climático. La herramienta LEAP se utiliza para realizar un seguimiento del consumo energético, la producción y la extracción de recursos en todos los sectores de una economía.

Este será el software empleado en el presente Trabajo Fin de máster debido a la versatilidad que presenta. LEAP ha sido también la herramienta base usada en muchas investigaciones para modelar la demanda de energía en una ciudad o región dada. Por ejemplo: Nieves et al. (Nieves, Aristizabal, Dyner, Baez, & Ospina, 2015) utilizaron el software LEAP como base para desarrollar un modelo y generar escenarios futuros con el objetivo de analizar la demanda energética y las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia.

Erum et al. (Erum, Shabbir, Urooj, Mohammad, & Sheikh, 2013) desarrollaron un modelo simple de transporte de pasajeros mediante LEAP. En este caso se utilizó para estimar la demanda total de energía y emisiones de los vehículos usando un año base y extrapolando los resultados a 2030 consiguiendo predicciones futuras.

A.Ates (A.Ates, 2015) exploró la eficiencia energética y el potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria siderúrgica en Turquía. Hu et al. (Hu, Ma, & Ji, 2019) llevan a cabo una combinación entre la planificación energética sostenible con el análisis económico en la ciudad de Shenzhen, China, proponiendo una forma de planificación energética urbana sostenible que podría reducir el consumo de energía con el mínimo coste económico.

Pan et al. (Pan, Xie, & Li, 2013) usan LEAP para planificar alternativas energéticas a largo plazo y predecir el efecto de reducción de los principales contaminantes atmosféricos y de los gases de efecto invernadero en 2010/2020.

A nivel nacional Gomez et al. (Gómez, Dopazo, & Fueyo, 2016) hicieron uso de LEAP para desarrollar un modelo LEAP que constaba de tres escenarios que permitieron segregar los costes de la crisis económica de la falta de planificación. García-Gusano et al. (García-Gusano & Iribarren, 2018) utilizan LEAP para modelar y evaluar la prospectiva energética del mix de producción eléctrica español.

## **MARKAL**

MARKAL es un modelo numérico usado para analizar económicamente diferentes sistemas relacionados con la energía a nivel nacional, para representar su evaluación durante un periodo de 40 a 50 años.

Una de las herramientas más exitosas en el campo de la modelización energética de las últimas décadas es el modelo de sistema energético MARKAL, desarrollado con el apoyo de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) a finales de la década de 1970. La aplicación del modelo ha seguido y actualmente se utiliza en casi 70 países y ha servido de base para el análisis de más de 90 artículos publicados y revisados en el periodo entre 2004 y 2014 (Taylor, Upham, McDowall, & Christopherson, 2014)

Zonooz et al. (Zonooz, Nopiah, Yusof, M, & Sopian, 2009) utilizaron esta aplicación en más de 40 países y por más de 80 instituciones, para realizar escenarios energéticos de Malasia.

Taylor et al. (Taylor, Upham, McDowall, & Christopherson, 2014) llevaron a cabo una investigación sobre el modelo MARKAL, destacando sus diversas aplicaciones, tales como el apoyo a la política energética y climática del gobierno, la realización de diversas funciones para grupos, y la integración del módulo en la comunidad de política energética, entre otras.

## **SimSEE**

SimSEE (Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica) es una plataforma que permite simular un sistema de generación a largo o corto plazo. SimSEE da la posibilidad a diferentes participantes del mercado simular operación futura añadiendo distintos tipos de pronósticos, análisis de la demanda eléctrica, precios de tecnologías y combustibles etc

Cornalino et al. (Cornalino, y otros, 2018) llevaron a cabo (a través de la plataforma SimSEE) un proceso de planificación y operación del sistema de energía eléctrica de Uruguay, con una capacidad eólica y solar, similar a la demanda máxima del sistema. Maciel et al. (Maciel, Vignolo, & Chaer, 2014) realizaron una estimación del factor de emisión de CO<sub>2</sub> del sistema eléctrico. SimSEE fue utilizado para modelar el sistema eléctrico uruguayo, evaluando el factor de emisión de CO<sub>2</sub> en el periodo de 2012 a 2020.

CP Jaramillo et al. (C.P.Jaramillo, Benitez, Echevarria, J.C.Cepeda, & H.N.Arcos, 2022) emplearon esta herramienta para investigar el despacho hidrotérmico y examinar el efecto de las centrales de energía renovable no convencional ERNC en el sistema eléctrico de Ecuador.

### **3.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible**

La prospectiva energética y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) están íntimamente relacionados, ya que la energía es esencial para el desarrollo sostenible y la consecución de los ODS. La prospectiva energética es una herramienta que ayuda a planificar y analizar el futuro del sector energético para fomentar un desarrollo sostenible, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar el acceso justo a la energía. Por otro lado, los ODS son un conjunto de metas de la ONU que buscan abordar desafíos globales, como el cambio climático y la promoción de energía limpia y accesible. La prospectiva energética puede contribuir a los ODS mediante la identificación de escenarios y políticas energéticas que permitan avanzar hacia un futuro más sostenible.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible fue aprobada por la Asamblea General de Naciones Unidas en 2015. La Agenda se compone de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 160 metas, que abordan aspectos económicos, sociales y ambientales para lograr un desarrollo sostenible.

Estos objetivos tienen como finalidad acabar con la pobreza, cuidar el planeta y velar por un futuro viable para el año 2030. Dentro de este marco de objetivos, hay varios que tienen un carácter energético y, por ello serán motivo de estudio ya que guarda relación con la Estrategia Energética de la región de interés.

Principalmente los objetivos que se podrían tener en cuenta son:

- ODS 7: Garantizar el acceso a energías asequibles, seguras y modernas para todos.
- ODS 11: Hacer de las ciudades y los asentamientos humanos lugares inclusivos, seguros, resistentes y sostenibles.
- ODS 12: Asegurar un consumo y producción sostenibles.
- ODS 13: Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos negativos.
- ODS 14: Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos.

Finalmente, se examinarán el ODS 7 y 13 ya que, tras haber analizado todas sus metas, son los dos que guardan mayor relación con la energía.

## **ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos**

- Meta 7.1 Garantizar acceso universal a energía.

De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.

- Meta 7.2 Aumento de las energías renovables.

De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.

- Meta 7.3 Duplicar la tasa de eficiencia energética.

De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

- Meta 7.A Aumento de la investigación e inversión en energías limpias.

De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

- Meta 7.B Ampliar la infraestructura y tecnología en países en desarrollo

De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

## **ODS 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.**

- Meta 13.1 Fortalecimiento de la resiliencia y adaptación.

Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación, a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países

- Meta 13.2 Incorporación del cambio climático en políticas, estrategias y planes nacionales.

Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales

- Meta 13.3 Mejora de la Educación y sensibilización medioambiental.

Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana

- Meta 13.A Movilización de recursos económicos.

Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible

- Meta 13.B Gestión cambio climático en los países menos avanzados.

Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas.

En la Conferencia Mundial sobre el Cambio Climático COP21 en París, al final del año pasado, 195 países firmaron un acuerdo climático global con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C. En marzo de 2020, el Consejo Europeo aprobó una estrategia a largo plazo para desarrollar una economía de baja emisión de gases de efecto invernadero en la Unión Europea.

### **3.2.1 Indicadores de los ODS**

Los ODS poseen un mecanismo para monitorear y evaluar el progreso logrado para identificar tendencias positivas, áreas de mejora o necesidad de adaptación para la aplicación de políticas con 17 Objetivos sostenibles y 169 metas.

Para ello, un desafío de la Agenda 2030 es el seguimiento de los ODS a través de un sistema de indicadores que abarque todas las dimensiones de los ODS. El objetivo es cuantificar y medir los avances en la Agenda 2030 y los 17 objetivos fijados por Naciones Unidas. Llevar esta medición a partir de indicadores permite tener un conocimiento sobre los objetivos que van más adelantados y aquellos que no progresan. Desde el año 2019 se ha evaluado de forma independiente los países de la unión europea y se ha advertido de que estos no están progresando de manera positiva hacia la consecución de los ODS y, debido a esto, se necesitará mayores inversiones a largo plazo.

Los indicadores establecidos por naciones unidas para cada una de las metas del objetivo 7 y 13 son los siguientes:

<b>OBJETIVO 7-Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.</b>	
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>
<b>7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos</b>	7.1.1 Proporción de la población que tiene acceso a la electricidad
	7.1.2 Proporción de la población cuya fuente primaria de energía son los combustibles y tecnologías limpias
<b>7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas</b>	7.2.1 Proporción de energía renovable en el consumo final total de energía
<b>7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética</b>	7.3.1 Intensidad energética medida en función de la energía primaria y el PIB
<b>7.a De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias</b>	7.a.1 Corrientes financieras internacionales hacia los países en desarrollo para apoyar la investigación y el desarrollo de energías limpias y la producción de energía renovable, incluidos los sistemas híbridos
<b>7.b De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo</b>	7.b.1 Capacidad instalada de generación de energía renovable en los países en desarrollo (expresada en vatios per cápita)

*Tabla 2. Indicadores establecidos para el ODS 7 por Naciones Unidas  
Fuente: INE y Elaboración propia*

<b>OBJETIVO 13-Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos</b>	
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>
<b>13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países</b>	13.1.1 Número de personas muertas, desaparecidas y afectadas directamente atribuido a desastres por cada 100.000 personas
	13.2.2 Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año
	13.1.3 Proporción de gobiernos locales que adoptan y aplican estrategias locales de reducción del riesgo de desastres en consonancia con las estrategias nacionales de reducción del riesgo de desastres
<b>13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales</b>	13.2.1 Número de países con contribuciones determinadas a nivel nacional, estrategias a largo plazo y planes y estrategias nacionales de adaptación y estrategias indicadas en comunicaciones sobre la adaptación y comunicaciones nacionales
	13.2.2 Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año
<b>13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana</b>	13.3.1 Grado en que i) la educación para la ciudadanía mundial y ii) la educación para el desarrollo sostenible se incorpora en a) las políticas nacionales de educación, b) los planes de estudio, c) la formación del profesorado y d) la evaluación de los estudiantes
<b>13.a Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible</b>	13.a.1 Cantidades proporcionadas y movilizadas en dólares de los Estados Unidos al año en relación con el objetivo actual mantenido de movilización colectiva de 100.000 millones de dólares de aquí a 2025

<p><b>13.b Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas</b></p>	<p>13.b.1 Número de países menos adelantados y pequeños Estados insulares en desarrollo con contribuciones determinadas a nivel nacional, estrategias a largo plazo y planes, estrategias nacionales de adaptación y estrategias indicadas en comunicaciones sobre la adaptación y comunicaciones nacionales</p>
--	--

*Tabla 3. Indicadores establecidos para el ODS 13 por Naciones Unidas  
Fuente: INE y Elaboración propia*

### 3.2.2 Indicadores aplicables a regiones

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, los indicadores son necesarios para realizar una evaluación continua a los objetivos y sus correspondientes metas acordadas.

La finalidad del presente Trabajo Fin de Máster es poder analizar la situación energética de la Comunidad Autónoma de Andalucía y, en este apartado, con respecto a los ODS. La Junta de Andalucía lleva realizando un seguimiento continuo y exhaustivo de los ODS para poder evaluarlos en la región. De todos los indicadores expuestos en la tabla. La Junta de Andalucía ha considerado los siguientes:

<p><b>OBJETIVO 7-Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.</b></p>	
<p><b>META</b></p>	<p><b>INDICADOR</b></p>
<p><b>7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos</b></p>	<p>- -</p>
<p><b>7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas</b></p>	<p>7.2.1 Proporción de energía renovable en el consumo final total de energía</p>
<p><b>7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética</b></p>	<p>7.3.1 Intensidad energética medida en función de la energía primaria y el PIB</p>
<p><b>7.a De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de</b></p>	<p>-</p>

<b>combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias</b>	
<b>7.b De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo</b>	-

*Tabla 4. Indicadores establecidos por la ONU y la Junta de Andalucía para el ODS 7  
Fuente: Junta de Andalucía y Elaboración Propia*

<b>OBJETIVO 13-Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos</b>	
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>
<b>13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países</b>	-
	-
	-
<b>13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales</b>	-
	13.2.2 Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año
<b>13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana</b>	-
<b>13.a Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible</b>	-
<b>13.b Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo</b>	

<b>particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas</b>	-
---	---

*Tabla 5. Indicadores establecidos por la ONU y la Junta de Andalucía para el ODS 13  
Fuente: Junta de Andalucía y Elaboración propia*

Es evidente el escaso número de indicadores propuestos por Naciones Unidas que Andalucía estudia para evaluar las metas de los ODS que guardan relación con la energía. Es por ello, que se ha realizado una selección más amplia teniendo en cuenta indicadores no solo establecidos por Naciones Unidas, sino por otros organismos que también son de relevancia. Eurostat ha definido aún más su propio marco de indicadores para los ODS, alguno de estos se encuentra alineados con los indicadores globales de la ONU y otros son indicadores parciales. En la siguiente tabla se muestran dichos indicadores:

<b>OBJETIVO 7-Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.</b>	
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>
<b>SIN META ASIGNADA</b>	Consumo de energía primaria (Millones de toneladas equivalentes de petróleo)
	Consumo de energía primaria (Índice base 2005)
	Consumo de energía final (Millones de toneladas equivalentes de petróleo)
	Consumo de energía final (Índice base 2005)
	Consumo final de energía en los hogares per cápita
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Total
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Transportes
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Electricidad
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Calefacción y refrigeración
	Productividad energética (euros por kilogramo equivalente de petróleo)
	Productividad energética (Paridad en poder adquisitivo por kg equivalente de petróleo)
	Dependencia de la importación de energía por productos. Total
	Dependencia de la importación de energía por productos. Hulla y derivados

	Dependencia de la importación de energía por productos. Todos los productos petrolíferos
	Dependencia de la importación de energía por productos. Gas natural
	Intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero del consumo de energía

Tabla 6. Indicadores establecidos por Eurostat y la Junta de Andalucía para el ODS  
Fuente: Junta de Andalucía y Elaboración propia

<b>OBJETIVO 13-Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos</b>	
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>
<b>SIN META ASIGNADA</b>	Emisiones de gases de efecto invernadero por sector fuente. Total (excluyendo el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura-UTCUTS- y las partidas informativas, incluida la aviación internacional) Índice base 1990
	La cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero por sector fuente se mide en toneladas de CO2 equivalente por habitante, excluyendo el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS) y las partidas informativas, incluyendo la aviación internacional.
	Intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero del consumo de energía
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Total
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Transportes
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Electricidad
	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Calefacción y refrigeración
	Población cubierta por los firmantes del Pacto de alcaldes por el Clima y la Energía
	Población cubierta por los firmantes del Pacto de alcaldes por el Clima y la Energía

Tabla 7. Indicadores establecidos por Eurostat y la Junta de Andalucía para el ODS 13  
Fuente: Junta de Andalucía y Elaboración propia

Otro organismo que también ha desarrollado un seguimiento y análisis a nivel nacional de la evolución de los ODS es REDS (Red Española para el Desarrollo Sostenible). Los indicadores más relevantes han sido:

<b>OBJETIVO 7-Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.</b>	
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>
SIN META ASIGNADA	Reducción del Gasto en Alumbrado Público
	Impacto del Gasto en Electricidad sobre la Renta
	Energía Renovable
	Índice de calidad de Suministro eléctrico

*Tabla 8. Indicadores establecidos por REDS y la Junta de Andalucía para el ODS 7  
Fuente: Junta de Andalucía y Elaboración propia*

<b>OBJETIVO 13-Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos</b>	
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>
SIN META ASIGNADA	Emisiones de CO2 por Habitante
	Emisiones de CO2 por Edificios e Industria
	Emisiones de CO2 por Transporte
	Pacto de alcaldes
	Concentración de NO2
	Concentración de O3
	Concentración de PM10
	Superación de Límites de PM10
	Media Anual de PM10

*Tabla 9. Indicadores establecidos por REDS y la Junta de Andalucía para el ODS 13  
Fuente: Junta de Andalucía y Elaboración propia*

### 3.2.3 Selección de Indicadores más relevantes

Una vez se ha analizado los distintos tipos de indicadores, necesarios para la evaluación del cumplimiento por parte de la región de estudio, se pasa a seleccionar los más relevantes para la posterior comparación con el modelo y los respectivos resultados arrojados por el software LEAP.

La elección de los indicadores clave se ha realizado considerando su relevancia y utilidad para el estudio, y su capacidad de proporcionar información relevante y concreta para la evaluación del cumplimiento de los objetivos energéticos. Además, se ha tenido en cuenta su disponibilidad y accesibilidad para facilitar el posterior análisis de los resultados obtenidos. En siguiente tabla aparece los distintos indicadores claves:

<b>Meta asignada</b>	<b>ODS 7</b>	<b>Meta asignada</b>	<b>ODS 13</b>
<b>7.2 -De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas</b>	Proporción de energía renovable en el consumo final total de energía	<b>13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales</b>	Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año
<b>Sin meta asignada</b>	Consumo de energía primaria (Índice base 2005)	<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía final procedente de fuentes renovables.
<b>Sin meta asignada</b>	Consumo de energía final (Índice base 2005)	-	-

*Tabla 10. Selección de los Indicadores más relevantes  
Fuente: Elaboración Propia*

### **3.3 Marco estratégico con respecto a los ODS**

Para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y con la trayectoria política energética de Unión Europea, Andalucía lleva a cabo una planificación energética la cual se basa en llegar a una transición energética cuyo principal objetivo es conseguir la neutralidad climática en 2050.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático COP21, se llegó a un acuerdo mundial en el que los 195 países participantes se comprometieron a mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2°C como objetivo a largo plazo.

Andalucía tiene como objetivo alcanzar la neutralidad de emisiones en 2050, y su planificación energética sigue la senda de la política energética de la Unión Europea. En 2020, la Unión Europea acordó una estrategia de largo plazo para desarrollar una economía baja en emisiones de gases de efecto invernadero, lo que es coherente con la estrategia de Andalucía.



Ilustración 3. Objetivos energéticos a nivel Internacional, nacional y regional (Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030)

### 3.3.1 Directrices europeas

La UE establece líneas de actuación para lograr la transición energética a través de la eficiencia energética, una mayor participación de las energías renovables y mercados energéticos integrados e interrelacionados.

Para lograr esta transición, la Unión Europea ha propuesto tres marcos estratégicos:

- Marco estratégico a corto plazo: Conjunto de acciones y políticas relacionadas con el clima y la energía que se llevarán a cabo hasta el año 2020.

A continuación, se muestra en la tabla los distintos objetivos establecidos para 2020 y su evaluación en el año previo:

Objetivo para 2020	Datos 2019	Grado de cumplimiento
Se pretende disminuir el consumo de energía primaria en un 20% en comparación con el escenario tendencial del año 2007.	Aporte de renovable se cifra en un 18,9 %	94,5%

Se propone que el consumo final bruto de energía tenga una contribución del 20% de fuentes de energía renovable.	Reducción de consumo final en un 16,3%	81,5%
Reducción en un 20% de las emisiones de CO2 respecto a 1990	Reducción de un 24% las emisiones	120%

*Tabla 11. Objetivos establecidos para 2020 y seguimiento  
Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030*

-Marco estratégico a medio plazo: Marco sobre el clima y Energía 2030

Se han establecido planes y estrategias específicas para lograr los objetivos establecidos por la Unión Europea en materia de energía y cambio climático para el año 2030.. Estas medidas incluyen una reducción de al menos el 40% en las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los niveles de 1990, un aporte de energía renovable de al menos el 32% del consumo final bruto de energía y un mínimo del 14% de energías renovables en el sector de transporte, así como una reducción del consumo de energía primaria en un 32,5% en comparación con la tendencia actual.

-Marco estratégico a largo plazo: Estrategia a largo plazo para 2050

Un conjunto de medidas conocido como el Pacto Verde Europeo busca alcanzar la neutralidad climática en 2050El conjunto de medidas incluye una estrategia que busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 50% para el año 2030 en comparación con los niveles registrados en 1990.

### **3.3.2 Directrices españolas**

El gobierno de España, estableció en 2019 su Estrategia de Energía y clima donde el establecimiento de metas para el año 2030 eran:

- El objetivo es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 23% en comparación con los niveles de emisión de 1990.
- Mejora en la eficiencia energética de 39,5%

Casi las tres cuartas partes de la producción de energía eléctrica provendrían de fuentes renovables en este escenario energético.

Dentro de esta estrategia, se encuentran documentos importantes como:

-Ley7/2021 de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición energética

-La estrategia de Transición Justa

-Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.

Otro documento importante a destacar es la aprobación de la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo en 2050, la cual tiene como objetivo reducir en un 90% Las emisiones de gases contaminantes en comparación a los niveles registrados en 1990. Para lograrlo, se requiere que el sistema energético sea completamente alimentado por energías renovables, lo que permitiría alcanzar un sistema eléctrico de 100% renovable. Además, se espera una reducción adicional del 40% en las debido a medidas y políticas de mejora de la eficiencia energética, cambios en los hábitos y prácticas de economía circular.

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
Aplicación al sistema energético andaluz

## 4. Análisis del sistema energético Andaluz

En este capítulo se realizará un estudio del sistema energético de Andalucía a través de una revisión bibliográfica para terminar viendo su situación con respecto a los objetivos sostenible ODS. Se llevará a cabo la recopilación de datos estadísticos, bibliográficos y sectoriales del sistema energético Andaluz.

Se ha de mencionar los documentos informativos sobre el estado energético andaluz de donde se ha extraído toda la información:

-En primer lugar, para conocer los datos a nivel energético del año base que se ha seleccionado (2019) y las tendencias energéticas y la evolución que debe de tener la comunidad Autónoma y la planificación que hará esto posible se ha utilizado en todo momento “Estrategia Andaluza de Andalucía 2030” documento elaborado por la Junta de Andalucía y de la mano de la Agencia Andaluza de la Energía.

- Para adquirir la información de las diferentes infraestructuras presentes y futuras en Andalucía, el documento base ha sido el “Informe de Infraestructuras Energéticas Andalucía” elaborado por la Junta de Andalucía.

-Por último, el estado de Andalucía frente a los ODS ha sido también uno de los puntos que abarca este capítulo. Para ello se ha hecho uso de diferentes documentos, entre los que destaca la propia página web de Naciones Unidas. De esta página se ha extraído la información sobre los distintos objetivos sostenibles y las metas de cada uno de ellos. Para conocer el seguimiento de los ODS se ha tenido en consideración la información que aparece en la página web de la Junta de Andalucía, más concretamente la sección de “Sistemas de Indicadores de Desarrollo Sostenible de Andalucía para la Agenda 2030”.

### 4.1 Introducción

El sistema energético de Andalucía se encuentra adaptado a las necesidades de sus habitantes. Se busca su desarrollo para mejorar el nivel de vida y, además, para un desarrollo económico equilibrado. Al ser un sistema energético, está limitado por elementos como: su historia y evolución, demandas sociales, avance en la tecnología, influencia política a nivel internacional, nacional o regional etc.

Andalucía cuenta con un conjunto de normas y planes establecidos para el sector energético, enfocados en aumentar el uso de energías renovables, promover la conservación y eficiencia energética, y desarrollar infraestructuras acordes a los objetivos de la Unión Europea. En 2007 se aprobó la ley de fomento de las energías renovables y conservación de la energía y eficiencia, en la que se da prioridad al ahorro de energía, la utilización de fuentes renovables y la eficiencia energética.

Andalucía cuenta con una gran cantidad de recursos renovables, motivo por el cual se han llevado a cabo diferentes trabajos de planificación energético para llegar a su aprovechamiento.

Se han aprobado dos planes de planificación energética en la Junta de Andalucía desde 1995: el Plan Energético de Andalucía 2003-2006 (PLEAN) y el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (PASENER). Se continúa con la estrategia energética de Andalucía 2020, donde se plantea objetivos para el cumplimiento de los objetivos europeos de ahorro energéticos siendo, estos principalmente, el aumento del uso de energías renovables y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Se ha elaborado una estrategia energética que está en línea con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París, el Marco Europeo sobre Clima y Energía 2030 y el Pacto Verde Europeo, y también con políticas nacionales y regionales en Andalucía, como la Ley de Fomento de las Energías Renovables y del Ahorro Eficiencia Energética. Otro ejemplo sería la legislación destinada a abordar el cambio climático y fomentar la transición hacia un modelo energético más sostenible. La estrategia identifica barreras, necesidades y prioridades para su implementación.

Se busca con la Estrategia Energética de Andalucía 2030 fomentar un modelo energético sostenible, eficiente y sin emisiones de carbono, con el uso de los recursos renovables de la región como el eje central.

## **4.2 Infraestructuras energéticas en Andalucía**

Gracias a la Estrategia Energética de Andalucía 2030, de acuerdo con las directrices energéticas acordadas, se potenciará las energías renovables como centro del modelo energético. Esto dará lugar a un mayor y eficiente aprovechamiento de los recursos con los que ya cuenta la región aumentando el bienestar de las personas y dando lugar a un crecimiento económico.

Debido a este motivo, en Andalucía se han desarrollado infraestructuras energéticas de importancia:

- Construcción de gaseoductos
- Aumento en la construcción de instalaciones de generación eléctrica con energías renovables
- Establecimiento de ciclos combinados
- Expansión de redes eléctricas de transporte y distribución
- Fábricas de biocarburantes y pellets como industrias de transformación de energía, complementando a las refinerías de petróleo ya existentes.

Andalucía cuenta con una capacidad energética total de 17227MW, dividida en diferentes fuentes de energía, entre las que se encuentran un 35% de ciclos combinados de gas, un 52% de energías renovables, un 5% de térmicas de carbón y cogeneración, y un 3% de centrales de bombeo. En la última década, la potencia instalada de energías renovables ha aumentado un 66%, especialmente en instalaciones solares fotovoltaicas y térmicas, y parques

eólicos. Además, la presencia de instalaciones conectadas a la red para autoconsumo ha aumentado en los últimos años, lo que aumenta la participación de las renovables en la generación de energía.

La energía térmica también ha presentado un aumento en la región de estudio. Actualmente Andalucía es la Comunidad Autónoma con más superficie solar. Con relación al uso térmico con biomasa se mantiene líder en instalaciones de biomasa térmica destinada al sector residencial y servicios. En cuanto a la energía geotérmica se está haciendo cada vez más presente.

En cuanto a la infraestructura energética de Andalucía, la capacidad de procesamiento de crudo es de 22,5 millones de toneladas al año, mientras que la producción de biocombustibles alcanza las 1273,78 kilotoneladas al año y la de pellets es de 59,52 ktep. El transporte eléctrico está bien conectado en todas las direcciones, incluyendo dos conexiones con Marruecos y una con Portugal. La red de transmisión mide 6.071 km, lo que representa un aumento del 9,9% desde 2010, y la distribución es gestionada por 71 empresas, siendo E-distribución Redes Digitales S.L.U. (anteriormente Endesa) el mayor proveedor de servicios.

Una de las características del sistema de gas natural en Andalucía es la presencia de importantes instalaciones que incluyen conexiones internacionales como la conexión Magreb-Europa y la conexión Medgaz, así como una instalación para el tratamiento y almacenamiento de gas a través de gaseoductos. En cuanto a las redes, la región cuenta con una red de transporte de gas natural de aproximadamente 2.384 km y una red de distribución de alrededor de 7.611 km.

#### **4.2.1 Infraestructuras para la gestión de la transmisión y distribución de energía eléctrica.**

La región de Andalucía cuenta con una red eléctrica de transporte bien estructurada que la conecta con las regiones del norte, Extremadura y Castilla-La Mancha, así como con la costa mediterránea de Murcia. Además, tiene dos conexiones con el sur de Marruecos y una conexión con el oeste de Portugal.

La red interna de transporte eléctrico en Andalucía se compone de cinco ejes de 400 kV que incluyen dos ejes verticales (Algeciras-Sevilla y Málaga-Córdoba-Jaén), dos ejes horizontales (Algeciras-Almería y Sevilla-Portugal), y un eje diagonal que conecta las subestaciones de Arcos, La Roda, Cabra y Guadame, además de un ramal hacia Palos de la Frontera. Estos ejes cuentan con subestaciones de 400kV y diecisiete de 400/220kV.

En cuanto a la red de distribución se trata de una red muy amplia, propiedad de 71 distribuidores en Andalucía, aunque casi el 100% pertenezca a E-distribución de Redes Digitales S.L.U. (antes denominada Endesa). La red se apoya en una red de transmisión y se clasifica como red de alta o media tensión. En ciertas áreas de Andalucía oriental, la red de 132 kV se extiende en una longitud de 300 km sin la ayuda de subestaciones de alta tensión. Este eje de 132 kV es el que

conecta los extremos de Carboneras-Vera-Baza-Quesada-Úbeda-Linares-Andújar.

	<b>Andalucía</b>
Subestaciones 400 kV (nº)	23
Subestaciones 220 kV (nº)	72
Subestaciones distribución (AT)	437
Líneas 400 kV (km)	2.645
Líneas 220 kV (km)	3.426
Líneas distribución AT (km)	9.700
Líneas distribución MT (km)	50.825
Trafos 400/220 kV (MVA)	14.450
Trafos distribución (AT/AT) (MVA)	16.105
Trafos distribución (AT/MT) (MVA)	18.717

*Tabla 12. Infraestructuras de transporte y distribución a 31/12/2021*

*Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía” Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía*

## **4.2.2 Generación eléctrica no renovable**

### **-Centrales térmicas**

Las centrales térmicas son las que, por norma general, usan como materia prima combustibles fósiles. En función de la fuente de energía primaria se puede considerar los siguientes tipos de centrales:

- Centrales térmicas de carbón
- Ciclos combinados
- Centrales de bombeo

Potencia instalada a diciembre 2021				Municipio	Potencia (MW)	
Térmica	Carbón	Importación	Los Barrios (1)	Los Barrios	570	
			Litoral (2)	Carboneras	0	
		Nacional	Puente Nuevo (3)	Espiel	300	
	<b>Total carbón</b>					<b>870</b>
	Ciclo combinado	San Roque		San Roque		792
		Arcos		Arcos de la Frontera		1.585
		Campo de Gibraltar		San Roque		781
		Palos		Palos de la Frontera		1.167
		Cristóbal Colón		Huelva		391
		Málaga		Málaga		416
		Algeciras		San Roque		821
	<b>Total ciclo combinado</b>					<b>5.953</b>
	<b>Total térmica</b>					<b>6.823</b>
Bombeo	Guillena		Guillena		210	
	Tajo		Ardales		360	
<b>Total bombeo</b>					<b>570</b>	
<b>Total generación no renovable</b>					<b>7.393</b>	

Tabla 13. Potencia total instalada en diciembre de 2021

(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía)

## -Cogeneración

La cogeneración es una técnica que permite producir simultáneamente electricidad o energía mecánica y calor que puede ser utilizado en diversos procesos. Además de contribuir al ahorro económico, ya que se evita la necesidad de comprar electricidad y se reduce el gasto en la generación de calor al aprovechar el calor residual generado por la producción de energía eléctrica, esta técnica es respetuosa con el medio ambiente. En Andalucía existen actualmente 87 instalaciones de tecnología combinada de calor y electricidad, con una potencia instalada total de 893,29 MW.

La mayoría de cogeneraciones en Andalucía usan gas natural como combustible, seguido de gasóleo. En otros casos, pero en menor medida, también calor residual y fueloil como fuente de energía.

Fuente de energía	Andalucía [MW]	% Fuente
Calor Residual	11,52	1,29%
Gas Natural	699,08	78,26%
Gas de Refinería	57,00	6,38%
Gasóleo	20,04	2,24%
Fueloil	105,65	11,83%
<b>TOTAL</b>	<b>893,29</b>	<b>100%</b>

(\*) Incluye instalaciones de cogeneración para tratamiento y reducción de residuos  
Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

Tabla 14. Características principales de la potencia de cogeneración a 30/06/2022

(Fuente: "Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía)

Potencia	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
TOTAL	908,75	893,75	894,41	894,45	894,69	894,93	894,93	893,29

Tabla 15. Evolución anual de cogeneración (MW)

(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía)

## -Centrales de residuos

Se puede afirmar que en la región de Andalucía hay 3 centrales eléctricas que funcionan con residuos no renovables, lo que en conjunto produce una potencia total de 51,29 MW. Una de ellas, con una potencia instalada de 2,72 MW, se encuentra en la provincia de Sevilla y utiliza gas como combustible, mientras que las otras dos funcionan con derivados del petróleo y tienen una capacidad combinada de 48,57 MW.

### 4.2.3 Generación eléctrica renovable

Las energías renovables representaron el 52% de la electricidad total de Andalucía a finales de 2021, lo que sitúa a esta comunidad como líder en capacidad instalada. A continuación, se desglosan las tecnologías de generación eléctrica renovable existentes en Andalucía, que se sitúan en 9.347,04 MW a 30 de junio de 2022, con un incremento del 11,1% respecto al año anterior:

-Andalucía se sitúa a la cabeza de España en la producción de energía eléctrica a partir de biomasa, contando con 17 instalaciones y una potencia instalada de 273,98 MW. Esto se debe en gran medida al potencial de cultivo del olivo y a las industrias relacionadas con esta actividad en la región.

-La potencia total en la región es de 3.533,97 megavatios, de los cuales los parques eólicos generan 3533,69 megavatios, dos aerogeneradores con una potencia total de 0,01 megavatios están conectados a la red para uso autoconsumo y 0,26 megavatios en instalaciones mini eólicas aisladas.

En Andalucía, la energía hidroeléctrica no tiene la misma importancia que otras fuentes de energía renovable debido al clima seco de la región, lo que prioriza el abastecimiento de la población, el riego y las necesidades hídricas agrícolas por encima del consumo energético. La región cuenta con un total de 94 centrales eléctricas en funcionamiento, con una potencia instalada de 650,00 MW, incluyendo 0,2 MW correspondientes a instalaciones aisladas de la red.

-En Andalucía se llevó a cabo la instalación de la primera planta termosolar eléctrica. Actualmente cuenta con 22 plantas termosolares de diferentes tipos, convirtiéndose así en la comunidad autónoma con mayor potencia instalada con 997,40 MW.

- Andalucía cuenta con una capacidad fotovoltaica conectada a red de 3843,42 MW y 10,32 MW en sistemas aislados. Durante la última década se ha difundido esta tecnología renovable a través de las instalaciones fotovoltaicas tanto en

edificios públicos como privados. También se ha dado un crecimiento en las pequeñas centrales fotovoltaicas (de 2MW a 10 MW de potencia) y en las centrales de hasta 200 MW.

-En Andalucía, se estima que 45.601 instalaciones (con una potencia de 607 MW) de autoconsumo están conectadas a la red eléctrica, es decir, los consumidores de la red producen su propia electricidad (principalmente a partir de energía solar) para su propio consumo y para reducir las facturas de electricidad.

-Andalucía también cuenta con una planta de energía renovable que aprovecha la diferencia de temperatura entre el gas natural licuado GNL y el medio ambiente (especialmente el Océano Atlántico) para generar electricidad a partir de la energía sobrante. La planta utiliza tecnología de cogeneración de extremo a extremo y está clasificada como unidad térmica marina (catalogada por la CNMC como "otras tecnologías de energía renovable". La planta es de 4,5 MW y se encuentra ubicada en Huelva.

*Datos generales potencia eléctrica renovable (MW) (30/06/2022)*

Tecnología	Andalucía
Biogás Generación Eléctrica (*)	33,45
Biomasa Generación Eléctrica	273,98
Eólica (*)	3.533,97
Fotovoltaica (*)	3.853,74
Hidroeléctrica (*)	650,00
Termosolar	997,40
Otras tecnologías renovables	4,50
<b>Total</b>	<b>9.347,04</b>

(\*) Conectada a red + aislada.

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

*Tabla 16. Información general sobre la potencia eléctrica renovable instalada (MW) (30/06/2022)*

*(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía)*

Andalucía	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Biogás Generación Eléctrica (*)	29,82	29,82	30,75	30,75	31,53	33,45	33,45	33,45
Biomasa Generación Eléctrica	257,48	257,48	257,48	257,48	227,98	273,98	273,98	273,98
Eólica (*)	3.323,79	3.324,30	3.324,31	3.324,31	3.324,61	3.448,34	3.471,97	3.515,47
Fotovoltaica (*)	884,2	885,16	888,3	889,54	897,08	1.808,24	2.672,10	3.466,02
Hidroeléctrica (*)	617,39	620,68	620,68	620,68	620,81	649,9	650,00	650,00
Termosolar	997,4	997,4	997,4	997,4	997,4	997,4	997,4	997,40
Otras tecnologías renovables	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>Total</b>	<b>6.114,58</b>	<b>6.119,34</b>	<b>6.123,42</b>	<b>6.124,66</b>	<b>6.103,91</b>	<b>7.215,81</b>	<b>8.103,4</b>	<b>8.940,82</b>

(\*) Conectada a red + aislada. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía.

Tabla 17. Crecimiento anual de la capacidad de generación de energía renovable en Andalucía (MW)

(Fuente: "Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía)

## 4.2.4 Generación térmica renovable

### -Solar térmica

Andalucía cuenta con la mayor cantidad de colectores solares instalados en comparación con otras comunidades autónomas en España. El área instalada a 30 de junio de 2022 es de 1135231 m<sup>2</sup>.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Andalucía (ktep)	514,5	875,05	518,2	685,8	664,96	567,36	716,16	488,93

Tabla 18. Superficie solar térmica total instalada. Evolución anual m<sup>2</sup>

(Fuente: "Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía)

### -Biomasa para uso térmico

Andalucía ocupa la primera posición a nivel nacional en consumo de biomasa destinado a la producción de energía térmica. La comunidad posee un aprovechamiento industrial muy importante debido a la industria oleícola que tiene conocimientos sobre el aprovechamiento de residuos en la extracción del aceite. Por este motivo el consumo de biomasa varía en función de la actividad oleícola. En 2020 se estima que el aprovechamiento térmico fue de 32% menos que en 2019 coincidiendo con la alta actividad de factorías de olivo en este año.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Andalucía</b>	932.462	994.128	1.018.062	1.034.572	1.050.646	1.081.992	1.103.303	1.124.424
<b>España</b>	3.348.055	3.589.221	3.802.293	3.993.360	4.202.770	N.D.	N.D.	N.D.
<b>% Andalucía</b>	27,85%	27,70%	26,77%	26,00%	25,00%	N.D.	N.D.	N.D.

Tabla 19. Evolución del Uso de biomasa y biogás como fuentes de energía térmica (ktep/año)

(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía” Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía)

Andalucía posee alrededor de 28050 instalaciones de biomasa destinados a usos térmicos lo que supone una potencia térmica de 1814 MW. Un ejemplo de estas instalaciones es: estufas, secaderos, calderas etc

#### 4.2.5 Geotermia

La tecnología geotérmica aprovecha el calor del suelo para generar energía térmica y producir agua caliente, y su uso está en una fase temprana de desarrollo. En Andalucía, esta tecnología tiene una capacidad instalada de 10.383 kW para la generación de calor y frío, con un aumento en la proporción de energía renovable utilizada para cubrir la demanda de calefacción hasta alcanzar los 4.846 kW.

#### 4.2.6 Infraestructuras de gas y petróleo

##### -Gas

Debido a su posición geográfica, Andalucía desempeña un papel fundamental en el suministro de gas natural al sistema energético nacional y europeo. Esto se debe a la presencia de dos puntos estratégicos de entrada de gas procedente de Argelia: el gaseoducto internacional Magreb-Europa, que conecta con la red nacional en Tarifa, y el gaseoducto internacional Medgaz, que conecta con la red nacional en Almería.

En Palos de la Frontera se ubica la segunda planta de almacenamiento de gas natural más grande del país. Además de almacenamiento de gas también se considera una planta de recepción y regasificación.

Otro aspecto a destacar son los recursos de gas natural disponibles en Andalucía, que se emplean tanto para el abastecimiento de la red nacional de gas como para la generación directa de energía eléctrica.

<b>Infraestructuras (Diciembre 2021)</b>	<b>Número</b>
Red de Transporte Primario (P>=60 bar)	2.102 km
Red de Transporte Secundario (60>P>16 bar)	282 km
<b>Total Red de Transporte</b>	<b>2.384 km</b>
<b>Total Red de Distribución (P&lt;=16 bar)</b>	<b>7.611 km</b>
- Planta de Regasificación	1
- Estaciones de Compresión	2
- Yacimientos	4
- Almacenamientos Subterráneos	1
- Conexiones Internacionales	2

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

*Tabla 20. Infraestructuras de gas en Andalucía*

*(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía y Agencia Andaluza de la energía)*

### **-Red de transporte de gas natural**

En 2014 se llevó a cabo el gasoducto "Huerca-Overa-BazaGuadix" con una longitud de 134 km. En el año 2017 se puso en servicio el eje de gasoductos "Villacarrillo-Villanueva del Arzobispo-Castellar" que permitió la distribución de gas en la provincia Jiennense. A primeros de 2021 y como continuación del gasoducto se puso en funcionamiento un nuevo ramal "Villanueva del Arzobispo-Puente de Génave".

A finales del año 2021 la longitud total de red de gasoductos en Andalucía era de 2384 km, destacando los gasoductos:

- "Huelva-Sevilla-Córdoba-Madrid"
- "Huelva-Sevilla-Villafranca de Córdoba-Santa Cruz de Mudela"
- "Tarifa-Córdoba"
- "Córdoba-Jaén-Granada".

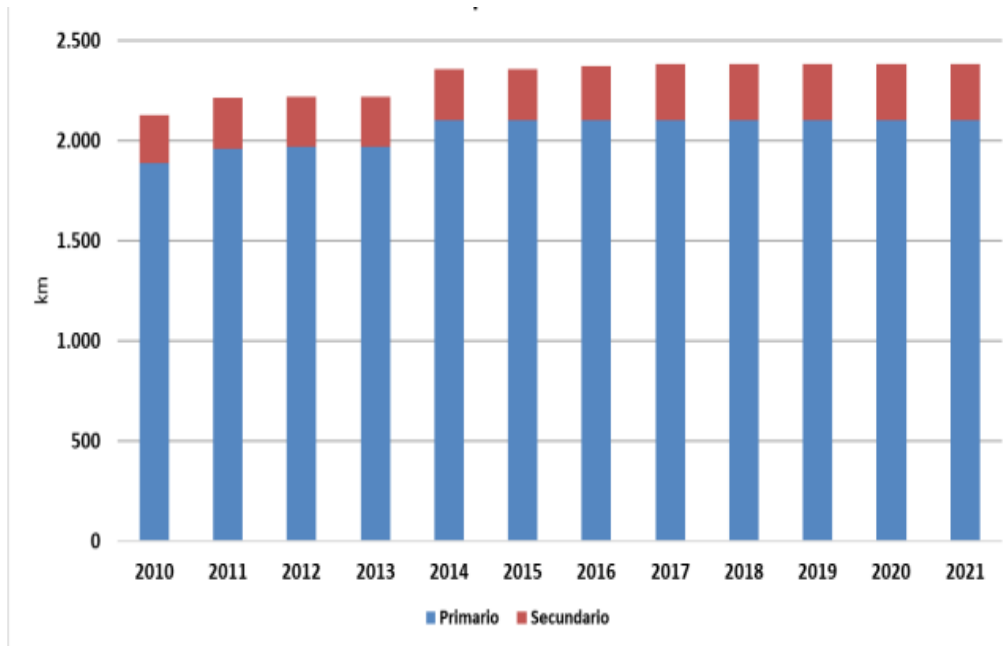


Ilustración 4. Evolución de Red de Transporte en Andalucía 2010/11

(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía” Junta de Andalucía, Enagás, Nedgia y Redexis)

### -Red de distribución de gas natural

La red de distribución de gas natural, a diferencia de la red de transporte, es aquella que engloba los gaseoductos que tienen una presión menor o igual a 16 bares. En el año 2021 la longitud de la red de distribución de gas era de 7611 km.

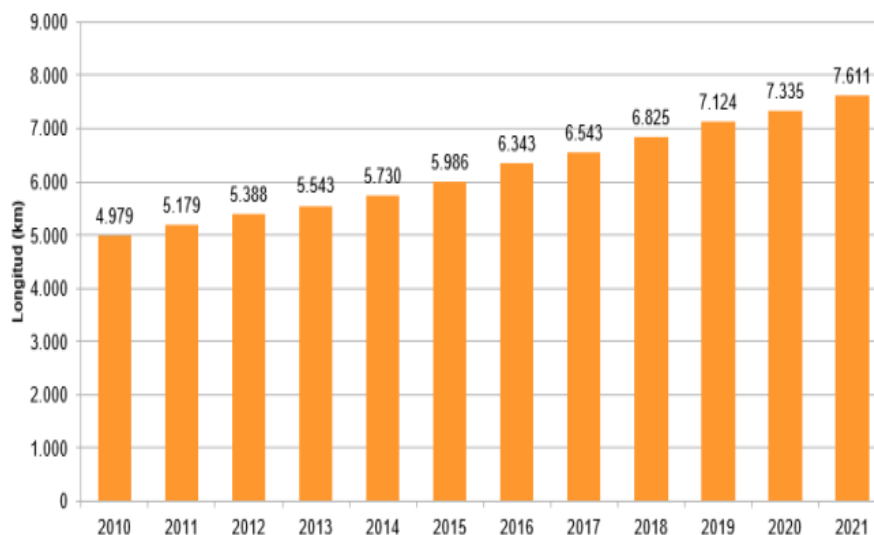


Ilustración 5. Evolución de la red de distribución gasista en Andalucía

(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía” Junta de Andalucía, Enagás, Nedgia y Redexis)

## -Petróleo

La región de Andalucía posee la red de oleoductos más grande de España, con una longitud de 1100 km. Esta red conecta las dos refinerías que operan en la región, pasando por diferentes ciudades como Huelva, Sevilla, Cádiz y Córdoba, y cuenta con 18 instalaciones de almacenamiento en la zona.

*Capacidad de almacenamiento operativa a 31-12-2021*

Localización	Propietario	Capacidad (m <sup>3</sup> )
Algeciras	Exolum	194.767
Arahal 2	Exolum	179.835
Córdoba	Exolum	222.853
Huelva	Exolum	560.616
Málaga	Exolum	131.432
Motril	Exolum	125.047
Rota	Exolum	118.757
San Roque	Exolum	13.392
Sevilla	Exolum	84.824
Motril	DBA Motril Port SA	106.527
Palos de la Frontera	DECAL ESPAÑA	600.000
Algeciras	EVOS ALGECIRAS, SAU	403.000
<b>Total</b>		<b>2.741.050</b>

Fuente: Exolum, DECAL, DBA Motril Port y elaboración propia

*Tabla 21. Capacidad de almacenamiento operativa a 31/12/2021*

*(Fuente: Infraestructuras energéticas de Andalucía" Junta de Andalucía, Exolum, DECAL, DBA Motril Port)*

## -Refinerías

En Andalucía, hay dos refinerías operativas: "La Rábida" en Palos de la Frontera (Huelva) y "Gibraltar-San Roque" en San Roque (Cádiz). La refinería de CEPSA en Palos de la Frontera es una de las más grandes de España, con una capacidad anual de producción de 10 millones de toneladas. Sus principales productos son combustibles y productos petroquímicos, y utiliza tecnologías avanzadas para cumplir con las regulaciones ambientales. La refinería de San Roque, también operada por CEPSA, es la segunda más grande de España, con una capacidad anual de producción de 12 millones de toneladas y se encuentra en la bahía de Algeciras en la provincia de Cádiz.

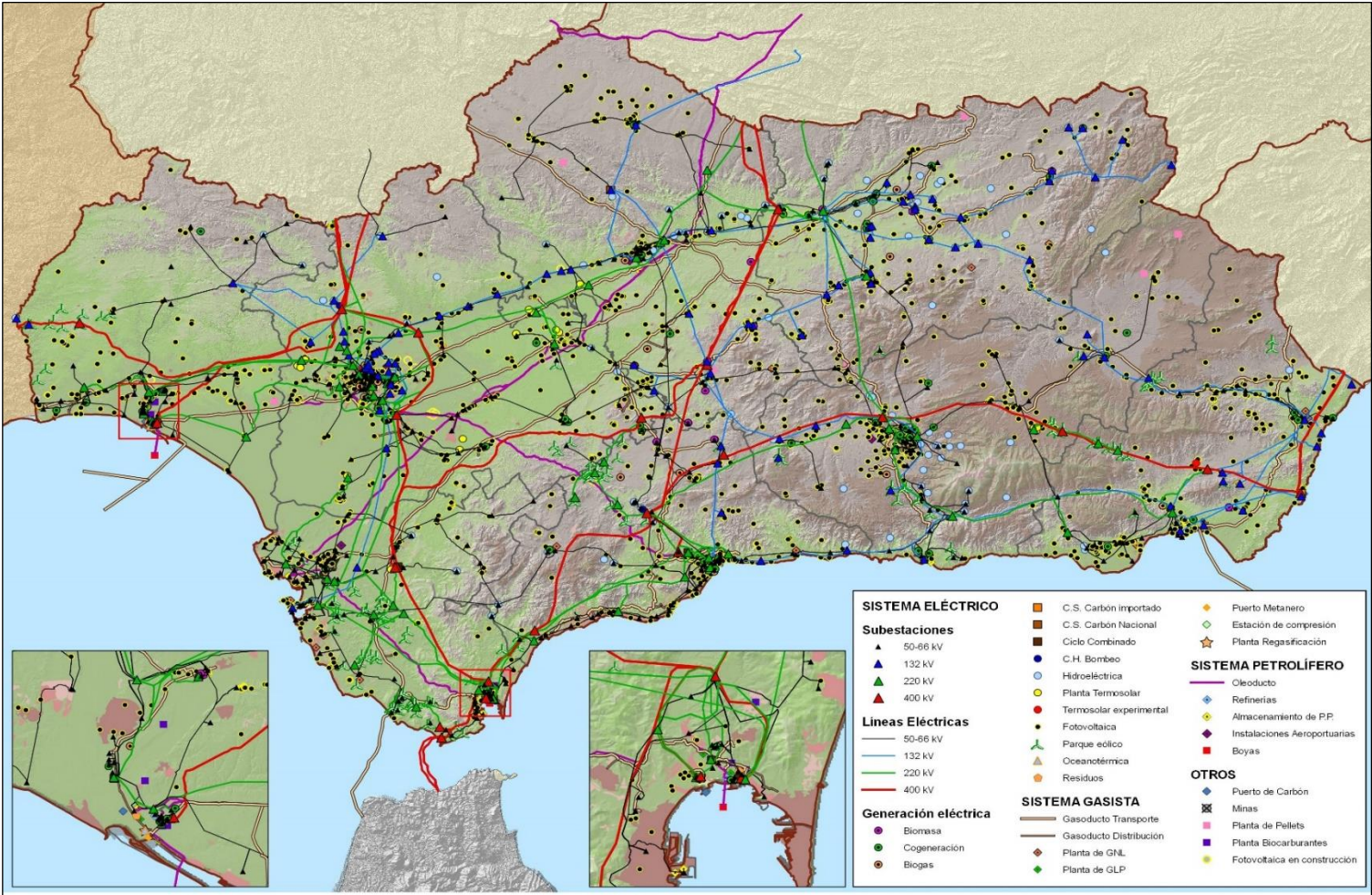


Ilustración 6. Cartografía energética de Andalucía  
(Fuente: Agencia Andaluza de la Energía)

### 4.3 Consumo de energía primaria

En el año 2019, el consumo energético primario destinado a finalidades energéticas en la región de Andalucía alcanzó un total de 17776 ktep.

