

**(05-022) - ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACTS OF THE ENERGY
TRANSITION. ENERGY PLANNING IN ANDALUSIA AND COMPLIANCE WITH THE
ODS.**

Gómez Garrido, Pedro Manuel ¹; Terrados Cepeda, Julio ¹; Ogayar Fernández, Blas ¹;
Hermoso Orzaez, Manuel Jesús ¹; Cámara Aceituno, Juan ¹

¹ Universidad de Jaén

This study focuses on analyzing the environmental and social effects derived from the energy transition, with a particular emphasis on its implementation in Andalusia's energy planning. The evaluation focuses on determining the degree of compliance with the Sustainable Development Goals (SDGs) in this context.

The research adopts a sustainability-focused approach, seeking to align the objectives of the energy transition in Andalusia with the SDGs and the guidelines of supranational entities. It explores how changes in the energy matrix can affect both the environment and society as a whole.

In this way, a series of indicators are defined, including both direct indicators such as energy consumption and demand, or greenhouse gas (GHG) emissions, as well as indirect indicators related to various energy, environmental and social variables, and the potential impact of the implementation of energy transition measures in the Andalusian community is determined through them. This comprehensive analysis seeks to provide a complete view of the effects that the energy transition can have on a region, allowing informed and sustainable decision making in energy planning.

Keywords: Energy transition; Sustainable development; Sustainable Development Goals (SDGs); Sustainable development indicator; Sustainability indicators; Environment

**IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA.
PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA EN ANDALUCÍA Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS
ODS.**

Este estudio se enfoca en analizar los efectos ambientales y sociales derivados de la transición energética, con un énfasis particular en su implementación en la planificación energética de Andalucía. La evaluación se centra en determinar el grado de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en este contexto.

La investigación adopta un enfoque centrado en la sostenibilidad, buscando alinear los objetivos de la transición energética en Andalucía con los ODS y las directrices de entidades supranacionales. Se explora cómo los cambios en la matriz energética pueden afectar tanto al medio ambiente como a la sociedad en su conjunto.

De esta forma se definen una serie de indicadores, que incluyen tanto indicadores directos como el consumo y la demanda de energía, o las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como indicadores indirectos relacionados con diversas variables energéticas, ambientales y sociales, y se determina a través de ellos el impacto potencial de la aplicación de las medidas de transición energética en la comunidad andaluza. Este análisis integral busca proporcionar una visión completa de los efectos que la transición energética puede tener en una región, permitiendo una toma de decisiones informada y sostenible en la planificación energética.



Palabras clave: Transición energética; Desarrollo sostenible; Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); Indicador de desarrollo sostenible; Indicadores de sostenibilidad; Medioambiente

Correspondencia: Pedro Manuel Gómez Garrido, pmgomez@ujaen.es

Agradecimientos: Los autores agradecen la ayuda de la Fundación Pública Centro de Estudios Andaluces, que está financiando el Proyecto “Sistema energético andaluz y prospectiva energética 2050. Análisis de políticas energéticas y medidas de mitigación del cambio climático en Andalucía” en el marco de la XII Convocatoria de proyectos de investigación del Centro de Estudios Andaluces.

1. Introducción

El desafío del cambio climático se ha consolidado como uno de los más apremiantes a nivel global, exigiendo respuestas eficaces y coordinadas por parte de todos los países y regiones (IPCC, 2023). El informe más reciente del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático enfatiza la necesidad de implementar políticas para contrarrestar el aumento de la temperatura global y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Asimismo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 subrayan la importancia de la participación regional en la consecución de metas relacionadas con el cambio climático, la sostenibilidad y el sistema energético.

Este trabajo se centra en abordar estos imperativos globales mediante el estudio del sistema energético andaluz. Desde la perspectiva del metabolismo energético regional (Endémico, 2023), se llevará a cabo un análisis detallado de las relaciones entre las emisiones de GEI, la generación y el consumo de energía. El objetivo principal es evaluar cómo la región de Andalucía puede contribuir de manera significativa a la transición energética y al cumplimiento de los ODS (AACID). La metodología incluye la recopilación de datos sobre el comportamiento energético actual, la creación de un modelo energético mediante la metodología LEAP y la realización de una prospectiva energética para proyectar consumos y emisiones futuras.