A continuación, se puede comprobar la evolución de Andalucía en el consumo de energía primaria con respecto a España y la Unión Europea.

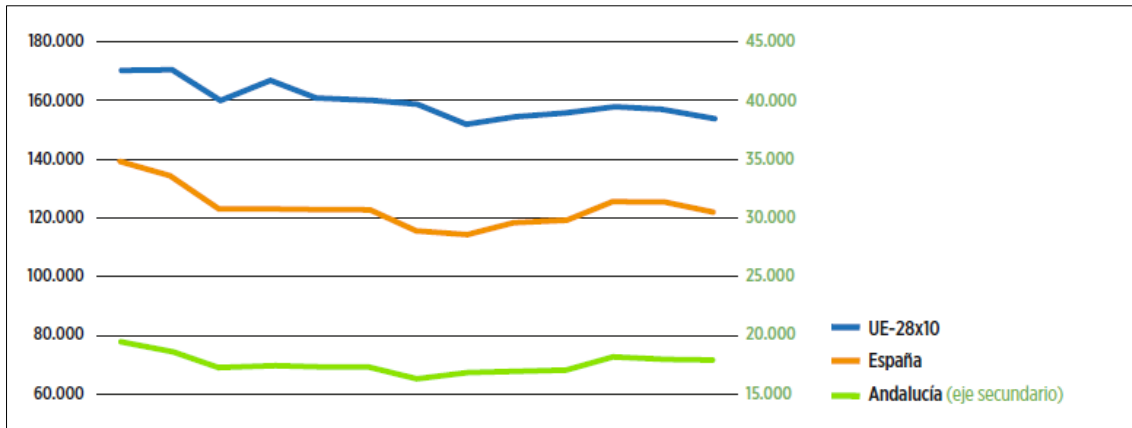


Ilustración 7. Análisis comparativo en el consumo energético primario a nivel Internacional, nacional y regional

(Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, Agencia Andaluza de la Energía y Eurostat)

En el año 2007, tanto a nivel nacional como en la región de Andalucía, se registró el mayor consumo histórico de energía primaria. Esta fecha coincide con el inicio de la crisis económica, lo que resultó en un cambio en el patrón de crecimiento del consumo. Después de ese año, se registró una disminución en el consumo hasta 2014, momento en el que comenzó a aumentar de nuevo.

En Andalucía, durante el período comprendido entre 2007 y 2014, se registró una disminución del 14,1% en el consumo de energía primaria. Sin embargo, a partir de 2014, este consumo aumentó un 6,2% hasta 2019. En términos generales, el consumo de energía primaria en Andalucía ha disminuido un 8,8% durante este período, lo que representa una reducción menor en comparación con la UE (9,7%) y también es inferior al descenso a nivel nacional del 12,4%.

Andalucía ha excedido la meta establecida por la Directiva 27/2021 de la Unión Europea sobre Eficiencia Energética al lograr una disminución del consumo de energía primaria que supera el 20% en comparación con la tendencia de 2007.

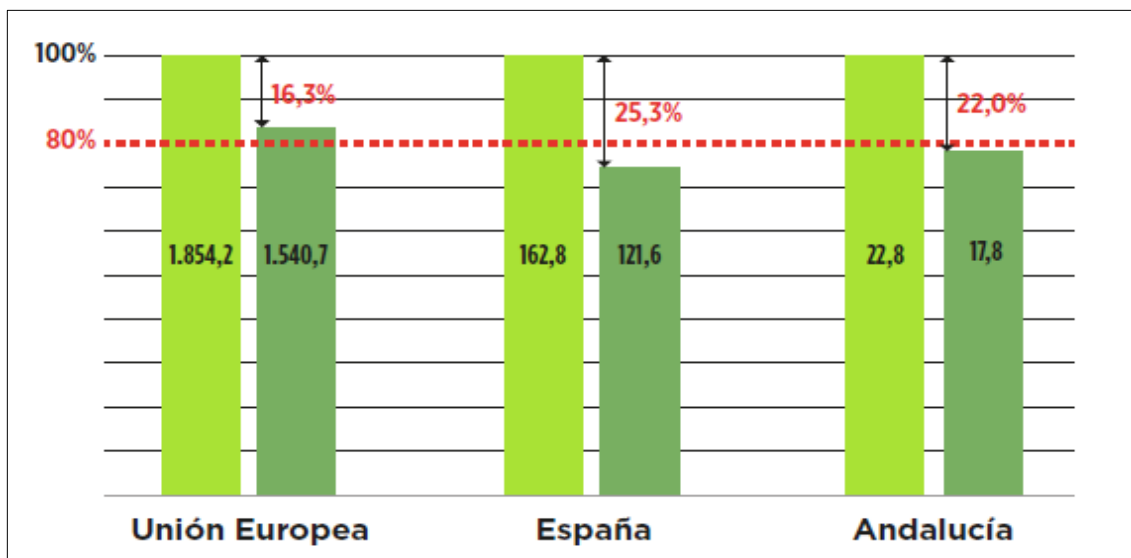


Ilustración 8. Comparativa en el cumplimiento de objetivos de reducción de consumo energético en UE, España y Andalucía.

(Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, Agencia Andaluza de la Energía y Eurostat)

La reducción del consumo de energía primaria en Andalucía ha superado los objetivos establecidos por la Directiva de Eficiencia Energética de la Unión Europea. Se ha reducido en un 22% en comparación con la tendencia prevista para el año 2020. El consumo de energía primaria en la región proviene de diferentes fuentes, incluyendo petróleo, gas natural, carbón y energías renovables. A diferencia de la media nacional y europea, Andalucía tiene una mayor proporción de energías renovables y no utiliza energía nuclear. Aunque el uso de petróleo es similar al de toda España, su uso es menos intensivo en la UE.

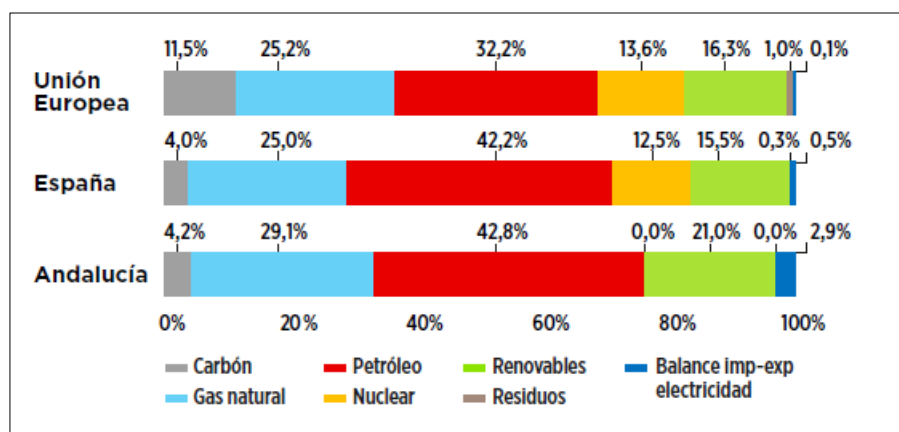


Ilustración 9. Análisis comparativo del consumo energético a nivel internacional, nacional y regional

(Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, Agencia Andaluza de la Energía y Eurostat)

Durante el período de 2007 a 2019, se produjo un notable aumento en el uso de fuentes de energía renovable en Andalucía, con un crecimiento del 244,7%. En comparación, los niveles de crecimiento a nivel nacional y europeo fueron del 88,6% y del 76,4%, respectivamente. Este crecimiento ha llevado a un aumento en la participación de las fuentes de energía renovable en el mix energético. Mientras tanto, el consumo de otras fuentes de energía disminuyó en los tres ámbitos, con la excepción del uso de residuos a nivel nacional y europeo y un aumento moderado en el uso de energía nuclear a nivel nacional.

La utilización de fuentes de energía no renovable en Andalucía experimentó una disminución significativa en el consumo de carbón (-77,1%), gas natural (-14,5%) y petróleo (-16,3%). En ámbito nacional, se produjo una disminución en el uso del 75,6% en carbón, del 2,8% en gas natural y del 19,2% en petróleo. Por su parte, en la UE la disminución en el uso de gas natural y petróleo fue menor, con un 7,8% y un 12,4%, respectivamente. En cuanto al uso de carbón, este disminuyó un 45,2% en comparación con los niveles de 2007.

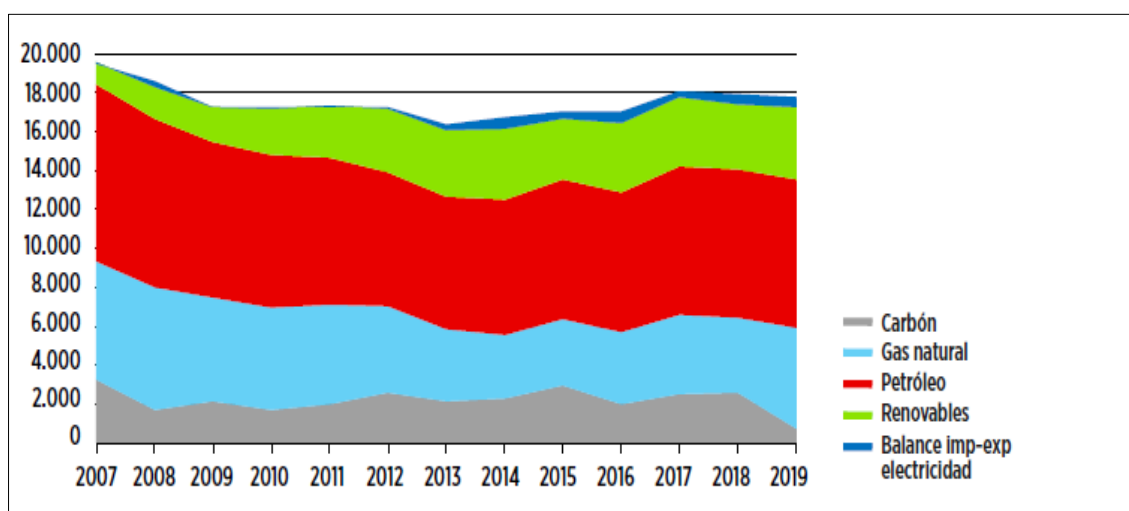


Ilustración 10. Desarrollo en la demanda de energía primaria en función de fuentes energéticas (ktep)  
(Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, Agencia Andaluza de la Energía y Eurostat)

Desde 2014, tanto en Andalucía como en España, el consumo de energías renovables y fuentes fósiles se mantiene estable. En Andalucía, la participación de las energías renovables en el mix energético disminuye hasta 2018 pero aumenta en 2019, situándose cerca del nivel de 2014. Durante el año 2019, la energía renovable en Andalucía representó el 21% del consumo de energía primaria, superando la cifra nacional del 15,5%. En términos absolutos, el consumo de energías renovables en Andalucía aumentó en un 1,5% entre 2014 y 2019, mientras que en España lo hizo en un 3,1%.

Este cambio en la evolución del consumo de energías renovables se debió a diversas normativas nacionales adoptadas en el periodo 2009-2016 que limitaron la implementación y funcionamiento de las instalaciones de generación de energía renovable. Esto se hizo para evitar el impacto en los costos del sistema eléctrico español que suponía la remuneración de esta energía. En 2016, se estableció un sistema de subastas en España, en el cual las instalaciones que

ofrecieran un precio más bajo por la energía generada serían las ganadoras. La mayoría de las centrales adjudicadas se pusieron en funcionamiento. En consecuencia, se produjo un aumento en la contribución de fuentes renovables a la energía primaria en ese año.

En los últimos años, el consumo de energías fósiles en Andalucía y en España ha experimentado cambios. Mientras que el consumo de petróleo aumentó en un 9,3% y 10,8% en Andalucía y España, respectivamente, y el de gas natural en un 58,7% y 31,3%, el consumo de carbón disminuyó notablemente en un 67,1% y 57,9%. Durante el año 2019, se registró un cambio en el consumo de carbón en Andalucía, utilizado principalmente para la generación de electricidad, como resultado de la importante disminución en la producción eléctrica en las centrales térmicas de carbón.

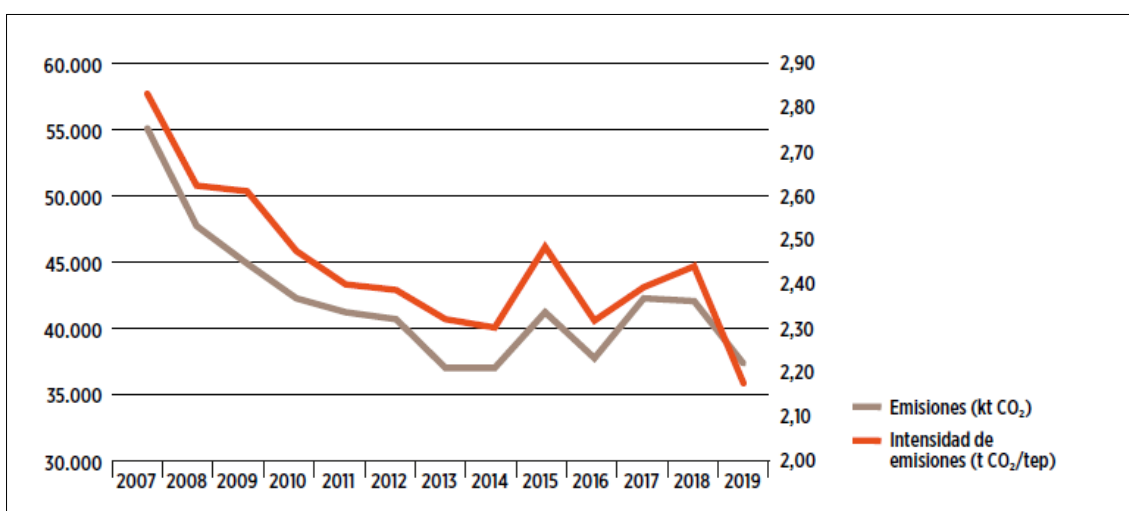


Ilustración 11. Desarrollo de las emisiones de gases de CO<sub>2</sub> relacionadas con la demanda de energía primaria en Andalucía  
(Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030 y Agencia Andaluza de la Energía)

El consumo de energías renovables ha jugado un papel importante en la disminución de emisiones, ya que son fuentes de energía limpias y no emiten gases contaminantes. Durante el periodo mencionado, se ha registrado un aumento en el consumo de energías renovables, lo que ha llevado a una reducción en el uso de combustibles fósiles y, por ende, a una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la intensidad energética ha disminuido, lo que indica que cada unidad de energía primaria consumida requiere menos emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que es un paso importante en la dirección correcta para combatir el cambio climático.

La Estrategia Europa 2020 de la UE estableció una meta de reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2020 en comparación con 1990. España tenía una excepción debido a su situación socioeconómica que le permitía aumentar sus emisiones en un 15%. Sin embargo, las emisiones GEI en España y en Andalucía aumentaron en un 15,5% y 41%, respectivamente, en comparación con 1990, mientras que en la UE en general las emisiones disminuyeron en un 24%.

## 4.4 Consumo de energía final

Si se trata de energía final, se puede cifrar un consumo en Andalucía de 12339 ktep, que supone un 15,3% del consumo final nacional.

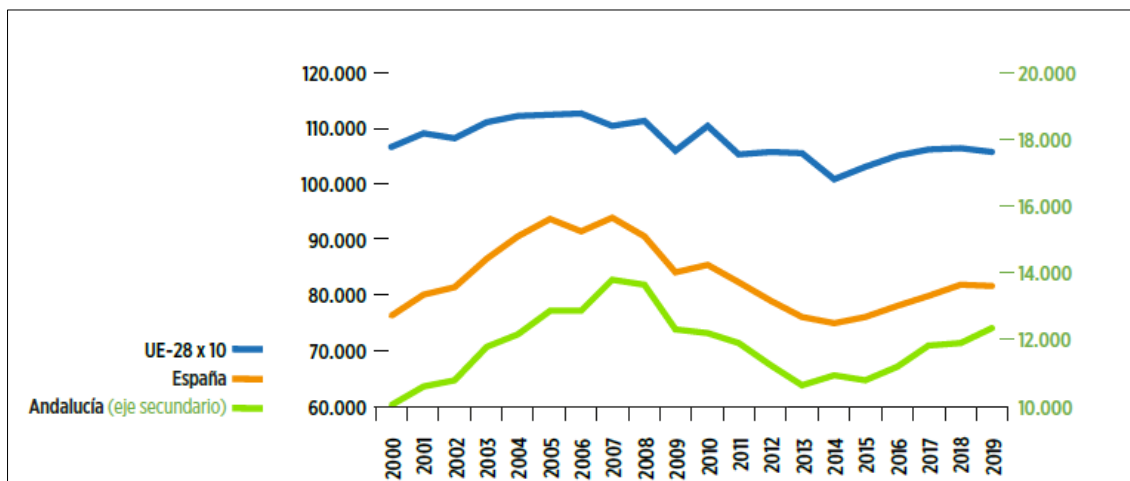


Ilustración 12. Análisis comparativo del consumo energético final a nivel internacional, nacional y regional (Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, Agencia Andaluza de la Energía y Eurostat)

Después del inicio de la crisis económica en 2007, el consumo de energía final disminuyó en España y Andalucía hasta el año 2013, con una reducción del 19,1% y 22,9% respectivamente. Mientras que, en la UE, la disminución del consumo de energía final solo fue del 4,5% en el mismo período. Desde 2013, se ha registrado un aumento en el consumo de energía, con un crecimiento del 16,1% en Andalucía, 7,3% en España y 0,2% en la UE. Durante el periodo estudiado, se observó en Andalucía una disminución del 10,5% en el consumo de energía final, 13,2% en España y 4,3% en la UE.

En términos de consumo de energía final, se ha producido una disminución en España y Andalucía hasta 2013, aunque la disminución ha sido mayor en Andalucía, con un 22,9% en comparación con el 19,1% en España y solo un 4,5% en la Unión Europea. A partir de 2013, se ha registrado un aumento en el consumo de energía en todas las regiones, con un mayor crecimiento en Andalucía, seguido de España y la UE. Durante el período comprendido entre 2007 y 2019, se ha observado una disminución del consumo de energía primaria en Andalucía del 10,5%, mientras que en España ha sido del 13,2% y en la UE del 4,3%.

A pesar del aumento de la población en Andalucía y España en comparación con la UE, se ha registrado una reducción significativa en el consumo de energía final. Solo los sectores residenciales y de servicios han experimentado un aumento en el consumo de energía durante el período de 2007 a 2019. A pesar de que el crecimiento de la población en España y Andalucía ha sido similar, el consumo de energía final en el sector residencial ha disminuido en España y la UE, pero ha aumentado en Andalucía debido a la menor renta per cápita y la dificultad de acceder a tecnologías energéticamente eficientes. Sin embargo, el

consumo energético final per cápita en el sector residencial en Andalucía es más bajo debido a un clima más favorable.

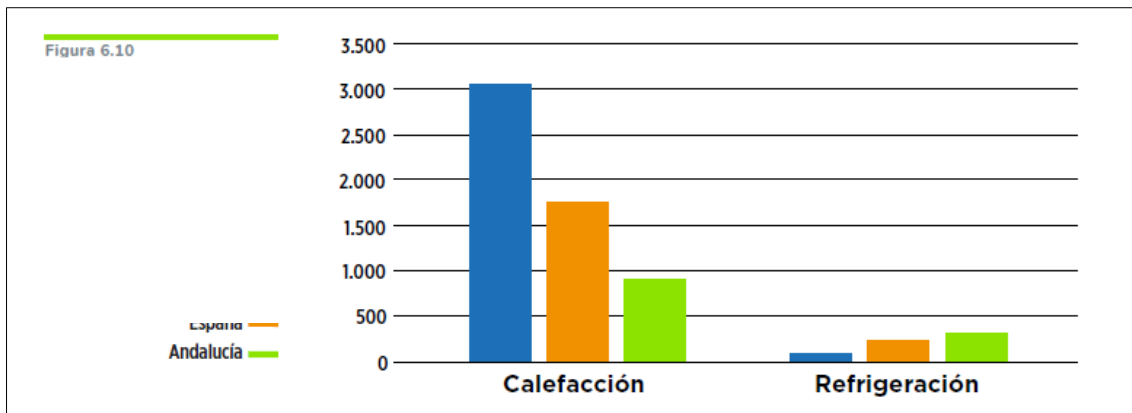


Ilustración 13. Comparativa en el consumo de calefacción y refrigeración en Andalucía, España y UE  
 (Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, AEMET y Eurostat)

### -Consumo de energía final por sectores

Con el objetivo de mejorar la comprensión del consumo de energía final en Andalucía, se ha llevado a cabo un análisis sectorial del consumo. En el periodo comprendido entre 2007 y 2019, se registró un aumento en el consumo de energía en los sectores residencial y de servicios, mientras que en los sectores de transporte, industria y primario se observó una disminución. En España, únicamente el sector de servicios presentó un aumento en el consumo energético, mientras que en la UE, este aumento se dio en los sectores de servicios y primario, y disminuyó en los demás sectores.

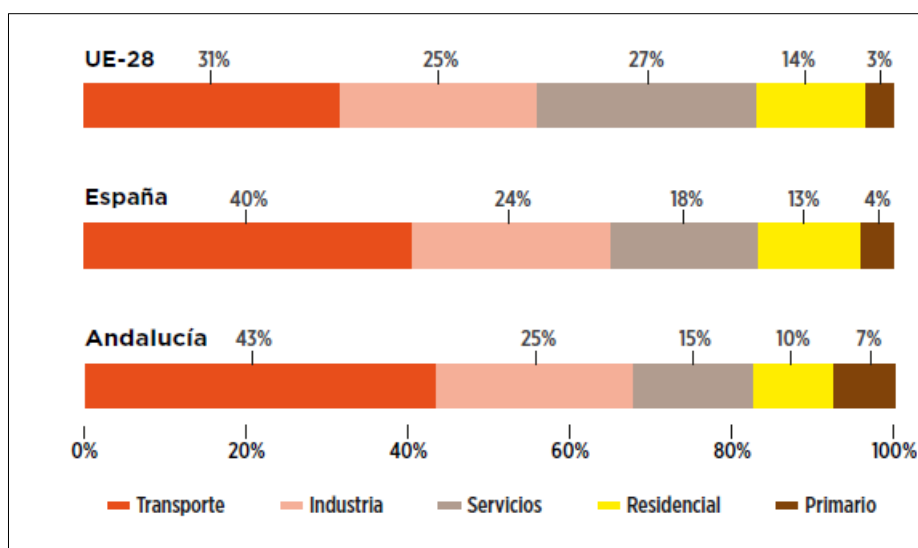


Ilustración 14. Comparativa por sectores del consumo energético a nivel internacional, nacional y regional en el 2019  
 (Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, AEMET y Eurostat)

En el año 2019, el sector de transporte continúa siendo el de mayor consumo energético en términos relativos, especialmente en Andalucía (43,1%), lo que puede deberse a diferencias en la economía de cada área. No obstante, en términos de consumo por persona, la energía utilizada en el transporte es comparable en los tres ámbitos mencionados.

El sector industrial tiene un consumo relativo similar en Andalucía, España y la UE. En el sector residencial, la UE presenta un consumo muy superior al de España y Andalucía, debido a unas necesidades de calefacción más altas en la UE.

En términos de consumo de energía en el sector de servicios, Andalucía presenta una proporción menor en comparación con España y la UE, representando el 10,1% frente al 13,1% y 13,9%, respectivamente. aunque el sector de servicios tiene una mayor participación en la economía regional. Es posible que este menor consumo de energía en el sector de servicios se deba a una menor demanda de calefacción, similar a lo que ocurre en el sector residencial. El consumo de energía en el sector servicios también incluye el consumo energético de la Administración Pública, siendo la Junta de Andalucía un ejemplo de ello. Los edificios que son propiedad de la Junta de Andalucía consumieron en 2019 más de 1.000 GWh de electricidad, en torno a los 400 GWh de gas natural y alrededor de 4 millones de litros de gasóleo destinados a calefacción.

En el lapso de 2007 a 2019, se observó un incremento en el consumo de energía en los sectores de residencial y servicios en Andalucía, mientras que se observó una disminución en el ámbito de transporte, industria y primario. El sector transporte sigue siendo el más consumidor en términos relativos, pero el consumo per cápita es similar en los tres ámbitos. El sector industrial tiene un consumo similar en Andalucía, España y la UE. El sector residencial en la UE tiene un mayor consumo de energía que en España y Andalucía debido a una mayor necesidad de calefacción. El sector de servicios en Andalucía tiene un menor consumo de energía comparado con España y la UE.

### **-Consumo de energía final por fuente de energía**

El consumo energético final en Andalucía en 2019 se basó principalmente en productos petrolíferos para el transporte y en electricidad en los sectores de servicios y residencial. En cuanto al gas natural, se utilizó principalmente en la industria con una presencia limitada en el sector residencial. A pesar de que las energías renovables están en constante crecimiento en la región, solo representan el 8,7% del consumo energético final, mientras que el carbón tiene una participación reducida y en descenso.

Desde 2007 hasta 2019, el consumo de todas las fuentes de energía ha disminuido en Andalucía, excepto las energías renovables, que han crecido en un 67,0%. Aun así, las energías renovables siguen representando un porcentaje más bajo en Andalucía en comparación con el nivel nacional y de la UE.

Andalucía tiene un gran potencial en energía solar y biomasa. En 2019, el 38,9% del potencial de biomasa se aprovechó, siendo el 55,4% para usos térmicos y el 44,6% para la generación de electricidad.

En Andalucía, el recurso energético que ha experimentado la mayor disminución porcentual es el carbón, con un 81,1%, seguido por los productos petrolíferos, que han disminuido en un 19,3%, y el gas natural y la electricidad, ambos con una disminución del 6,2%.

Durante el periodo 2013-2019, el consumo total de energía final en Andalucía aumentó un 16,1%. El consumo de energías renovables en Andalucía ha experimentado un notable aumento del 50,1%, superando así los incrementos registrados en el consumo de gas natural y productos petrolíferos, los cuales aumentaron en un 23,2% y 15,1% respectivamente. El consumo de electricidad aumentó en un 5,3%. En comparación con España y la UE, Andalucía tiene una proporción similar de electricidad en su estructura de fuentes de energía final, pero una mayor dependencia de los productos derivados del petróleo, especialmente en el sector del transporte.

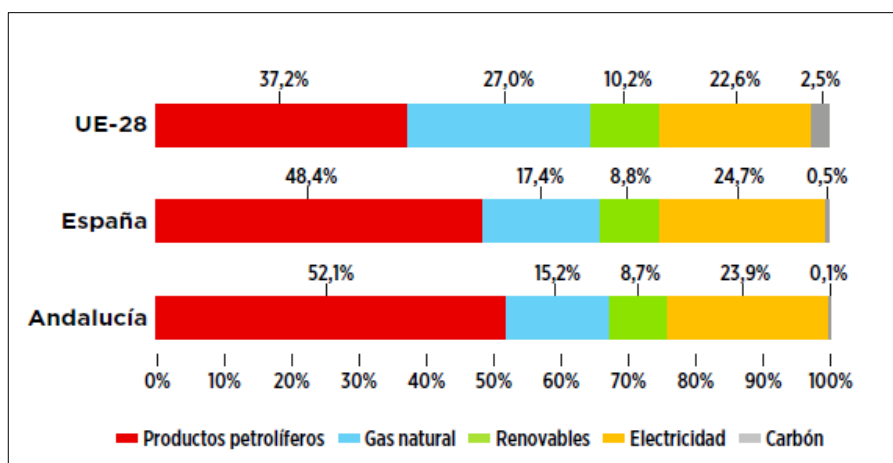


Ilustración 15. Comparativa de fuentes energéticas en UE, España y Andalucía  
(Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, Agencia Andaluza de la Energía y Eurostat)

Es necesario que el sector del transporte migre hacia tecnologías que no generen emisiones contaminantes y una movilidad menos centrada en el automóvil. A pesar de un parque móvil en crecimiento, incluyendo un aumento de más de 450,000 turismos en la última década en Andalucía, la mayoría de los desplazamientos se realizan en vehículos privados, lo que contribuye a un consumo ineficiente de energía y dificulta la adopción de acciones de mejora. Además, la cantidad de vehículos que no consumen combustibles fósiles es baja en Andalucía en comparación con España y las infraestructuras de suministro de combustibles alternativos son limitadas.

En términos de consumo de energía en Andalucía, el sector transporte sigue siendo el principal consumidor de energía final en la región, con una dependencia significativa de los productos petrolíferos. Mientras tanto, la industria es el segundo mayor consumidor de energía final, seguida por los sectores de servicios y residencial. En términos de fuentes de energía renovable, Andalucía tiene un alto potencial de energía solar y eólica, pero aún hay un largo camino

por recorrer para alcanzar un mayor porcentaje de energías renovables en el consumo final de energía. En comparación con la UE y España, donde el gas natural y la electricidad representan el 76,4% y el 71,1% del consumo de energía, respectivamente. La electricidad representa el 67,3% del consumo total de energía en hogares y servicios de Andalucía, mientras que en la UE y España, representa el 32,5% y el 50,0%, respectivamente.

En el sector primario, se observa que los productos petrolíferos son la fuente de energía predominante, representando el 54,9% en la UE, el 68,5% en España y el 79,4% en Andalucía. Sin embargo, hay una importante diferencia en el uso de energías renovables, ya que en la UE representan el 13,2% del total, mientras que en España es del 3,2% y en Andalucía del 1,6%.

En 2019, Andalucía logró cumplir un 17,5% de su objetivo de contribución de energías renovables en el consumo final bruto, en comparación con el objetivo del 20% establecido por la Directiva (UE) 2018/2001. España y la UE también están trabajando para alcanzar su objetivo del 20% en 2020, habiendo alcanzado un 18,4% y un 18,9%, respectivamente, en 2019. El porcentaje de energías renovables en el consumo final bruto es un indicador clave para evaluar la contribución de Andalucía al uso de energía renovable promovido por la Directiva.

Resumiendo, en Andalucía Los derivados del petróleo son la principal fuente energética utilizada, especialmente en el sector primario. En los sectores residencial y de servicios, la electricidad y el gas natural son las principales fuentes de energía. La mayoría de los vehículos en el sector del transporte utilizan combustibles fósiles en lugar de opciones de cero emisiones. Además, la contribución de las energías renovables al consumo final bruto en Andalucía en 2019 fue del 17,5%, por debajo del objetivo establecido del 20% para 2020 por la Directiva UE 2018/2001.

## **4.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> en la región de estudio**

En 2019, se registraron en Andalucía 37,3 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la combustión de combustibles fósiles, incluyendo la producción y distribución de energía. Cabe destacar que las emisiones de energías renovables se consideran neutras en cuanto a la emisión de CO<sub>2</sub>. No obstante, se ha producido una disminución de las emisiones desde 2007 gracias a la inclusión de fuentes renovables en el sistema energético. Respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, el carbón ha disminuido en un 76% desde 2007 y actualmente solo representa el 9% de las emisiones totales. Por otro lado, el petróleo continúa siendo la fuente más contaminante, con el 58% de las emisiones, mientras que el gas natural representa el 33% restante.

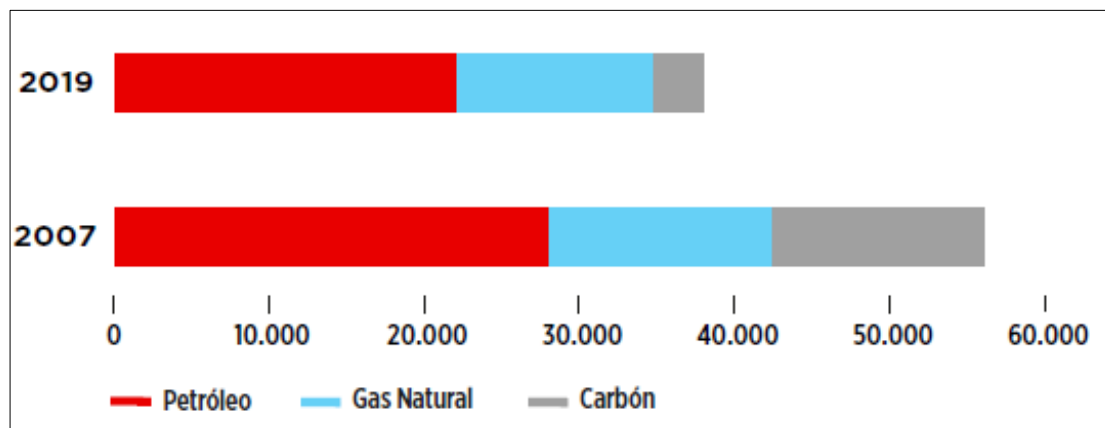


Ilustración 16. Comparativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> por fuentes (Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030, Agencia Andaluza de la Energía)

En el año 2019, se registraron altas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) debidas al consumo de combustibles fósiles en los sectores de generación eléctrica y transporte en Andalucía. Aunque la generación eléctrica disminuyó un 52% desde 2007, todavía es responsable del 31% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>. La inclusión de energías renovables ha disminuido el uso de carbón y gas natural, lo que ha llevado a una reducción del 41% de las emisiones por unidad de energía producida, que alcanzó las 326 toneladas de CO<sub>2</sub> por gigavatio hora (t CO<sub>2</sub>/GWh). El transporte, que consume grandes cantidades de productos petrolíferos, sigue siendo un importante sector emisor, siendo responsable del 41% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en 2019.

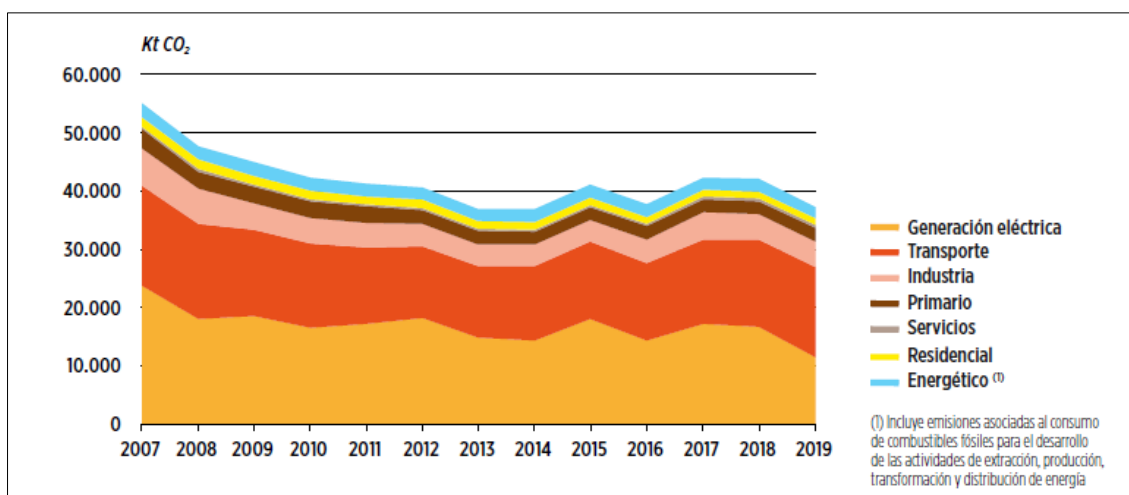


Ilustración 17. Evolución de emisiones por fuentes (Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030 y Agencia Andaluza de la Energía)

En 2019, la industria fue el tercer sector más emisor de CO<sub>2</sub>, responsable del 12% del total de emisiones. Sin embargo, también ha experimentado un descenso en sus emisiones desde 2007, con un 29% menos. Por otro lado, es importante señalar que el sector servicios es el único que ha aumentado sus

emisiones, aunque su peso en el total es muy bajo, sólo representando el 1% de las emisiones totales en 2019.

#### **4.6 Porcentaje de producción propia y fiabilidad del suministro eléctrico**

Andalucía tiene una gran dependencia de fuentes de energía fósil y no es autónoma en su producción. Sin embargo, la incorporación de energías renovables ha mejorado su tasa de autoabastecimiento energético, que alcanzó un máximo del 19,7% en 2014 y 19,3% en 2019. Una tasa elevada significa una menor dependencia del exterior y sus implicaciones positivas.

Además, cabe destacar que la tasa de autogeneración eléctrica en Andalucía ha crecido constantemente, pasando del 69% en 2007 a 85,6% en 2019. Este aumento se debe en gran parte a la incorporación de fuentes renovables en el mix energético, lo que ha permitido una reducción en la dependencia de fuentes energéticas fósiles y un aumento en la independencia energética de la región. En 2019, el 38% de la electricidad producida en Andalucía provino de fuentes renovables. De acuerdo con los datos disponibles, se puede concluir que la tasa de autogeneración eléctrica en Andalucía se encuentra en un nivel equilibrado.

En Andalucía, la calidad del suministro eléctrico se mide mediante el TIEPI y el NIEPI, y se considera que una buena calidad se asocia con valores bajos en estos indicadores. En los últimos años, ha habido una mejora significativa en la calidad del suministro eléctrico en la región, aunque todavía hay valores por encima de la media nacional. En 2019, el TIEPI de Andalucía fue de 1,47 horas, suponiendo una mejora entorno al 8% respecto al año anterior y cumple con las normativas españolas.

#### **4.7 Marco Estratégico Andaluz**

Existen dos leyes en Andalucía que buscan fomentar el uso de energías renovables, mejorar la eficiencia energética y abordar el cambio climático. Una de ellas es la Ley de Fomento de las Energías Renovables y del Ahorro y la Eficiencia Energética de 2007, que busca promover el uso de fuentes de energía renovable y la eficiencia energética en la región. La otra es la Ley de medidas contra el cambio climático y la transición a un nuevo modelo energético de Andalucía, aprobada en 2018, que establece medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la transición a un modelo energético más sostenible. Esta última tiene como objetivo impulsar una transición hacia un futuro más sostenible, promoviendo el uso de fuentes de energía renovable, preferentemente locales, y reduciendo el consumo de combustibles fósiles.

El Plan Andaluz de Acción por el Clima (PAAC) 2030 es establecido por esta ley. Los objetivos principales de este plan son:

- El objetivo es disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 39%, comparado con los niveles emitidos en el año 2005.

- Se busca reducir el consumo de energía primaria en un 39,5% en comparación con el escenario previsto en 2007.
- Aportar al menos el 42% de consumo energético haciendo uso de fuentes de energía renovables.

Uno de los últimos planes ha sido la Estrategia Energética de Andalucía 2020, la cual establecía cinco objetivos. Debido a la COVID-19 es difícil cuantificar el grado de cumplimiento ya que esta tuvo un efecto directo en el consumo de energía.

<b>Estrategia Energética Andalucía en 2020</b>	
<b>Objetivos</b>	<b>Grado cumplimiento</b>
<b>Reducción de un 25% en el consumo de energía primaria</b>	La reducción del consumo de energía primaria respecto a 2020 fue 34,7%
<b>Participación de energías renovables en un 25% del consumo final bruto</b>	La contribución de las energías renovables al consumo final bruto fue del 19,9%.
<b>Autoconsumo del 5% de la energía eléctrica renovable</b>	La energía procedente de fuentes renovables generadas en 2020 fue de 1,7%de la generación total renovable en dicho año
<b>Lograr una disminución del 30% en la huella de carbono del consumo de energía en comparación con los niveles registrados en el año 2007.</b>	En 2020 se consiguió descarbonizar el consumo de energía respecto al año 2007 en un 49%
<b>Mejora en un 15% del suministro eléctrico</b>	Registro de 13,4% en la mejora de calidad de suministro eléctrico



*Tabla 22. Objetivos de la Estrategia Energética Andaluza 2020  
(Fuente: Estrategia Energética de Andalucía 2030)*

## 4.8 Seguimiento de los ODS en Andalucía

Para hacer el seguimiento y revisión de las metas y objetivos, se utiliza un marco común de 232 indicadores acordados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en la resolución A/RES/71/313. Este marco de indicadores se basa en estadísticas oficiales y datos de sistemas estadísticos nacionales.

Como ya bien se definió en el apartado 3.2, los indicadores que se han visto convenientes para estudiar la situación de los ODS en Andalucía no solo son los establecidos por Naciones Unidas, sino que también se han tenido en cuenta otros indicadores establecidos por Eurostat o REDS (Red Española para el Desarrollo Sostenible).






En la siguiente tabla se muestra una selección de los indicadores que servirán para la evaluación de los ODS en Andalucía:







<b>OBJETIVO 7-Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.</b>			
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>ORGANISMO</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<b>7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas</b>	7.2.1 Proporción de energía renovable en el consumo final total de energía	Naciones Unidas	54,98 
<b>7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética</b>	7.3.1 Intensidad energética medida en función de la energía primaria y el PIB	Naciones Unidas	21,72 
<b>Sin meta asignada</b>	Consumo de energía primaria (Millones de toneladas equivalentes de petróleo)	Eurostat	14,9 
<b>Sin meta asignada</b>	Consumo de energía primaria (Índice base 2005)	Eurostat	81,2 

<b>Sin meta asignada</b>	Consumo de energía final (Millones de toneladas equivalentes de petróleo)	Eurostat	10,5	↓
<b>Sin meta asignada</b>	Consumo de energía final (Índice base 2005)	Eurostat	81,7	↓
<b>Sin meta asignada</b>	Consumo final de energía en los hogares per cápita	Eurostat	215,2	↓
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Total	Eurostat	19,9	↑
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Transportes	Eurostat	7,4	↑
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Electricidad	Eurostat	39,8	↑
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Calefacción y refrigeración	Eurostat	15	↓
	Productividad energética			

<b>Sin meta asignada</b>	(euros por kilogramo equivalente de petróleo)	Eurostat	9,2	↑
<b>Sin meta asignada</b>	Productividad energética (Paridad en poder adquisitivo por kg equivalente de petróleo)	Eurostat	10,8	↑
<b>Sin meta asignada</b>	Dependencia de la importación de energía por productos. Total	Eurostat	78,2	↓
<b>Sin meta asignada</b>	Dependencia de la importación de energía por productos. Hulla y derivados	Eurostat	100	=
<b>Sin meta asignada</b>	Dependencia de la importación de energía por productos. Todos los productos petrolíferos	Eurostat	100	=
<b>Sin meta asignada</b>	Dependencia de la importación de energía por productos. Gas natural	Eurostat	99,9	=
<b>Sin meta asignada</b>	Intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero del consumo de energía	Eurostat	63,2	↓

Tabla 23. Indicadores para la evaluación de Andalucía con respecto a los ODS 7  
Fuente: Elaboración propia

<b>OBJETIVO 13- Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos</b>			
<b>META</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>ORGANISMO</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
<b>Meta 13.2: Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales</b>	Emisiones totales de gases de efecto invernadero de las unidades residentes por unidad de PIB	Naciones Unidas	0,26 
	Emisiones totales de gases de efecto invernadero de las unidades residentes per cápita	Naciones Unidas	4,51 
	Emisiones de gases de efecto invernadero respecto al año 1990	Naciones Unidas	-0,39 
	Emisiones de gases de efecto invernadero respecto al año 2005	Naciones Unidas	-43,06 
<b>Sin meta asignada</b>	Emisiones de gases de efecto invernadero por sector fuente. Total (excluyendo el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura-UTCUTS- y las partidas informativas, incluida la aviación internacional) Índice base 1990	Eurostat	99,6 

<b>Sin meta asignada</b>	Emisiones de gases de efecto invernadero por sector fuente. Total (excluyendo el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura-UTCUTS- y las partidas informativas, incluida la aviación internacional) Toneladas de CO2 equivalente por habitante	Eurostat	4,5	
<b>Sin meta asignada</b>	Intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero del consumo de energía	Eurostat	63,2	
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Total	Eurostat	19,9	
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Transportes	Eurostat	7,4	
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Electricidad	Eurostat	39,8	
<b>Sin meta asignada</b>	Proporción de consumo de energía procedente de fuentes renovables. Calefacción y refrigeración	Eurostat	15	

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
Aplicación al sistema energético andaluz

<b>Sin meta asignada</b>	Población cubierta por los firmantes del Pacto de Alcaldes por el Clima y la Energía	Eurostat	7,01	↑
<b>Sin meta asignada</b>	Población cubierta por los firmantes del Pacto de Alcaldes por el Clima y la Energía	Eurostat	82,7	↓

Tabla 24. Indicadores para la evaluación de Andalucía con respecto a los ODS 13  
Fuente: Elaboración propia



## 5. Prospectiva energética en Andalucía (horizonte 2030/2050)

En este capítulo se llevará a cabo un modelo energético para la comunidad de interés (en nuestro caso, Andalucía). En primer lugar, se realizará una recopilación de todos los datos energéticos de interés para modelar la demanda. Una vez modelada la demanda, se pasa a modelar todos los procesos de transformación, transporte y generación de energía.

Para ello, habrá que elegir un año base, en este Trabajo de Fin de Máster se ha visto conveniente seleccionar el año 2019 como año base pues resulta ser un año donde no ha habido anomalías como el ejemplo de la COVID-19 en el año 2020.

Cuando el año base ha sido representado mediante un modelo energético se pasa a realizar tantos escenarios futuros como se desee. En este caso se han realizado 6 escenarios:

- Escenario tendencial 2030 (sin tener en cuenta las políticas públicas energéticas adicionales).
- Escenario tendencial 2030 (teniendo en cuenta las actuaciones que se llevan a cabo en el marco de la Estrategia sobre el escenario tendencial).
- Escenario eficiente en el sector transporte
- Escenario participación energía nuclear en generación de energía eléctrica.
- Escenario eficiente en sector residencial y servicios.
- Escenario eficiente sector industria.
- Escenario con supuestos energéticos para 2050.

Todo este proceso de modelado energético se llevará a cabo a través del software LEAP (The Low Emissions Analysis Platform) el cual, como se ha mencionado en capítulos anteriores, se trata de un software de modelado de sistemas energéticos que se utiliza para simular y evaluar alternativas de planificación energética a largo plazo. LEAP permite a los tomadores de decisiones analizar la evolución de la demanda energética, la producción, el comercio y el uso de diferentes fuentes de energía, y evaluar el impacto económico, ambiental y social de diferentes políticas y escenarios energéticos. Con LEAP, es posible desarrollar proyecciones precisas de la matriz energética, estimar las emisiones de gases de efecto invernadero y evaluar los costos asociados a diferentes opciones energéticas. En resumen, LEAP es una herramienta útil para la toma de decisiones en materia energética y para la planificación a largo plazo de los sistemas energéticos.

## 5.1 Creación del modelo energético para el año base en Andalucía

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, en primer lugar, se va a modelar energéticamente el año seleccionado como base. Este año base va a servir de referencia para el resto de escenarios futuros, es decir, el escenario del año 2019 será el de partida y el resto serán meras modificaciones de dicho año.

El procedimiento que se ha seguido en este escenario ha sido el mismo que para el resto. Se puede resumir en los siguientes pasos:

1) Modelado de la demanda: En primer lugar, se modela la demanda siendo está clasificada por cinco sectores principales: Sector residencial, sector industria, sector transporte, sector servicios y sector primario. Dentro de estos sectores se ha tenido en cuenta las principales fuentes de energía, clasificándose a su vez en : carbón, derivados de petróleo, gas natural, energía renovables y electricidad.

2) Modelado del transporte, generación y transformación de energía: Una vez modelado la demanda, se pasa a modelar energéticamente la parte de transformación de energía. Se han creado 3 ramas:

-Transporte de energía: Se ha tenido en cuenta las pérdidas que existen en el transporte de energía eléctrica y del petróleo en los oleoductos.

-Generación de energía eléctrica: Se ha contabilizado la producción bruta de electricidad del año 2019, teniendo en cuenta las siguientes centrales: Centrales térmicas convencionales, cogeneración, ciclo combinado y bombeo (No renovable) y, por otro lado, centrales fotovoltaicas, eólicas, de biomasa, termosolares e hidroeléctricas.

-Transformación de energía: refino de petróleo e importación de gas natural. Se ha considerado también la actividad de las refinerías más importantes de Andalucía y, que casualmente, lo son también de España así como la producción regional de gas natural y el total importado.