Se busca proporcionar una visión precisa del estado actual del sistema energético andaluz y profundizar en el estudio del metabolismo energético circular (Matias Carrere Seguel, 2022). Este enfoque implica la actualización de variables que influyen en las interacciones de los flujos energéticos regionales, la elaboración de inventarios detallados de inputs y outputs, y la priorización de acciones concretas. Los escenarios prospectivos con horizontes temporales para 2030 y 2050 permitirán verificar el comportamiento del modelo energético, facilitando la formulación de propuestas y recomendaciones en el ámbito de las políticas públicas. Este proyecto aspira a ofrecer herramientas valiosas para la toma de decisiones, especialmente para la Agencia Andaluza de la Energía, contribuyendo así a la transformación del metabolismo energético lineal actual hacia un modelo circular y sostenible.

2. Objetivos

Los objetivos principales son profundizar en el estudio de los sistemas energéticos a nivel regional, incluyendo la planificación y la prospectiva energética. Para ello, se busca establecer un exhaustivo inventario de todos los inputs y outputs en las regiones, considerando sus impactos ambientales y su relación con variables socioeconómicas. Además, se pretende analizar la evolución del sistema energético en Andalucía, relacionándolo con variables socioeconómicas y los objetivos establecidos en los ODS. En el marco de una perspectiva a largo plazo, se busca elaborar propuestas para el desarrollo de energías renovables y del sistema en general, con el fin de contribuir a la consecución de los objetivos europeos para el año 2050.

Este trabajo se propone evaluar la sostenibilidad del sistema energético andaluz en el contexto del cambio climático, considerando su impacto económico y las implicaciones de su incumplimiento respecto a los compromisos internacionales, como el Acuerdo de París (IPCC, 2023). Además, busca desarrollar herramientas para la toma de decisiones que mejoren la sostenibilidad energética en Andalucía, alineándola con los ODS de la Unión Europea y los compromisos del acuerdo de Glasgow COP26, con énfasis en la eliminación progresiva de los combustibles fósiles (COP26).

Adicionalmente, este trabajo aspira a contribuir al logro de los ODS establecidos por Naciones Unidas, específicamente aquellos relacionados con el cambio climático y el sistema

energético, mediante la transición hacia un modelo energético circular en la región (Naciones Unidas, UN - Environment, & IRS).

A través del análisis detallado de datos energéticos de Andalucía y la aplicación de herramientas como el programa LEAP, se busca modelar un escenario eficiente a 2050 para evaluar la conformidad regional con los ODS y el marco estratégico andaluz (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023). Finalmente, este trabajo busca proporcionar una comprensión clara y accesible de la situación energética actual en la región, destacando las políticas y estrategias diseñadas para promover la adopción de energías renovables y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Gómez, Dopazo, & Fueyo, 2016).

3. Caso de estudio

3.1 Directrices y compromisos internacionales

La estrategia energética regional en cumplimiento con los ODS se fundamenta en los compromisos establecidos por la Unión Europea (UE) y España para abordar la crisis climática. Los objetivos vinculantes de la UE para 2030 incluyen una reducción del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), un 32% de energías renovables en el consumo total de energía, una mejora del 32,5% en eficiencia energética y una interconexión eléctrica del 15% entre los Estados miembros. En el marco del Pacto Verde Europeo, la UE aspira a lograr la neutralidad climática para 2050, cesando la emisión neta de GEI y desvinculando el crecimiento económico del consumo de recursos.

España, a través del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), establece objetivos específicos para 2030, como una reducción del 23% de las emisiones de GEI respecto a 1990, alcanzar un 42% de energías renovables en el consumo final de energía y mejorar la eficiencia energética en un 39,5%. Para cumplir con estos objetivos, se prevé una potencia eléctrica instalada de 161 GW proveniente de fuentes renovables para 2030.