En la siguiente ilustración se muestra el esquema que se ha seguido para el modelado energético de Andalucía:

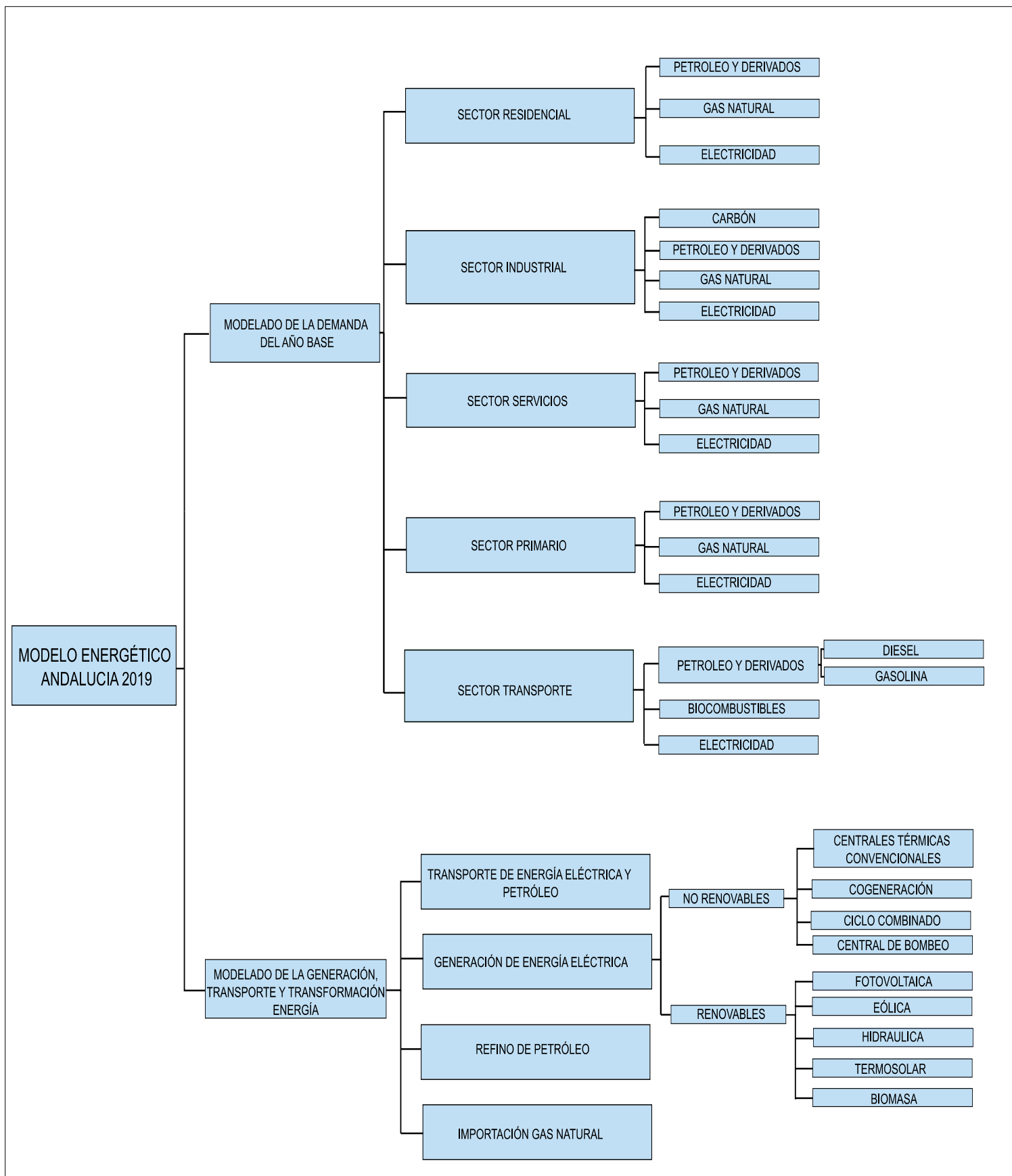


Ilustración 18. Esquema general del modelo energético de Andalucía  
 Fuente: Elaboración propia

### 5.1.1 Modelado de la demanda

Para este apartado se ha recogido información sobre los datos energéticos en base al documento de “Estrategia Energética Andalucía 2030” y atendiendo al balance energético para el año de estudio a través de la Agencia Andaluza de la Energía. El modelo de la demanda estará formado por una clasificación sectorial. Los sectores a tener en cuenta son: Residencial, Industrial, Servicios, Primarios y Transporte. Dentro de estos sectores, a su vez, se ha hecho una clasificación por fuentes energéticas siendo las principales el petróleo y derivados, carbón, gas natural, energías renovables y electricidad.

En la tabla siguiente se podrá apreciar el consumo de energía final del año base (2019) clasificado por sectores y fuentes de energía:

<b>Consumo de energía final (GWh)</b>	<b>Carbón</b>	<b>Petróleo y derivados</b>	<b>Gas natural</b>	<b>Renovables y electricidad</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Sector residencial</b>	0	3883,257	1363,036	16071,497	<b>21317,79</b>
<b>Sector Industria</b>	65,128	3900,7	17410,11	13558,254	<b>34934,192</b>
<b>Sector transporte</b>	0	58260,485	196,547	3445,969	<b>61903,001</b>
<b>Sector Servicios</b>	0	8539,909	471,015	1720	<b>10730,924</b>
<b>Sector Primario</b>	0	400,072	2125,964	12149,861	<b>14675,897</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>143561,804</b>

*Tabla 25. Datos sobre el consumo de energía final en Andalucía*

*(Fuente: Agencia Andaluza de la Energía)*

La estructura de la demanda queda organizada por sectores y, estos a su vez, por fuentes de energía tal y como se muestra en la siguiente ilustración:

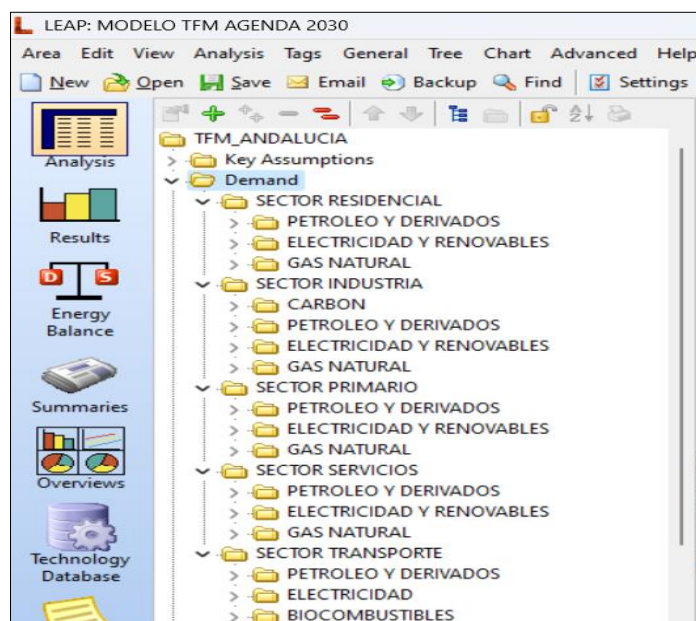


Ilustración 19. Estructura de la demanda en LEAP  
Fuente: Elaboración propia

Para comprobar si se ha introducido los datos de manera correcta, se revisa los resultados arrojados por el software. Estos tienen que coincidir con la tabla 13 donde se muestran los datos de consumo de energía final:

Branch	2019
<b>SECTOR RESIDENCIAL</b>	<b>21.317,8</b>
PETROLEO Y DERIVADOS	3.883,3
ELECTRICIDAD Y RENOVABLES	16.071,5
GAS NATURAL	1.363,0
<b>SECTOR INDUSTRIA</b>	<b>34.934,2</b>
CARBON	65,1
PETROLEO Y DERIVADOS	3.900,7
ELECTRICIDAD Y RENOVABLES	13.558,3
GAS NATURAL	17.410,1
<b>SECTOR PRIMARIO</b>	<b>10.730,9</b>
PETROLEO Y DERIVADOS	8.539,9
GAS NATURAL	471,0
<b>SECTOR SERVICIOS</b>	<b>14.675,9</b>
PETROLEO Y DERIVADOS	400,1
ELECTRICIDAD Y RENOVABLES	12.149,9
GAS NATURAL	2.126,0
<b>SECTOR TRANSPORTE</b>	<b>61.903,0</b>
PETROLEO Y DERIVADOS	58.260,5
GASOLINA	23.304,2
Gasoline	23.304,2
DIESEL	34.956,3
Diesel	34.956,3
ELECTRICIDAD	244,2
BIOCOMBUSTIBLES	3.398,3
<b>Total</b>	<b>143.561,8</b>

Tabla 26. Consumo de energía final por sectores (GWh)  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP



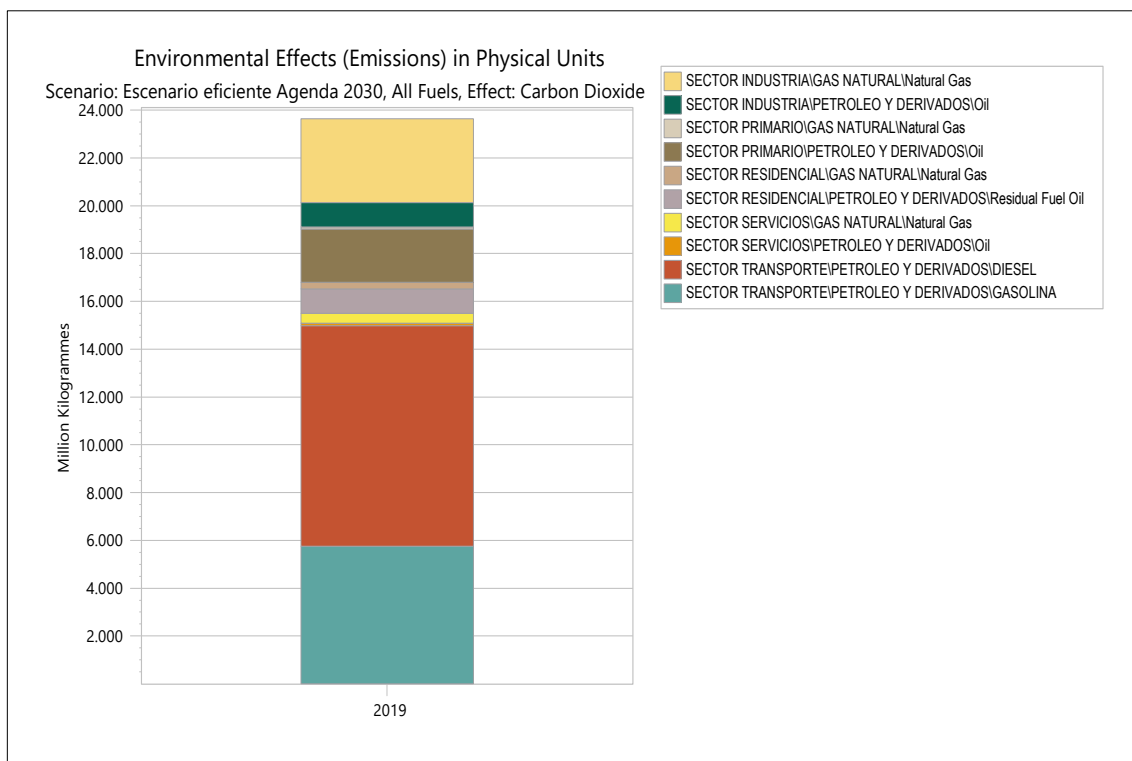


Ilustración 21. Emisiones de CO2 (kilotoneladas) en el año base  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### 5.1.2 Modelado de la generación y transformación de energía

Otra área que se contempla en LEAP es el sector de transformación, que se utiliza para modelar sectores de oferta y conversión de energía, como la generación de electricidad y la refinación, entre otros. Como se puede ver en el esquema general presentado en la ilustración 18, se ha modelado un bloque para el transporte de energía eléctrica y petróleo, otro para la generación de energía eléctrica y, finalmente, uno para el refinado de petróleo y la importación de gas natural.

#### - Generación de energía eléctrica

En este apartado, lo que se ha llevado a cabo es la introducción en LEAP de todos los datos relacionados con la producción de energía por parte de las distintas centrales que componen la región de estudio. Se han tenido en cuenta centrales que usan como fuente de energía recursos tanto renovables como no renovables.

En la siguiente tabla se muestra todas las centrales que se han considerado, así como todos los datos necesarios para poder plasmarlas en LEAP. Uno de estos datos solicitado por LEAP es el “merit order” que se entiende como un concepto que se utiliza en la planificación y gestión de sistemas energéticos, y se refiere a la forma en que se ordenan las diferentes fuentes de generación de energía eléctrica en función de su costo de producción.

En general, se considera que las fuentes de energía más económicas y eficientes son las que tienen mayor prioridad de despacho (merit order alto), y las fuentes de energía más costosas se utilizan solo cuando se requiere satisfacer la demanda de energía eléctrica que no puede ser cubierta por las fuentes más económicas (merit order bajo).

El objetivo del “merit order” es minimizar los costos de generación de energía eléctrica, ya que las fuentes de energía más económicas tienen un costo de producción menor y, por lo tanto, se espera que su inclusión en el mix energético reduzca el costo total de generación de energía eléctrica. El concepto de merit order se utiliza comúnmente en los mercados eléctricos y en la planificación de políticas energéticas, para decidir qué tecnologías de generación se utilizan en un momento dado y cómo se pueden optimizar los costos.

El “mérit order” puede variar en función de las condiciones del mercado eléctrico en cada momento, pero en general se puede considerar el siguiente orden:

1. Energía hidroeléctrica: es la fuente de energía renovable con menor coste de producción y mayor capacidad de almacenamiento, por lo que tiene un merit order muy alto.
2. Energía eólica: las centrales eólicas tienen un coste de generación variable muy bajo y no consumen combustibles fósiles, por lo que su merit order es muy alto.
3. Energía solar fotovoltaica: la generación de electricidad a partir de paneles solares fotovoltaicos tiene un coste de generación variable muy bajo y su instalación es muy rápida y sencilla, lo que les permite tener un merit order alto.
4. Centrales de ciclo combinado: estas centrales tienen un coste de generación variable bajo y son capaces de adaptarse rápidamente a las fluctuaciones de la demanda de electricidad, lo que les permite tener un merit order alto.
5. Centrales de biomasa: la generación de electricidad a partir de biomasa tiene un coste variable bajo y no emiten gases de efecto invernadero, por lo que su merit order es alto.
6. Energía termosolar: aunque su coste de generación variable es relativamente alto, las centrales termosolares pueden almacenar energía térmica, lo que les permite tener un merit order alto.
7. Centrales térmicas convencionales: las centrales térmicas convencionales, como las de carbón o fueloil, tienen un coste de generación variable más alto que otras fuentes de energía y emiten gases de efecto invernadero, lo que les hace tener un merit order más bajo.
8. Centrales de cogeneración: estas centrales generan simultáneamente calor y electricidad, lo que les permite tener un merit order relativamente alto.

9. Centrales de bombeo: aunque no generan electricidad directamente, las centrales de bombeo permiten almacenar energía eléctrica a través del bombeo de agua a un depósito en altura, lo que les permite tener un merit order relativamente alto.

TIPO DE COMBUSTIBLE	CENTRALES	Producción Año base (GWh)	Capacidad instalada (MW)	Eficiencia (%)	Merit Order
NO RENOVABLES	CT TERMICAS CONVENCIONAL	3187,4	1990	30	2
	COGENERACIÓN	5721,9	895	70	1
	CICLO COMBINADO	13228,2	5953	60	1
	BOMBEO	107,9	570	40	1
RENOVABLES	FOTOVOLTAICA	1834,6	1798,7	80	1
	EOLICA	6882,4	3448,1	95	1
	HIDROELECTRICA	626	650	90	1
	TERMOSOLAR	2488,9	997	30	1
	BIOMASA	1569,2	274	30	1
<b>TOTAL</b>		<b>35644,6</b>			

Tabla 27. Datos energéticos necesarios para modelar la generación de energía  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

Una vez se han ingresados estos datos energéticos para poder representar el año base en LEAP, se corroboran con los resultados arrojados por LEAP. Como bien se puede comprobar, la generación de energía y las emisiones asociadas se ha introducido en software y han sido interpretadas correctamente.

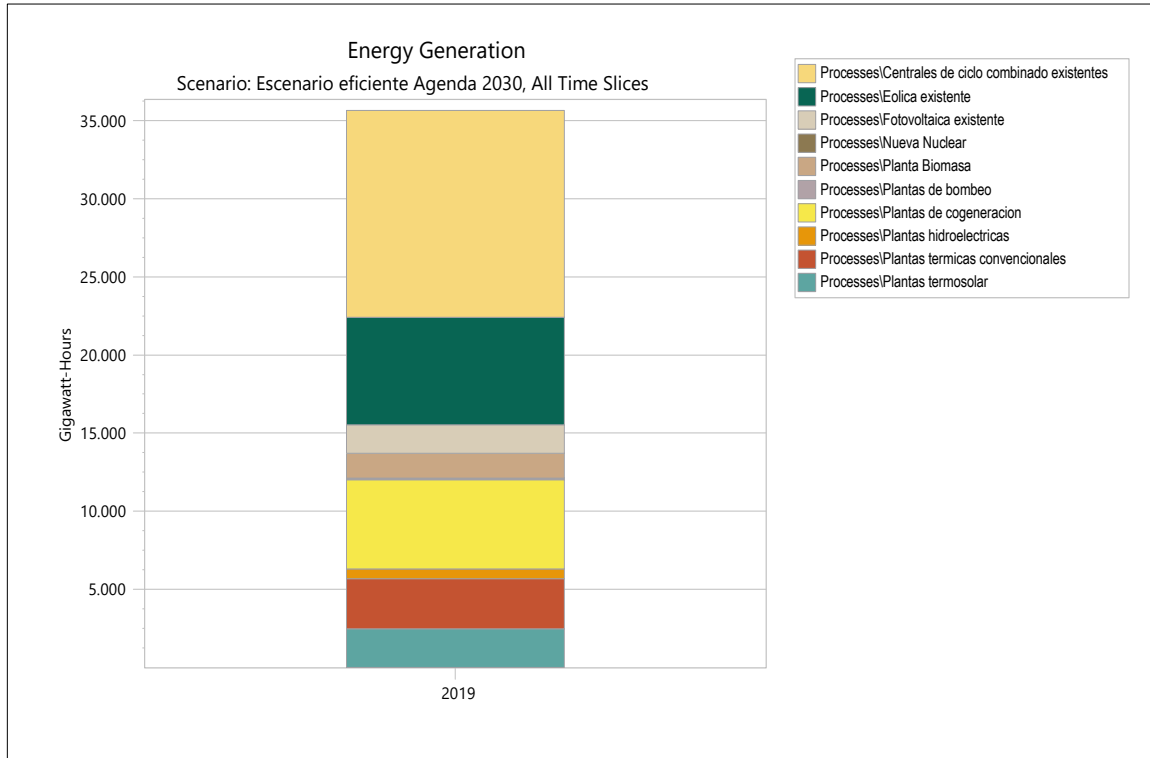


Ilustración 23. Generación de energía (GWh) del año base  
 Fuente: Elaboración propia

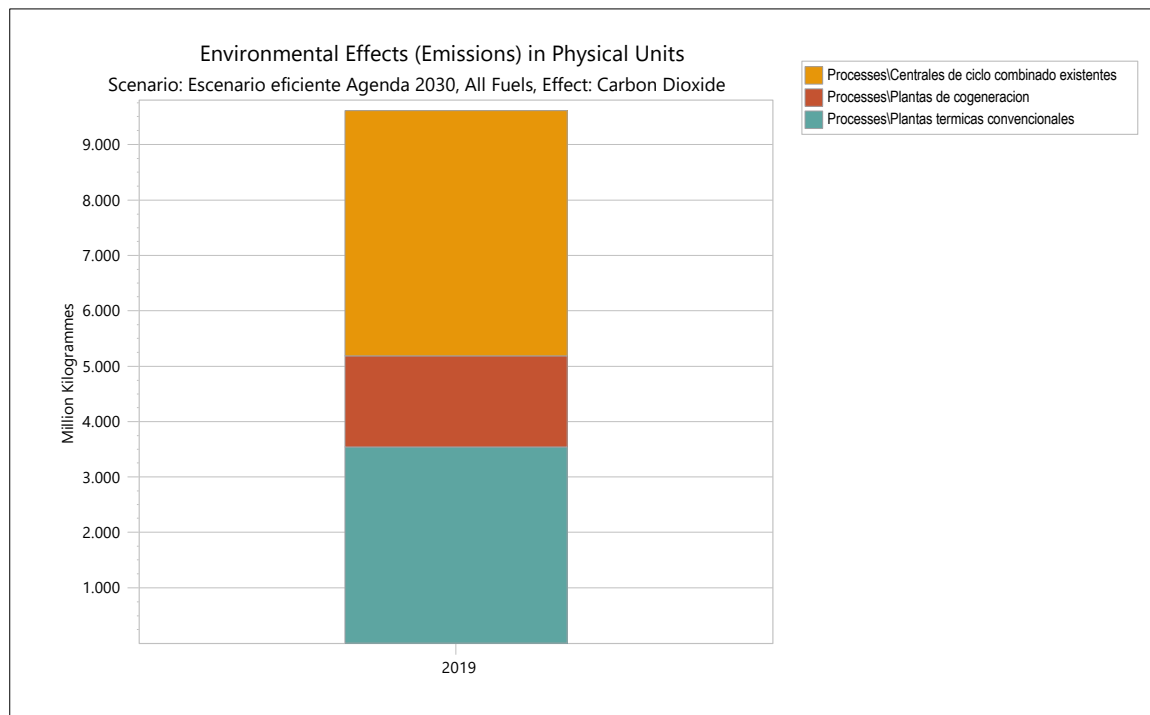


Ilustración 22. Emisiones de CO2 relacionadas con la generación de energía eléctrica (kilotoneladas)  
 Fuente: Elaboración propia

### - Transformación de energía: Refino de petróleo

En Andalucía se encuentran dos de las refinerías más importantes del país, por este motivo, se han tenido en cuenta para el modelado energético de la región:

Refinería de Cepsa en San Roque (Cádiz): Esta refinería es una de las más grandes y complejas de Europa, y produce una amplia gama de productos petrolíferos, como gasolina, diésel, queroseno y fuelóleo. También cuenta con una planta de coque y una de lubricantes.

En Andalucía también se encuentra la Refinería La Rábida de Cepsa, ubicada en Palos de la Frontera (Huelva), que es una de las refinerías más importantes de España. Esta refinería tiene una capacidad de producción de alrededor de 10 millones de toneladas al año y produce principalmente gasolina, diésel, fuelóleo y coque. Además, cuenta con una planta de lubricantes y una planta petroquímica. La Refinería La Rábida es una de las principales fuentes de empleo en la provincia de Huelva y un importante actor en la economía de la región.

Los datos de entrada sobre estas refinerías necesarios para LEAP son:

Refinerías de petróleo	Capacidad de destilación (TM/A)	Eficiencia
<b>La Rábida</b>	10,5 millones	85%
<b>San Roque</b>	12 millones	
<b>Total</b>	22,5 millones	

Tabla 28. Capacidad de refino en TM/A de La Rábida y San Roque  
Fuente: Agencia Andaluza de la Energía y Elaboración propia

Si bien LEAP pide la capacidad de refino en (TEP) hay que realizar la conversión de TM/A a TEP. La relación de equivalencia entre toneladas métricas (TM) y toneladas equivalentes de petróleo (TEP) puede variar ligeramente dependiendo de la fuente consultada, ya que se trata de una medida convencional que puede estar sujeta a ciertas variaciones.

En general, se utiliza una relación de conversión de 1 TM = 1,163 TEP, que es la que se utiliza en España. Sin embargo, en algunos ámbitos internacionales se utiliza una relación de 1 TM = 1,42 TEP, que es la que se utiliza, por ejemplo, en la Agencia Internacional de la Energía (AIE) para los cálculos de consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por lo tanto, en la conversión de 10,5 millones de TM/año a TEP/año se ha realizado la conversión de 1 TM = 1,42 TEP, siguiendo la fuente de la Agencia Internacional de la Energía: 14,91 millones de TEP/año

De la misma manera se realiza el cálculo para la refinería de San Roque quedando una capacidad de 17,04 millones de tep/año y haciendo un total entre las dos refinerías de 32 millones de tep/año.

Es cierto que la capacidad nominal de producción de ambas refinerías, La Rábida y San Roque, es muy alta en términos de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), y puede parecer desproporcionada en relación con la capacidad de producción de petróleo y gas natural de Andalucía. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas refinerías también procesan petróleo crudo importado de otros países para satisfacer la demanda de combustibles en España y otros mercados internacionales.

La capacidad de producción de estas refinerías se establece en función de la demanda del mercado y la disponibilidad de crudo, y puede variar según las condiciones del mercado y otros factores. Además, es posible que no se utilice toda la capacidad nominal de producción en todo momento debido a factores como el mantenimiento y las reparaciones, la demanda del mercado y las fluctuaciones en el suministro de crudo.

Refinerías de petróleo	Capacidad de refino BPD (TN/A)	Capacidad de refino TEP/año
La Rábida	10500000	14910000
San Roque	12000000	17040000
<b>Total</b>	<b>22500000</b>	<b>31950000</b>

Tabla 29. Conversión en la capacidad de refino para tener TEP/año  
Fuente: Elaboración propia

En LEAP se ha especificado que la materia prima (crudo de petróleo) es importado en su totalidad para generar una serie de productos como: gasolina, Diesel, lubricantes, gasoil etc

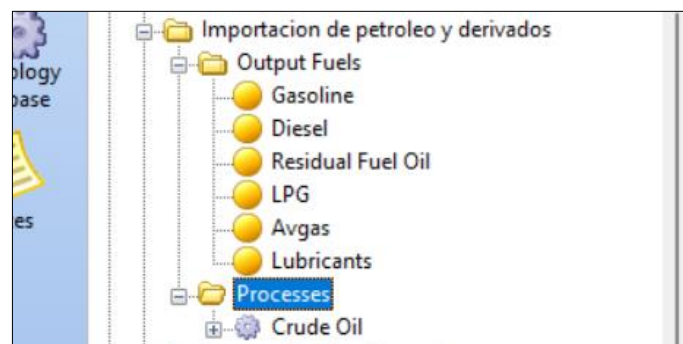


Ilustración 24. Configuración de la actividad de refino de petróleo  
Fuente: Elaboración propia

Una vez se han obtenido estos datos de entrada, LEAP se dispone a calcular generación de derivados de petróleo a partir del crudo de petróleo, así como sus emisiones asociadas:

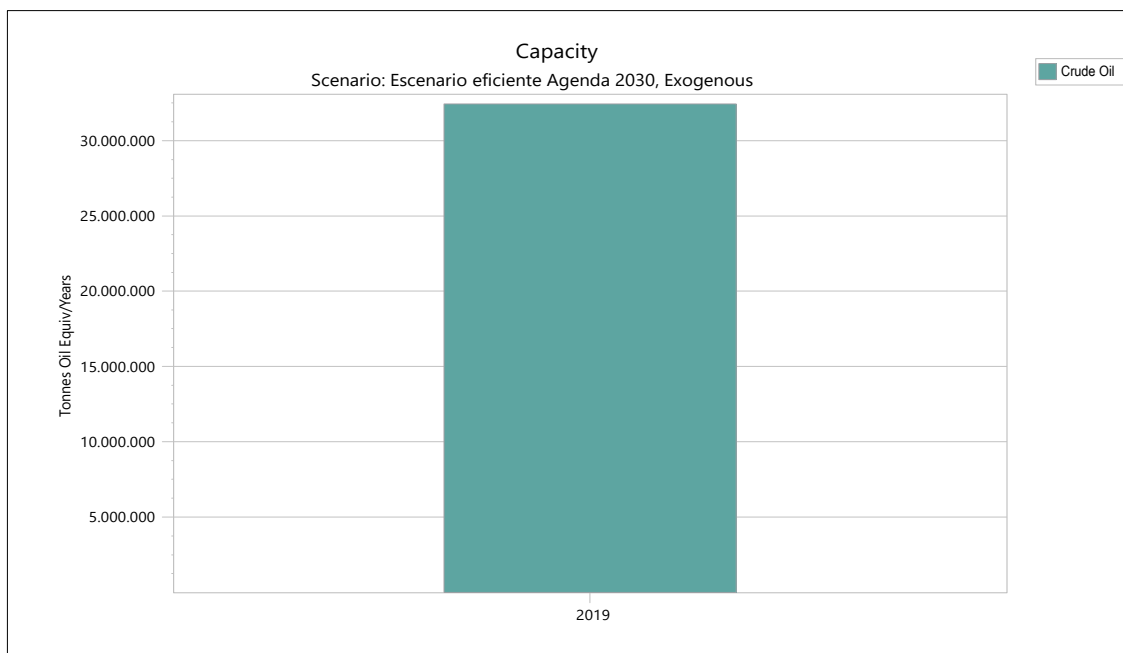


Ilustración 25. Capacidad en tep/año de refino de petróleo para el año 2019

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

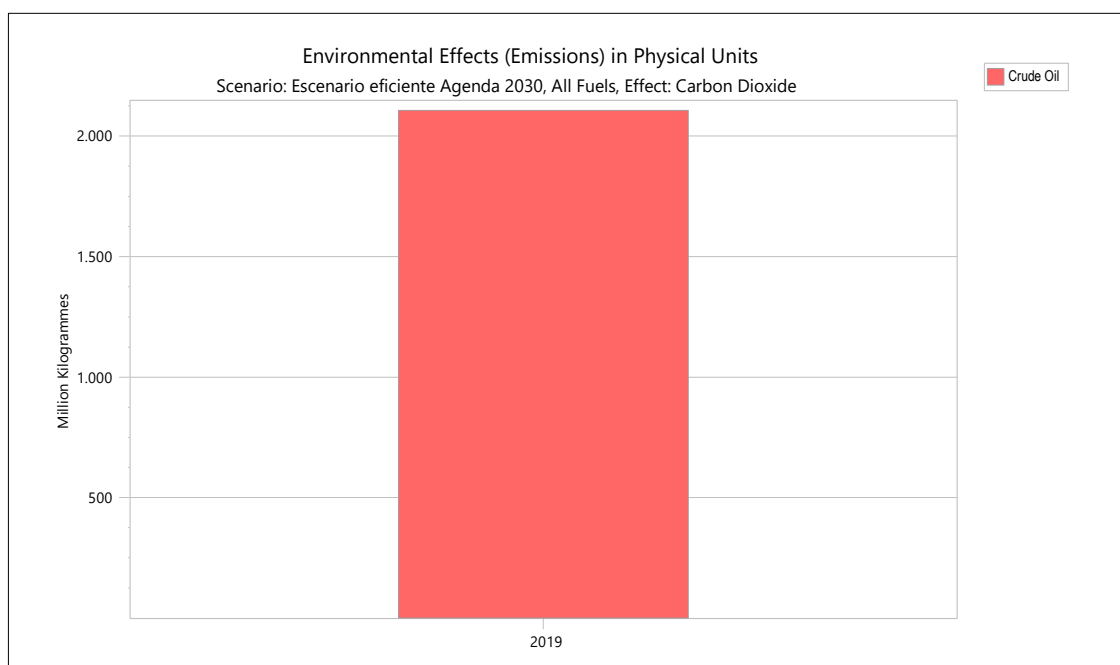


Ilustración 26. Emisiones que guardan relación con la producción de gas natural (en kilotoneladas) para el año 2019

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Transformación de energía: Gas natural

En este caso, se ha creado un bloque para la importación de gas natural ya que es otro de los combustibles mayoritarios en el consumo de Andalucía en el año base, junto al petróleo. En 2019, la producción de gas natural en Andalucía fue de 6300 toneladas equivalentes de petróleo (TEP), según la Agencia Andaluza de la Energía. Es importante tener en cuenta que la producción de gas natural en Andalucía es relativamente pequeña en comparación con su consumo, por lo que la región depende en gran medida de las importaciones de gas natural.

El procedimiento ha sido muy similar al del petróleo, es decir, se ha añadido la cantidad de gas natural que se produjo en Andalucía en 2019 y, como es mucho más inferior esta cifra a la que se consume se ha especificado que, el resto de gas natural se importa.

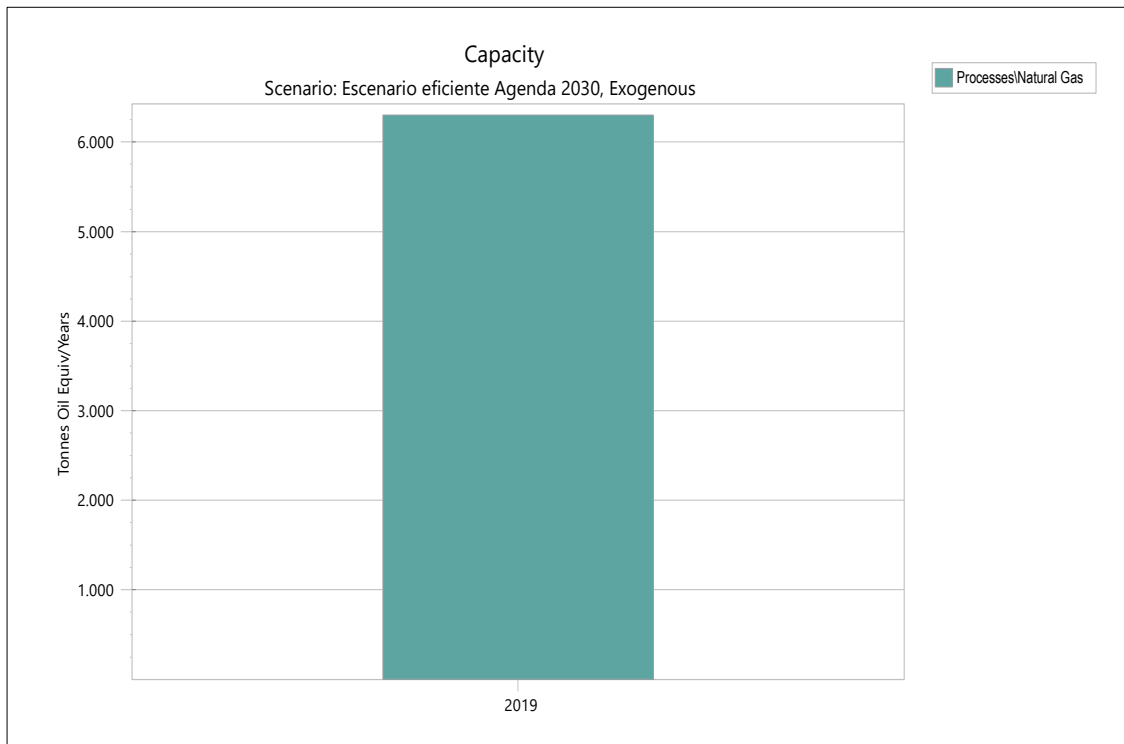


Ilustración 27. Capacidad en tep/año de la producción de gas natural en Andalucía en el año 2019  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

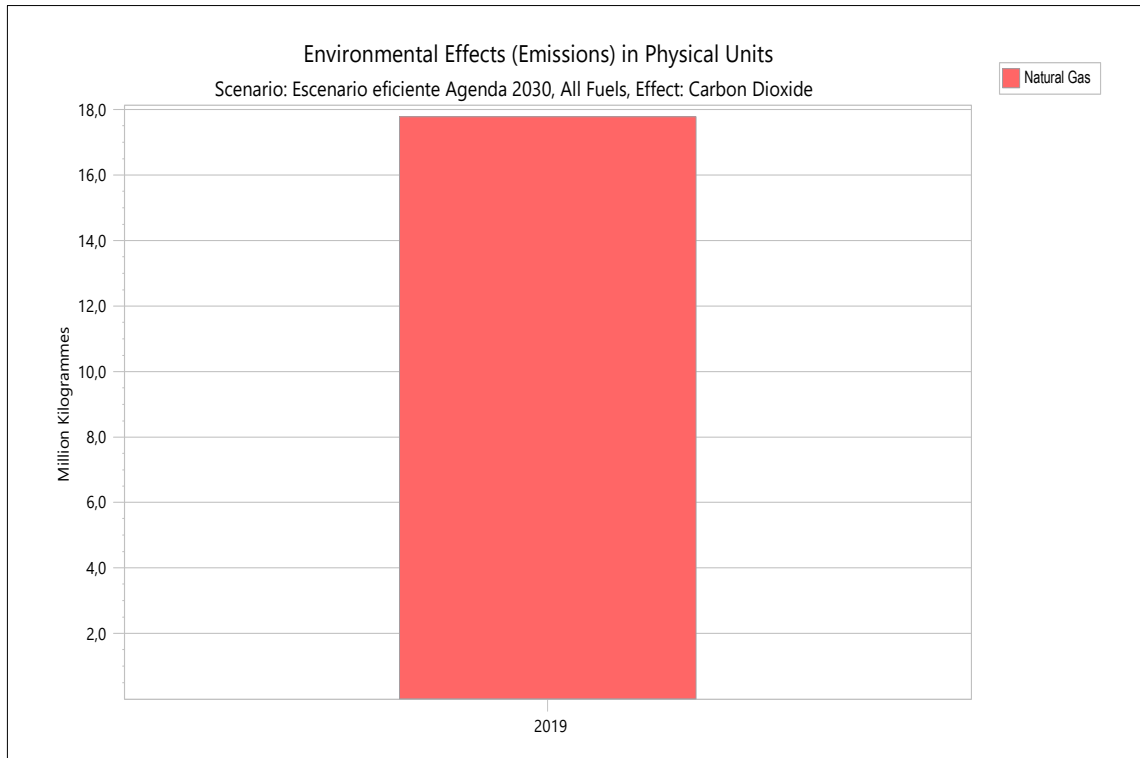


Ilustración 28. Emisiones asociadas a la producción de gas natural (en kilotoneladas) para el año 2019  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

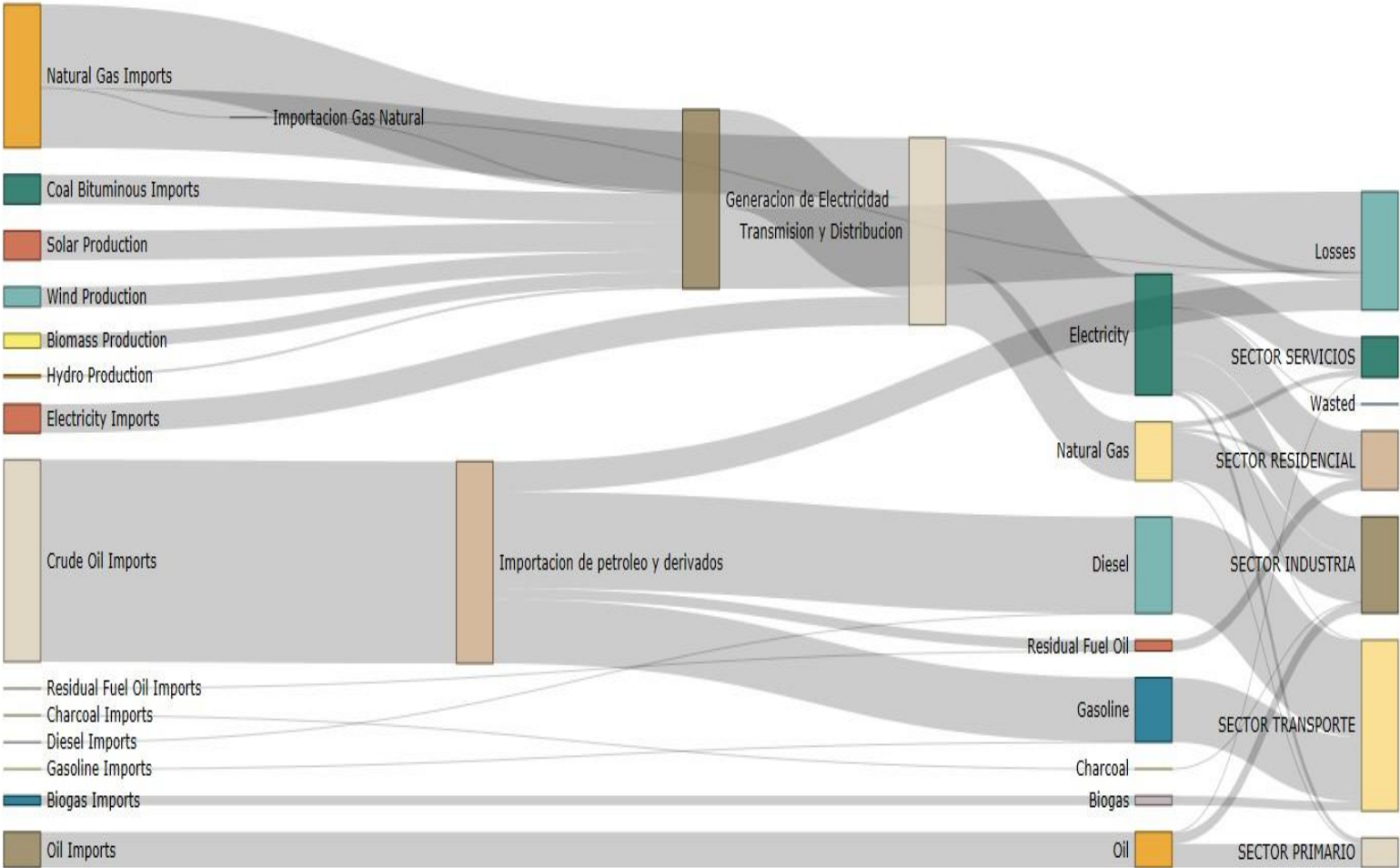


Ilustración 29. Diagrama Sankey para el año base  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## **5.2 Creación del modelo energético para el escenario tendencial eficiente**

Las hipótesis para el escenario de eficiencia energética en Andalucía en 2030 consideran el impacto de las medidas previstas en la Estrategia para lograr los objetivos establecidos. De la misma manera que se ha procedido en el modelado energético del año base, se hace con este escenario tendencial:

### **5.2.1 Modelado de la demanda**

Para explicar con detalle cómo se ha modelado energéticamente la demanda, se estudiará sector por sector, explicando las consideraciones oportunas, así como su evolución individualmente.

#### **Sector transporte**

Las consideraciones para el sector transporte en este escenario serán:

- El transporte es un sector de gran impacto y difícil de abordar debido a su infraestructura dispersa y tecnologías variadas en todo el territorio.
- Este sector depende en gran medida de los combustibles fósiles, lo que resulta en altas emisiones de gases de efecto invernadero. Es esencial reducir la demanda energética y aumentar el uso de combustibles de baja y cero emisiones, como biocombustibles, electricidad e hidrógeno.
- El sector del transporte por carretera es el líder en consumo, con un aumento previsto de vehículos colectivos, motocicletas y vehículos de una sola persona en comparación con los turismos. Sin embargo, se espera que el consumo total no aumente debido al menor consumo por pasajero y una mayor tasa de uso compartido.
- Se espera que un 25% de los vehículos de carga sean de combustibles alternativos, como resultado del desarrollo de infraestructuras para la recarga de gas y electricidad y la disponibilidad de biocombustibles

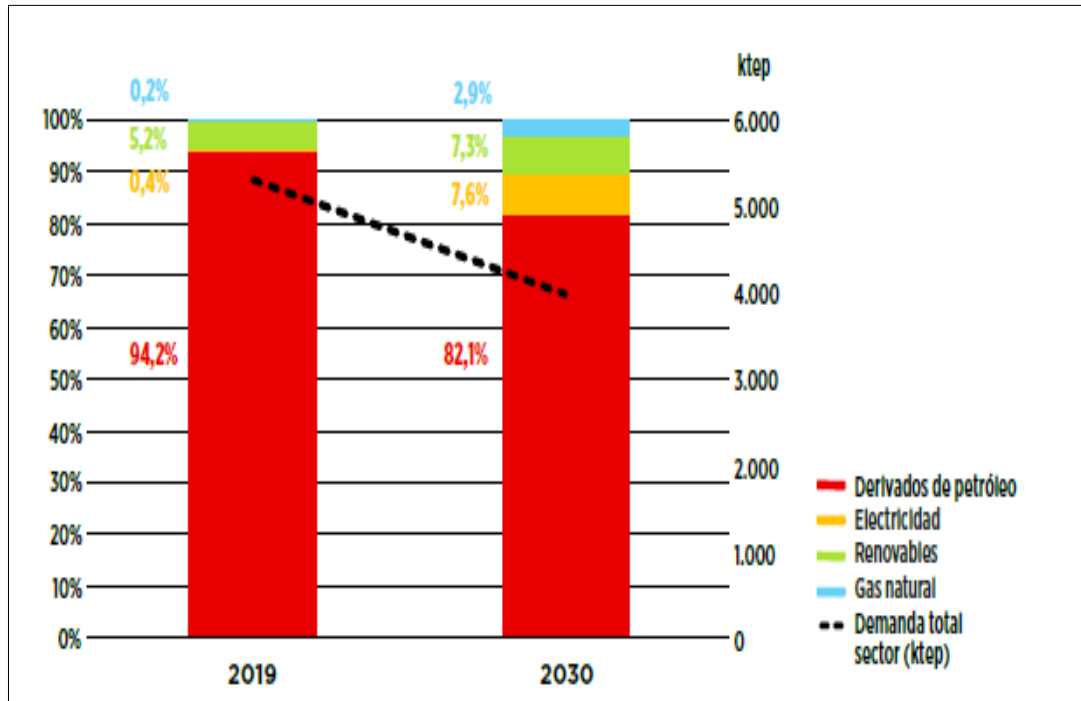


Ilustración 30. Desarrollo del consumo en el área de transporte en el escenario eficiente  
Fuente: Estrategia Energética Andalucía 2030 y Agencia Andaluza de Energía

El procedimiento que se ha seguido ha sido muy simple (igual en todos los sectores): calcular la demanda estimada en 2030 sabiendo su variación (disminución de 25%) con respecto al año de estudio y en base a ese dato de consumo aplicar los porcentajes para cada fuente de energía.

Combustible	2019	2030
Derivados de petróleo	94,2%	82,1%
Electricidad	0,4%	7,6%
Renovables	5,2%	7,3%
Gas natural	0,2%	2,9%
<b>DEMANDA (ktep)</b>	-	25% menos

Tabla 30. Evolución de las fuentes energéticas en el área de transporte dentro del escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

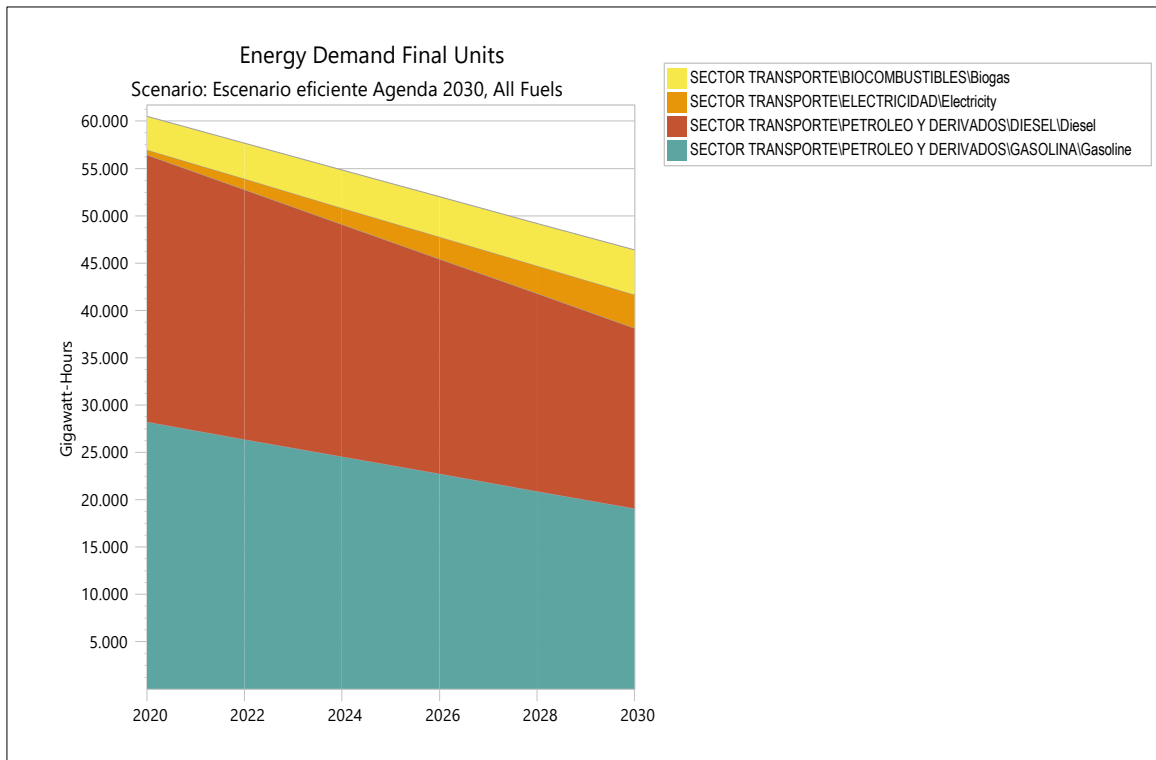


Ilustración 31. Demanda prevista para el área de transporte referido al escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

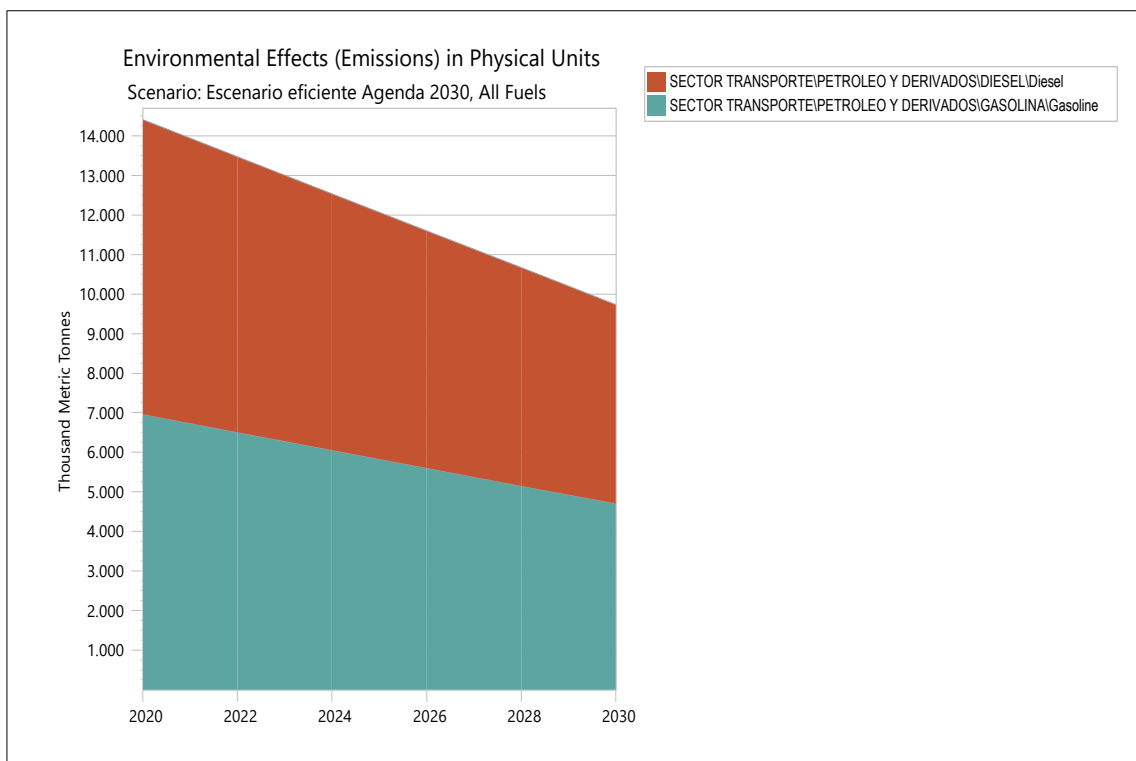


Ilustración 32. Emisiones previstas para el sector transporte en el área de transporte referido al escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## Sector industria

Las consideraciones para el sector industria en este escenario serán:

- En Andalucía, la industria utiliza una cantidad mayor de energía que la media nacional.
- Se espera, una disminución en el consumo de productos derivados del petróleo y una continuidad en el uso de gas natural a medida que las energías renovables ganen terreno.
- Se espera que el precio de la electricidad disminuya con el objetivo de impulsar la electrificación del consumo industrial, que se prevé aumentará en un 30%.
- La biomasa, y otras formas de energía renovable sin emisiones de carbono, serán utilizadas para cubrir las necesidades de calor antes cubiertas por combustibles fósiles.
- Se prevé una disminución en la demanda energética del 8% con respecto a 2019, llegando a 2,8 Mtep.

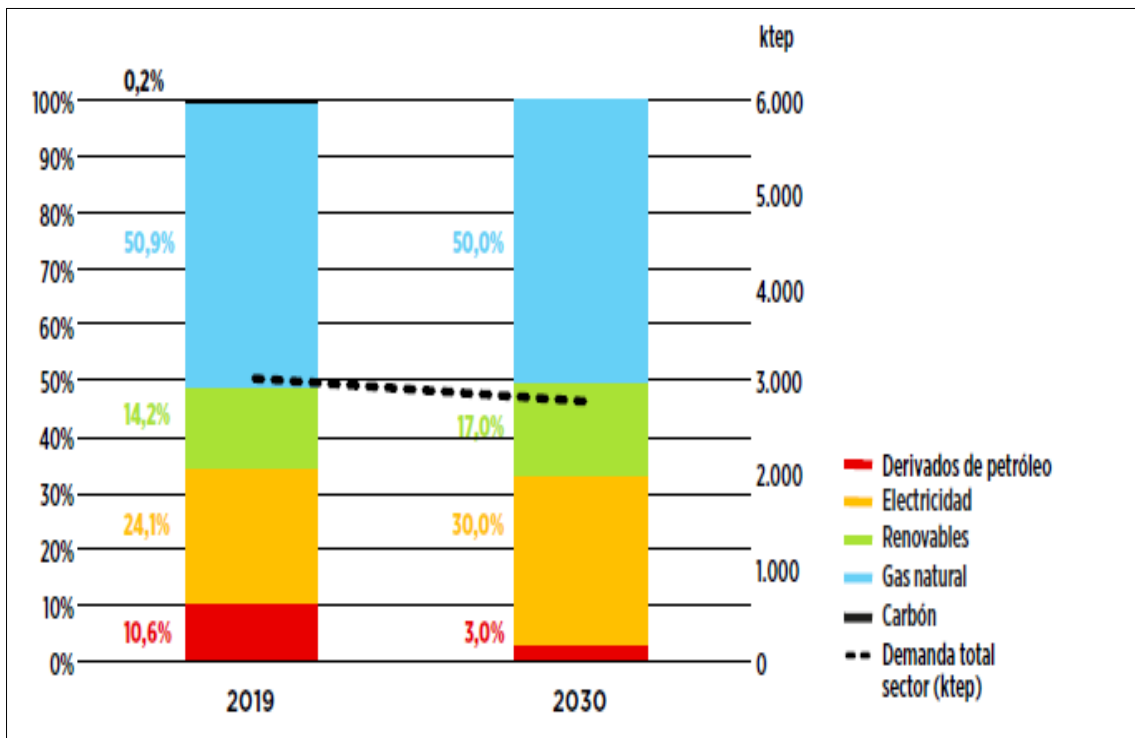


Ilustración 33. Desarrollo del consumo en el área industrial en el escenario eficiente  
Fuente: Estrategia Energética Andalucía 2030 y Agencia Andaluza de Energía

Combustible	2019	2030
Carbón	0,2%	0 %
Derivados de petróleo	10,6%	3%
Electricidad	24,1%	30%
Renovables	14,2%	17%
Gas natural	50,9%	50%
<b>DEMANDA (ktep)</b>	-	<b>8% menos</b>

Tabla 31. Evolución de las fuentes energéticas en el área Industrial dentro del escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

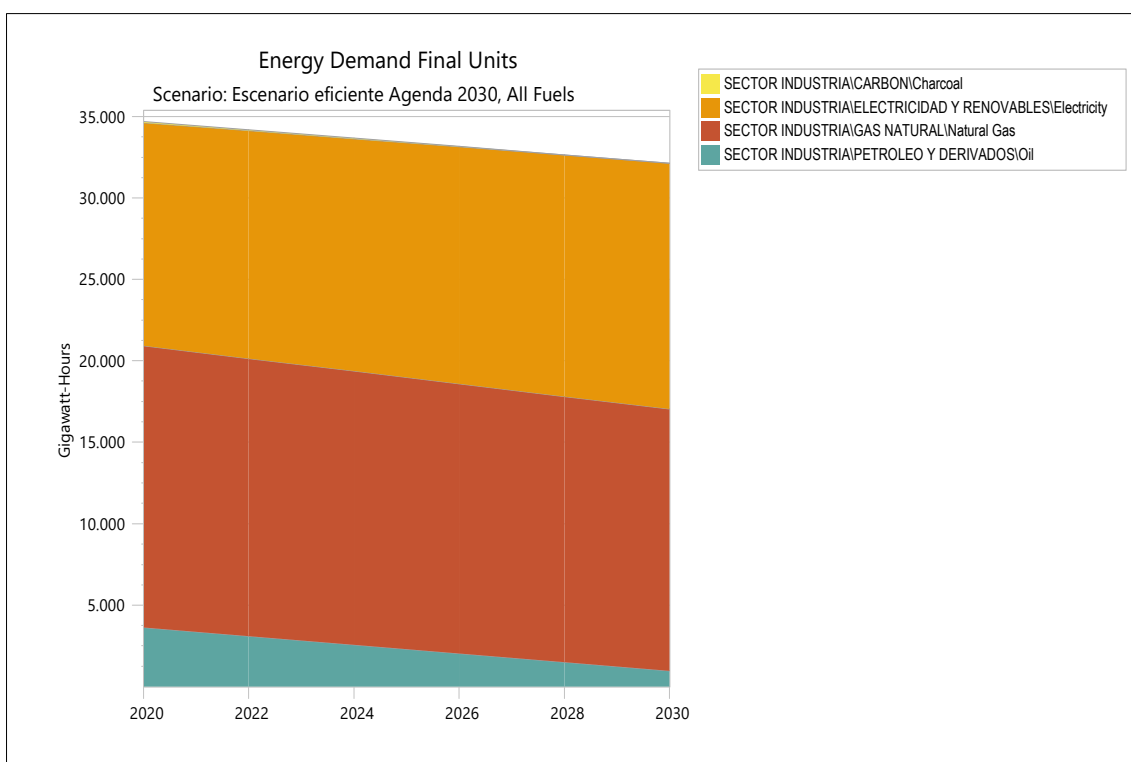


Ilustración 34. Demanda prevista para el sector industria en el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

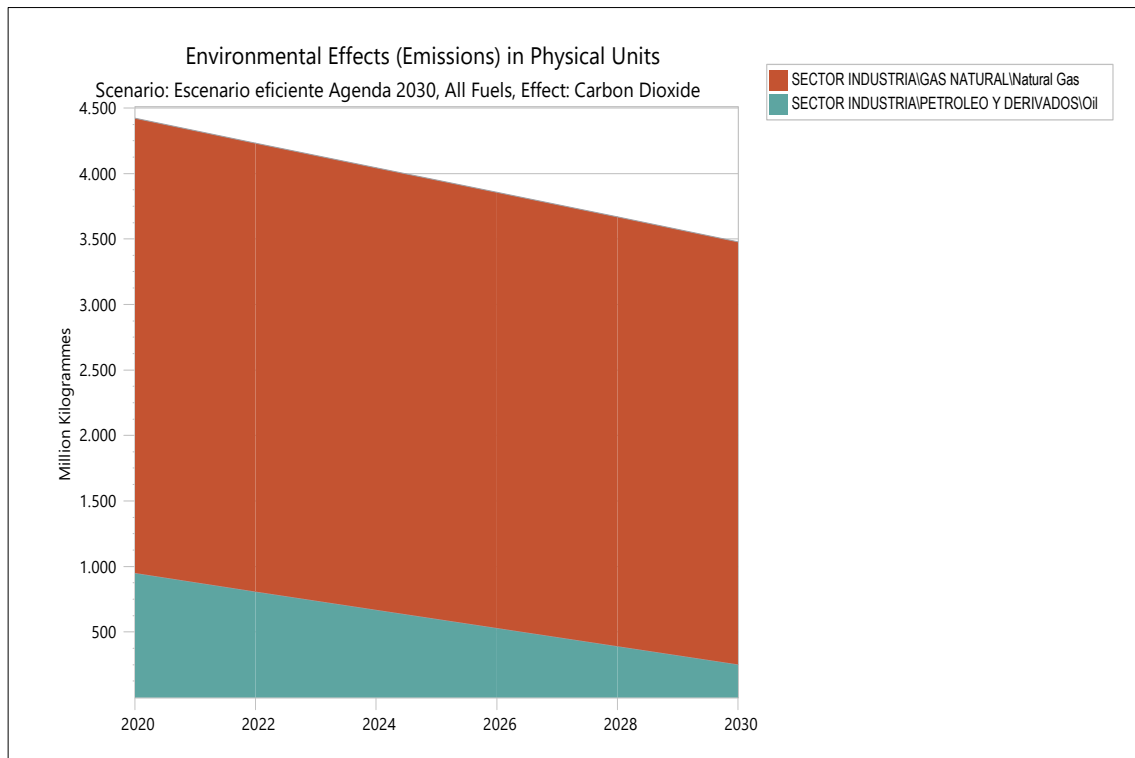


Ilustración 35. Emisiones previstas para el sector Industria en el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## Sector residencial

Las consideraciones para el sector residencial en este escenario serán:

- Se prevé una mejora en la eficiencia energética en viviendas, tanto en las de nueva construcción que cumplirán con estándares de bajo consumo, como en las ya existentes que serán renovadas para mejorar su eficiencia térmica y reducir su consumo energético.
- Se espera una optimización en el consumo eléctrico gracias a la mayor eficiencia de las instalaciones térmicas, la incorporación de tecnologías renovables como la geotermia, la energía solar y la biomasa, así como al aumento del autoconsumo.
- En el sector, se prevé un aumento en la demanda de productos petrolíferos hasta alcanzar el 65% del consumo total, siendo la electricidad la segunda fuente de energía con un 18%.
- Se espera una disminución en el uso de productos petrolíferos a favor de fuentes de energía renovables y gas natural en los usos térmicos.
- Se prevé una reducción del 10% en la demanda de energía en el sector residencial, lo que supondrá un total de 1,6 Mtep.

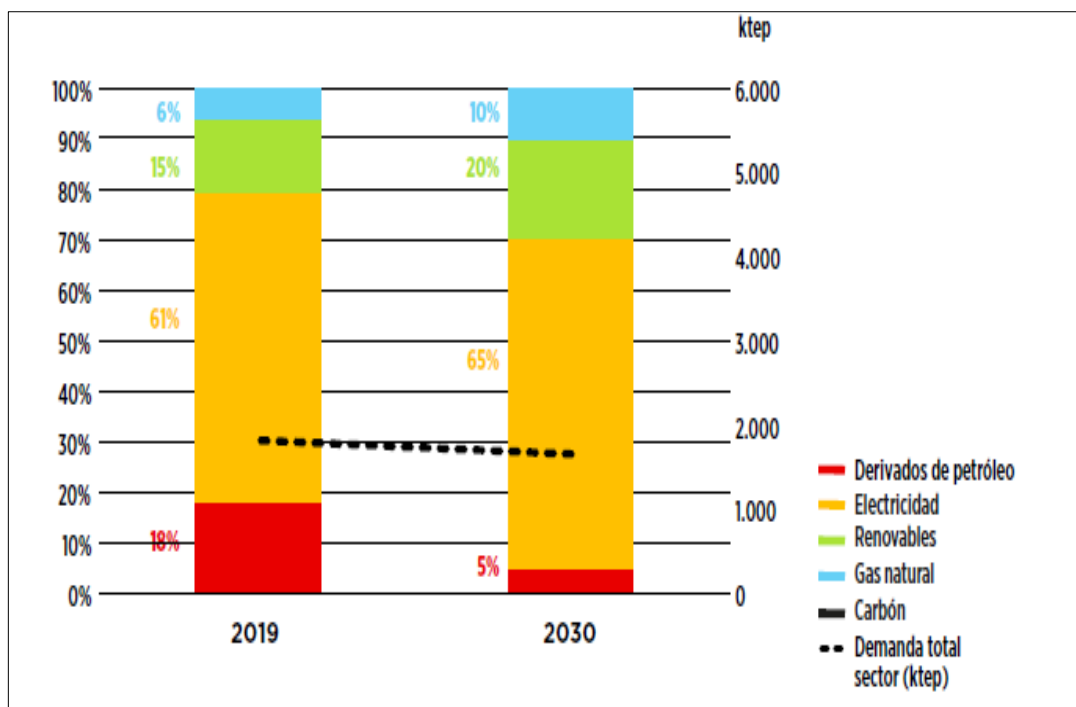


Ilustración 36. Desarrollo del consumo en el área residencial en el escenario eficiente  
Fuente: Estrategia Energética Andalucía 2030 y Agencia Andaluza de Energía

Combustible	2019	2030
Derivados de petróleo	18%	5%
Electricidad	61%	65%
Renovables	15%	20%
Gas natural	6%	10%
<b>DEMANDA (ktep)</b>	-	10% menos

Tabla 32. Evolución de las fuentes energéticas en el área residencial dentro del escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

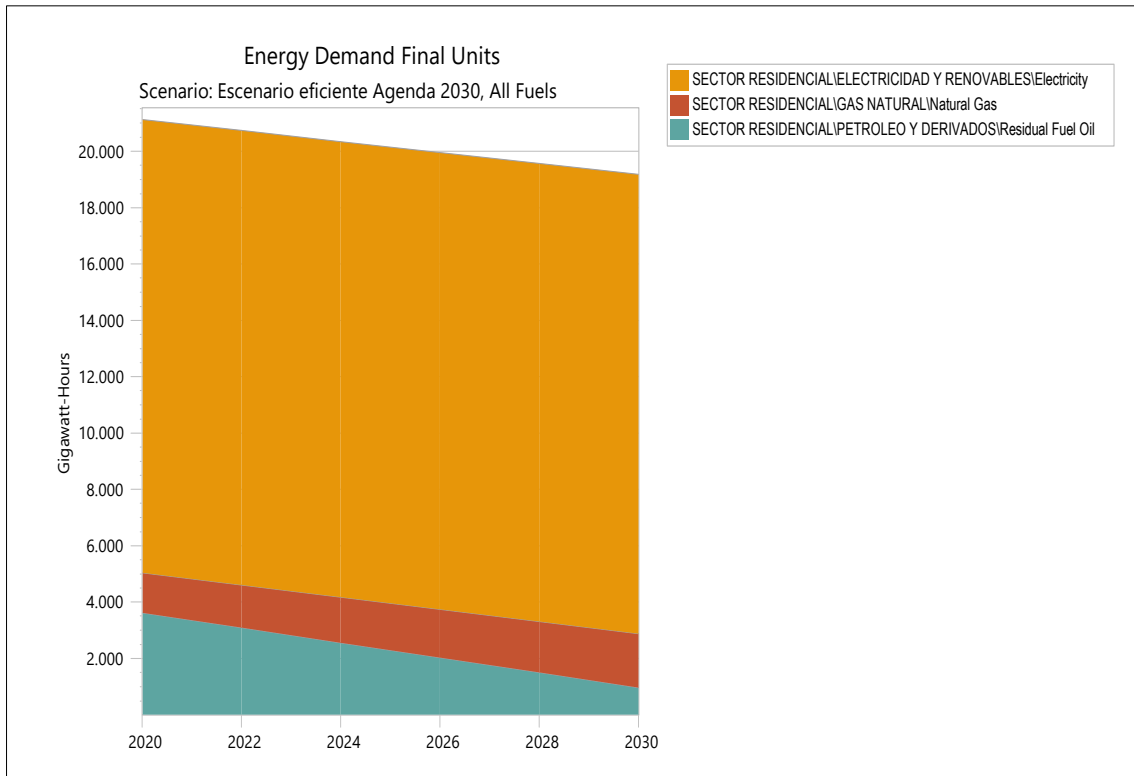


Ilustración 37. Demanda prevista para el sector residencial en el escenario 2030 eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

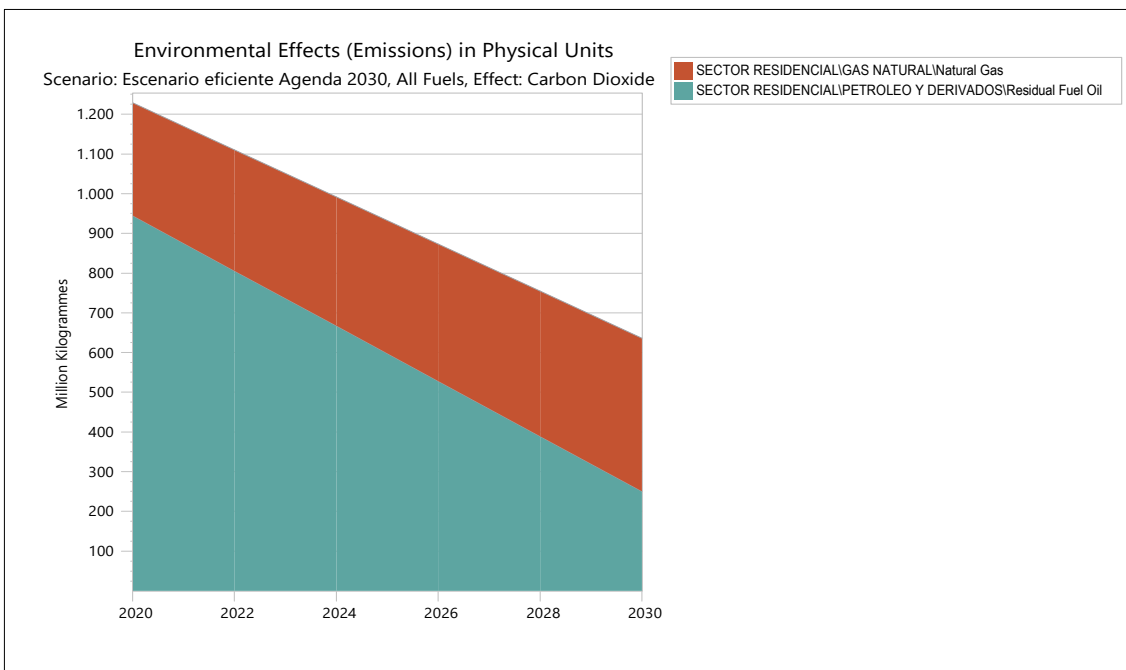


Ilustración 38. Emisiones previstas para el sector residencial en el escenario 2030 eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## Sector servicios

Las consideraciones para el sector servicios en este escenario serán:

- La demanda de energía en el sector de servicios estará influenciada por la eficiencia energética de los edificios, incluyendo la construcción de nuevos edificios con consumo prácticamente nulo y la gestión eficiente de la demanda. Se prevé una reducción en la demanda de energía en este sector.
- El sector de servicios está compuesto por edificios relacionados con actividades comerciales y de oficina, que tienen un elevado consumo de iluminación, climatización y equipamiento ofimático.
- Se espera que la demanda de electricidad en el sector aumente hasta superar el 80% del total en 2030.
- Se espera que la demanda de energía en el sector total disminuya un 8% en comparación con 2019.

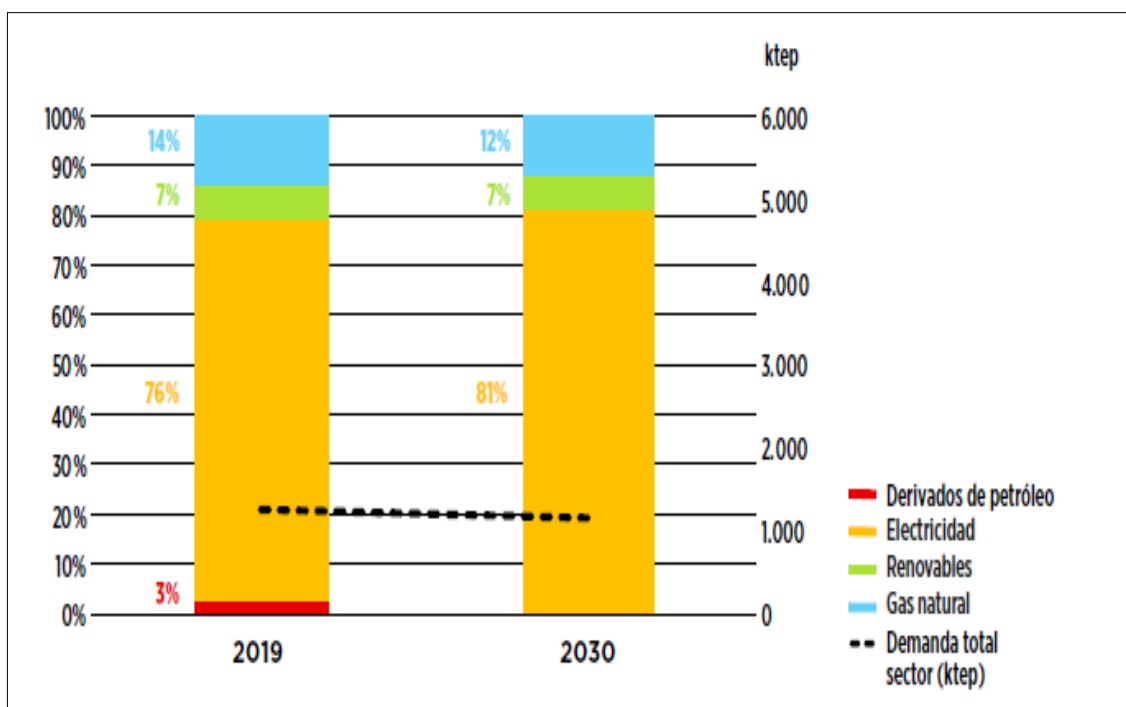


Ilustración 39. Desarrollo de la distribución del consumo energético final en el área de servicios (escenario de eficiente)

Fuente: Estrategia Energética Andalucía 2030 y Agencia Andaluz

Combustible	2019	2030
Derivados de petróleo	3%	0%
Electricidad	76%	81%
Renovables	7%	7%
Gas natural	14%	12%
DEMANDA (ktep)	-	8% menos

Tabla 33. Evolución de las fuentes energéticas en el área de servicios dentro del escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

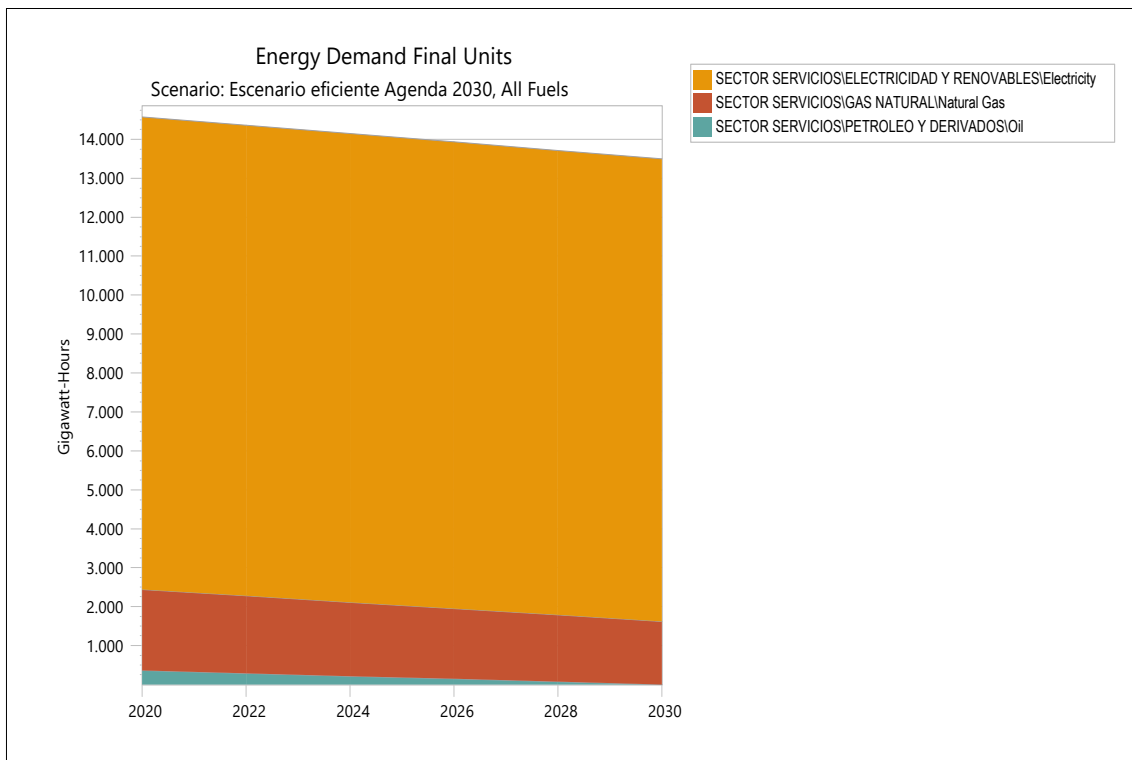


Ilustración 40. Demanda prevista para el sector servicios en el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

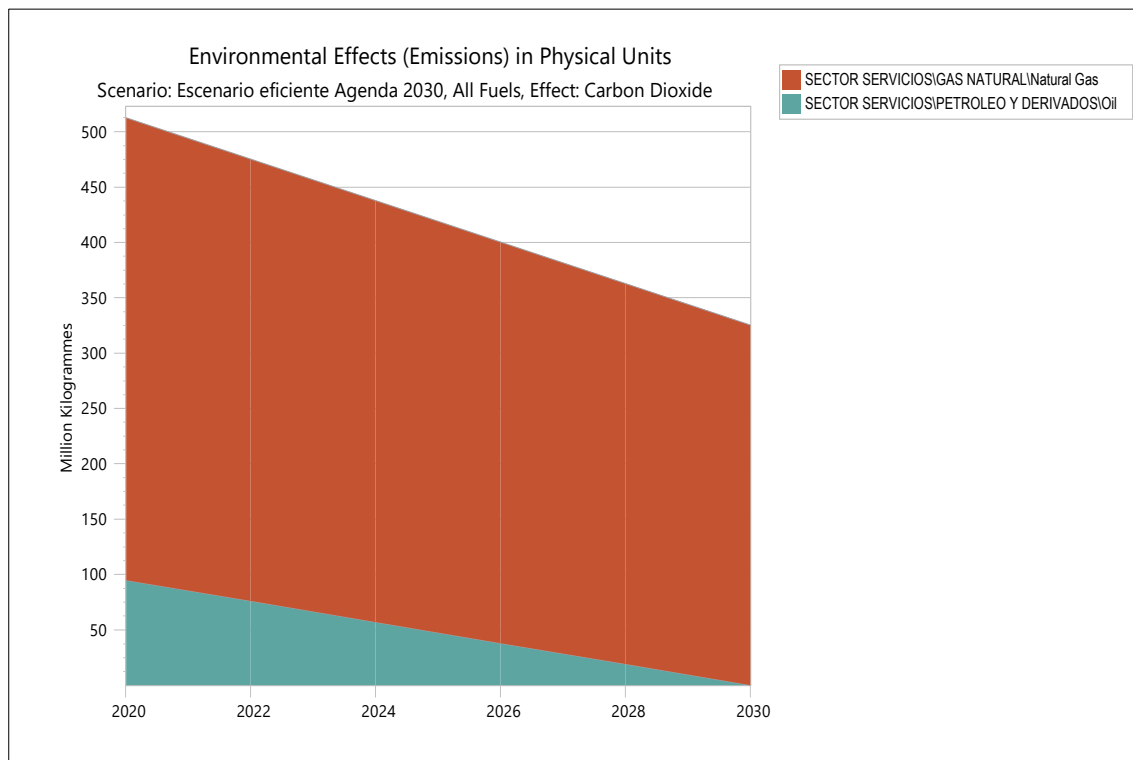


Ilustración 41. Emisiones previstas para el sector servicios en el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## -Sector primario

Las consideraciones para el sector primario en este escenario serán:

- El sector primario, aunque no es un factor significativo en el consumo total de energía en Andalucía, es de gran importancia en la economía de la región.
- Se espera que en el sector primario haya una continuación de la tendencia hacia la reducción del uso de productos petrolíferos y un aumento del consumo de electricidad y gas natural. En 2000, se alcanzó un 85% de consumo de energía que provenía del gasóleo para la maquinaria agrícola y el resto de la electricidad.
- Además, se espera mejorar la eficiencia del sector primario mediante la mecanización y electrificación de sus operaciones, lo cual permitirá reducir el consumo de energía.
- Se espera que la demanda de energía en el sector primario aumente en un 2%, debido a la mecanización y electrificación del sector para lograr una mayor eficiencia en su actividad.

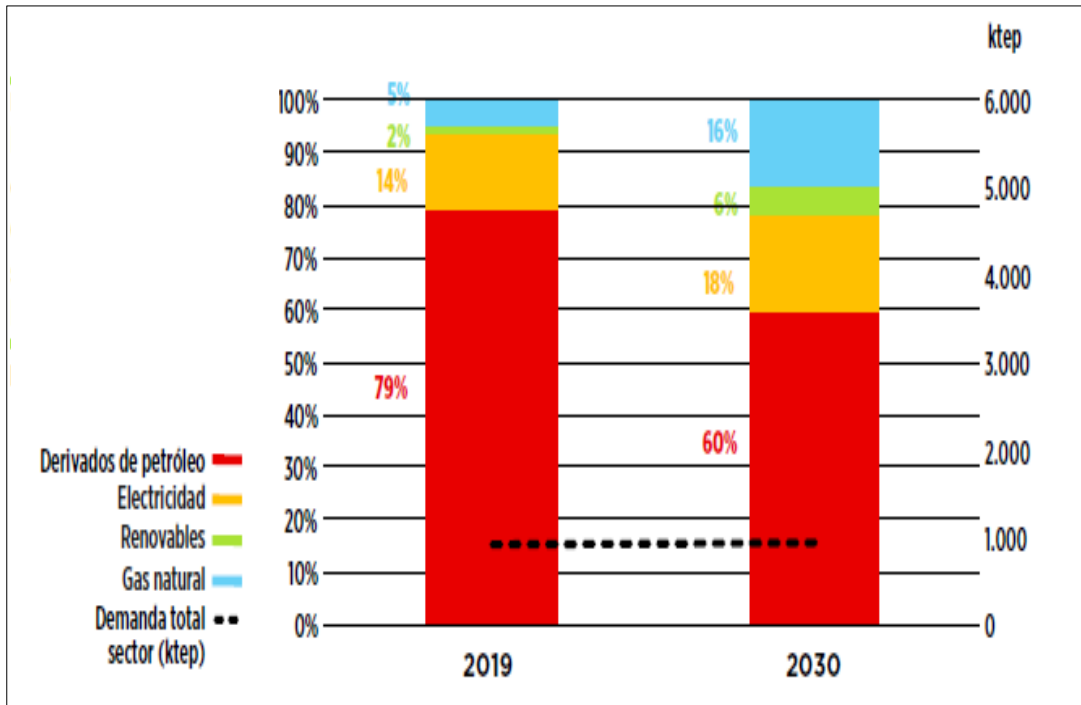


Ilustración 42. Desarrollo del consumo en el área primaria en el escenario eficiente  
Fuente: Estrategia Energética Andalucía 2030 y Agencia Andaluza de la Energía

Combustible	2019	2030
Derivados de petróleo	79%	60%
Electricidad	14%	18%
Renovables	2%	6%
Gas natural	5%	16%
DEMANDA (ktep)	-	2% más

Tabla 34. Evolución de las fuentes energéticas en el área primaria dentro del escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

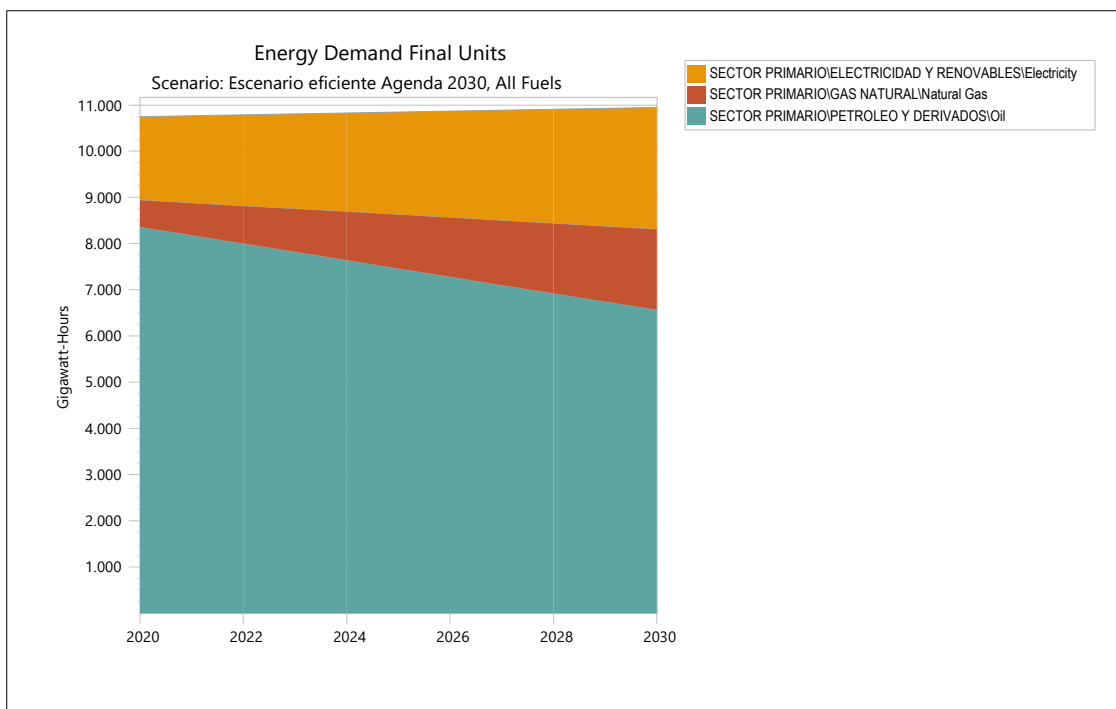


Ilustración 43. Demanda prevista para el sector primario en el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

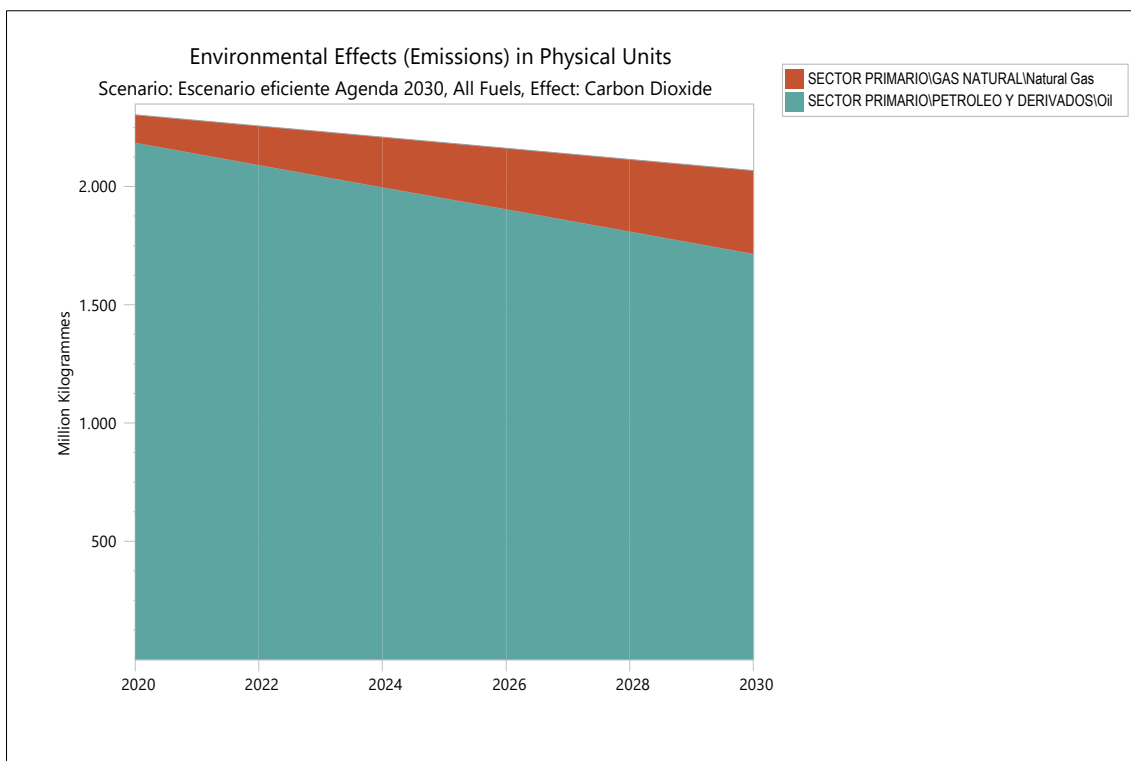
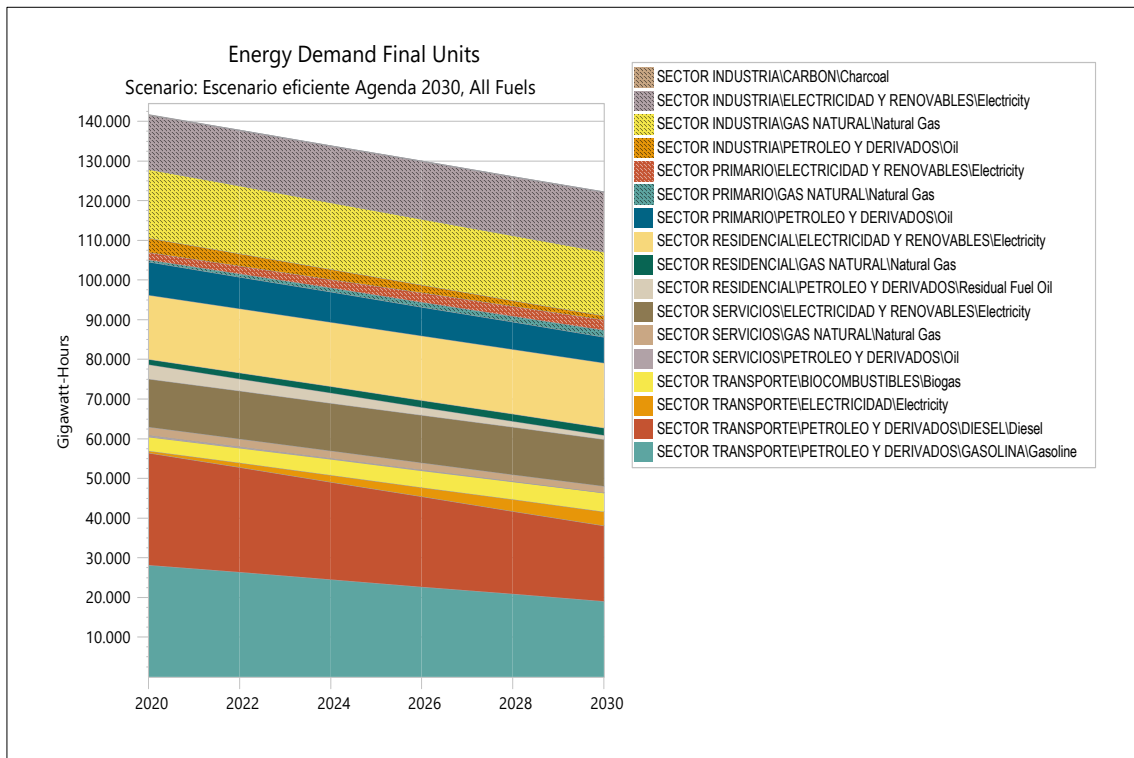


Ilustración 44. Emisiones previstas para el sector primario en el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## -Resultados globales

Una vez se ha tenido en cuenta todas las consideraciones oportunas para los 5 sectores de estudio, se pasa a ilustrar el consumo de energía final total, así como las emisiones estimadas para el 2030.

La demanda disminuye de 135777 GWh en 2019 hasta un valor en 2030 de 122153 GWh. En cuanto a emisiones también se espera, si se sigue este escenario de eficiencia, una importante disminución pasando de 22870 kt a 16238 kt.



*Ilustración 45. Demanda total para el año base  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP*

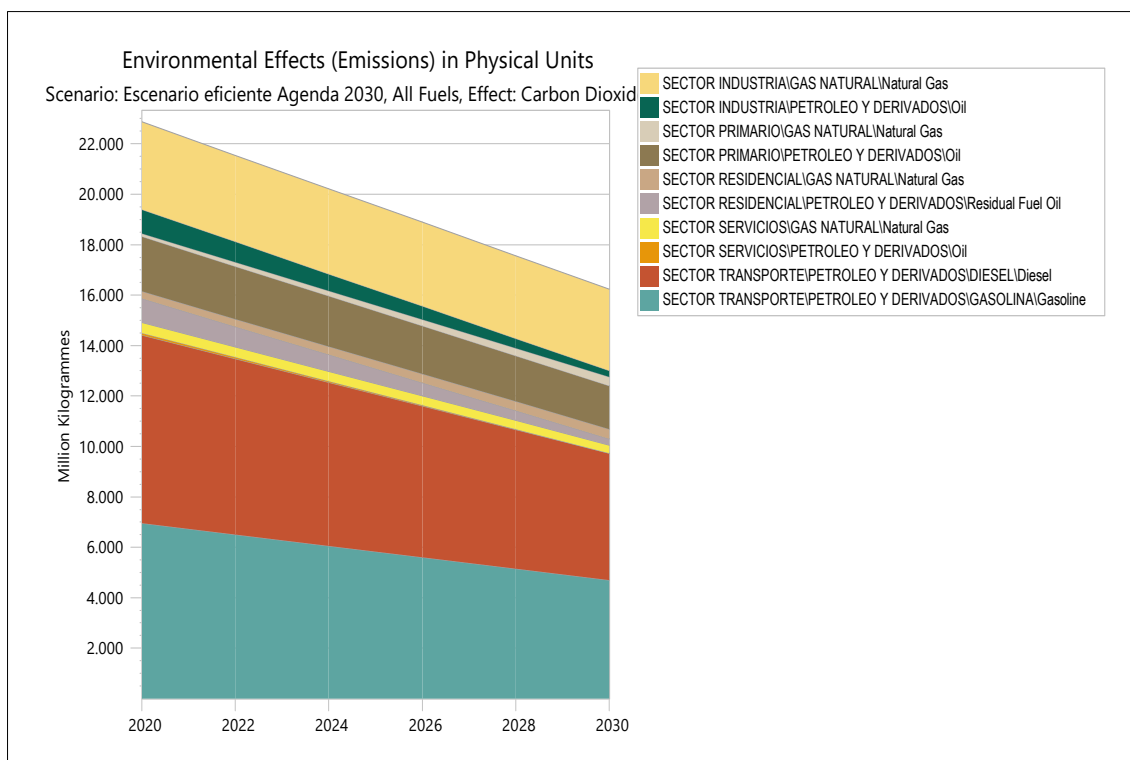


Ilustración 46. Emisiones totales en el año base  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## 5.2.2 Modelado de la generación y transformación de energía

En este apartado se contemplará las distintas tendencias energéticas en el ámbito de generación, transporte y transformación de energía.

### -Generación de energía eléctrica

En un futuro cercano, se esperan cambios significativos en la capacidad de generación de electricidad en Andalucía, debido al aumento de la potencia renovable instalada y el cierre de las centrales térmicas de carbón en la región. Se prevé que, para el año 2030, el 75% de la energía eléctrica se generará a partir de fuentes renovables, mientras que el resto será generado por ciclos combinados de gas natural, cogeneración y una pequeña cantidad de derivados del petróleo. La capacidad de energía renovable instalada en Andalucía se espera que aumente en un 340% durante el período 2019-2030, alcanzando una capacidad renovable total de 31 GW al final de 2030, lo que representa aproximadamente el 81% de la capacidad total. La gestión de la demanda y las tecnologías de almacenamiento se consideran claves para garantizar la gestión y la seguridad del suministro. Se espera que parte de esta capacidad renovable esté completamente operativa a partir del año 2031.

Para saber cómo va a variar la potencia instalada en cada una de las tecnologías renovables se ha hecho una revisión bibliográfica para saber su evolución para 2030:

- Según la Estrategia Energética de Andalucía, se espera que la capacidad instalada de energía **fotovoltaica** en la región aumente a un rango de entre 18 y 24 GW para el año 2030, lo que supone un importante aumento con respecto a la capacidad instalada en 2019, que era de alrededor de 1,8 GW. Este aumento en la capacidad instalada de energía fotovoltaica se espera que permita una mayor generación de energía eléctrica a partir de esta fuente renovable en la región.

-Según la Estrategia Energética de Andalucía, se espera que la capacidad instalada de energía **eólica** en la región alcance los 9.824 MW en 2030, lo que supone un incremento del 50,6% respecto a la capacidad instalada en 2019. Además, se prevé que la generación de energía eléctrica a través de la energía eólica alcance los 23.835 GWh en 2030, lo que supone un aumento del 54,8% respecto a la producción en 2019.

-Según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, se espera que la **potencia hidroeléctrica** instalada en Andalucía se mantenga estable en el periodo 2019-2030, con una potencia instalada de alrededor de 2 GW. No se espera un aumento significativo de esta fuente de energía renovable en la región durante ese periodo.

-Según la Estrategia Energética de Andalucía, se espera que la capacidad instalada de termosolar aumente de 2.3 GW en 2020 a 3.3 GW en 2030 en la región. Este aumento se logrará a través de la puesta en marcha de nuevos proyectos, así como de la ampliación de los existentes, aprovechando la capacidad de almacenamiento térmico de las plantas termosolares para permitir una mayor integración de energías renovables variables como la solar fotovoltaica y la eólica. Además, se espera que la tecnología termosolar evolucione hacia sistemas híbridos que combinen la captación de energía solar con otras tecnologías de generación, como la biomasa, con el fin de aprovechar mejor los recursos y aumentar la eficiencia energética.

- La estrategia energética de Andalucía prevé un aumento de la capacidad instalada de **biomasa** en un 57% en el periodo 2020-2030, pasando de los 345 MW en 2020 a 542 MW en 2030. Además, se espera que la producción de energía eléctrica a partir de biomasa se incremente en un 81%, pasando de 1.364 GWh en 2020 a 2.470 GWh en 2030. Esto se debe a la promoción de instalaciones de generación de energía a partir de biomasa, tanto en grandes como en pequeñas instalaciones, y al fomento de la generación distribuida y autoconsumo. Además, se espera que se produzca un aumento en la utilización de residuos y subproductos agrícolas y forestales como materia prima para la producción de energía, lo que contribuirá a la reducción de la huella de carbono y a la gestión sostenible de los recursos naturales.

También se ha hecho esta búsqueda de información sobre la evolución de potencia instalada para las centrales que usan energía no renovable:

-En el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 se estima que en Andalucía disminuirá la potencia instalada de centrales térmicas convencionales en los próximos años, debido al cierre de las centrales de carbón en la región. El escenario definido para 2030 contempla que al menos el 75% de la producción

eléctrica en la región provendrá de fuentes renovables, mientras que el resto corresponderá a la generación de electricidad a partir de gas natural en ciclos combinados y cogeneración, y una pequeña contribución de derivados de petróleo.

-Según la Estrategia Energética de Andalucía 2020-2030, se espera que la capacidad instalada de **ciclos combinados** en la región se mantenga estable en torno a los 5.000 MW en el horizonte de 2030.

- La Estrategia Energética de Andalucía 2020-2030 contempla un aumento del uso de **la cogeneración** en el sector industrial y en el ámbito residencial-terciario, mediante la promoción de redes de calor y frío y la integración de instalaciones de cogeneración en edificios y servicios públicos. Sin embargo, no especifica una cifra concreta de la capacidad instalada de cogeneración en 2030.

- La Estrategia Energética de Andalucía 2020-2030 no contempla un aumento significativo de la capacidad instalada de centrales de **bombeo** en Andalucía para el año 2030. En cambio, se enfoca en el desarrollo de otras tecnologías renovables como la energía eólica, fotovoltaica y termosolar. No obstante, se prevé que las centrales de bombeo existentes sigan siendo importantes para proporcionar un respaldo al sistema eléctrico y contribuir a la estabilidad de la red, al permitir el almacenamiento y la generación de energía cuando sea necesario.

Una vez se ha tenido todas estas consideraciones futuras, se introducen los datos de tendencias futuras en la capacidad instalada (MW) y en la producción futura (GWh) obteniendo los siguientes resultados:

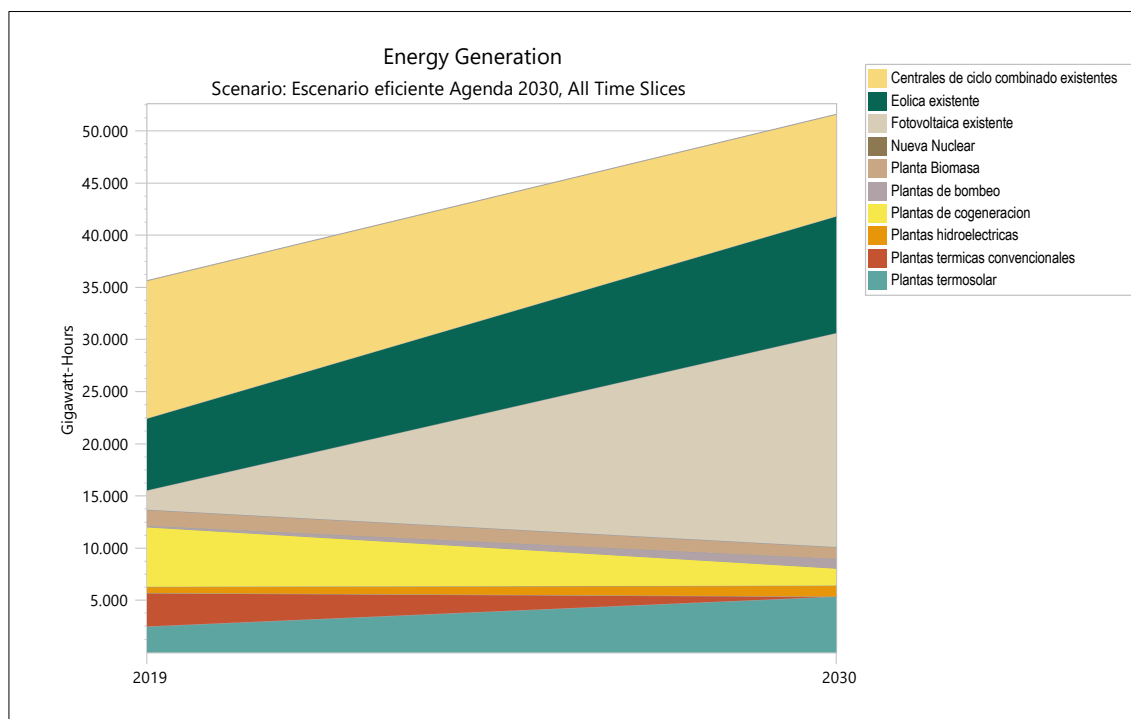


Ilustración 47. Tendencias futuras en la generación de energía eléctrica en escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

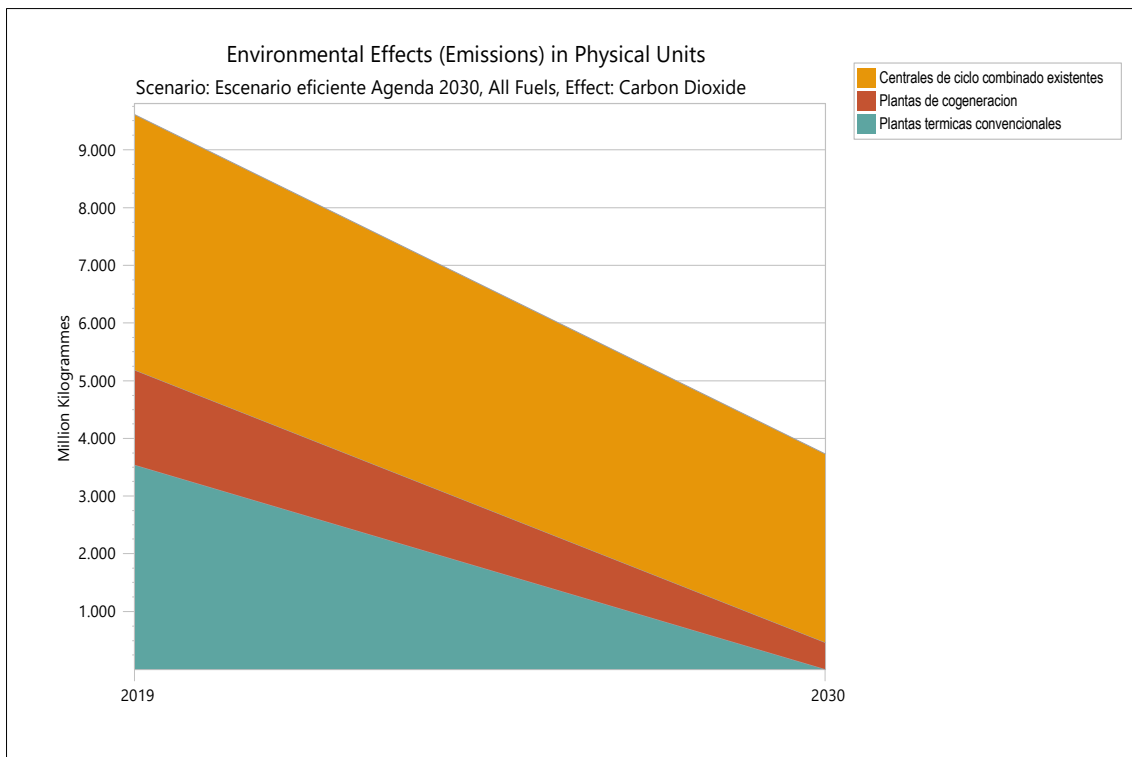


Ilustración 48. Tendencia futura en emisiones relacionadas con la generación de energía eléctrica  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Transformación de energía: Refino de petróleo

Según la Estrategia Energética de Andalucía 2020-2030, se prevé que la actividad de las refinerías de petróleo en la región disminuya gradualmente hasta alcanzar una menor dependencia del petróleo y una mayor diversificación de fuentes de energía. El objetivo es promover la transición hacia un modelo energético más sostenible y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para lograrlo, se plantea una serie de medidas, como la promoción de la eficiencia energética, promover la electrificación del transporte y la utilización de combustibles alternativos como el gas natural, el biogás y el hidrógeno, entre otros. También se fomenta la eficiencia energética en el transporte y la movilidad sostenible en general.

Según la estrategia de la Junta de Andalucía para la transición hacia un nuevo modelo energético, se espera que la demanda de productos petrolíferos disminuya en 2030, lo que podría afectar a la actividad de las refinerías en la región. Sin embargo, ni la Junta de Andalucía ni la Agencia Andaluza de la energía proporciona información específica sobre cuánto se espera que disminuya la actividad de las refinerías en Andalucía en ese período. Se estima que la reducción en el uso de productos derivados del petróleo tenga un impacto en la capacidad de refino en la región.

Lo que se ha supuesto ha sido la disminución de actividad de refino del petróleo en forma de reducción en la capacidad de refino. Es decir, si en 2019 las dos refinерías más importantes de Andalucía tenían una capacidad de aproximadamente 32 millones de tep/año se ha supuesto que, para 2030, la capacidad disminuye un 25% por lo que pasarán a ser 24 millones de TEP/año los que se refinan.

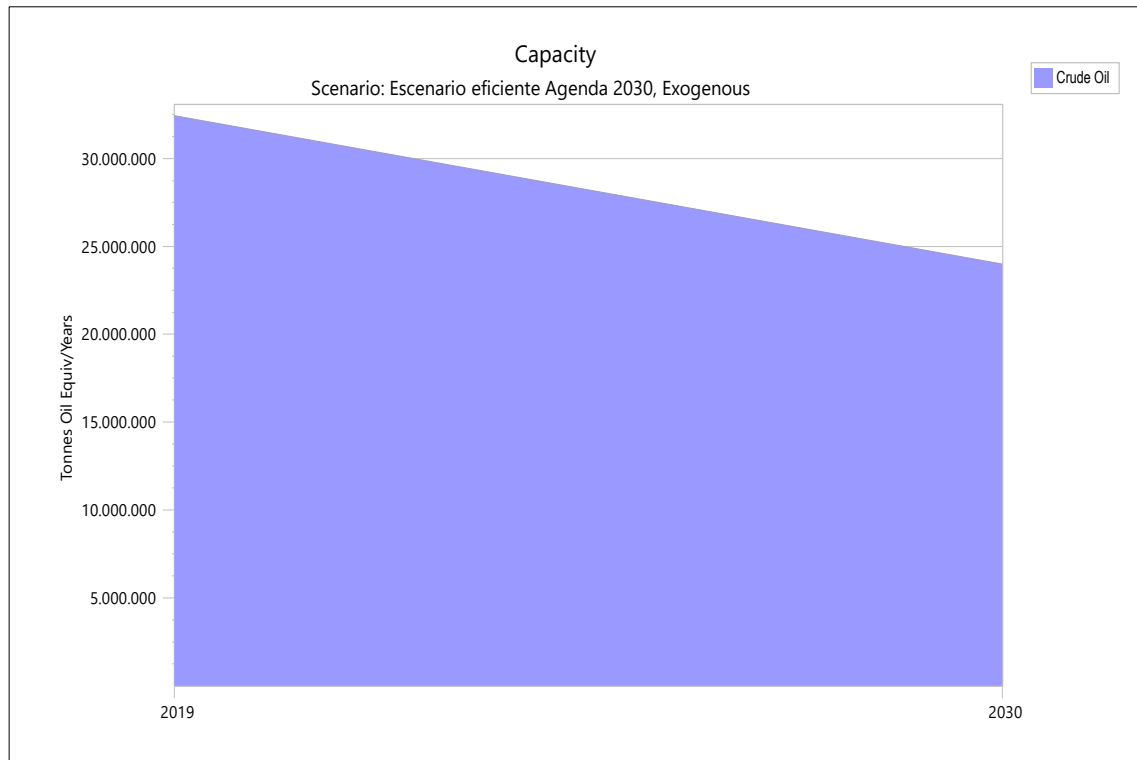


Ilustración 49 Tendencia futura en la capacidad de refino (suposición) para el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

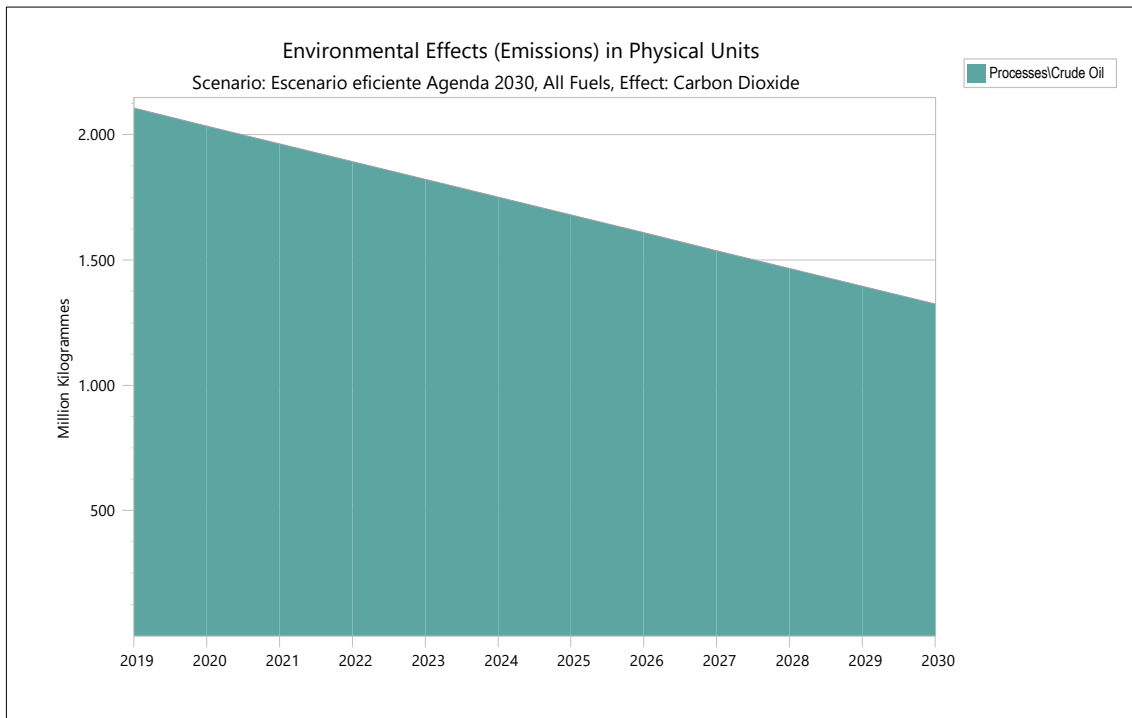


Ilustración 50. Tendencia futura asociada a las emisiones en el refinado de petróleo  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Transformación de energía: Gas natural

La Estrategia Energética de Andalucía 2020-2030 establece que la producción de gas natural en la región deberá ser incrementada mediante la exploración y extracción de nuevos yacimientos, así como la mejora de la eficiencia y la extensión de la vida útil de los yacimientos ya existentes. Además, se espera fomentar la utilización del gas natural como combustible para el transporte y la generación de electricidad. Sin embargo, no se especifica una cifra concreta de la producción de gas natural esperada para 2030. Por ello, he supuesto que, para 2030, la producción de gas natural aumentará en un 50%, consiguiendo tener una capacidad de 12600 TEP/año.

La Estrategia Energética de Andalucía 2020-2030 establece que la producción de gas natural en la región deberá ser incrementada mediante la exploración y extracción de nuevos yacimientos, así como la mejora de la eficiencia y la extensión de la vida útil de los yacimientos ya existentes. Además, se espera fomentar la utilización del gas natural como combustible para el transporte y la generación de electricidad. Sin embargo, no se especifica una cifra concreta de la producción de gas natural esperada para 2030. Por ello, he supuesto que, para 2030, la producción de gas natural aumentará en un 50%, consiguiendo tener una capacidad de 12600 TEP/año.

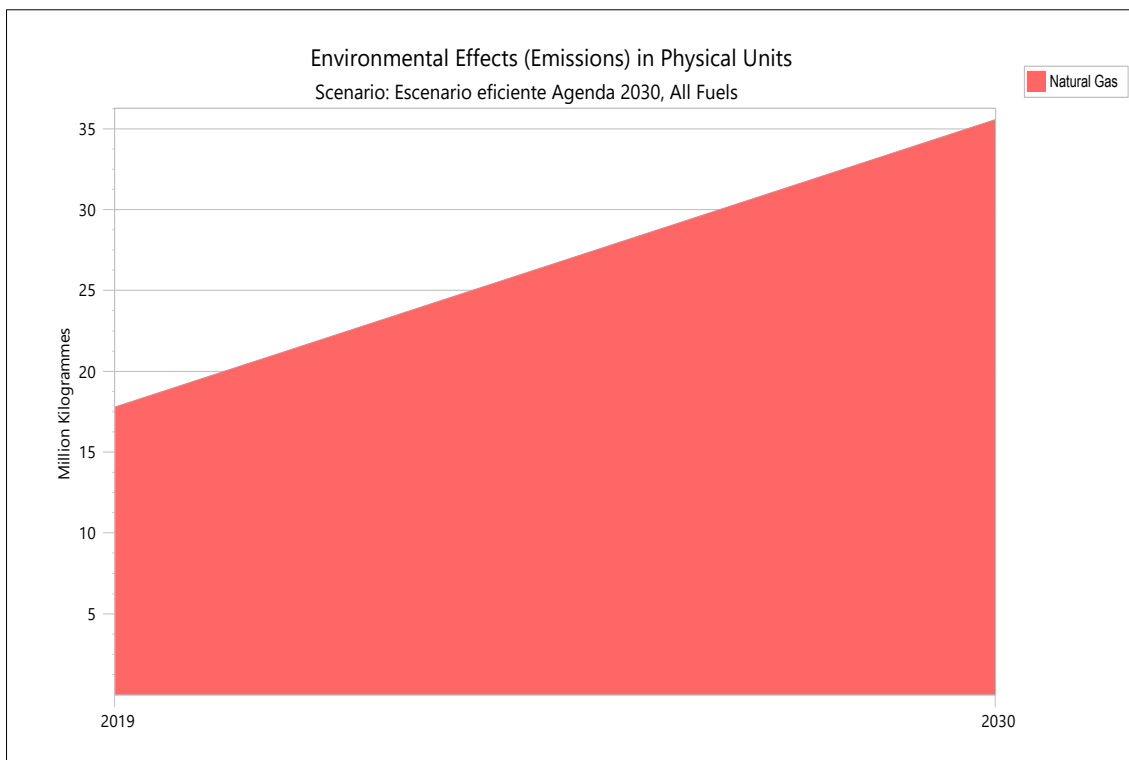


Ilustración 52 Tendencia futura en la capacidad de refino (suposición) para el escenario 2030 eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

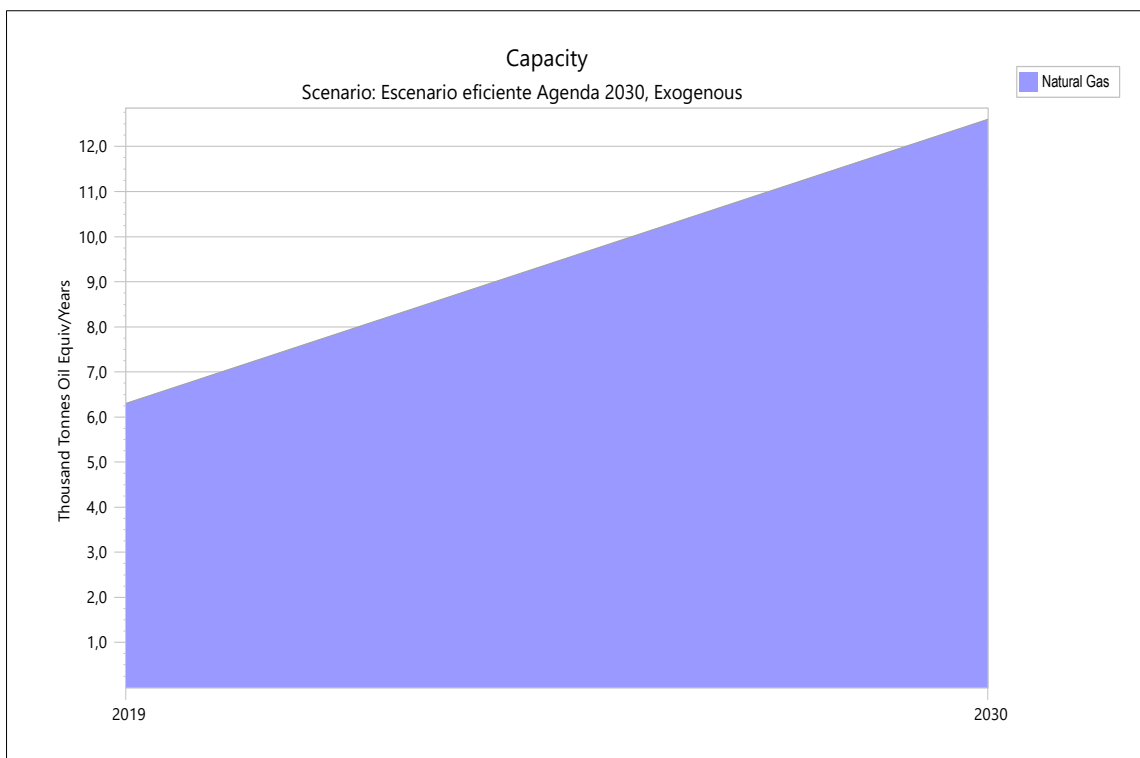


Ilustración 51. Tendencia futura asociada a las emisiones gas natural  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

A continuación se insertará un diagrama Sankey para representar visualmente los flujos de energía de este escenario eficiente y ilustrar la distribución de estos mostrando su origen y destino.

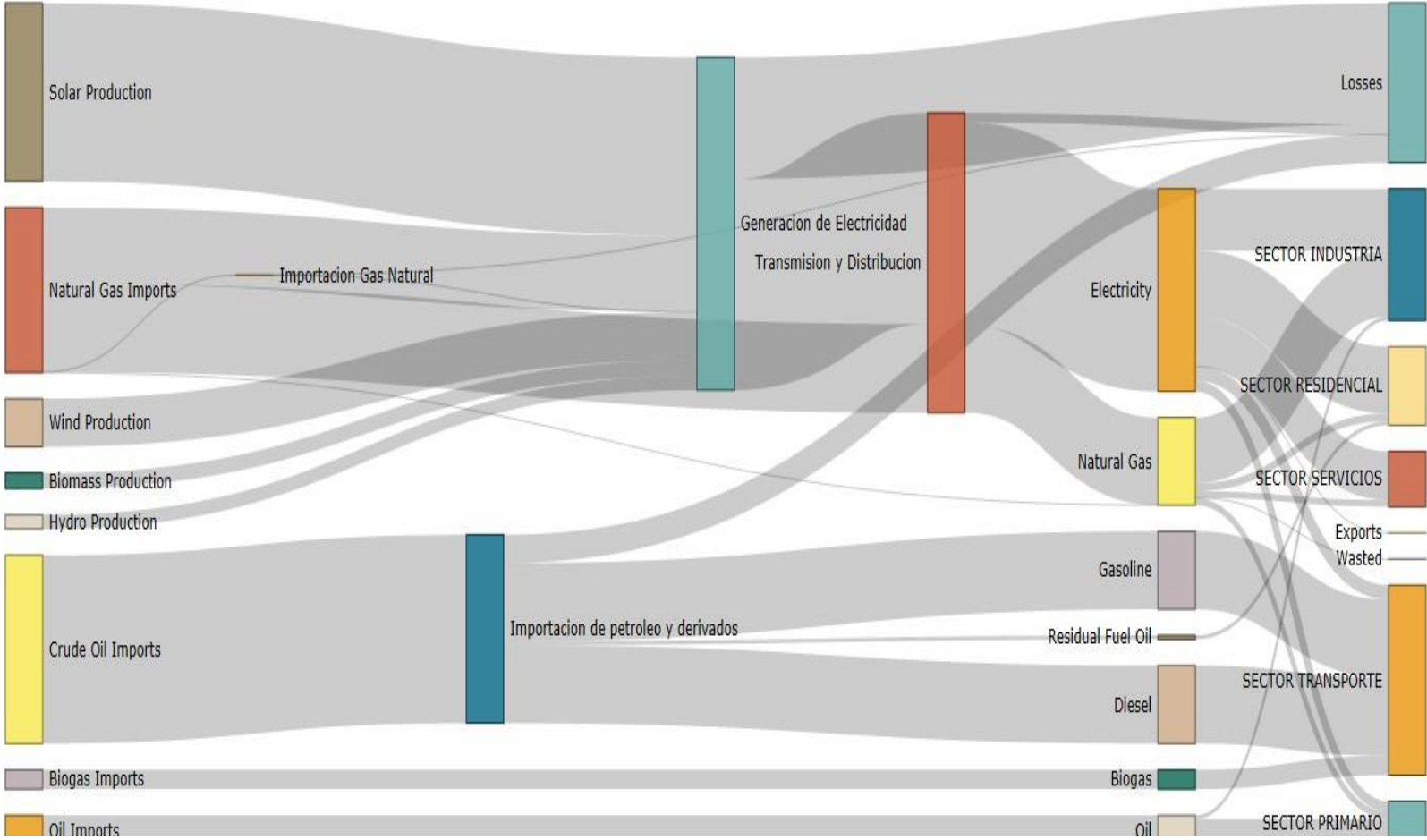


Ilustración 54. Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## 5.3 Creación del modelo energético para el escenario tendencial no eficiente

A continuación, se analiza un escenario tendencial que no incluye políticas públicas energéticas adicionales y se le llama "no eficiente". Las proyecciones de consumo de energía en Andalucía se basan en la evolución histórica y los parámetros socioeconómicos previstos sin tener en cuenta nuevas políticas públicas adicionales. Este escenario no considera los usos no energéticos, ya que los objetivos de reducción de consumo y aporte renovable están formulados en las directivas europeas, excluyéndolos. El plan ambiental andaluz, el Plan Andaluz de Acción por el Clima 2021-2030, utiliza el año 2019 como referencia para la comparación.

### 5.3.1 Modelado energético de la demanda

Se ha procedido a modelar la demanda de la misma manera que se ha hecho con el año base y con el escenario tendencial eficiente. Es decir, se ha estudiado los diferentes sectores de demanda y estos, a su vez han sido clasificados por fuentes de energía. Lo único que varía con respecto al escenario anterior son las variaciones en las distintas fuentes.

#### -Sector transporte

El sector del transporte es el principal consumidor de energía final en los diferentes sectores de consumo. Se espera que la demanda de energía en este sector continúe aumentando debido al crecimiento previsto en la flota de vehículos, incluyendo un aumento en el número de turismos, camiones y furgonetas, así como en el transporte colectivo y de motocicletas. En cuanto a los combustibles, se espera que los derivados del petróleo sean reemplazados por nuevas fuentes de energía, como biocombustibles y electricidad. Se espera un aumento del 22% en la demanda de energía en este sector.

Combustible GWh	2019	2030	%
Carbón	0	0	0
Petróleo y derivados Diesel	34956,291	16312,56	90%
Petróleo y derivados Gasolina	23304,194	40781,4	
Biocombustibles	3398,286	5286,516285	7%
Electricidad	244,23	2265,649837	3%
TOTAL	61903,001	75521,66122	<b>Aumento del 22%</b>

Tabla 35. Tendencia futura para el sector transporte en el escenario no eficiente  
Fuente: Elaboración propia

## Resultados

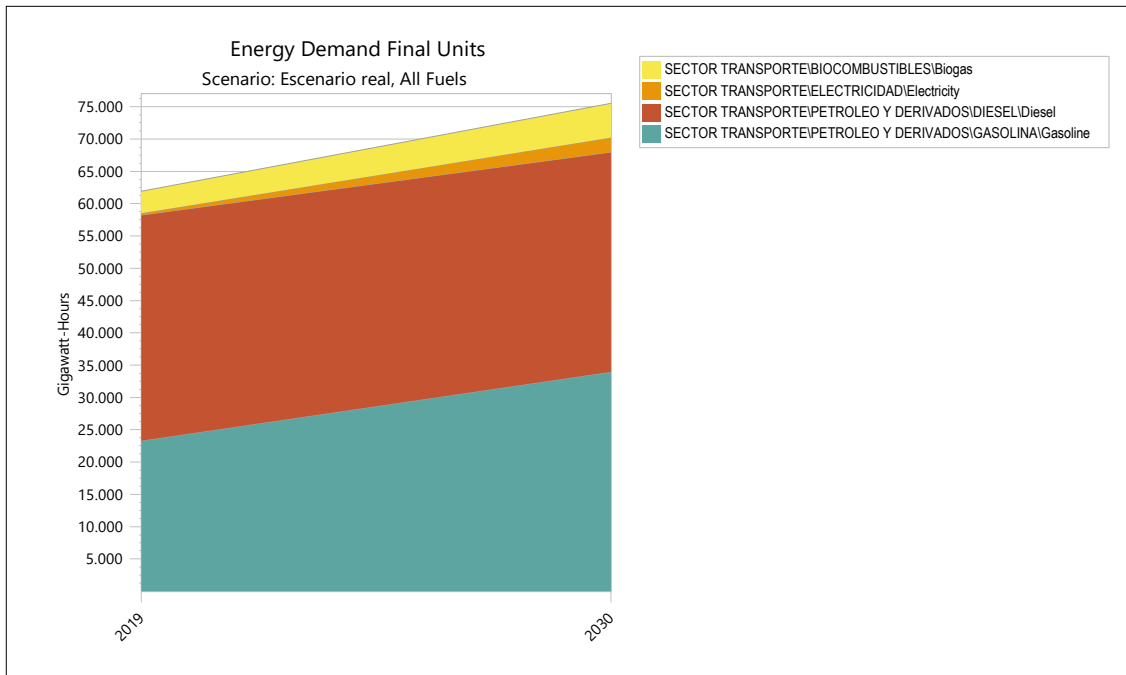


Ilustración 55. Tendencia futura en la demanda del sector transporte (escenario no eficiente)

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

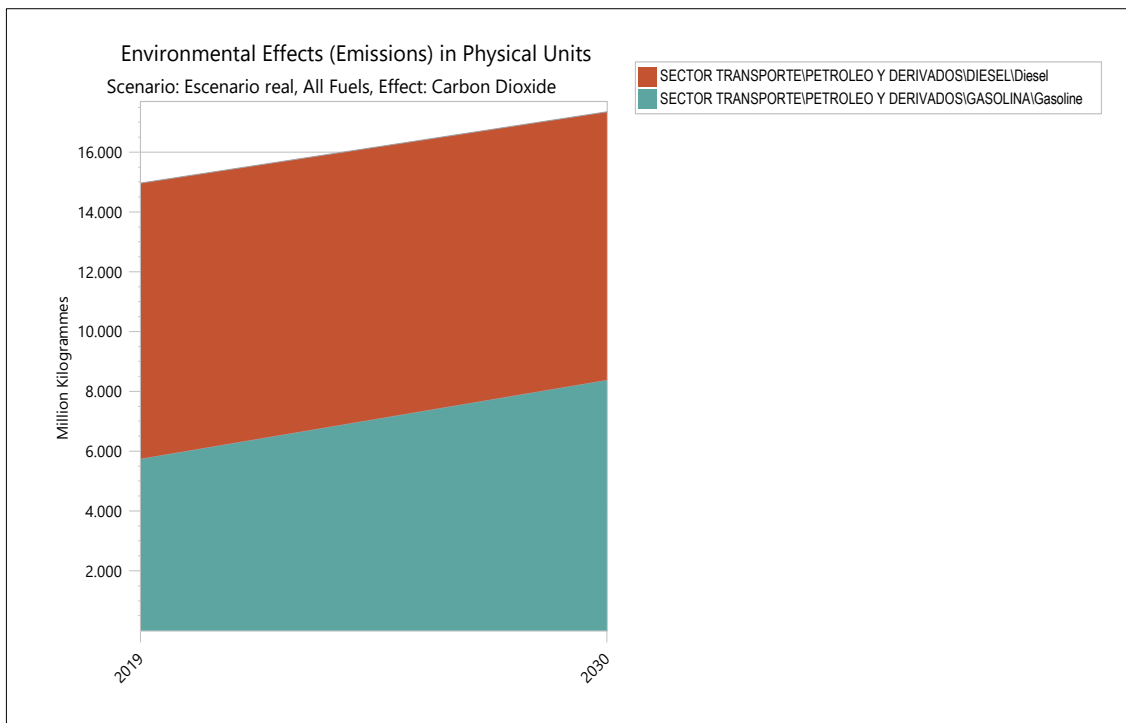


Ilustración 56. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector transporte (escenario no eficiente)

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## -Sector industria

El consumo de energía en Andalucía está directamente relacionado con la actividad económica y el consumo de bienes y servicios, lo que ha llevado a un aumento gradual desde 2015. Se espera que este consumo se mantenga estable en 2030, con una disminución del 0,4% con respecto a los niveles de 2019. En cuanto a los combustibles, se prevé un aumento en el uso de electricidad en comparación con una disminución en el consumo de derivados de petróleo y carbón.

Combustible GWh	2019	2030	%
Carbón	65,128	0	0
Petróleo	3900,7	3479,445523	10
Gas natural	17410,1	17397,22762	50
Electricidad y energías renovables	13558,254	13917,78209	40
<b>TOTAL</b>	<b>34934,2</b>	<b>34794,45523</b>	<b>Disminución 0,4%</b>

Tabla 36. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente  
 Fuente: Elaboración propia

## Resultados

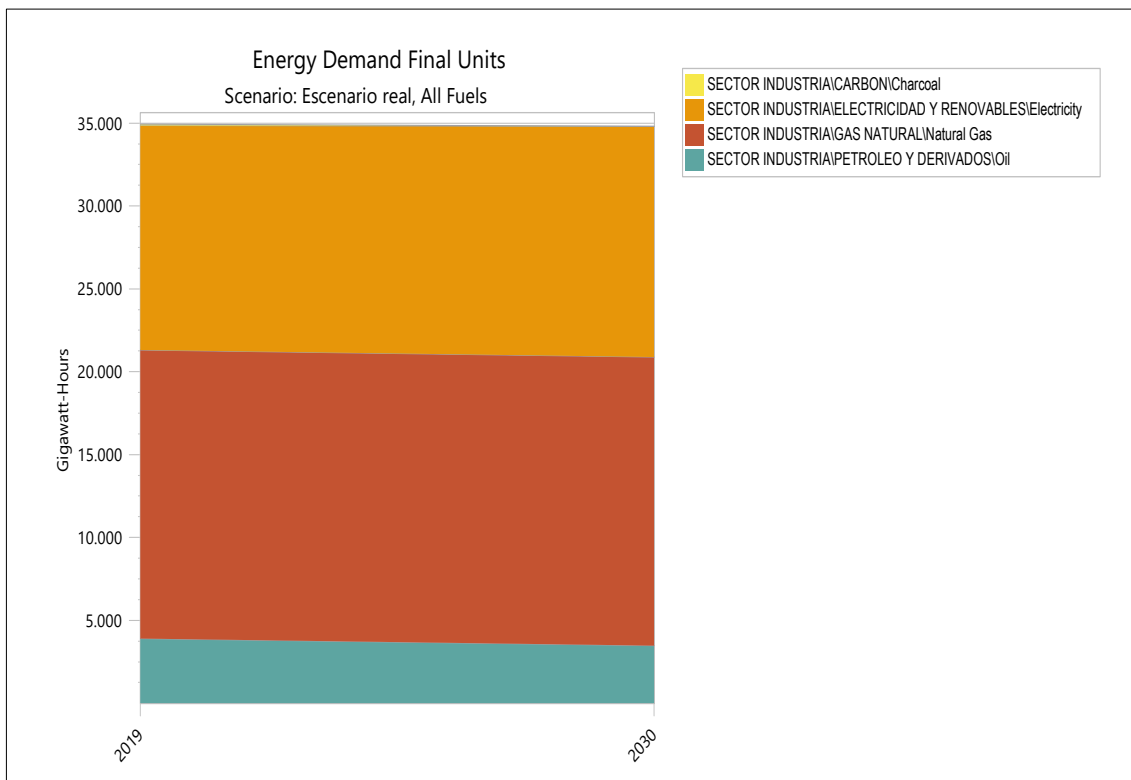


Ilustración 57. Tendencia futura en la demanda del sector industria (escenario no eficiente)  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

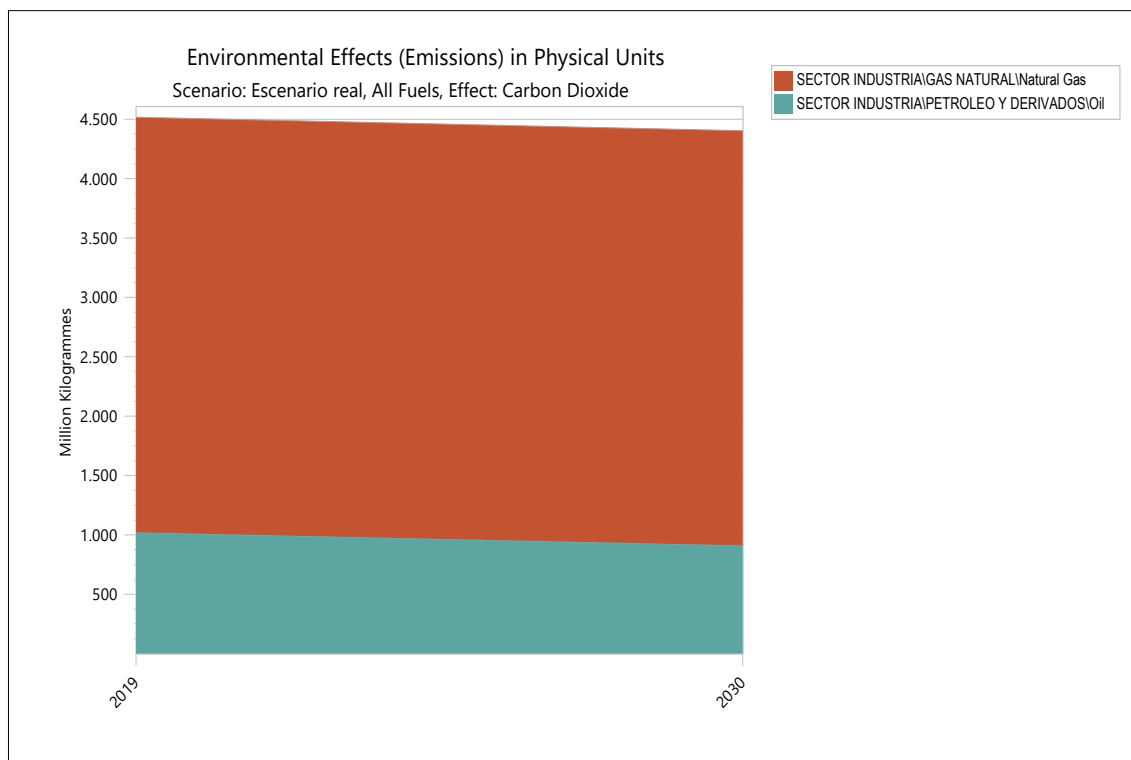


Ilustración 58. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector industria (escenario no eficiente)

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Sector residencial

El sector residencial ha presentado un aumento en su demanda energética desde el año 2000 hasta el 2012, y desde entonces ha mantenido un consumo constante alrededor de los 2000 ktep. Junto con el sector servicios, es uno de los sectores cuyo consumo ha aumentado entre 2007 y 2019. Se espera que la mayor disponibilidad de equipamiento en los hogares, con un mayor uso de aparatos electrónicos y una mayor exigencia de confort en la climatización, resulte en un aumento del consumo de energía y un crecimiento de la demanda en un 19% en los próximos años.

Combustible GWh	2019	2030	%
Carbón	0	0	0%
Petróleo	3883,257	1268,408505	5%
Gas natural	1363,04	2536,81701	10%
Electricidad y energías renovables	16071,497	21562,94459	85%
<b>TOTAL</b>	<b>21317,8</b>	<b>25368,1701</b>	<b>Aumento 19%</b>

Tabla 37. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente

## Resultados

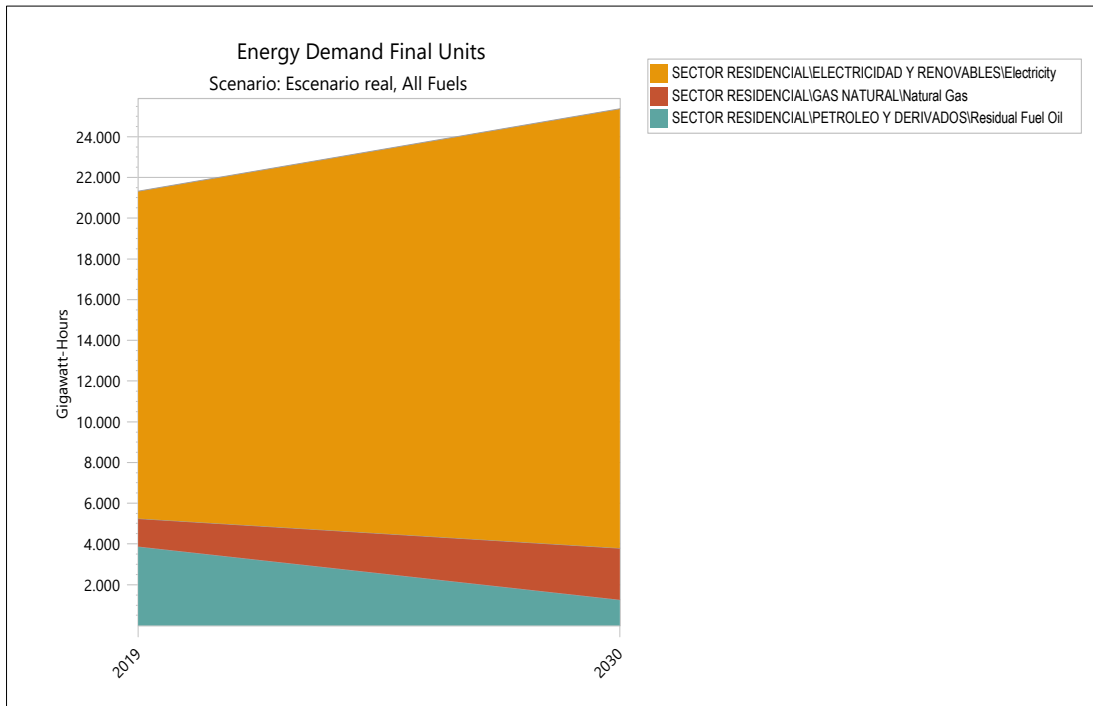


Ilustración 59. Tendencia futura en la demanda del sector residencial (escenario no eficiente)  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

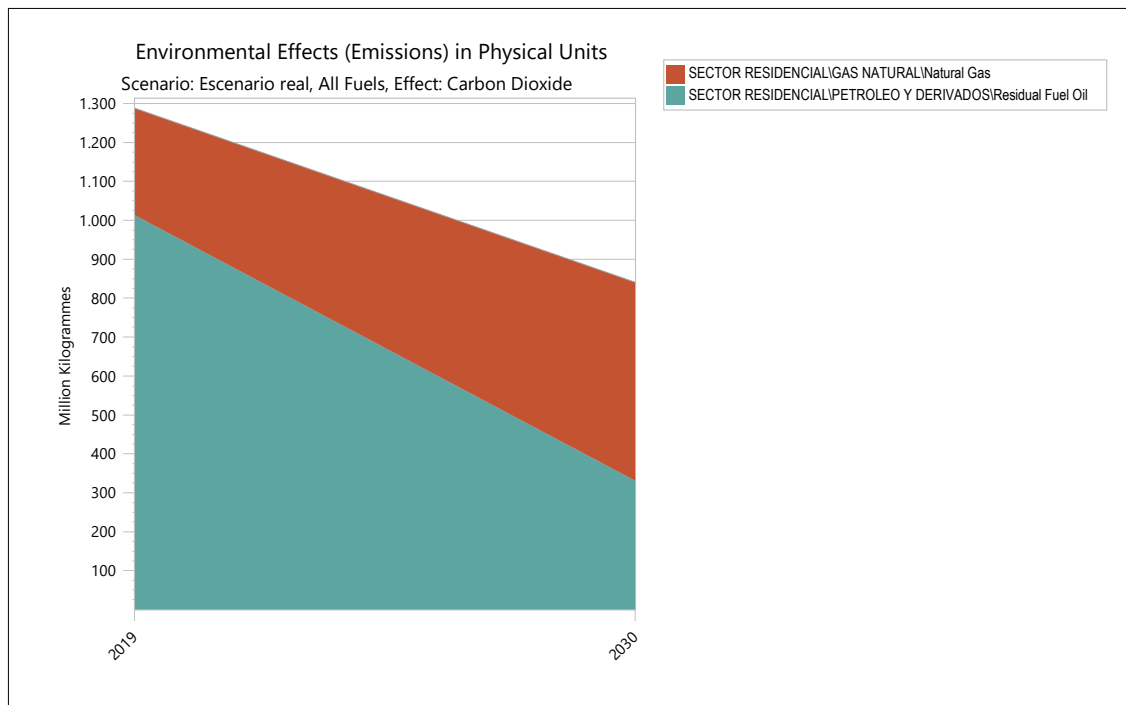


Ilustración 60. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector residencial (escenario no eficiente)  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

**-Sector servicios**

La demanda energética del sector servicios ha crecido de manera semejante al sector residencial y ha mantenido una tendencia creciente desde 2015. Se espera que para el año 2030, la demanda energética disminuya en un 3%, con la electricidad siendo el 80% de la demanda total y una ligera disminución en el consumo de gas natural.

Combustible GWh	2019	2030	%
Carbón	0	0	0%
Petróleo	400,072	0	0%
Gas natural	2125,96	1708,274411	12%
Electricidad y energías renovables	12149,861	12527,34568	88%
<b>TOTAL</b>	<b>14675,9</b>	<b>14235,62009</b>	<b>Disminución del 3%</b>

Tabla 38. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente  
Fuente: Elaboración propia

**Resultados**

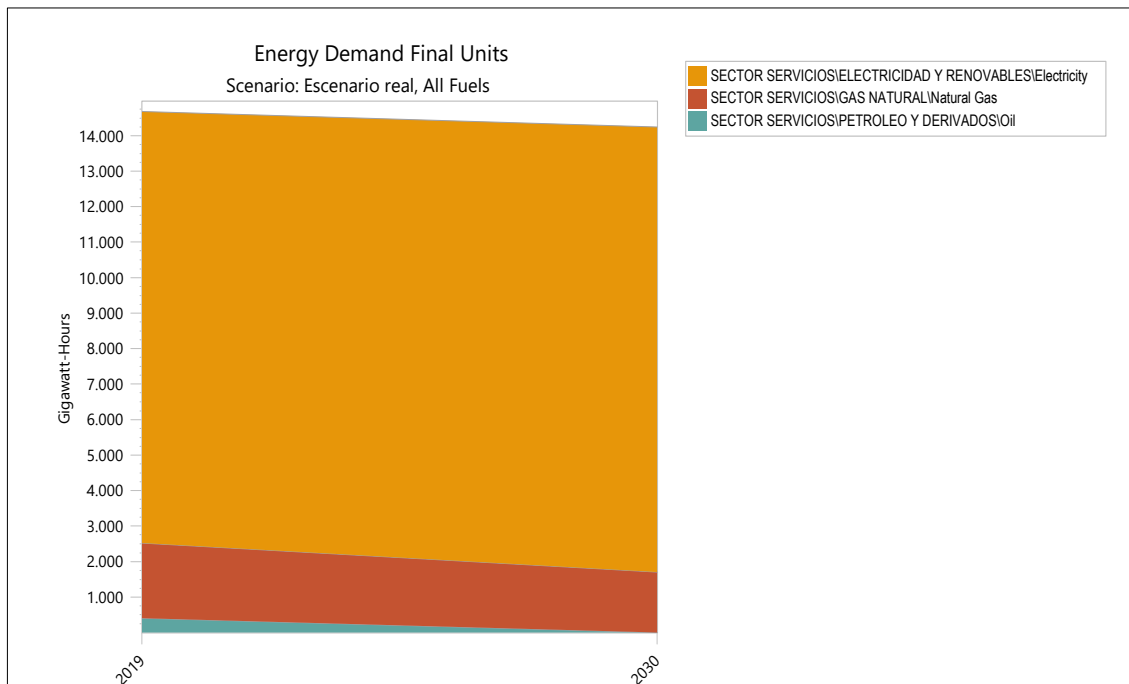


Ilustración 61. Tendencia futura en la demanda del sector residencial (escenario no eficiente)  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

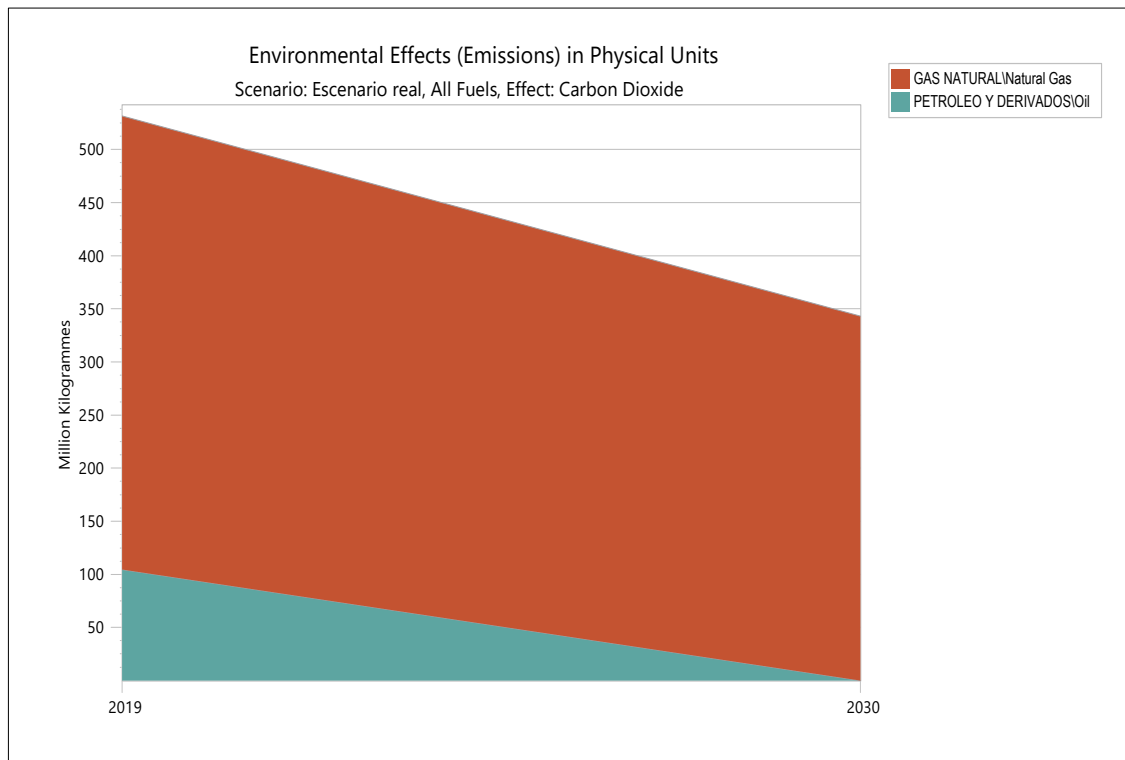


Ilustración 62. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector servicios (escenario no eficiente)

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Sector primario

Se espera un incremento del 35% en la demanda de energía en el sector agrícola, siendo los derivados del petróleo la fuente de energía más utilizada. Este aumento se debe a la creciente mecanización de la maquinaria agrícola, lo que se traduce en un mayor consumo de combustibles fósiles.

Combustible GWh	2019	2030	%
Carbón	0	0	0
Petróleo	8539,909	10140,72318	70%
Gas natural	471,015	2173,01211	15%
Electricidad y energías renovables	1720	2173,01211	15%
<b>TOTAL</b>	<b>10730,9</b>	<b>14486,7474</b>	<b>Aumento del 35%</b>

Tabla 39. Tendencia futura para el sector industria en el escenario no eficiente

Fuente: Elaboración propia

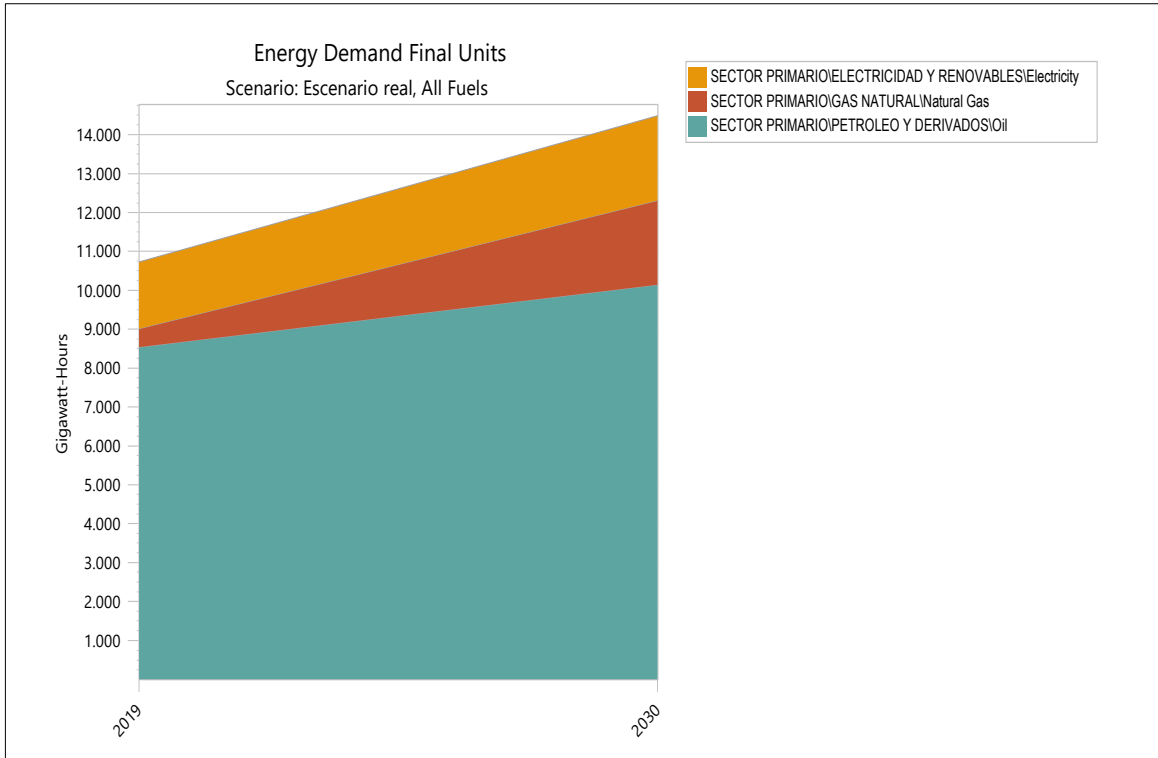


Ilustración 63. Tendencia futura en la demanda del sector primario (escenario no eficiente)  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

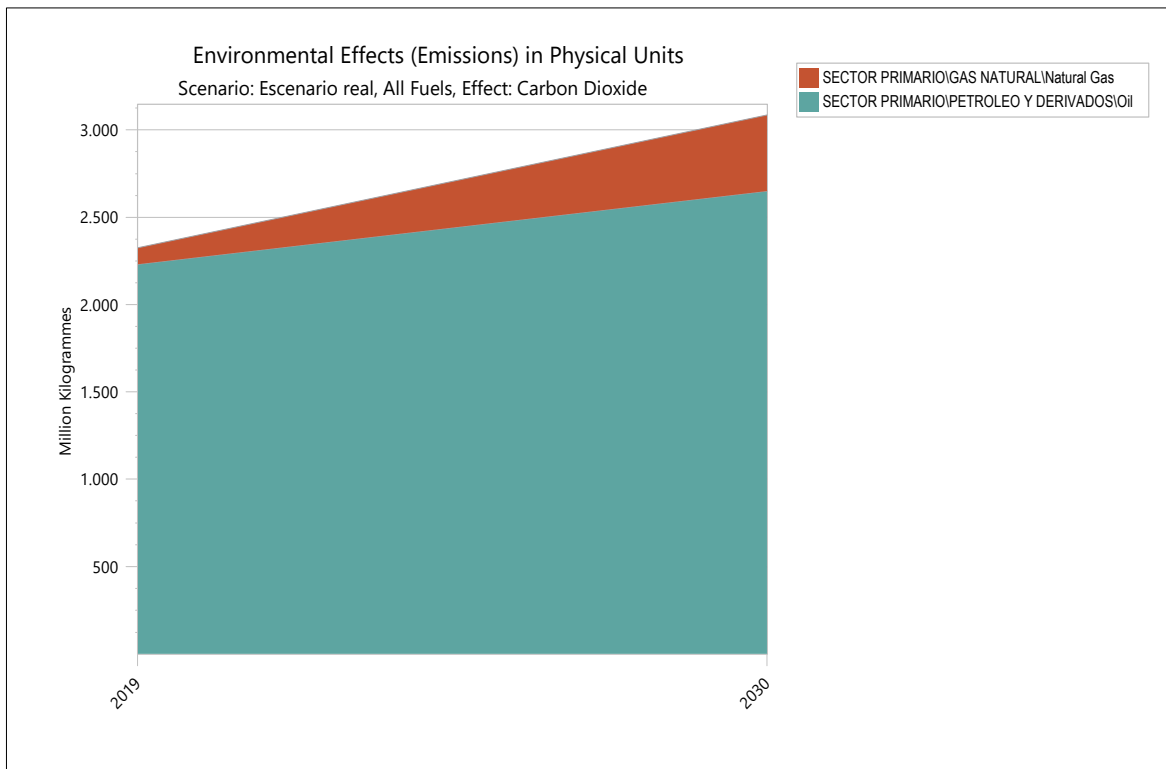


Ilustración 64. Tendencia futura en las emisiones asociadas a la demanda del sector primario (escenario no eficiente)  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Resultados globales

En la siguiente ilustración se puede apreciar la tendencia de crecimiento en cada

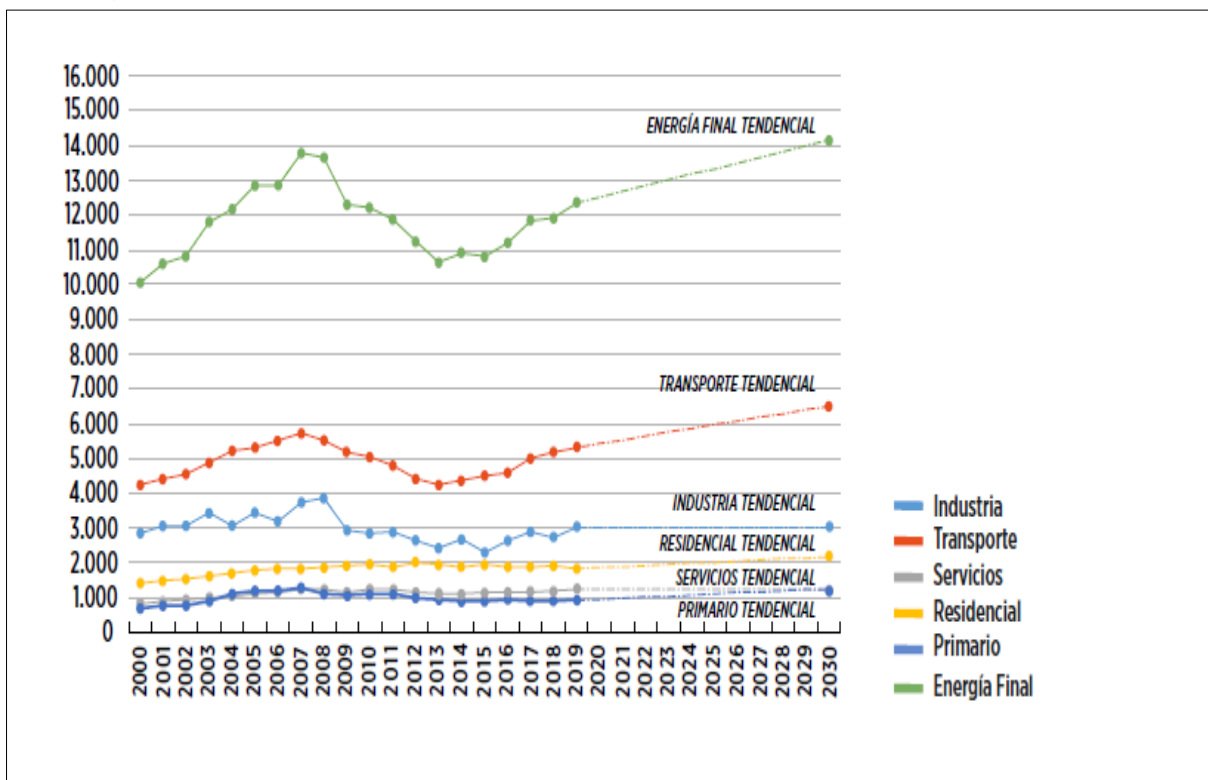


Ilustración 65. Tendencias futuras para el año 2030 en Andalucía  
Fuente: Estrategia Andalucía 2030

uno de los sectores detallados anteriormente. Como se puede comprobar, en este escenario tendencial sin medidas de eficiencia, el consumo de energía final ascendería aproximadamente hasta los 14100 ktep que equivaldría a 163983 GWh.

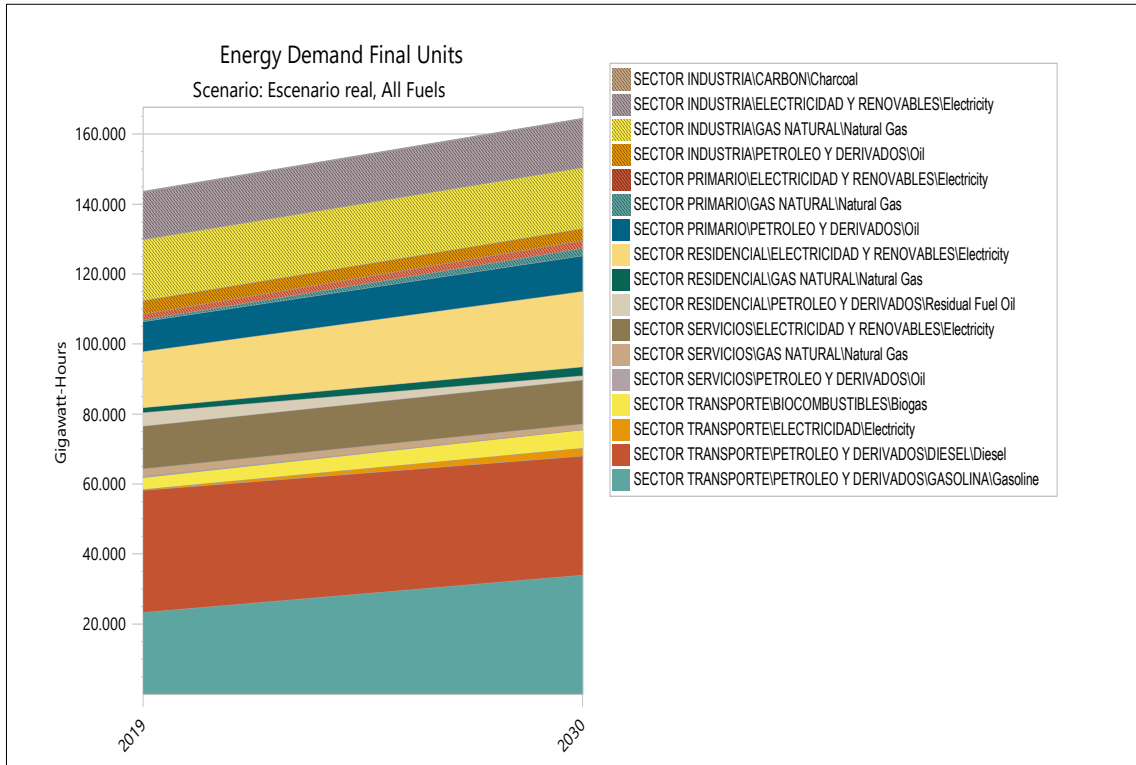


Ilustración 67. Evolución de la demanda en el escenario no eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

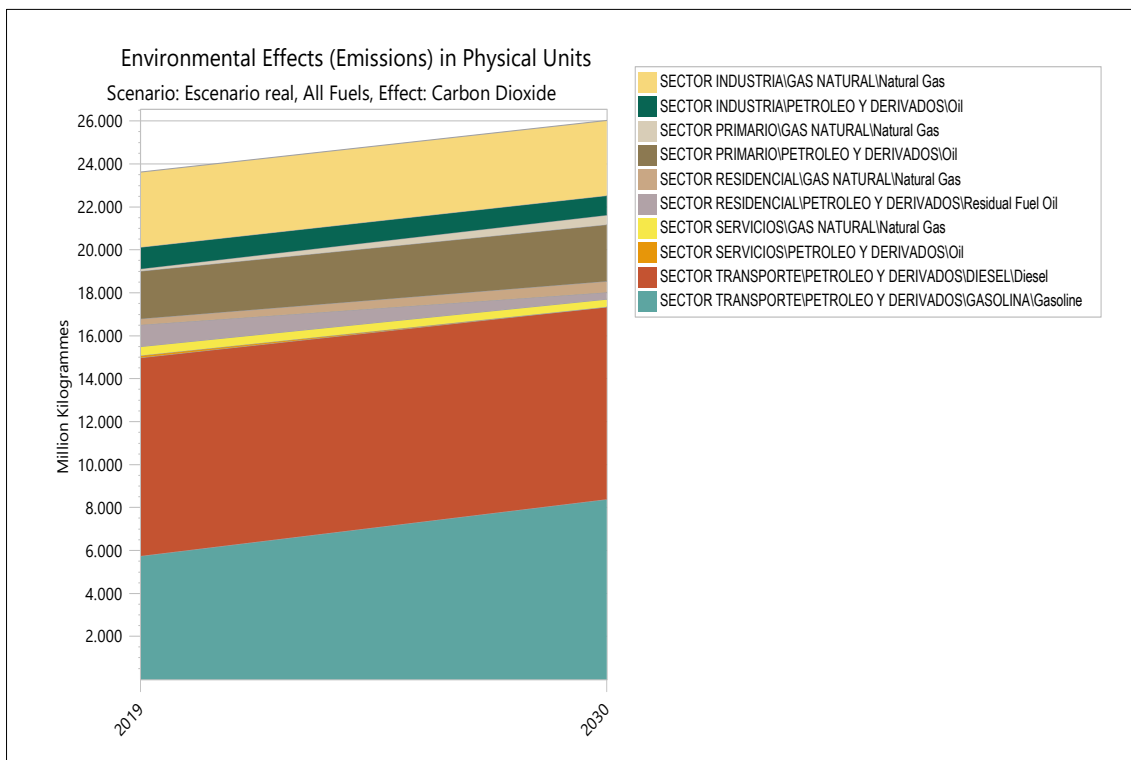


Ilustración 66. Evolución de las emisiones en el escenario no eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP



### 5.3.2 Modelado de la transformación y generación de energía

En este apartado se contemplará las distintas tendencias energéticas en el ámbito de generación de energía.

#### Generación de energía eléctrica

En Andalucía, la electricidad está tomando cada vez más importancia en la demanda de energía. Se espera que para el 2030, el consumo de electricidad aumente un 24%, representando el 26% del consumo total de energía final. Las energías renovables, como la solar, eólica y biomasa, están creciendo en el mix eléctrico, y se espera que el parque generador renovable aumente debido al alto potencial de estas fuentes presentes en toda la región y la creciente infraestructura de red eléctrica y almacenamiento energético. En 2019, la potencia renovable instalada en Andalucía era de 7.216 MW y se espera que se sumen más plantas renovables en el futuro.

Para 2030, se estima que la mayoría del mix de tecnologías en Andalucía estará compuesto por energías renovables, que representarán el 65% de la producción bruta de electricidad. El resto de la producción eléctrica provendrá del gas natural, ciclos combinados, tecnologías de cogeneración y carbón, que reducirá su potencia instalada en un 57% en comparación con el año 2019 debido a las normativas ambientales europeas. Además, se espera que la demanda energética primaria aumente a 19,7 Mtep en 2030, con un crecimiento del 4% para el petróleo y del 6% para el gas natural. Las energías renovables se convertirán en la segunda fuente de mayor demanda, con un peso del 32% y 37% respectivamente, y el carbón reducirá su demanda en un 36%. Andalucía será exportadora de energía eléctrica en 2030, y el uso persistente de fuentes no renovables podría tener graves repercusiones económicas en el futuro.

En la siguiente tabla aparece reflejado este aumento del consumo de electricidad en los años de estudio. En 2019 se generó un total de 35665 GWh de energía eléctrica mientras que en 2030 asciende a 44224 GWh (24% anteriormente mencionado). Se ha realizado un reparto de tal forma que, las energías renovables representen el 65% y las no renovables, el 25% restante.

GENERACION ELECTRICA					
2019	2030		Renovable		No Renovable
35665	44224,6	<b>TIPOS</b>	28745,99	<b>TIPOS</b>	15478,61
<b>AUMENTO DE 24%</b>		Fotovoltaica	11056,15	Ciclo combinado	8844,92
		Eólica	11056,15	Cogeneración	4422,46
		Termosolar	4422,46	Carbón	2211,23
		Biomasa	1326,738		
		Hidráulica	884,492		
		<b>SUMA</b>	<b>28745,99</b>	<b>SUMA</b>	<b>15478,61</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>44224,6</b>	

Tabla 40. Datos energéticos tendenciales sobre generación de energía eléctrica 2030 escenario no eficiente Fuente: Estrategia Andalucía 2030 y Elaboración propia

## Resultados

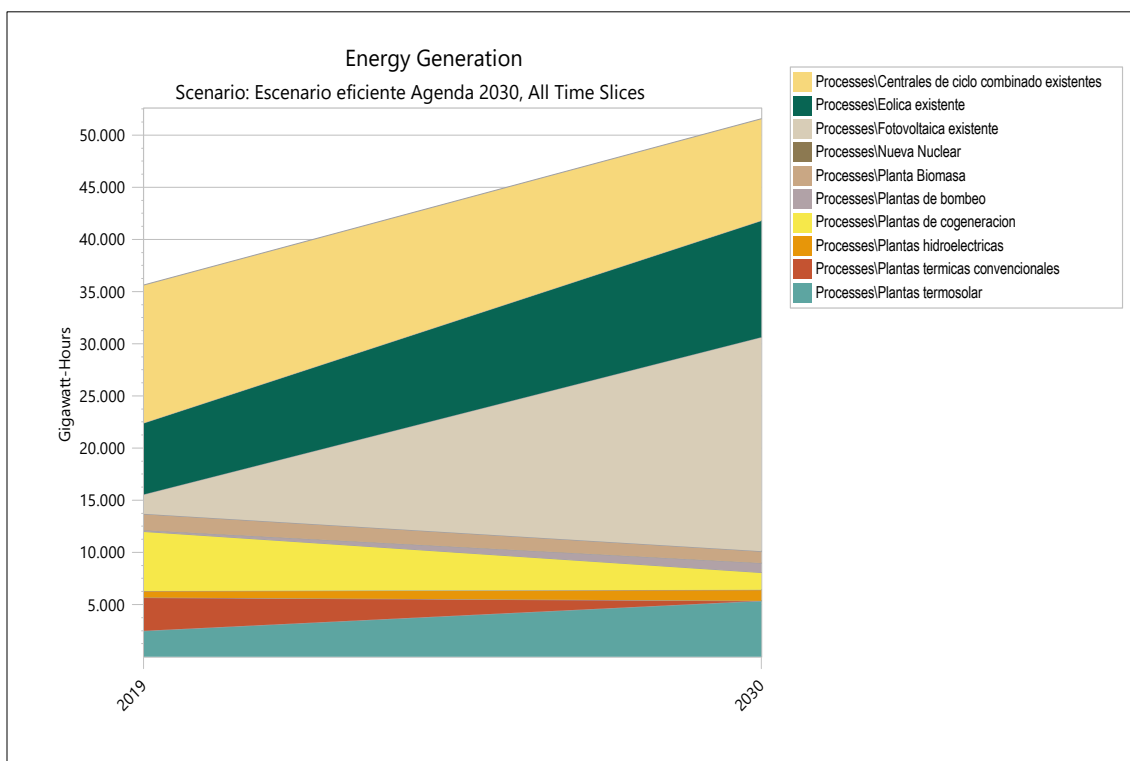


Ilustración 71. Evolución tendencial en escenario no eficiente de las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

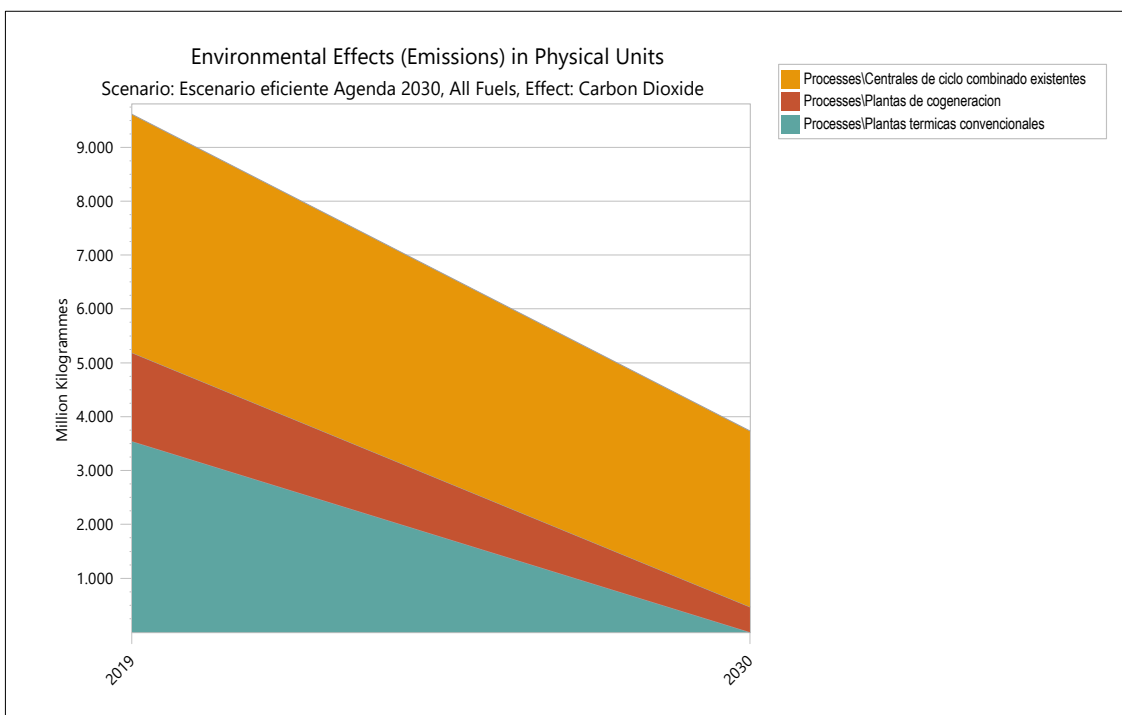


Ilustración 70. Evolución tendencial en escenario no eficiente de la generación de energía  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

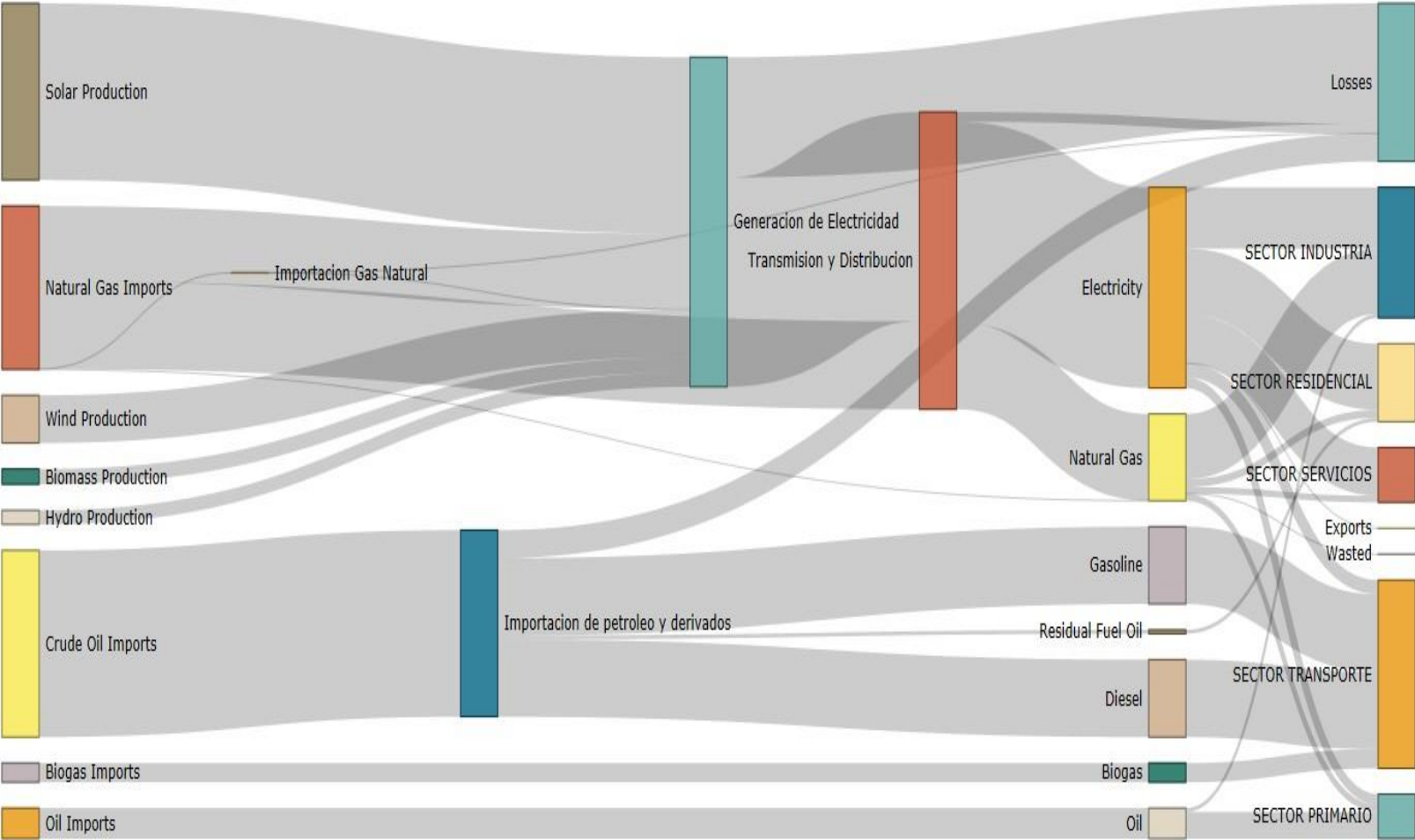


Ilustración 72. Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario no eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Comparación de generación de energía eléctrica escenario eficiente y no eficiente

Al igual que ocurre con el consumo de energía final, en cuanto respecta a generación de energía, el escenario eficiente consigue ahorrar una cantidad de 3000 GWh y en cuanto a emisiones, tan solo 218 kilotoneladas. Esto se debe a que, aunque en el escenario eficiente no se han tenido en cuenta medidas correctivas, la tendencia real en Andalucía es hacia el uso de energías renovables, por lo tanto, en ambos escenarios se produce casi la misma cantidad de energía y, las emisiones asociadas son prácticamente iguales.

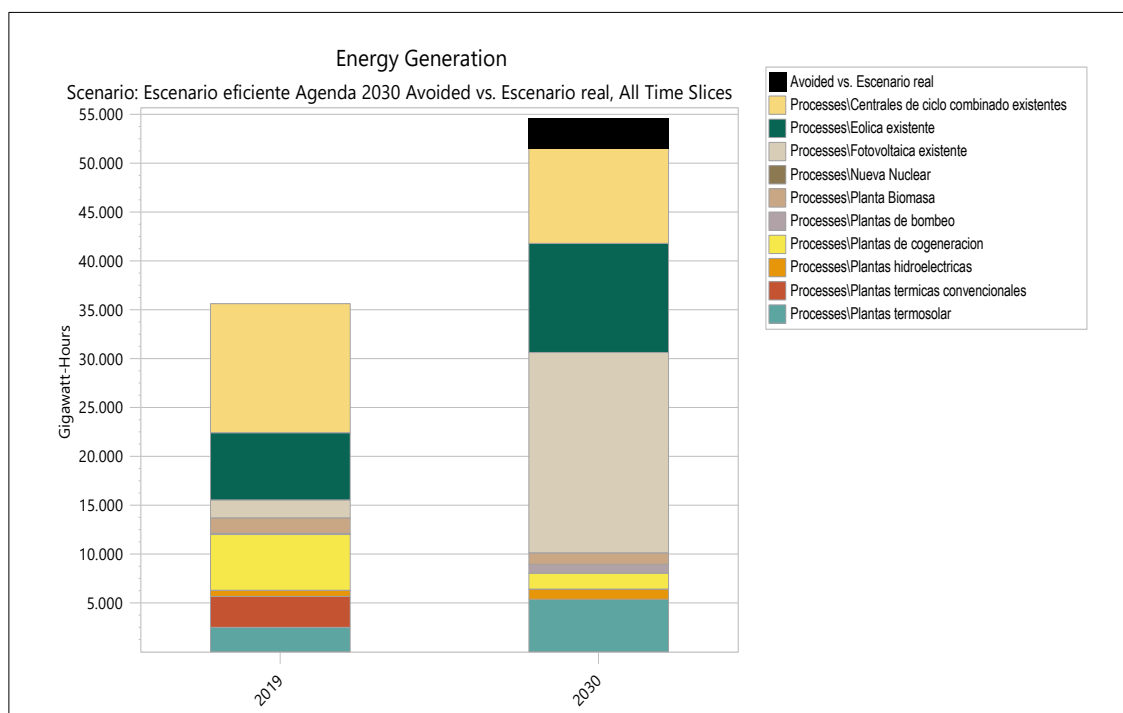


Ilustración 73. Comparación de la generación de energía eléctrica (GWh) entre escenario tendencial 2030 eficiente y no eficiente

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

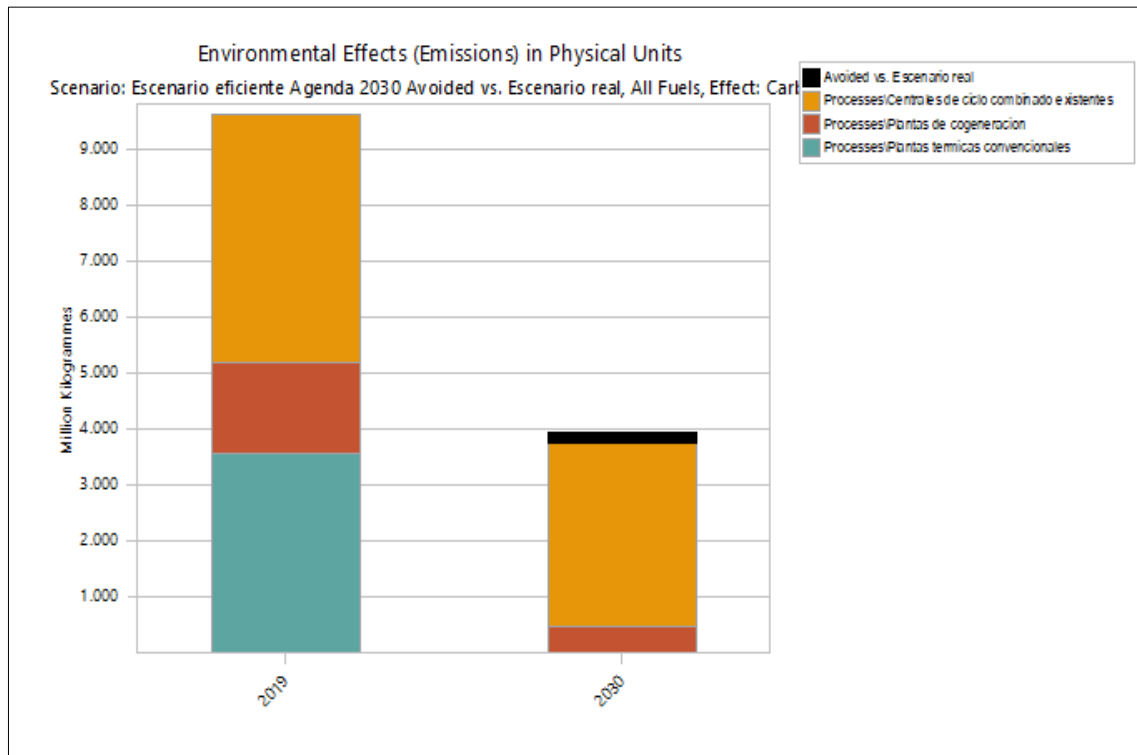


Ilustración 74. Comparación de las emisiones relacionadas con la generación de energía eléctrica (kt) entre escenario tendencial 2030 eficiente y no eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### -Transformación de energía: Refino de Petróleo

Por falta de datos, en este escenario se mantienen las mismas estimaciones que en el escenario eficiente.

### -Transformación de energía: Gas natural

Por falta de datos, en este escenario se mantienen las mismas estimaciones que en el escenario eficiente.

## 5.4 Otros modelos

Una vez se ha explicado con detalle el desarrollo de los escenarios principales, se ha visto interesante añadir algunos escenarios con medidas puntuales ya sea en el modelado de la demanda y/o en el de transformación de la energía con el fin de medir la variación que se da con cada uno en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se han llevado a cabo 5 escenarios con sus respectivas modificaciones:

### 5.4.1 Escenario 1 – Sector transporte eficiente

Se ha supuesto un escenario en el que para 2030 en el sector de transporte el 50% de combustibles será el petróleo y derivados y el resto de biocombustibles y electricidad. Por lo que se entiende que aumentará el número de vehículos eléctricos y híbridos introducidos en el parque automóvil.

Puede parecer descabellado pensar que para 2030 el 50% de los vehículos en España sean eléctricos, ya que se trata de una meta ambiciosa, sin embargo, el hecho de aumentar en este escenario la electricidad como combustible también incluye la participación de coches híbridos. Se espera que los coches híbridos, junto con los coches eléctricos, se conviertan en una opción cada vez más popular entre los consumidores que buscan vehículos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

Es cierto que actualmente los vehículos eléctricos tienen una cuota de mercado relativamente baja en comparación con los vehículos de combustión interna, pero la tendencia indica un aumento significativo en su adopción en los próximos años impulsado por políticas públicas y la creciente conciencia social sobre la necesidad de reducir las emisiones contaminantes. Además, muchos fabricantes de automóviles están invirtiendo fuertemente en el desarrollo de vehículos eléctricos y la infraestructura de carga está en constante crecimiento.

Como dentro de los gases de efecto invernadero los más perjudiciales para el medio ambiente son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se ha realizado una tabla con datos energéticos sobre las emisiones en los distintos escenarios para ver la evolución según las medidas tomadas.

EMISIONES (Kilotoneladas) DEMANDA	ESCENARIO 1	ESCENARIO EFICIENTE	ESCENARIO NO EFICIENTE	REDUCCIÓN (Respecto al escenario eficiente) %
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	12433,6	16238,3	26023,8	<b>23,44%</b>
Metano CH <sub>4</sub>	1,5	2,2	3,6	<b>31,82%</b>
Óxido nitroso N <sub>2</sub> O	74,5	112,1	192,2	<b>66,45%</b>

Tabla 41. Comparación de emisiones en los distintos escenarios  
Fuente: Elaboración propia

De estos tres gases, destaca el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) debido a su abundancia y ser el principal responsable del calentamiento global. Por ello se ha ilustrado lo que se consigue ahorrar en emisiones con respecto a los dos escenarios principales.

### -Comparación de emisiones del escenario 1 con el escenario eficiente y no eficiente

En este escenario, comparado con el escenario eficiente, se ha conseguido evitar la emisión de 3804 kilotoneladas de CO<sub>2</sub>. También se ha realizado la comparación con respecto al escenario no eficiente, consiguiendo ahorrar casi 14000GWh.

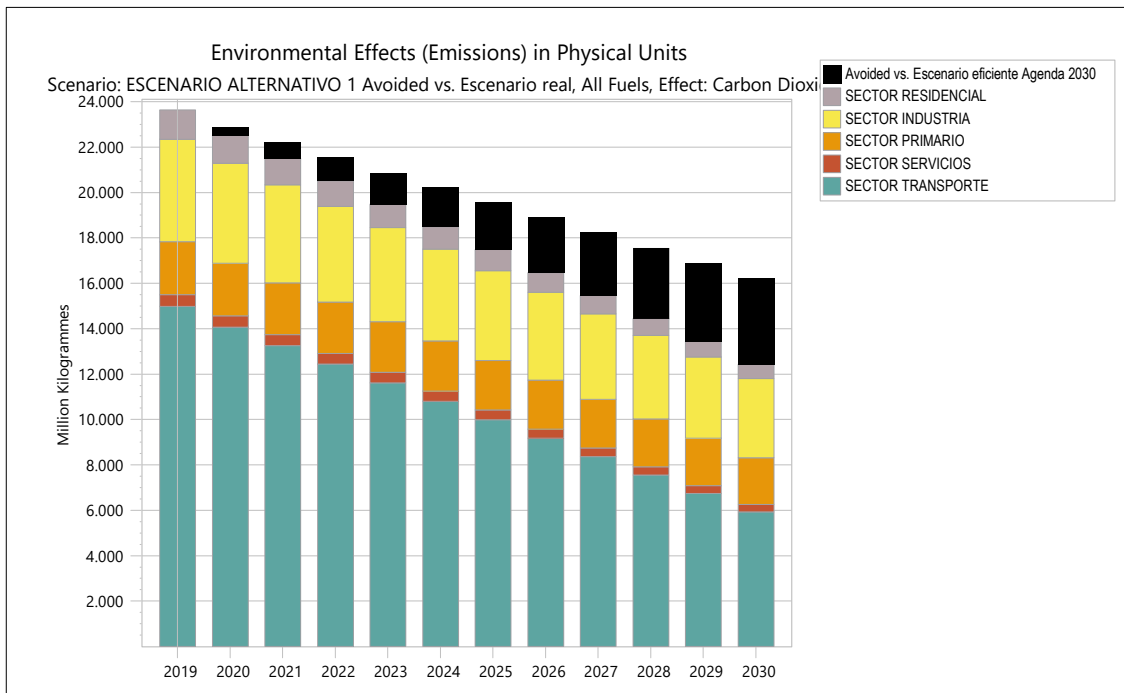


Ilustración 75. Comparación en las emisiones entre el escenario 1 y el escenario eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

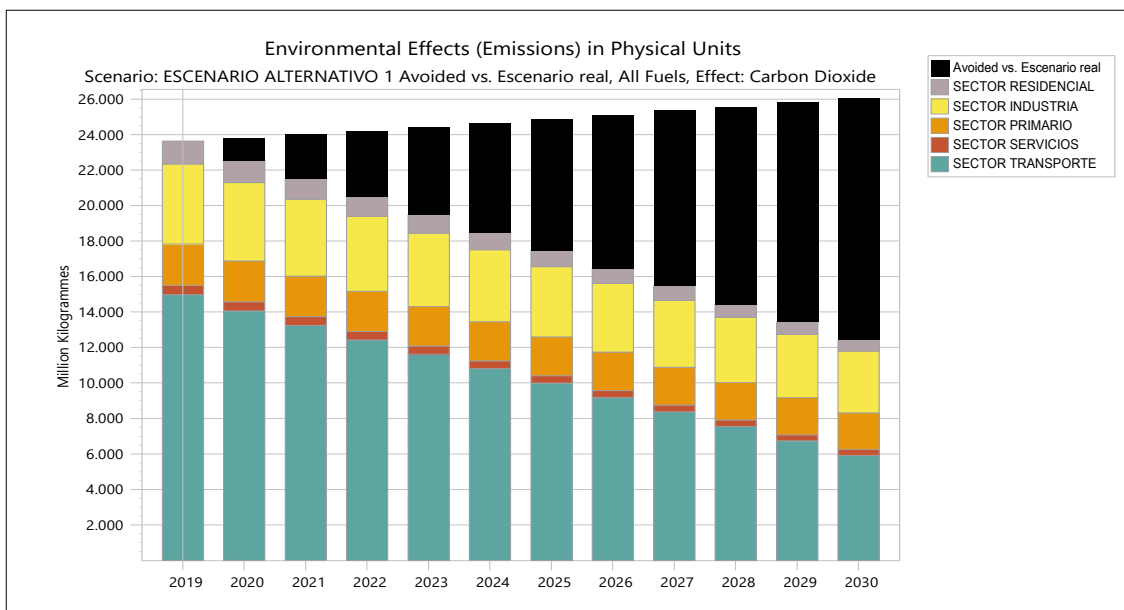


Ilustración 76. Comparación en las emisiones entre el escenario 1 y el escenario no eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
 Aplicación al sistema energético andaluz

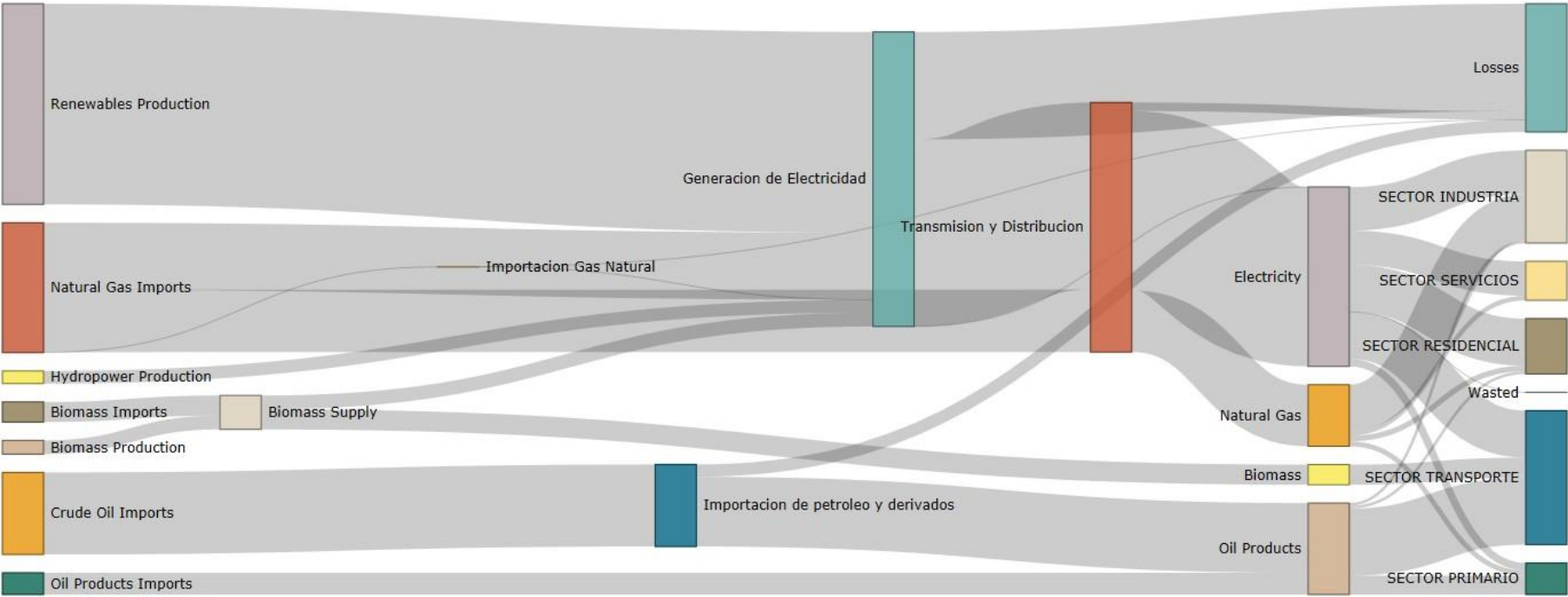


Ilustración 77. Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 1  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## 5.4.2 Escenario 2– Generación energía eléctrica eficiente

En este escenario se tiene en cuenta la incorporación del mix eléctrico andaluz de una nueva planta nuclear para que, en 2030, cubra toda la demanda que no pueden aportar las energías renovables. Lo que se consigue es sustituir las plantas de ciclo combinado, cogeneración y centrales térmicas convencionales por plantas nucleares más eficientes y con 0 emisiones.

Pero también habría que considerar que la implantación de una central nuclear en Andalucía tendría importantes implicaciones en diversos ámbitos, incluyendo el económico, el medioambiental y el social. Algunos de los aspectos a considerar serían:

-Inversión: La construcción de una central nuclear requiere una gran inversión económica que podría tener impactos en las finanzas públicas y en la economía regional.

-Energía: Una central nuclear podría contribuir a la producción de energía eléctrica, lo que podría ser positivo para la seguridad energética de la región. Sin embargo, también se deberían considerar otros aspectos, como la dependencia de una sola fuente de energía o la competencia con otras formas de generación eléctrica, incluyendo las energías renovables.

-Seguridad: La seguridad nuclear es un tema de gran importancia y preocupación. La implantación de una central nuclear requeriría el cumplimiento de normas de seguridad muy estrictas y la implementación de medidas para minimizar el riesgo de accidentes y su impacto en el medio ambiente y la salud humana.

-Gestión de residuos: La producción de residuos nucleares es uno de los mayores desafíos asociados con la energía nuclear. La implantación de una central nuclear requeriría la implementación de un plan para la gestión de los residuos nucleares que garantice su almacenamiento y tratamiento seguro a largo plazo.

-Participación ciudadana: La implantación de una central nuclear es un tema que afecta a la sociedad en su conjunto, por lo que sería importante involucrar a la ciudadanía en el proceso de toma de decisiones y en la evaluación de los impactos asociados.

En resumen, la implantación de una central nuclear en Andalucía tendría implicaciones significativas en distintos ámbitos y requeriría una evaluación cuidadosa y exhaustiva de sus impactos y riesgos potenciales.

EMISIONES (Kilotoneladas) GENERACIÓN ENERGÍA	ESCENARIO 1	ESCENARIO EFICIENTE	ESCENARIO NO EFICIENTE	REDUCCIÓN (Respecto al escenario eficiente) %
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	1360,1	5094,1	6335,4	<b>73,31%</b>
Metano CH <sub>4</sub>	0,956	0,973	1,4	<b>1,75%</b>
Óxido nitroso N <sub>2</sub> O	4,968	14,811	18,009	<b>66,22%</b>

Tabla 42. Análisis comparativo en las emisiones de los escenarios propuestos  
Fuente: Elaboración propia

### -Comparación de emisiones del escenario 2 con el escenario eficiente y no eficiente

En este escenario (menos realista que cualquiera de los demás) se espera una disminución significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que la energía nuclear, al no generar emisiones directas de gases de efecto invernadero durante la producción de energía eléctrica, tiene un impacto neutro en la emisión de estos gases. El ahorro de emisiones se cifra en 3734 kilotoneladas comparándolo con el escenario eficiente y de casi 4000 kilotoneladas en comparación con el escenario no eficiente.

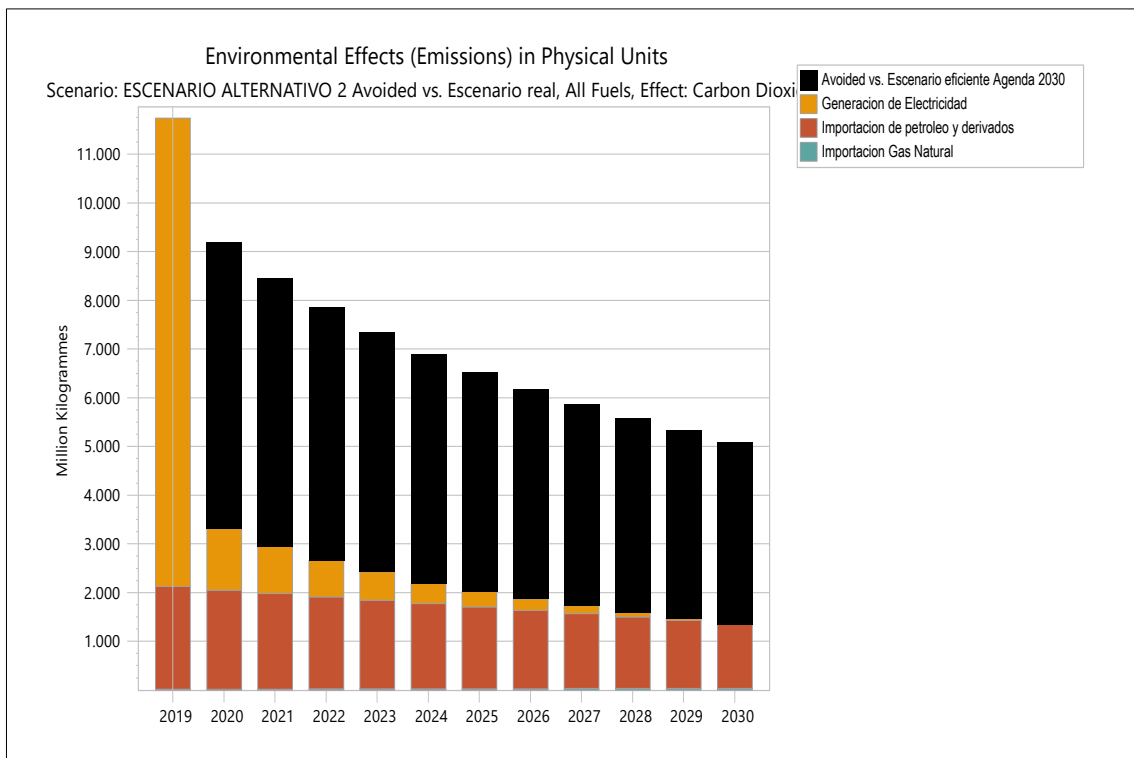
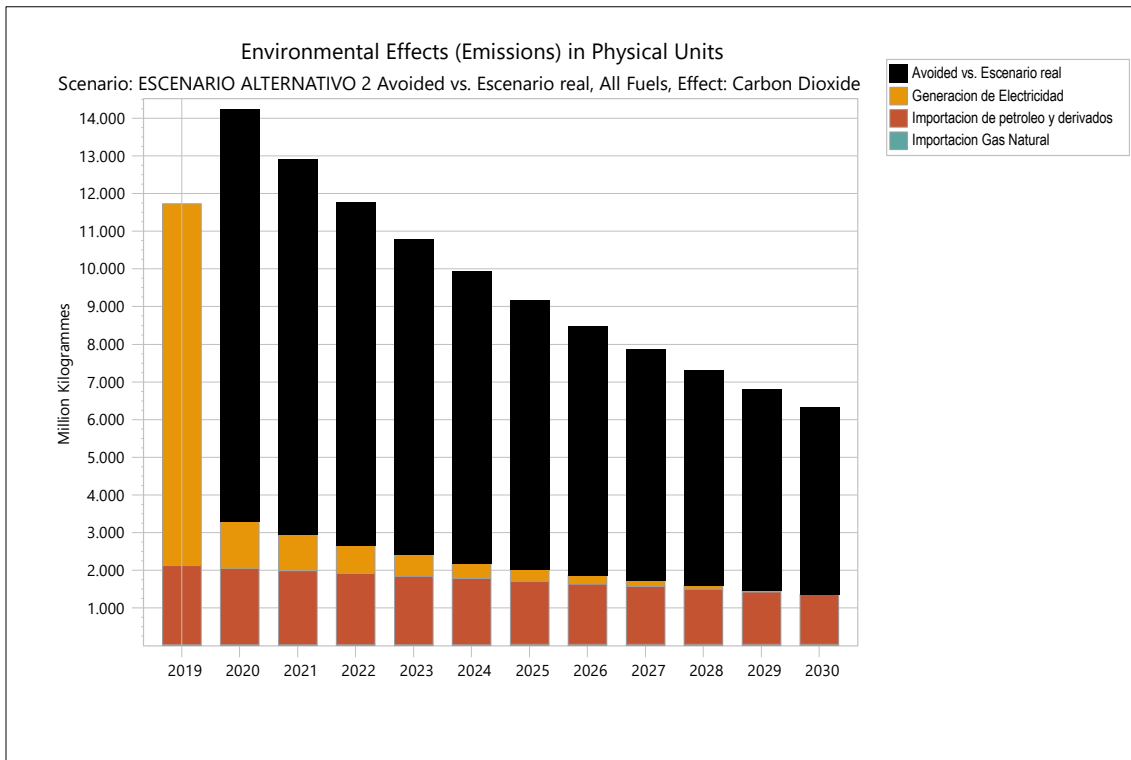


Ilustración 78. Comparación en las emisiones entre el escenario 2 y el escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP



*Ilustración 79. Comparación en las emisiones entre el escenario 2 y el escenario no eficiente*  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
 Aplicación al sistema energético andaluz

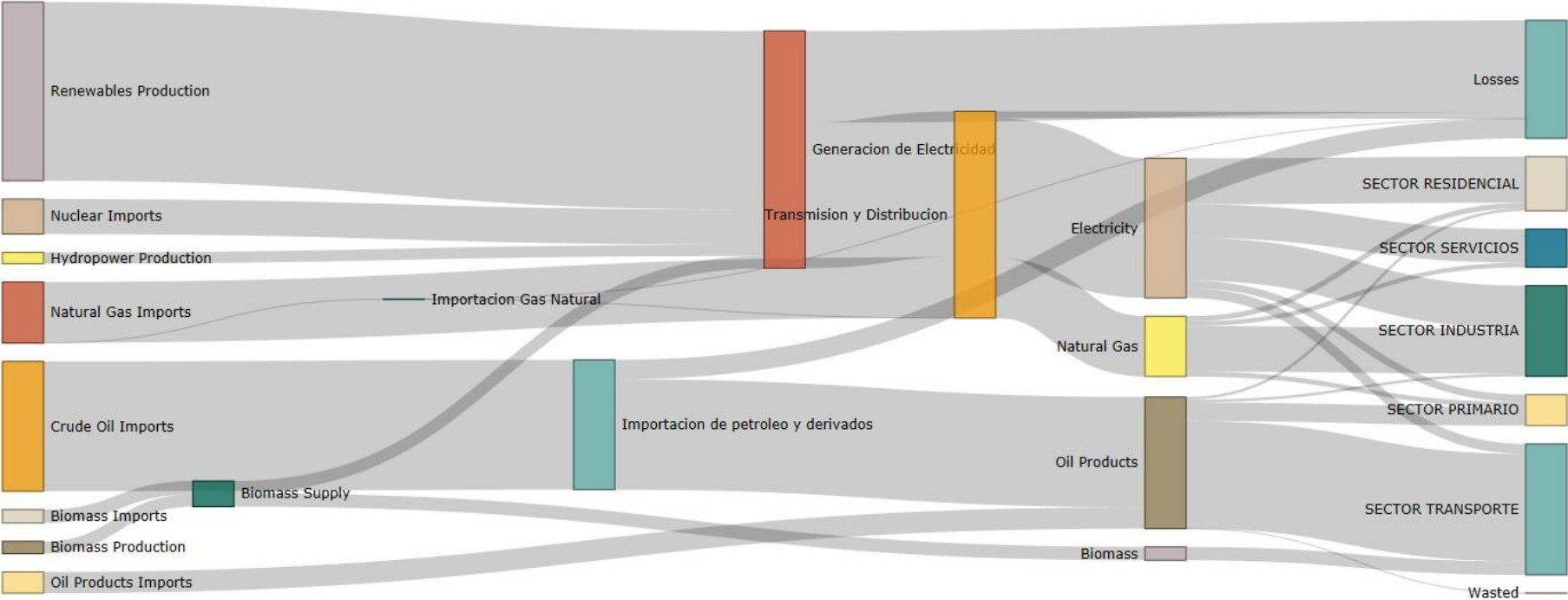


Ilustración 80. Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 2  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### 5.4.3 Escenario 3– Sector residencial y de servicios eficiente

Si en el sector residencial y servicios en Andalucía el consumo fuera 100% eléctrico, se reduciría la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero, siempre y cuando la electricidad provenga de fuentes de energía renovable. Esto contribuiría a una mayor sostenibilidad y respeto por el medio ambiente. Sin embargo, sería necesario un importante despliegue de infraestructuras de carga y distribución eléctrica para asegurar un suministro adecuado y fiable de electricidad en todo el territorio, así como una gestión eficiente de la demanda para evitar sobrecargas en la red eléctrica en momentos de alta demanda. Además, sería necesario fomentar medidas de eficiencia energética en los edificios para reducir el consumo de energía eléctrica y garantizar una transición energética sostenible y efectiva.

EMISIONES (Kilotoneladas) DEMANDA	ESCENARIO 1	ESCENARIO EFICIENTE	ESCENARIO NO EFICIENTE	REDUCCIÓN (Respecto al escenario eficiente) %
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	15277	16238,3	26023,8	<b>5,92%</b>
Metano CH <sub>4</sub>	2,09	2,2	3,6	<b>5%</b>
Óxido nitroso N <sub>2</sub> O	111,1	112,1	192,2	<b>0,9%</b>

*Tabla 43. Análisis comparativo en las emisiones de los escenarios propuestos  
Fuente: Elaboración propia*

#### -Comparación de emisiones del escenario 3 con el escenario eficiente y no eficiente

En comparación con el escenario eficiente, el impacto de la disminución de emisiones en este escenario es menor. Esto se debe a que las medidas adoptadas en el escenario eficiente se centran en la electrificación casi completa de estos sectores, mientras que en este escenario no se alcanza ese nivel. Como resultado, se evita la emisión de solo 961 kilotoneladas en el escenario eficiente y 10.800 kilotoneladas en el escenario no eficiente.

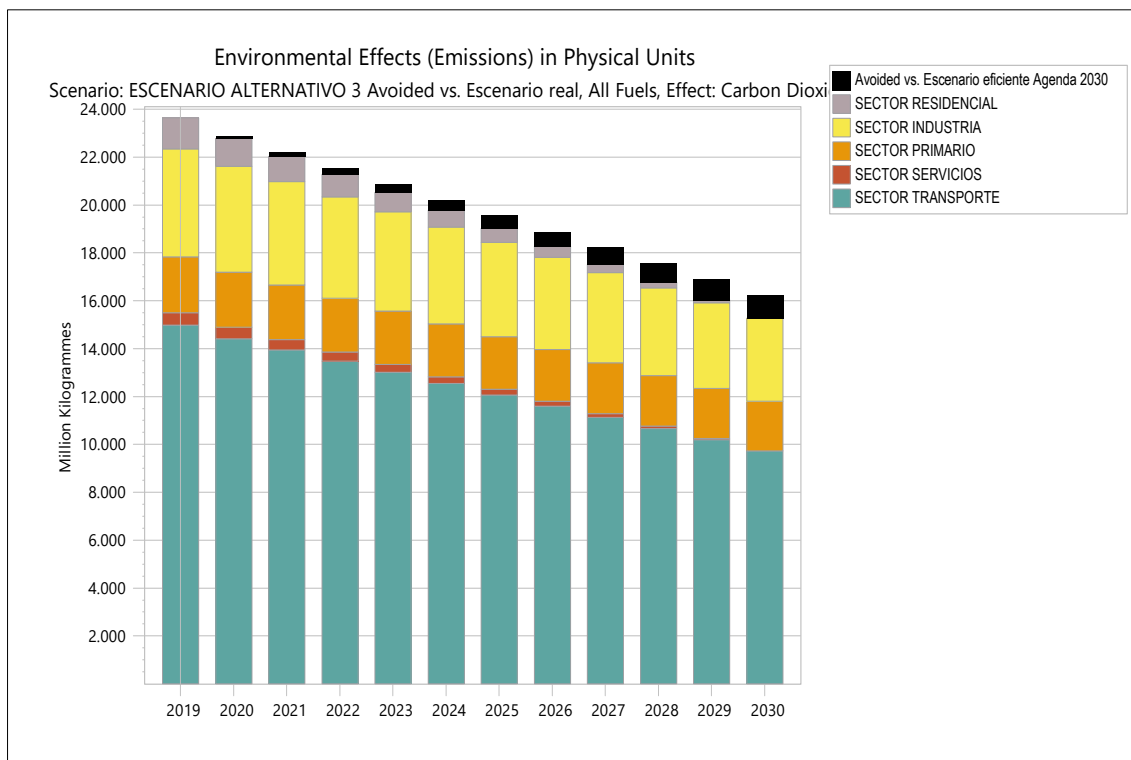


Ilustración 82. Comparación en las emisiones entre el escenario 3 y el escenario eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

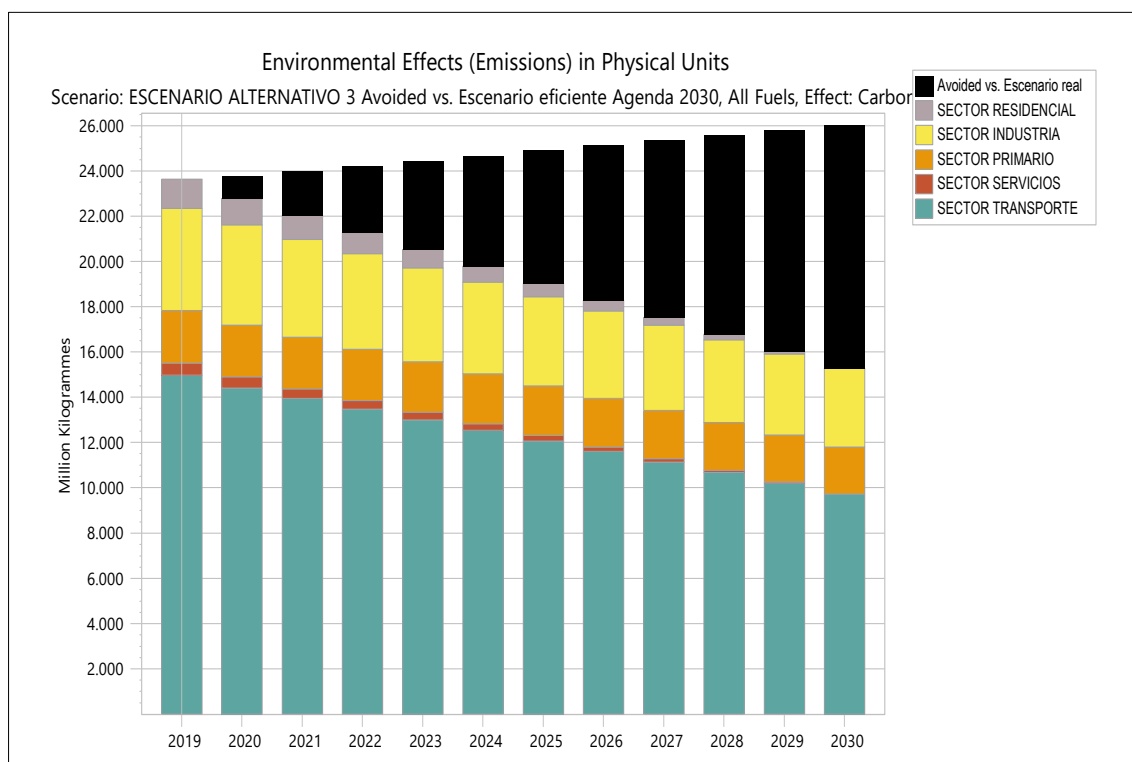


Ilustración 81. Comparación en las emisiones entre el escenario 2 y el escenario no eficiente  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

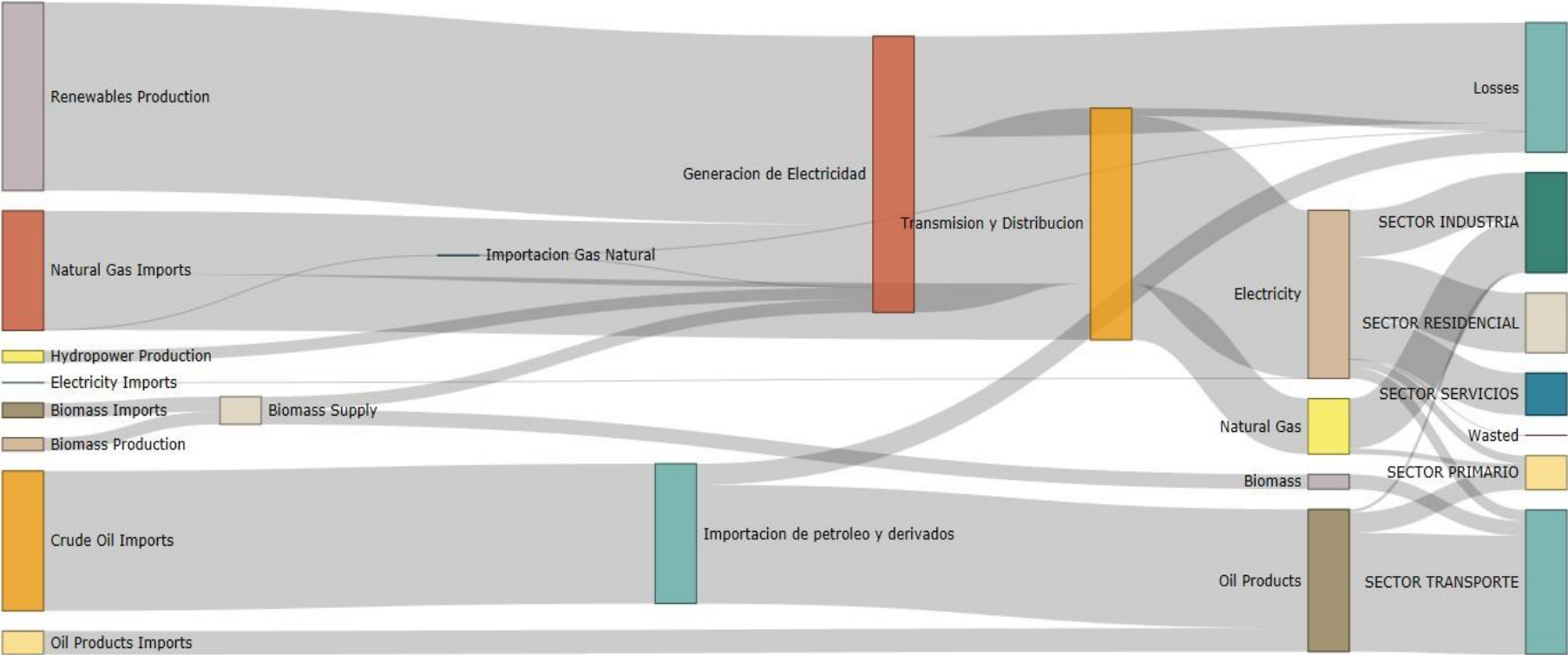


Ilustración 83. Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 3  
Fuente: Elaboración propia a través de LE

#### 5.4.4 Escenario 4– Sector industrial eficiente

Si el sector industrial de Andalucía tuviera un consumo del 60% de electricidad y el 40% de gas natural, esto podría resultar en una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero relacionada con el uso del gas natural. La electricidad podría producirse a partir de fuentes de energía renovable, lo que disminuiría aún más las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la electrificación del sector industrial también podría contribuir a mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos. Sin embargo, sería necesario asegurarse de que la infraestructura eléctrica y de gas natural existente pueda satisfacer la demanda de energía del sector industrial y adaptarla para garantizar la fiabilidad y seguridad del suministro.

EMISIONES (Kilotoneladas) DEMANDA	ESCENARIO 1	ESCENARIO EFICIENTE	ESCENARIO NO EFICIENTE	REDUCCIÓN (Respecto al escenario eficiente) %
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	15592,9	16238,3	26023,8	<b>3,98%</b>
Metano CH <sub>4</sub>	2,130	2,2	3,6	<b>3,2%</b>
Óxido nitroso N <sub>2</sub> O	110,34	112,1	192,2	<b>1,58%</b>

*Tabla 44. Análisis comparativo en las emisiones de los escenarios propuestos  
 Fuente: Elaboración propia*

#### -Comparación de emisiones del escenario 3 con el escenario eficiente y no eficiente

En este escenario, se observa un comportamiento similar al escenario 3, donde el aumento de la electrificación en el sector industrial se presenta si se toman medidas apropiadas (tal y como se muestra en el escenario eficiente), lo que permite evitar un total de 645 kilotoneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, en el escenario no eficiente, se logra una reducción mayor debido a que la industria no alcanza el mismo grado de electrificación que en el escenario eficiente, logrando evitar un total de 10400 kilotoneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>.

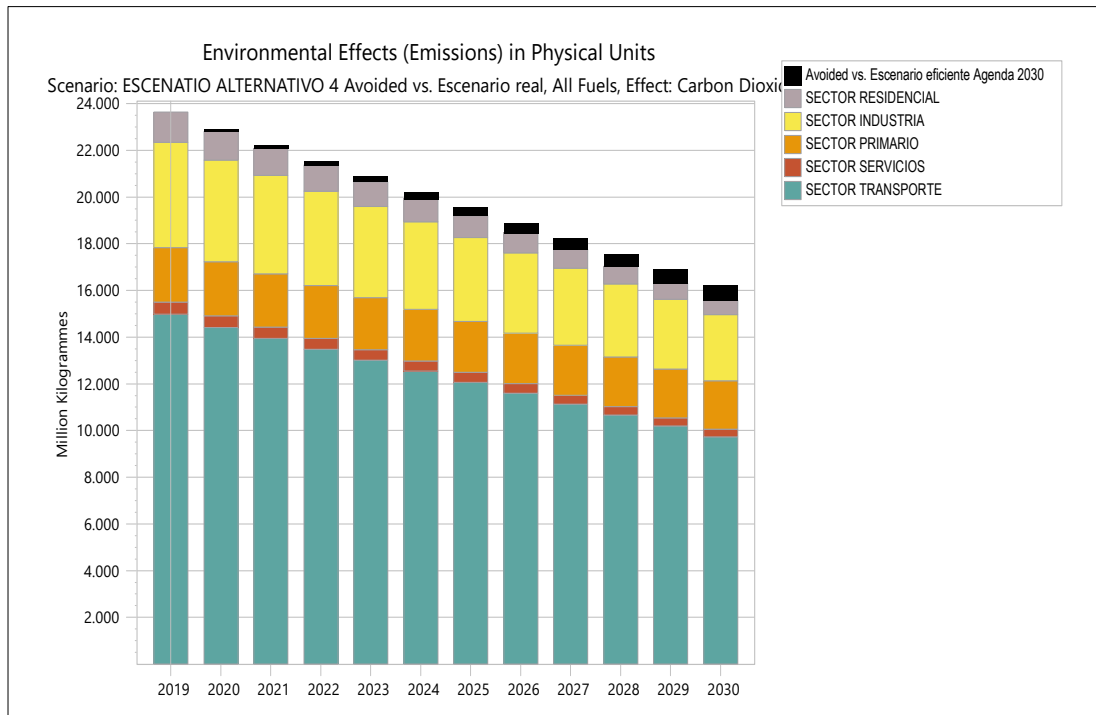


Ilustración 84. Comparación en las emisiones entre el escenario 4 y el escenario eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

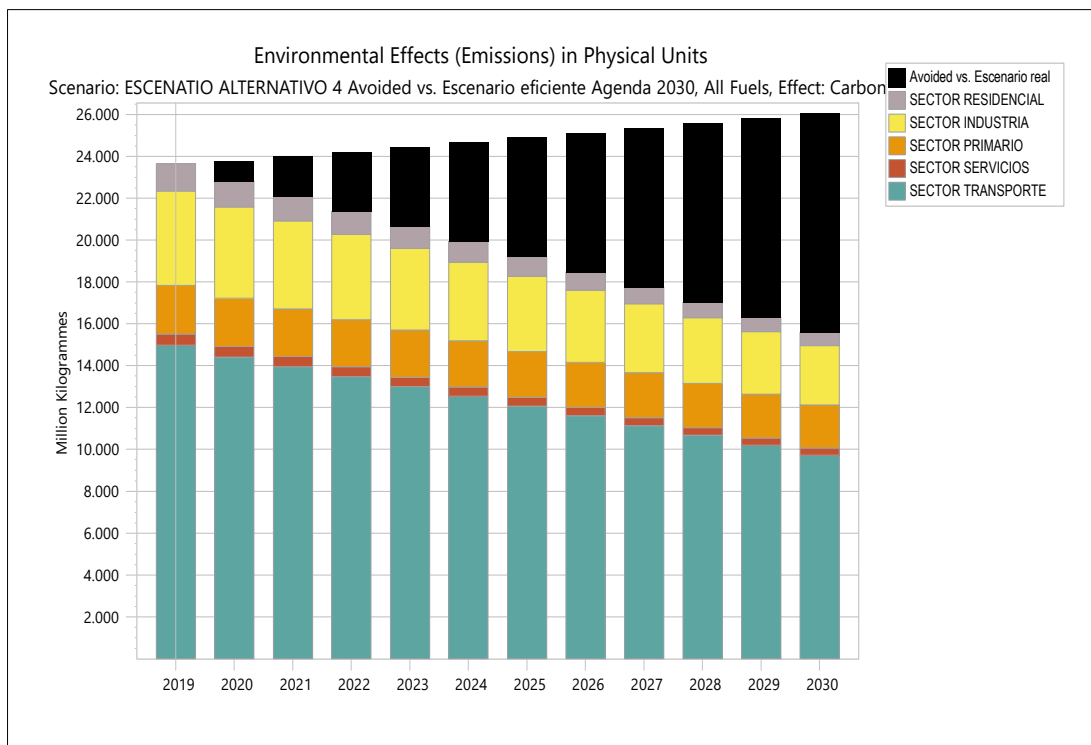


Ilustración 85. Comparación en las emisiones entre el escenario 4 y el escenario no eficiente  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
 Aplicación al sistema energético andaluz

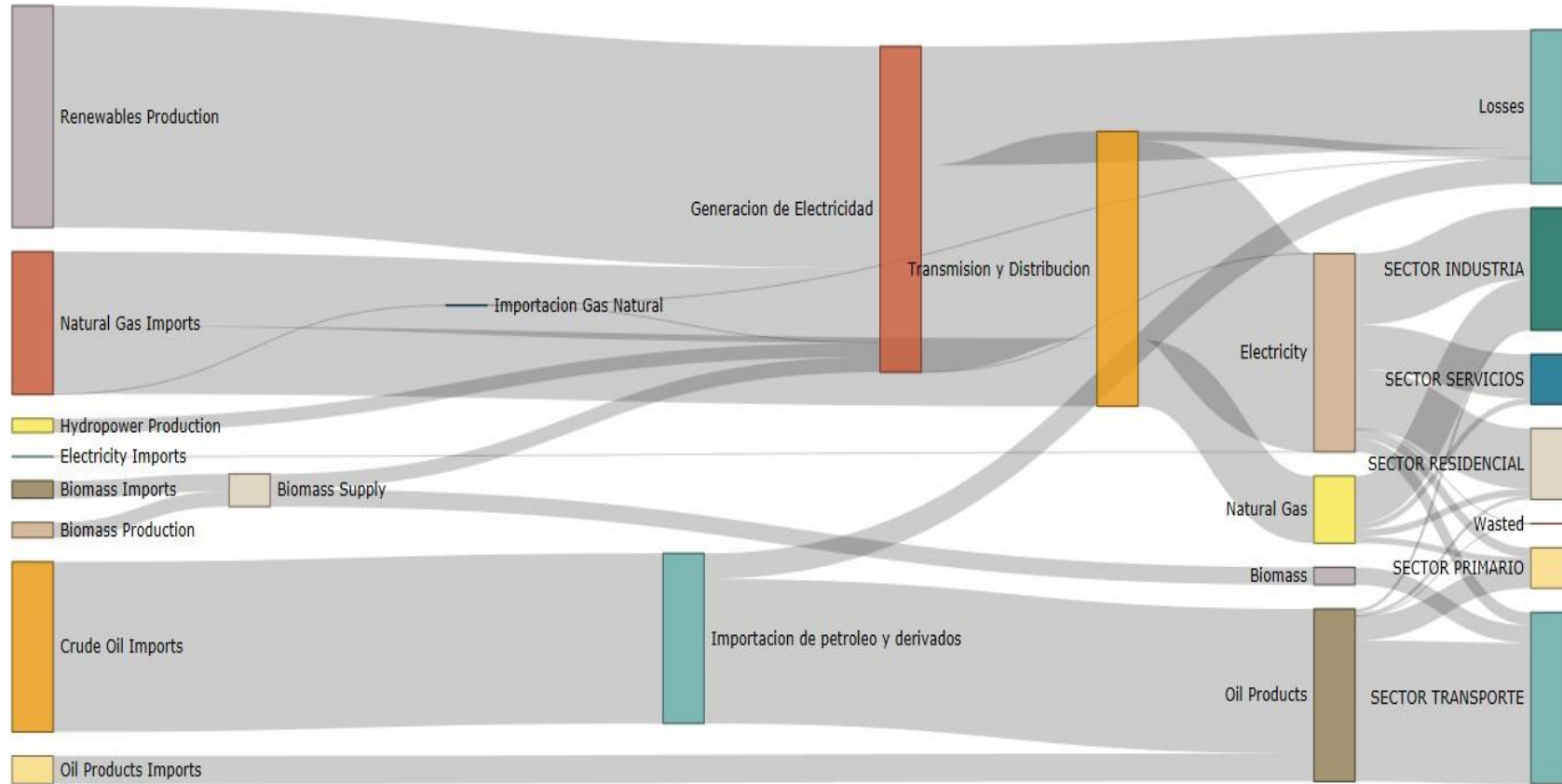


Ilustración 86. Diagrama Sankey para el año 2030 del escenario 4  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

### 5.4.5 Escenario modelado para 2050

Aunque el Plan Andaluz de Acción por el Clima 2021-2030 establece una visión a largo plazo hacia 2050 (en la que Andalucía debe ser una región resiliente y descarbonizada, con un modelo económico competitivo y sostenible) no incluye proyecciones específicas para este año. Sin embargo, establece una serie de medidas y objetivos a corto y medio plazo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en Andalucía en línea con los objetivos establecidos por la Unión Europea para 2030.

Por falta de datos, este escenario se modelará Andalucía energéticamente a largo plazo, haciendo algunas estimaciones y prolongando las tendencias energéticas de forma proporcional desde 2030 hasta 2050 ya que estas medidas pueden sentar las bases para una transición energética hacia un futuro más sostenible en el horizonte 2050.

Pese a que no se posee información específica sobre las decisiones que se esperan en cuanto a energía para la comunidad de estudio, si que se ha considerado medidas que han tomado vigor como en Europa y España (extrapolándose a Andalucía), por ejemplo: En 2035, se prohibirá la venta de coches gasolina y diésel para avanzar en el proceso de descarbonización. La legislación quiere lograr que todos los turismos en 2035 sean neutros de emisiones (ya sean de hidrógeno o eléctricos) en el sector de transporte o por ejemplo, que el sistema energético este basado en energías renovables donde estas representen el 97% en el consumo final.

#### -Modelado de la demanda

Para 2050 se ha supuesto la siguiente distribución en la estructura de mix energético. Se hará de manera que el principal objetivo sea llegar a la neutralidad de emisiones en 2050 por lo que las fuentes de energías que tengan asociadas la mayor parte de emisiones disminuirán o serán totalmente reemplazables por tecnologías renovables en la medida de lo posible.

#### Sector transporte

Combustible	2019	2030	2050
Derivados de petróleo	94,2%	82,1%	50%
Electricidad	0,4%	7,6%	25%
Renovables	5,2%	7,3%	10%
Gas natural	0,2%	2,9%	15%
<b>TOTAL (CON RESPECTO A 2019)</b>	-	25% menos	50% menos

Tabla 45. Estructura en el mix energético del sector transporte (estimación)  
Fuente: Elaboración propia

### Sector industria

Combustible	2019	2030	2050
Carbón	0,2%	0 %	0%
Derivados de petróleo	10,6%	3%	0%
Electricidad	24,1%	30%	45%
Renovables	14,2%	17%	32%
Gas natural	50,9%	50%	23%

Tabla 46. Estructura en el mix energético del sector industria (estimación)  
Fuente: Elaboración propia

### Sector residencial

Combustible	2019	2030	2050
Derivados de petróleo	18%	5%	0%
Electricidad	61%	65%	70%
Renovables	15%	20%	25%
Gas natural	6%	10%	5%

Tabla 47. Estructura en el mix energético del sector residencial (estimación)  
Fuente: Elaboración propia

### Sector servicios

Combustible	2019	2030	2050
Derivados de petróleo	3%	0%	0%
Electricidad	76%	81%	87%
Renovables	7%	7%	13%
Gas natural	14%	12%	0%

Tabla 48. Estructura en el mix energético del sector servicios (estimación)  
Fuente: Elaboración propia

### Sector primario

Combustible	2019	2030	2050
Derivados de petróleo	79%	60%	30%
Electricidad	14%	18%	28%
Renovables	2%	6%	16%
Gas natural	5%	16%	26%

Tabla 49. Estructura en el mix energético del sector primario (estimación)  
Fuente: Elaboración propia

Resultados

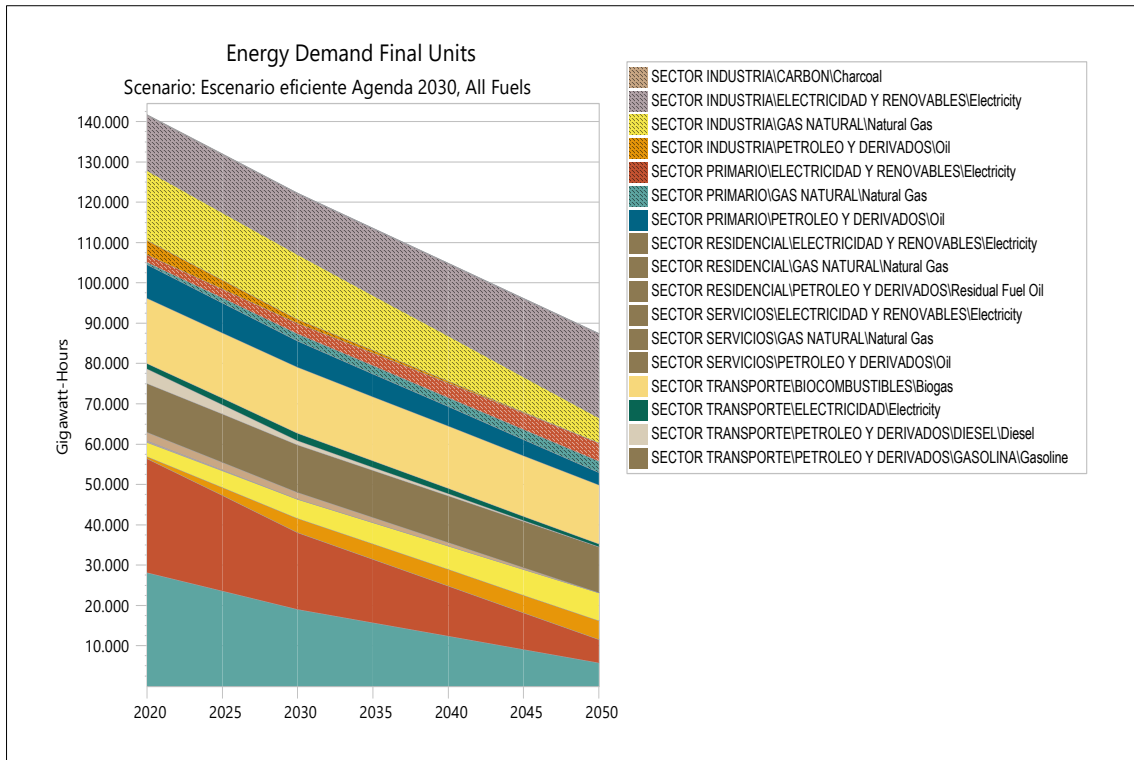


Ilustración 88. Evolución de la demanda para 2050 (estimación)  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

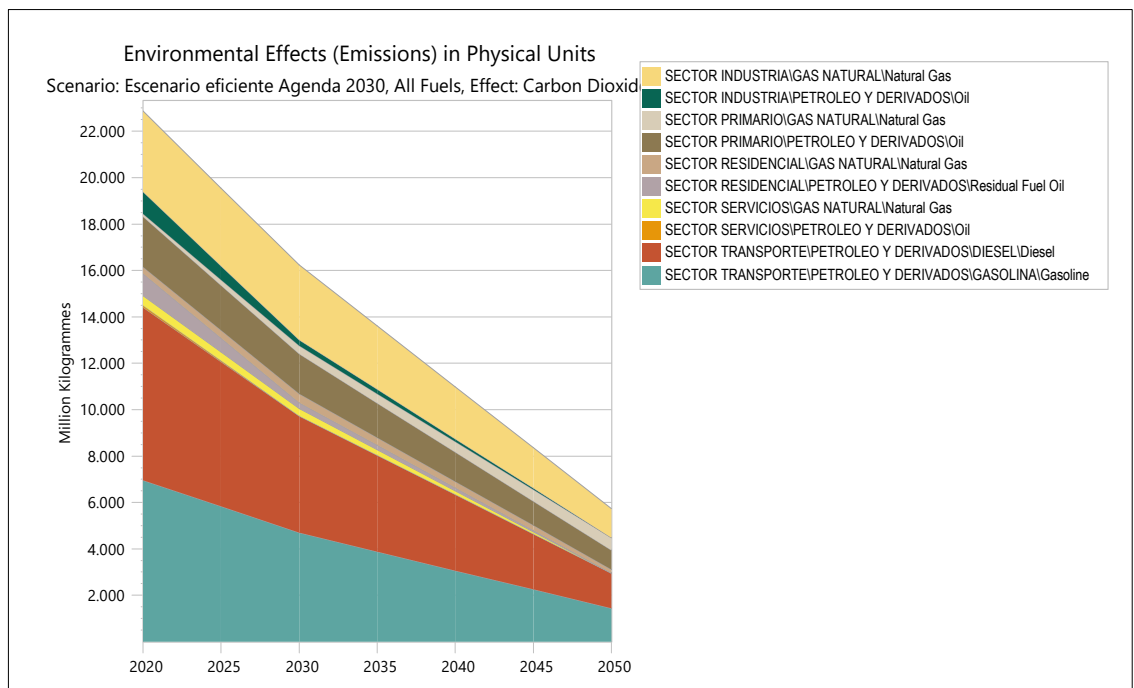


Ilustración 87. Evolución de las emisiones sujetas a la demanda para 2050 (estimación)  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

Metabolismo y prospectiva energética en el ámbito regional.  
 Aplicación al sistema energético andaluz

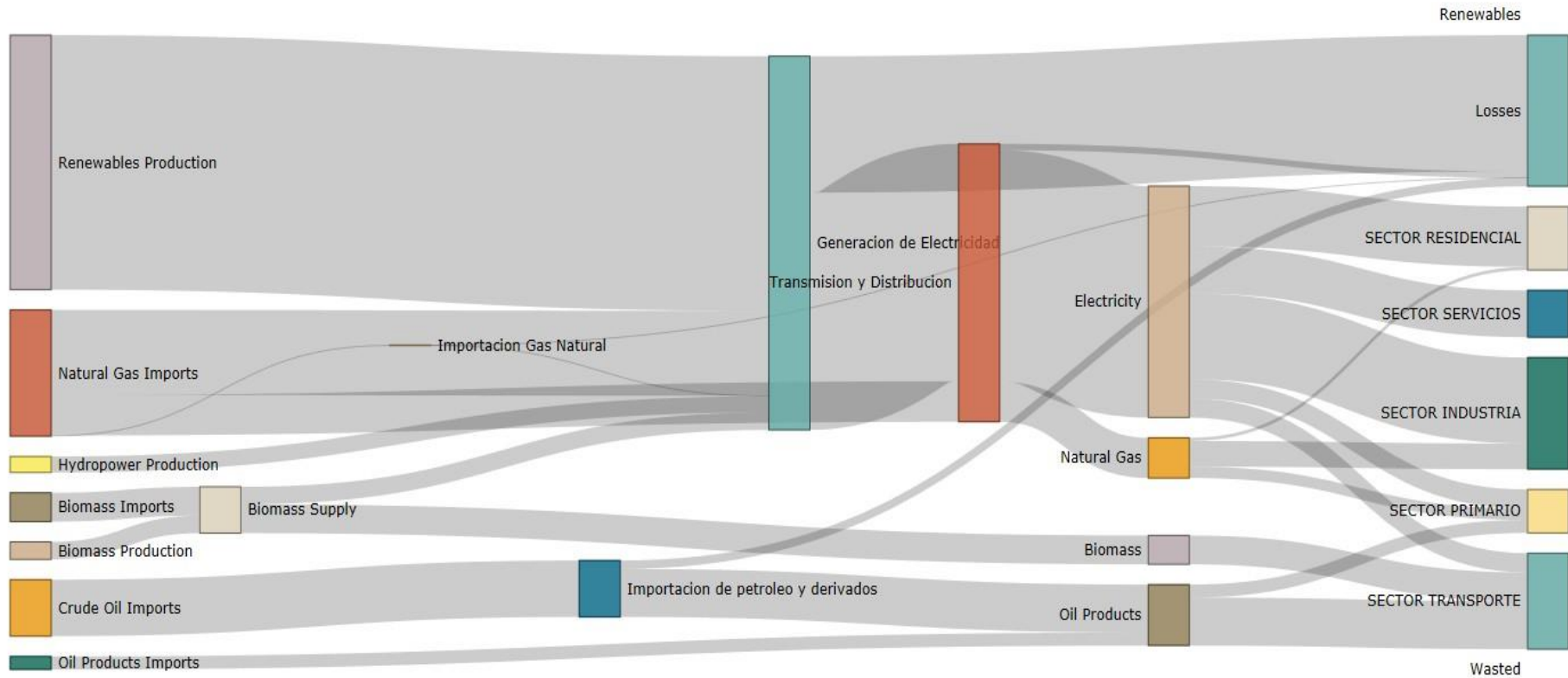


Ilustración 89. Diagrama Sankey para el escenario 2050  
 Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## Modelado de la energía primaria

El plan establece como objetivo alcanzar una economía andaluza descarbonizada y circular en 2050, basada en una gestión eficiente de los recursos y en un uso intensivo de energías renovables. Para lograr este objetivo, se fomentarán políticas de eficiencia energética y se aumentará la proporción de energías renovables en la producción de energía primaria, lo que implicará una reducción de la dependencia de combustibles fósiles.

Al no tener una proyección específica para el consumo de energía primaria en Andalucía para 2050, el modelado de la energía primaria se llevará a cabo con meras estimaciones.

### -Generación de energía eléctrica

- Se estima que, el 97% de energía eléctrica vendrá dada por parte de fuentes renovables.
- Se estimará que solo el 3% restante será dado por tecnologías que usen combustibles fósiles.
- La generación de energía eléctrica crecerá al ritmo que se plantea para 2030 ya que, esta será la fuente de energía más usada con el fin de sustituir a los combustibles fósiles y con esto las emisiones asociadas.

## Resultados

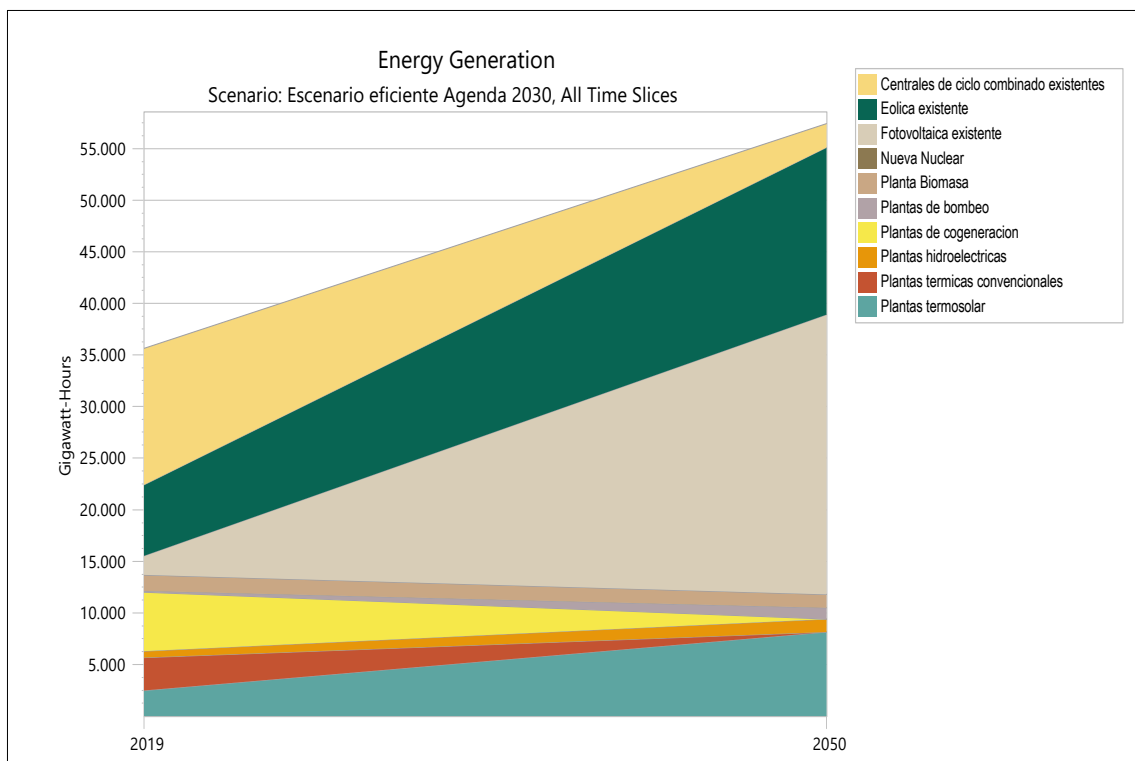


Ilustración 90. Generación de energía eléctrica en el escenario tendencial 2050 (estimaciones)  
Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

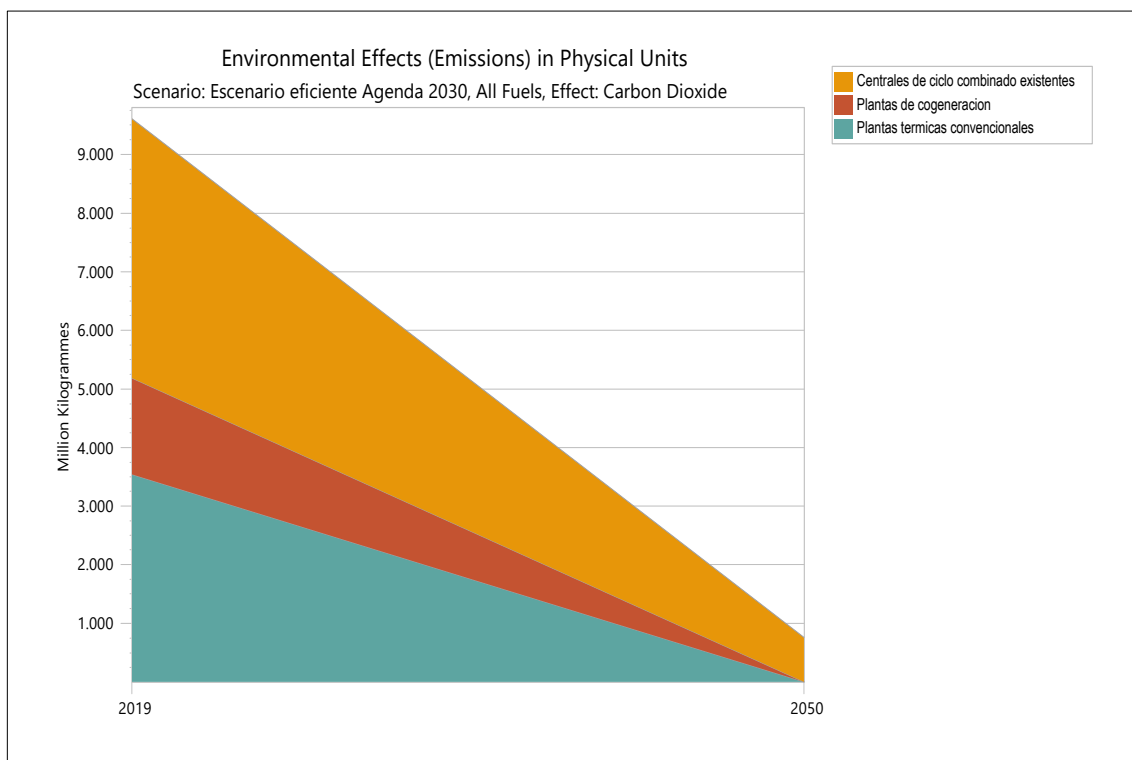


Ilustración 91. Emisiones relacionadas con la generación de electricidad para el escenario de 2050 (estimaciones)

Fuente: Elaboración propia a través de LEAP

## 5.5 Dificultades presentadas en el modelo energético

En este Trabajo Fin de Máster se quiso modelar la demanda de forma sectorial, pero en vez de hacer una clasificación por fuentes de energía, se buscó hacerlo de manera más concreta (en la siguiente ilustración se esquematiza la estructura de la demanda que se planteó al iniciar el modelado). Sin embargo, el problema apareció cuando se realizó una búsqueda exhaustiva de todos los datos necesarios y se descubrió que la mayoría de ellos no estaba disponible o no estaban al alcance del alumno.

Ante esta situación, se decidió simplificar el modelo para contar con una base sólida y todos los datos requeridos, aunque se tratara de una versión más genérica. Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, el documento base para el modelado es la Estrategia energética de Andalucía 2030.

En resumen, el software LEAP se utiliza para planificar la demanda de energía de manera detallada y precisa, requiriendo para ello datos energéticos muy concretos que, en algunos casos, pueden no estar disponibles o no estar al alcance del usuario. No obstante, a pesar de las limitaciones, este software sigue siendo una herramienta valiosa para llevar a cabo modelos de prospectiva energética y planificar la transición hacia un sistema energético más sostenible y eficiente.

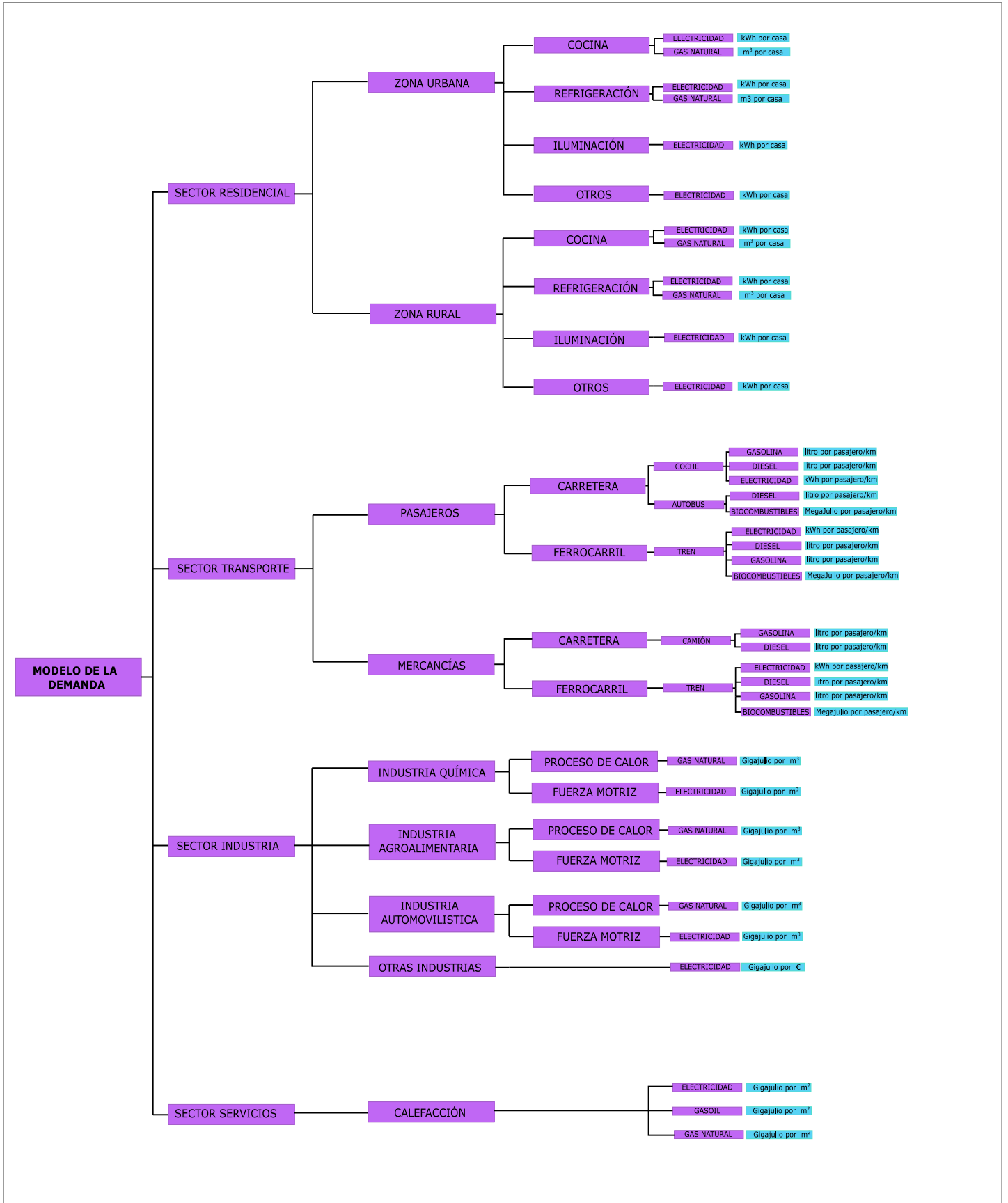


Ilustración 92. Primera opción para la estructura de la demanda  
Fuente: Elaboración propia

## **6. Análisis del estado de Andalucía en términos de cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible**

Una vez se ha llevado a cabo el análisis de la situación energética en Andalucía, junto con el modelo energético, es posible evaluar la posición de la región en relación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En particular, en cuanto a los ODS relacionados con la energía, se ha avanzado en la promoción de energías renovables y en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Según el informe "Objetivos de Desarrollo Sostenible en Andalucía 2020", la comunidad autónoma se encuentra en una buena posición en algunos de estos ODS, como, por ejemplo:

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante. En los últimos años, Andalucía ha avanzado en la instalación de nuevas capacidades de energías renovables, en particular, la energía solar y eólica, lo que ha contribuido a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico. Asimismo, la región ha implementado una estrategia específica para el fomento de las energías renovables y la mejora de la eficiencia energética.
- ODS 13: Acción por el clima. Andalucía ha definido metas ambiciosas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la adaptación al cambio climático. Además, cuenta con un plan concreto para abordar el cambio climático y avanzar hacia una economía sostenible y baja en carbono.

Sin embargo, también existen desafíos y áreas de mejora en la implementación de los ODS relacionados con la energía en Andalucía, como la necesidad de aumentar la penetración de las energías renovables en el sector del transporte y en el ámbito residencial, y la necesidad de mejorar la eficiencia energética en los diferentes sectores.

### **6.1 Análisis cuantitativo del estado energético de Andalucía con respecto a los objetivos establecidos en el marco estratégico Andaluz**

Después de realizar el modelo energético de Andalucía, se comparan los datos obtenidos a través del software LEAP, con algunos de los objetivos que establece el marco estratégico Andaluz, para una transición hacia el cumplimiento de los Objetivos Desarrollo Sostenible:

#### **OBJETIVO 1: Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de Andalucía un 39% con respecto al año 2005**

En primer lugar, se ha determinado la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que se llevó a cabo en 2005. En el año en cuestión, los diferentes sectores de Andalucía, como la generación de energía eléctrica, transporte, industria, sector primario, servicios y residencial, así como las actividades relacionadas con la extracción,

producción, transformación y distribución de energía, emitieron un total de 70.395,78 kilotoneladas de emisiones de gases de efecto invernadero.

Se ha realizado un análisis comparativo entre el año base de estudio (del que se disponen datos necesarios) y los años 2030 para el escenario eficiente y no eficiente:

	2005	2019	Emisiones	Escenario eficiente 2030	Escenario no eficiente 2030
<b>Total, emisiones</b>	<b>70395,78</b>	Demanda	23632,3	16238,3	26023,8
<b>Se busca una reducción del 39%</b>		Generación electricidad	9612,3	3734	3952,9
		Importación petróleo	2106,5	1324,5	2346,9
		Gas natural	17,8	35,6	35,6
		<b>Total 2019</b>	<b>35368,9</b>	<b>21332,4</b>	<b>32359,2</b>
		<b>Reducción</b>	<b>49,75%</b>	<b>69,69%</b>	<b>54,03%</b>
		<b>Grado de cumplimiento</b>	<b>127,56%</b>	<b>178,69%</b>	<b>138,53%</b>

Tabla 50. Tabla comparativa y datos arrojados por LEAP  
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos muestran una disminución significativa del 39% de las emisiones en comparación con el año base de 2005, tanto en el escenario eficiente como en el no eficiente. Aunque el objetivo a largo plazo es lograr cero emisiones para 2050, los resultados actuales sugieren que la estrategia energética adoptada por Andalucía está en la buena dirección.

## **OBJETIVO 2: Reducir el consumo tendencial de energía primaria como mínimo 39,5 % con respecto al año 2007**

Tal y como se realizó en el objetivo anterior, se ha procedido a buscar la energía primaria que se consumió en el año 2007 para, posteriormente, compararla con la total consumida en el año base y en 2030 para los escenarios estudiados.

En 2007, según la Agencia Andaluza de la Energía, el consumo de energía primaria fue un total de: 244634,72 GWh mientras que en 2019 disminuyó a 222412,12 GWh.

Las estimaciones en el escenario eficiente es que la evolución de los usos energéticos en los sectores de consumo, el aumento de la generación eléctrica renovable y la desaparición del carbón, supone una reducción en el consumo de energía primaria del 11 %. Por lo que para 2030 se espera un consumo de energía primaria de 197946,78 GWh.

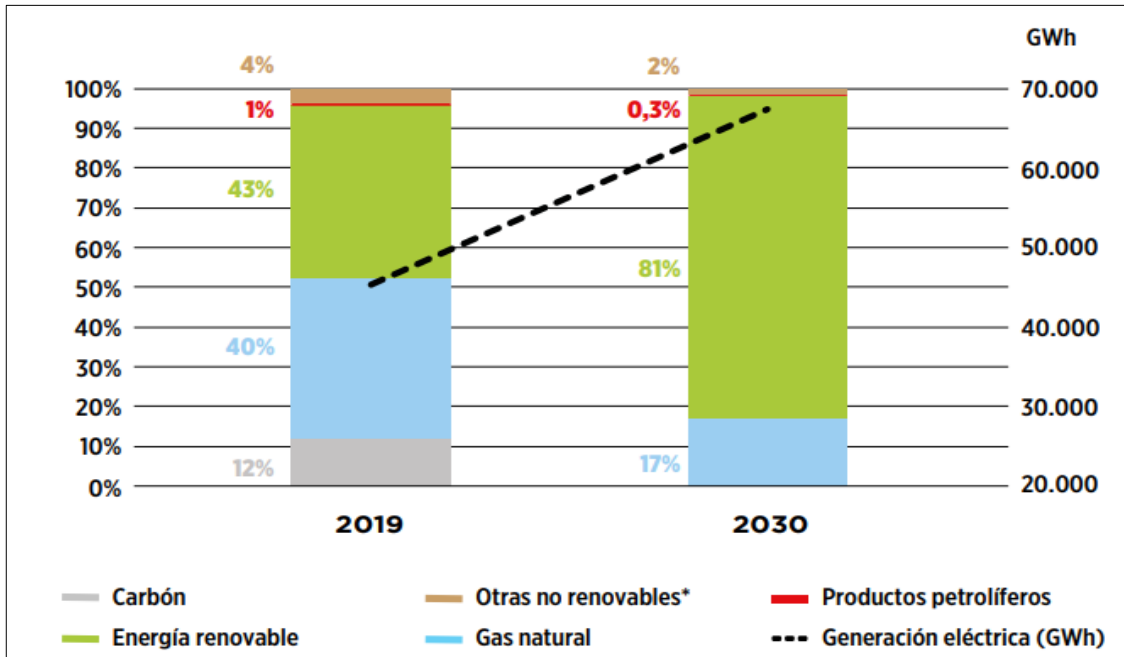


Ilustración 93. Evolución en el consumo energético primario para el escenario eficiente  
Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

Teniendo en cuenta, el escenario tendencial no eficiente, las estimaciones cambian. Se supone un incremento del consumo de energía primaria debido a la evolución tendencial de la demanda en los sectores finales de consumo y la estructura de producción, transformación, transporte y distribución de energía. Por lo que para 2030 se supone un aumento del 12% en el consumo de energía primaria posicionándose en un total de 249101,57 GWh.

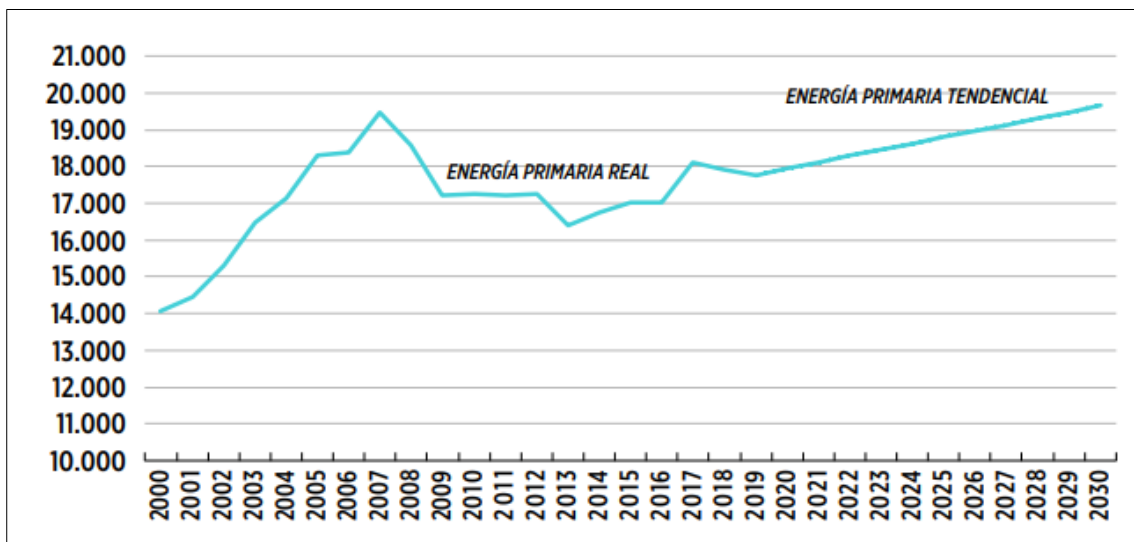


Ilustración 94. Evolución en el consumo energético primario para el escenario no eficiente  
Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

Como se puede observar en la ilustración X el escenario no eficiente considera que, Andalucía tendrá un consumo de energía primaria ligeramente mayor que el que se obtuvo en 2007.

<b>Consumo de energía primaria</b>			
<b>OBJETIVO 2- Se busca una reducción del 39,5% con respecto al año 2007</b>	<b>CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN GWh</b>	<b>EVOLUCIÓN %</b>	<b>GRADO DE CUMPLIMIENTO</b>
<b>2007</b>	244634,72	-	-
<b>2019</b>	222412,12	9,08 %	22,98 %
<b>Escenario eficiente 2030</b>	197946,7868	19,08 %	48,30 %
<b>Escenario no eficiente 2030</b>	249101,57	-1,82%	-1,82%

*Tabla 51. Tabla comparativa y datos arrojados por LEAP  
Fuente: Elaboración Propia*

En caso de no seguir las medidas expuestas en el escenario tendencial, se proyecta un aumento en el consumo de energía primaria que superaría el valor registrado en el año base de estudio, lo que indica un incumplimiento del objetivo establecido para el año 2030 en la Estrategia Energética de Andalucía.

### **OBJETIVO 3: Aportar a partir de energía renovable el 42% del consumo de energía final**

Para realizar el análisis de este objetivo, se ha seguido el mismo procedimiento que con los anteriores. Se ha estudiado el porcentaje que supone la energía renovable del total en el consumo de energía final.

En el año 2019, el consumo de energía final en Andalucía alcanzó los 143561 GWh, siendo las energías renovables responsables de tan solo el 29,68% de este consumo. En el escenario eficiente 2030, se estima una reducción en la demanda de energía final a 122153,7 GWh, junto con una mayor participación de energías renovables del 44,3%. Por otro lado, el escenario no eficiente muestra una menor contribución de las energías renovables, con un aumento del 35%. Estas estimaciones y medidas tomadas en cada escenario permiten una mejor comprensión del futuro de la energía en Andalucía y los efectos en el cumplimiento de los objetivos energéticos y de desarrollo sostenible establecidos.

<b>OBJETIVO 3- Aportar a partir de energía renovable el 42% del consumo de energía final bruta</b>	<b>CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA FINAL (GWh)</b>	<b>NO RENOVABLES</b>	<b>RENOVABLES</b>
<b>TOTAL 2019 (GWh)</b>	<b>143561</b>	100492,7	43068,3
<b>Variación (%)</b>	-	70,31431808	<b>29,68 %</b>
<b>TOTAL 2030 EFICIENTE</b>	<b>122153,7</b>	67966,7	54187
<b>Variación (%)</b>	-	55,64031216	<b>44,35%</b>
<b>Grado de cumplimiento</b>	-	-	<b>105,59 %</b>
<b>TOTAL 2030 NO EFICIENTE</b>	<b>164406,6</b>	106673,2	57733,4
<b>Variación (%)</b>	-	64,88376987	<b>35,11 %</b>
<b>Grado de cumplimiento</b>	-	-	<b>83,59 %</b>

Tabla 52. Tabla comparativa y datos arrojados por LEAP  
Fuente: Elaboración Propia

En el análisis del modelo energético se ha observado que el escenario eficiente logra superar el objetivo de consumo de energías renovables en la demanda final de energía establecido para 2030, alcanzando un 44,3%. Por otro lado, en el escenario no eficiente, la participación de las energías renovables en el consumo final de energía solo alcanza el 35%, quedando por debajo del objetivo fijado.

## 6.2 Análisis cuantitativo del estado energético de Andalucía con respecto a los indicadores de los ODS seleccionados

Al igual que en el apartado 6.1, en este apartado se procederá a evaluar el cumplimiento de los ODS 7 y 13 a través de la comparación de distintos indicadores en varios escenarios en relación al año base de estudio y/o al año índice base que cada indicador mencione.

En este apartado se incluyen no solo los escenarios eficiente y no eficiente, sino también algunos escenarios alternativos para evaluar la posición de los indicadores en comparación con el resto.

### -INDICADOR 1 Consumo de energía final (Índice base 2005)

Primero se buscó información sobre el consumo de energía final en el año de referencia (2005), y luego se compararon los diferentes escenarios estudiados con respecto a este año utilizando LEAP. Se observa una disminución del 15% en 2019 en comparación con 2005, pero el grado de disminución varía según el escenario. Si no se toman medidas, como en el escenario no eficiente, la disminución es menor, de solo 2,67%, lo que implica un aumento en el consumo

de energía final desde 2019. En los demás escenarios, donde se implementan medidas correctivas, la disminución alcanza casi el 30%, lo que implica una disminución continua desde 2019.

Escenarios de estudio	Consumo de energía primaria GWh	Disminución con respecto al año base
<b>Año base 2005</b>	168925,75	-
<b>Año base estudio 2019</b>	143561,8	15,01 %
<b>Año 2030 Escenario eficiente</b>	122153,7	27,68 %
<b>Año 2030 Tendencial no eficiente</b>	164406	2,67 %
<b>Escenario1- transporte eficiente 2030</b>	122200,8	27,66 %
<b>Escenario3- Sector residencial y servicios eficiente 2030</b>	122153,7	27,68 %
<b>Escenario4- Industria eficiente 2030</b>	123117	27,11 %

*Tabla 53. Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS  
Fuente: Elaboración propia*

#### **-INDICADOR 2 Consumo de energía primaria (índice base 2005)**

Para analizar el consumo de energía primaria, se procede de manera similar al análisis del consumo de energía final. Se recopila información sobre el año de referencia y, utilizando LEAP, se comparan los resultados de los diferentes escenarios analizados.

En el escenario no eficiente, el consumo de energía primaria no solo no disminuye, sino que aumenta en comparación con el año base. Sin embargo, en el resto de los escenarios, se observa una disminución positiva del consumo de energía primaria de alrededor del 15% con respecto al año 2005.

Escenarios de estudio	Consumo de energía primaria GWh	Disminución con respecto al año base
<b>Año base 2005</b>	232523,24	-
<b>Año base estudio 2019</b>	222412,12	4,34 %
<b>Año 2030 Escenario eficiente</b>	197946,78	14,87 %
<b>Año 2030 Tendencial no eficiente</b>	249101,57	-7,12 %
<b>Escenario 1- transporte eficiente 2030</b>	198022,16	14,83 %
<b>Escenario 3- Sector residencial y servicios eficiente 2030</b>	197946,78	14,87 %

<b>Escenario 4- Industria eficiente 2030</b>	199508,13	14,19 %
--	-----------	---------

Tabla 54. Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS  
Fuente: Elaboración propia

### -INDICADOR 3 Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año (Año base 2005)

La metodología utilizada para analizar las emisiones de CO2 es diferente a la de los indicadores de consumo de energía final y primaria. Se han recopilado datos sobre las emisiones de CO2 en el año base y se han comparado con las emisiones de los distintos escenarios analizados, en todos los sectores. Los resultados obtenidos muestran una disminución en las emisiones de CO2 en todos los escenarios, alcanzando incluso una reducción del 75% en comparación con el año base.

No se puede afirmar con certeza si las disminuciones continuarán de manera constante hasta 2050, ya que esto dependerá de múltiples factores y variables que pueden influir en la evolución del sector energético y en las políticas y medidas adoptadas en Andalucía y a nivel nacional e internacional. Sin embargo, si se mantienen y se intensifican las políticas y medidas de reducción de emisiones y aumento de la eficiencia energética, es posible que se continúe avanzando hacia una mayor reducción de emisiones y un uso más sostenible de la energía en Andalucía.

Emisiones de CO2 (kilotoneladas)	Demanda (kt)	Generación electricidad (kt)	Importación petróleo (kt)	Gas natural (kt)	Total (kt)	Reducción
<b>Escenario base 2019</b>	23632,3	9612,3	2106,5	17,8	35368,9	<b>49,75%</b>
<b>Escenario eficiente 2030</b>	16238,3	3734	1324,5	35,6	21332,4	<b>69,69%</b>
<b>Escenario no eficiente 2030</b>	26023,8	3952,9	2346,9	35,6	32359,2	<b>54,03%</b>
<b>Escenario 1- Transporte eficiente</b>	12433,6	4694,6	819,4	35,6	17983,2	<b>74,45 %</b>
<b>Escenario 2- Sector residencial y servicios eficiente</b>	15277,1	4073,7	1292	35,6	20678,4	<b>70,63 %</b>
<b>Escenario 3- Sector Industrial eficiente</b>	15592,9	4049	1324,5	35,6	21002	<b>70,17 %</b>

Tabla 55. Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS  
Fuente: Elaboración propia

**-INDICADOR 4 Proporción de consumo de energía final procedente de fuentes renovables.**

Es posible afirmar que la proporción de energía final procedente de fuentes renovables ha experimentado un crecimiento más o menos notable dependiendo del escenario estudiado. Si se implementan las medidas correctivas contempladas en el escenario eficiente, junto con las medidas propuestas en los demás escenarios, se podría lograr un aumento de la proporción de energía renovable del 57%.

<b>CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (INDICE BASE 2005)</b>	
<b>TOTAL GWh</b>	143561,80 GWh
Escenario año base 2019	47143,50 GWh
<b>Proporción</b>	<b>32,84 %</b>
<b>TOTAL GWh</b>	122153,70 GWh
Escenario Eficiente 2030	54184,00 GWh
<b>Proporción</b>	<b>44,36 %</b>
<b>TOTAL GWh</b>	164406 GWh
Escenario no eficiente 2030	57731 GWh
<b>Proporción</b>	<b>35,11 %</b>
<b>TOTAL GWh</b>	122200,80 GWh
Escenario 1- transporte eficiente 2030	69135,00 GWh
<b>Proporción</b>	<b>56,57 %</b>
<b>TOTAL GWh</b>	122153 GWh
Escenario 2- Sector residencial y servicios eficiente	58682 GWh
<b>Proporción</b>	<b>48,04 %</b>
<b>TOTAL GWh</b>	123117,80 GWh
Escenario 4- Sector industria eficiente	58362,60 GWh
<b>Proporción</b>	<b>47,40 %</b>

*Tabla 56. Análisis del estado de algunos indicadores que evalúan los ODS  
Fuente: Elaboración propia*

## 7. Análisis cualitativo del estado energético de Andalucía

Este apartado se enfoca en analizar los problemas energéticos que presenta la región de Andalucía en la actualidad. Se examinan diferentes aspectos, como el consumo de energía primaria, la tasa de autoabastecimiento y la calidad del suministro energético en la región. Además, se identifican los principales desafíos que se plantean para la próxima década en el marco de la planificación energética según la Estrategia Energética Andalucía 2030.

- El consumo de energía en Andalucía está basado en una gran parte en fuentes de origen fósil.
- Hay un exceso en el consumo de energía en general.
- El sector del transporte es el principal consumidor de energía final.
- Existen zonas de Andalucía con un deficiente suministro energético.
- La Administración regional tiene dificultades para impulsar proyectos y actuaciones energéticas.
- Las empresas e industrias energéticas andaluzas enfrentan dificultades para obtener financiación, integrarse en cadenas de valor y liderar proyectos.

### 7.1 Análisis de las causas y consecuencias de los problemas energéticos que presenta Andalucía

En este apartado se realiza un análisis (teniendo como base la Estrategia Energética de Andalucía 2030) de las causas y consecuencias de los problemas energéticos que presenta la región de Andalucía en España.

Podemos mencionar los siguientes:

**PROBLEMA:** Existencia de un desequilibrio territorial en el acceso a los servicios energéticos, que favorece la despoblación de ciertas zonas.

-CAUSAS:

- Insuficiente red de infraestructuras energéticas
- Falta de infraestructuras para la evacuación de energías renovables
- Falta de conexión con otras zonas de la península

-CONSECUENCIAS

- La calidad de los servicios energéticos es insuficiente, con problemas de interrupciones y cortes de suministro.

- Existe un desequilibrio territorial en el acceso a los servicios energéticos, que favorece la despoblación de ciertas zonas.

**PROBLEMA:** Gran dependencia de fuentes de energía fósil

-CAUSAS:

- El uso de energías renovables en usos térmicos es bajo.
- El sector del transporte depende en gran medida de la combustión de hidrocarburos.
- Las fuentes de energía fósiles tienen un peso mayoritario en el mix eléctrico.

-CONSECUENCIAS

- Elevadas emisiones de gases de efecto invernadero
- Dependencia energética del exterior, es decir, de fuentes energéticas que no se encuentran en la región.

**PROBLEMA:** Consumo de una gran cantidad de energía por parte del sector de transporte lo que se traduce en un elevado peso del sector en el consumo de energía final en Andalucía.

-CAUSAS:

- Uso predominante de vehículos particulares para el transporte de personas
- Utilización de tecnologías de transporte que dependen de la combustión de hidrocarburos con emisiones elevadas
- Existencia de infraestructuras enfocadas en el suministro de combustibles fósiles

-CONSECUENCIAS

- Baja calidad del aire debido a las emisiones contaminantes producidas por la combustión de hidrocarburos en el transporte y la generación de energía.
- Elevadas emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático y que provienen en gran medida del uso de fuentes de energía fósiles en la generación de energía y el transporte.
- Dependencia energética del exterior debido a la limitada capacidad de producción de energía renovable en la región, lo que implica una alta dependencia de la importación de combustibles fósiles.

**PROBLEMA:** Consumo de energía mayor del que se necesita

**-CAUSAS**

- Falta de conocimiento generalizado en la sociedad andaluza sobre la normativa y ayudas en materia energética
- Baja eficiencia energética en la industria, edificios públicos y privados, y viviendas
- Dificultad para que los ciudadanos accedan a financiación para realizar mejoras energéticas
- Información sobre el uso de la energía y su impacto en la economía doméstica y el medio ambiente es deficiente y compleja para la ciudadanía
- La sociedad andaluza se asienta en una fuerte cultura consumista.

**-CONSECUENCIAS**

- Alta carga económica para las empresas.
- Mayor impacto económico en la factura energética de hogares.
- Población vulnerable y en riesgo de pobreza energética, con mayor impacto en mujeres que suelen estar en el ámbito doméstico.

**PROBLEMA:** Dificultad enfrentada por parte de la Administración regional para el impulso de proyectos y actuaciones relacionadas con la energía.

**-CAUSAS**

- -El proceso administrativo se ve obstaculizado por la gran cantidad de actores involucrados, la complejidad, la rigidez y la falta de claridad del mismo.
- -Los técnicos encuentran dificultades para mantenerse actualizados en un campo tan cambiante.
- -Los recursos personales, técnicos y de gestión son escasos y la falta de comunicación y coordinación es evidente.
- -Existe una insuficiente coordinación entre la administración regional y las entidades locales para la planificación y autorización de proyectos.
- La presencia en redes, grupos de trabajo y centros de decisión es insuficiente.

- El marco jurídico actual se diseñó para un sistema energético analógico, centralizado y poco participativo, lo que dificulta la adaptación a un sistema energético moderno y más descentralizado.

#### -CONSECUENCIAS

- Las empresas y ciudadanía pierden oportunidades debido a la complejidad y rigidez del proceso administrativo, lo que dificulta la toma de decisiones y la implementación de proyectos.
- Los retrasos innecesarios en las tramitaciones también impiden el desarrollo de proyectos y la captación de inversiones.
- La baja captación de inversiones se debe a la falta de canales de comunicación y coordinación, así como a la falta de presencia en plataformas, redes y centros de decisión.
- La insuficiente coordinación entre la administración regional y las entidades locales también es un factor que contribuye a la pérdida de oportunidades.
- La baja representación de los intereses de Andalucía en decisiones técnicas y normativas también puede limitar las posibilidades de desarrollo de la región.

### **7.2 Estudio de las carencias en Andalucía para encontrar posibles soluciones a los problemas planteados**

En este apartado se abordan las distintas carencias que presenta la región de estudio. Además, estas carencias son las causas de los problemas expuestos en el apartado anterior:

- Se han identificado varias soluciones posibles para los problemas mencionados, que incluyen:
- Incrementar la electrificación de la demanda de energía.
- Implementar soluciones tecnológicas para integrar las energías renovables no gestionables.
- Mejorar la eficiencia energética en todos los sectores económicos, Administraciones Públicas y hogares.
- Promover el conocimiento generalizado de la sociedad andaluza sobre las medidas energéticas, regulaciones y incentivos.
- Desarrollar infraestructuras energéticas para suministrar combustibles de bajas emisiones y nuevos vectores energéticos.

- Establecer un sistema más accesible y participativo para acercar soluciones energéticas a la ciudadanía.
- Fomentar el desarrollo de redes de energía inteligentes sostenibles y equilibradas territorialmente.
- Asegurar la compatibilidad de infraestructuras energéticas con actividades tradicionales en zonas rurales y la conservación de la biodiversidad.
- Proporcionar recursos adecuados y actualización de conocimientos para el personal técnico de la Administración, así como la coordinación de procedimientos administrativos.
- Mejorar la formación profesional y fomentar la presencia femenina en las actividades relacionadas con el sector energético para abordar la transición energética y aprovechar las nuevas oportunidades laborales.
- Incrementar la innovación en el sector empresarial energético.

### **7.3 Desafíos que se plantean en el contexto de la planificación energética**

En este apartado se aborda la estrategia energética de Andalucía para el horizonte temporal 2030, y se analizan los desafíos que se plantean en el marco de la planificación energética. Este análisis permitirá identificar los principales desafíos a los que se enfrenta Andalucía en su transición hacia un modelo energético más sostenible y establecer las bases para una planificación estratégica adecuada y efectiva.

- Desafío 1: Lograr altos niveles de reducción de emisiones de carbono en los municipios de Andalucía para mejorar la calidad de vida de la población y disminuir las desigualdades sociales y de género.
- Desafío 2: Concientizar a la sociedad andaluza sobre la sostenibilidad y el consumo responsable a través de la educación, transformando a la ciudadanía en un impulsor de la transición energética.
- Desafío 3: Aprovechar las oportunidades que ofrece la transición energética para crear empleo, aumentar el valor territorial en Andalucía, fortalecer la economía, autonomía y resiliencia, y establecer un ejemplo de igualdad de género en el sector energético.
- Desafío 4: Desarrollar un sistema seguro, ambientalmente sostenible y resistente al cambio climático para la generación y suministro de energía, prestando especial atención a las zonas rurales que están en riesgo de desdoblamiento.

- Desafío 5: Hacer que la administración autonómica andaluza sea un modelo de consumo eficiente, efectivo y responsable de energía, y que promueva las acciones necesarias para alcanzar un modelo energético con cero emisiones de carbono en Andalucía.
- Desafío 6: Convertir al sector energético andaluz en un líder internacional en tecnología, innovación e industria, con capacidad para atraer inversiones extranjeras y alojar proyectos de alto valor añadido a nivel mundial.

## **7.4 Diagnostico global del sistema energético de Andalucía**

En resumidas cuentas: Andalucía enfrenta carencias en materia energética que causan problemas como el consumo excesivo de energía de origen fósil, dificultades para promover proyectos, y falta de financiamiento para empresas energéticas. Se proponen soluciones como aumentar la electrificación, mejorar la eficiencia energética y fomentar la participación ciudadana. Además, se presentan los principales desafíos para la transición hacia un modelo energético más sostenible en Andalucía, que incluyen reducir emisiones de carbono, concientizar a la sociedad sobre la sostenibilidad, crear empleo y fortalecer la economía, desarrollar un sistema de energía seguro y sostenible, hacer que la administración autonómica sea un modelo de consumo eficiente, y convertir al sector energético andaluz en un líder internacional en tecnología e innovación.

Una vez se ha analizado todo con respecto a los problemas energéticos que presenta la comunidad, así como sus carencias y fortalezas, se pasa a hacer un análisis de debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades (DAFO) para resumir todo lo mencionado en los apartados anteriores.

<b>ANÁLISIS DAFO DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ANDALUCÍA</b>	
<b>DEBILIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dependencia de fuentes de energía fósiles, especialmente en el transporte.</li> <li>-Falta de inversión en investigación y desarrollo en el sector energético.</li> <li>-Consumo excesivo de energía en general.</li> <li>-Zonas con problemas de suministro energético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dependencia de fuentes de energía fósiles, lo que hace que los precios sean volátiles y expone a Andalucía a riesgos en el suministro energético.</li> <li>-La competencia de otras regiones y países en el mercado de la energía renovable.</li> <li>-La falta de compromiso político y apoyo financiero para la transición energética.</li> <li>-El cambio climático, que aumenta la vulnerabilidad de Andalucía a los impactos negativos del clima y hace que sea más difícil lograr los objetivos de sostenibilidad energética.</li> </ul>
<b>FORTALEZAS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Gran potencial en energías renovables, especialmente en energía solar y eólica.</li> <li>-Presencia de industrias líderes en el sector de la energía renovable, con una gran capacidad de innovación.</li> <li>-Bajo costo de producción de energía renovable.</li> <li>-Amplia experiencia en el sector turístico y la capacidad de aprovechar la energía renovable para su beneficio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumentar la electrificación y mejorar la eficiencia energética en edificios y transporte.</li> <li>-Promover la educación y conciencia ciudadana sobre medidas energéticas sostenibles.</li> <li>-Desarrollar infraestructuras para el almacenamiento y transporte de energía renovable.</li> <li>-Fomentar la participación ciudadana en la planificación energética.</li> </ul>

*Tabla 57. Análisis DAFO para la situación energética en Andalucía  
 Fuente: Elaboración propia*



## 8. Conclusiones

Una vez realizado este Trabajo Fin de Máster, se ha logrado hacer una revisión bibliográfica acerca del concepto de metabolismo energético profundizando en las distintas metodologías existentes para su evaluación. Además, esta parte se ha centrado en el análisis del metabolismo energético a nivel regional, específicamente en la Comunidad Autónoma de Andalucía, con el fin de comprender mejor los patrones de consumo energético y su impacto en la sociedad y medio ambiente. Después de examinar el concepto de metabolismo urbano energético, se ha llevado a cabo un análisis del concepto de prospectiva energética, lo que ha permitido clasificar diversas herramientas y métodos para su evaluación. Llevado a cabo este análisis se concluyó que LEAP era la mejor herramienta para evaluar el estado energético de Andalucía debido a su flexibilidad, capacidad de modelización, análisis de emisiones y facilidad de uso.

Otro punto al que se ha prestado atención ha sido el estudio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con la energía, así como a la evaluación de los mismos mediante el uso de indicadores. Además, se ha destacado la importancia de los marcos normativos internacionales, nacionales y regionales que surgieron como resultado del establecimiento de estos objetivos por parte de Naciones Unidas.

Una vez comentada la importancia de los ODS y, habiendo explicado el concepto de prospectiva energética, se ha llevado a cabo un estudio de la situación energética de Andalucía. Se han abordado temas como: el consumo de energía final, consumo de energía primaria, infraestructuras energéticas que se sitúan en la comunidad, tasa de autoabastecimiento y calidad energética, todo ello a nivel regional. En este apartado se llegó a la conclusión de que los ODS y sus respectivas metas que guardan mayor relación con la energía eran principalmente: ODS 7 – Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos y ODS 13- Adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático.

Se puede decir que Andalucía, en 2019, presentaba un avance considerable en relación a los ODS 7 y 13. En cuanto al ODS 7, que busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, Andalucía había logrado una reducción del consumo energético final del 5,5% en comparación con el año anterior, y la participación de las energías renovables en la producción eléctrica se situó en torno al 45%. En cuanto al ODS 13, que busca tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, Andalucía había logrado una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del 50% aproximadamente en comparación con el año base establecido en el Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007. Sin embargo, se puede afirmar que, aún queda un largo camino por recorrer para alcanzar los objetivos establecidos a nivel internacional en estos ODS.

Buscando realizar un modelo energético de Andalucía, se ha recopilado datos energéticos importantes del año 2019 utilizando el documento "Estrategia Energética de Andalucía 2030" como base. En primer lugar, se han evaluado sus infraestructuras energéticas abarcando desde las infraestructuras de transmisión y distribución de energía hasta las de generación de energía renovable y no

renovable. Se puede resumir en que Andalucía cuenta con una red de transporte y distribución de electricidad bastante desarrollada y moderna, con numerosas infraestructuras y líneas de alta tensión. En cuanto a la red de transporte de gas también cuenta con buenas infraestructuras, diversas plantas de tratamiento y almacenamiento de gas y una red de gaseoductos que cubren gran parte del territorio andaluz. Respecto a la red de transporte de petróleo, Andalucía no cuenta con grandes infraestructuras de refino ni con una red de oleoductos tan extensa como la de gas y electricidad. Sin embargo, cabe destacar algunas refinerías de la región que producen gasolina, Diesel y otros productos derivados del petróleo.

En segundo lugar, se ha evaluado el consumo de energía primaria. Entre 2007 y 2014, el consumo de energía primaria en Andalucía disminuyó un 14,1%, pero luego aumentó un 6,2% hasta 2019, lo que resulta en una disminución general del 8,8%, menor que la de la UE y España. Sin embargo, el uso de fuentes de energía renovable en Andalucía aumentó significativamente en un 244,7% entre 2007 y 2019, superando los niveles de crecimiento a nivel nacional y europeo.

Finalmente se evaluó el consumo de energía final donde se concluyó en que ha disminuido en un 10,5% desde 2007 hasta 2019, pero ha habido un aumento del 16,1% desde 2013. El sector residencial y el sector de servicios son los únicos que han experimentado un aumento en el consumo de energía. La población ha aumentado en Andalucía y España, lo que podría haber llevado a una menor reducción en el consumo de energía final. El consumo per cápita de energía final en el sector residencial en Andalucía es más bajo debido a un clima más favorable en comparación con España y la UE.

También se han considerado estimaciones sobre cómo podría evolucionar la energía en la región hasta el año 2030 a través de una revisión bibliográfica. Con toda esta información, se ha creado el modelo, utilizando un software llamado LEAP. Este modelo presenta varios escenarios que representan diferentes supuestos sobre la evolución de la energía en la región en los próximos años. Se ha concluido que se puede lograr una reducción en la demanda de energía y emisiones, aunque el grado de reducción varía según el escenario analizado.

En total se han estudiado siete escenarios, de los cuales, dos han sido analizados de manera más extensa, el resto simplemente han sido modificaciones concretas en el apartado de demanda y/o generación de energía.

Los escenarios en cuestión son los siguientes:

-Escenario tendencial 2030 eficiente: Se trata de un escenario, basado en la Estrategia Energética Andalucía 2030, donde se han tenido en cuenta una serie de hipótesis que consideran el impacto de las medidas previstas en la Estrategia energética Andalucía 2030 para lograr los objetivos establecidos.

-Escenario tendencial 2030 no eficiente: De la misma manera que se realizó el escenario eficiente, se ha llevado a cabo este. Lo que lo diferencian es que, en este caso no se han incluido políticas públicas energéticas adicionales. ". Las proyecciones de consumo de energía en Andalucía se han basado en la evolución histórica y los parámetros socioeconómicos previstos.

-Escenario alternativo 1- Sector transporte eficiente: considera (de manera muy optimista) un futuro en el que el 50% de los vehículos en 2030 utilizarán electricidad y biocombustibles, lo que reduciría el consumo de derivados de petróleo como gasolina y Diesel disminuyendo, a su vez, el proceso de refinado y las emisiones asociadas, lo que tendría un impacto positivo en el consumo de energía primaria.

-Escenario alternativo 2- Generación de energía eléctrica eficiente a través de la incorporación de la energía nuclear: Este escenario propone la incorporación de una planta de energía nuclear en Andalucía para complementar la generación de energía eléctrica y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, actualmente no existen plantas nucleares en la región, lo que hace que este escenario sea menos viable. Además, la energía nuclear es una fuente polémica y controvertida debido a los riesgos asociados a la seguridad y a la gestión de los residuos radiactivos por lo que no resulta una opción muy realista.

-Escenario alternativo 3- Sector residencial y servicios eficientes: En este escenario, se considera un consumo casi 100% eléctrico en el sector servicios y más del 60% en el sector residencial. Sin embargo, este escenario no difiere mucho del escenario tendencial 2030 eficiente, ya que en ese escenario ya se considera una alta electrificación en el sector servicios.

-Escenario alternativo 4- Industria eficiente: Industria eficiente: En este escenario, se prevé una mayor electrificación en el sector industrial, lo que lleva a una importante reducción en el consumo de fuentes fósiles como los derivados de petróleo y el gas natural.

-Escenario tendencial 2050- Al no contar con datos a tan largo plazo, se ha realizado este escenario llevando a cabo una serie de estimaciones. Estas estimaciones tienen como base, el escenario eficiente ya que se supone que las hipótesis tomadas para 2030 se podrían mejorar aun más para 2050.

De todos estos escenarios que se han realizado los dos que más resultados positivos han arrojado son dos: El escenario eficiente con una disminución (con respecto al año de referencia) del consumo de energía primaria de 11%, del consumo de energía final de 15% y de emisiones de 39%. También el escenario de transporte eficiente ha presentado datos tan positivos como: una reducción de la energía primaria y final como el escenario eficiente y, en cuanto a emisiones alcanza un casi 50% de disminución.

El uso de este software ha supuesto todo un reto ya que el alumno no había trabajado con él antes y hubo que aprender no solo a manejarse con el entorno sino a saber interpretar los datos que este arrojaba. El software LEAP es una herramienta muy útil para llevar a cabo modelos de prospectiva energética y desempeñar escenarios futuros de transición, pero antes de poder utilizarlo es necesario realizar una planificación detallada sobre la forma en que se estructurará la demanda y generación de energía. En este sentido, el software puede llevar a cabo modelos muy detallados si los datos disponibles lo permiten.

Una vez analizado el modelo energético, se procedió a evaluar la posición de Andalucía con respecto a los objetivos marcados en el marco estratégico andaluz

en relación a los ODS. Todo ello para ver el grado de cumplimiento actual y futuro en Andalucía. Para llevar a cabo esta evaluación, se ha realizado una comparación cuantitativa y cualitativa a través de los datos propuestos en la Estrategia Energética Andalucía 2030. Los resultados muestran que, aunque se han hecho avances en la implementación de energías renovables y en la reducción de emisiones, aún queda mucho por hacer para lograr los objetivos marcados por los ODS.

El escenario eficiente demuestra un cumplimiento casi total de los objetivos fijados en el marco estratégico andaluz para satisfacer a los ODS. En este escenario, se espera una reducción del 69,69% de emisiones en comparación con el año 2005, superando el objetivo del 39% fijado en el Plan Andaluz de Acción por el Clima (PAAC) 2030. Con respecto a la reducción de energía primaria en comparación con 2007, se prevé una disminución del 39,5%. Sin embargo, incluso con el escenario con medidas de eficiencia, no se alcanza el objetivo del 20%. Finalmente, la participación de energías renovables en el consumo de energía final supera el 42% establecido, llegando a 45%.

Para el escenario tendencial no eficiente, se observa un menor grado de cumplimiento de los objetivos establecidos. Solo se alcanza uno de los valores previstos, que corresponde a la reducción de emisiones, la cual supera el objetivo del 39% establecido en el Plan Andaluz de Acción por el Clima (PAAC) 2030, logrando una reducción del 54% en comparación con los niveles de 2005. Por otro lado, no se cumple el objetivo de disminución del consumo de energía primaria, ya que no solo no se reduce en un 39,5% como se había establecido, sino que el consumo aumenta un 2%, obteniendo una disminución del -1,82%. De manera similar, no se cumple el objetivo de aumentar la participación de energías renovables en el consumo de energía final, ya que este escenario solo alcanza el 35%, frente al 42% previsto.

Se realizó un análisis exhaustivo de los problemas energéticos de Andalucía, incluyendo sus causas y consecuencias, así como las debilidades y desafíos de la Estrategia Energética Andalucía 2030. Este análisis se utilizó para desarrollar un esquema DAFO que ayudó a comprender mejor la situación actual y futura de la comunidad. El esquema DAFO identificó las debilidades y amenazas que Andalucía enfrenta en el ámbito energético, así como las fortalezas y oportunidades que se presentan en el camino hacia la transición energética.

## 9. Bibliografía y fuentes de información

- A.Ates, S. (2015). Energy efficiency and CO2 mitigation potential of the Turkish iron and steel industry using the LEAP (long-range energy alternatives planning) system.
- Agencia Andaluza de la Energía. (Junio de 2022). *Agencia Andaluza de la Energía y Consejería de la Política Industrial y Energía*. Obtenido de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/biblioteca/plantas-de-generacion-e-infraestructuras-energeticas-de-andalucia>
- Agencia Andaluza de la Energía. (Junio de 2022). *Agencia Andaluza de la Energía y Consejería de Política Industrial y Energía*. Obtenido de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/transicion-energetica/estrategia-energetica-de-andalucia-2030>
- Agencia Andaluza de la Energía. (s.f.). *Info-Energía*. Obtenido de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/info-web/loginController>
- Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology.
- Büyükoçkan, G., & Karabulut, Y. (2016). Energy project performance evaluation with sustainability perspective.
- C.P.Jaramillo, Benitez, J., Echevarria, D., J.C.Cepeda, & H.N.Arcos. (2022). Impact Analysis of non-conventional renewable energies on the long-term operational planning of the National Interconnected System using the SimSEE platform.
- Cascajo, R., Molina, R., & Pérez-Rojas, L. (2022). Sectoral Analysis of the Fundamental Criteria for the Evaluation of the Viability of Wave Energy Generation Facilities in Ports—Application of the Delphi Methodology.
- Celiktas, M. S., & Koca, G. (2010). From potential forecast to foresight of Turkey's renewable energy with Delphi approach.
- Chatzimouratidis, A. I., & Pilavachi, P. A. (2008). Technological, economic and sustainability evaluation of power plants using the Analytic Hierarchy Process.
- Chen, S., & Chen, B. (2015). Urban energy consumption: Different insights from energy flow analysis.
- Cornalino, E., Soubes, P., Palacios, F., Alvarez, M., Coppes, E., Casaravilla, G., & Chaer, R. (2018). Handling the intermittence of wind and solar energy resources from planning to operation. Uruguay's success.
- Czaplicka-Kolarz, K., Stańczyk, K., & Kapusta, K. (2009). Technology foresight for a vision of energy sector development in Poland till 2030. Delphi survey as an element of technology foresighting.
- Erum, S., Shabbir, R., Urooj, R., M. N., & S. S. (2013). Energy and Emission Abatement Scenarios in Agriculture Sector of Rawalpindi and Islamabad.

- Foxon, T., & Pearson, P. (2008). Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies:.
- Fuente, R. B. (2018). *Metabolismo Urbano*.
- García-Gusano, D., & Iribarren, D. (2018). Prospective energy security scenarios in Spain: The future role of renewable power generation technologies and climate change implications.
- Garg, H., & Kumar, K. (2016). TOPSIS method based on the connection number of set pair analysis under interval-valued intuitionistic fuzzy ser environment.
- Gómez, A., Dopazo, C., & Fueyo, N. (2016). The “cost of not doing” energy planning: The Spanish energy bubble.
- Graedel, T. (1999). Green chemistry in an industrial ecology context.
- Grubb, G. F., Dewulf, J., Langenhove, H. V., Muys, B., Bruers, S., Bakshi, B. R., . . . Sciubba, E. (2008). Exergy: Its Potential and Limitations in Environmental Science and Technology.
- Haberl, H. (2001). *The Energetic Metabolism of Societies Part I: Accounting Concepts*.
- Haralambopoulos, D., & Polatidis, H. (2002). Renewable energy projects: structuring a multicriteria group decision-making framework.
- Hendricks, C., Obernosterer, R., Muller, D. B., Kytzia, S., Baccini, P., & Brunner, P. H. (2000). *Material Flow Analysis: A tool to support environmental policy decision making. Case-studies on the city of Vienna and the Swiss lowlands*.
- Hu, G., Ma, X., & Ji, J. (2019). Scenarios and policies for sustainable urban energy development based on LEAP model – A case study of a postindustrial city: Shenzhen China.
- Junta de Andalucía. (2021-2030). *Plan Andaluz de Acción por el Clima 2021-2030*. Obtenido de Junta de Andalucía:  
[https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset\\_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/el-plan-andaluz-de-acci-c3-b3n-por-el-clima-2021-2030-/20151](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/el-plan-andaluz-de-acci-c3-b3n-por-el-clima-2021-2030-/20151)
- Junta de Andalucía. (2022). *Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía*. Obtenido de  
<https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ods/index.htm>
- Kennedy, C. (2007). *The Changing Metabolism of Cities*.
- Kowalski, K., Stagl, S., Madlener, R., & Omann, I. (2008). Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis .
- Lovins, A. (1977). *Soft energy paths: toward a durable peace*.
- Maciel, F., Vignolo, M., & Chaer, R. (2014). Projected Long-Term Behavior of the CO2 Emission Factor in the Electricity System of Uruguay.

- Mesa, N. A., Cortegoso, J. L., & Marthon, L. S. (2011). La prospectiva como una herramienta para orientar la planificación estratégica del sistema energético.
- Nieves, J., Aristizabal, A., Dyner, I., Baez, O., & Ospina, D. (2015). Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application.
- Niza, S. P., & Ferrao, P. M. (2005). Material Flow Accounting tools and its contribution for policy making.
- Niza, S., Rosado, L., & Ferrao, P. (2020). Avances metodológicos en la contabilidad.
- Pan, L. J., Xie, Y. B., & Li, W. (2013). An analysis of emission reduction of chief air pollutants and greenhouse gases in Beijing based on the LEAP model.
- Pincetl, S. (2012). Nature, urban development and sustainability – What new elements are needed?
- San Cristóbal, J. (2010). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The VIKOR method.
- Taylor, P. G., Upham, P., McDowall, W., & Christopherson, D. (2014). Energy model, boundary object and societal lens: 35 years of the MARKAL model in the UK.
- Terrados, J., Almonacid, G., & Leocadio, H. (2005). Regional energy planning through SWOT analysis. *Elsevier*.
- Terrados, J., Almonacid, G., & Pérez-Higueras, P. (2008). Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Zhang, Y. (2013). Urban metabolism: A review of research methodologies.
- Zio, S. D., & Maretti, M. (2013). Acceptability of energy sources using an integration of the Delphi method and the analytic hierarchy process.
- Zonooz, Nopiah, M. R., Yusof, Z. M., M, A., & Sopian, K. (2009). A review of MARKAL energy modeling.