El cumplimiento de estos objetivos contribuirá a la meta a largo plazo de neutralidad de emisiones de GEI para 2050, lo que implica una reducción del 90% de las emisiones totales de GEI respecto a 1990 y la transición hacia un sistema eléctrico completamente renovable. España también busca ser un país neutro en carbono para 2050, lo que requerirá una reducción significativa de las emisiones y proyecciones apuntan hacia un 23% de reducción para 2030.

3.2 El Sistema Energético Andaluz

El sistema energético en Andalucía durante el año 2021, utilizando como referencia principal el documento "Datos energéticos de Andalucía 2021" (Agencia Andaluza de la Energía, 2021a), junto con otras fuentes relevantes. Durante este año, la región experimentó una recuperación económica tras los impactos de la COVID-19, lo que se reflejó en un aumento tanto en el consumo de energía primaria como en el consumo de energía final.

Se destaca el incremento en la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, superando la generación de fuentes fósiles, y la continua disminución en el uso de carbón en la generación eléctrica. Además, más del 50% del parque generador andaluz está compuesto por energías renovables, principalmente impulsado por la instalación de energía solar fotovoltaica, y las emisiones de dióxido de carbono por unidad de generación eléctrica continúan disminuyendo (Consejería de Industria & Agencia Andaluza de la Energía, 2023) (Agencia Andaluza de la Energía, 2021b).

La progresiva recuperación económica en 2021 ocasionó un aumento en la demanda de energía en Andalucía, reflejado en un incremento del 6,3% en el consumo de energía primaria

en comparación con 2020, alcanzando un total de 17.256,4 ktep. Sin embargo, este nivel de consumo aún no ha recuperado los niveles anteriores a la pandemia (Agencia Andaluza de la Energía & Consejería de Industria, 2023).

En cuanto a la producción para el consumo interior, esta representó el 22,3% del consumo total de energía primaria en Andalucía en 2021, alcanzando un total de 3.846,4 ktep, lo que refleja el grado de autoabastecimiento energético de la comunidad. Toda esta producción proviene de fuentes renovables.

El aumento en la producción de energías renovables en la región, especialmente la energía solar fotovoltaica y la biomasa, ha elevado el grado de autoabastecimiento energético al 22,3%. Destaca que la biomasa y la termosolar representaron conjuntamente el 68,3% de la producción total, consolidando su papel fundamental en el mix energético regional, aunque no sean de las renovables más limpias, son las que se han visto impulsadas políticamente en la región.

3.3 Consumo de Energía de Andalucía

En el año 2021, se observa un notable aumento en el consumo de energía primaria en Andalucía, destacando un incremento del 13,2% en el consumo de productos petrolíferos y un aumento del 8,4% en el consumo de energías renovables. Este cambio en los patrones de consumo refleja importantes dinámicas en la matriz energética de la región durante ese período.

En cuanto al consumo de productos petrolíferos, se destaca un incremento en el consumo de querosenos (31,9%) y gasolinias (24,5%), mientras que el consumo de gas natural, aunque disminuye ligeramente, sigue representando una parte significativa del consumo total (26,2%). En contraste, el consumo de carbón experimenta una reducción del 12,5%.

Por otro lado, las energías renovables aumentan su contribución en un 8,4%, principalmente debido a un mayor consumo de energía solar fotovoltaica y biomasa. Las importaciones de electricidad superan a las exportaciones, generando un saldo eléctrico importador que equivale al 5,2% del consumo total.

En cuanto al consumo de energía final, se registra un aumento del 9,5%, con un énfasis en los sectores no energéticos. Se destaca el aumento en el consumo de energías renovables (23,3%) y productos petrolíferos (15,6%), mientras que el consumo de gas natural aumenta ligeramente y el consumo de energía eléctrica disminuye. Estos cambios indican una diversificación en las fuentes de energía consumidas en el sector final, con un énfasis particular en las energías renovables y los productos petrolíferos.

En la estructura del consumo de energía final por sectores de actividad en 2021, todos los sectores aumentaron su consumo en comparación con 2020, con la excepción del sector residencial, que experimentó una reducción del 4,2% (77,5 ktep), lo que, asociado al aumento del precio de la energía, denota la pobreza energética de la población de la región. Los mayores incrementos se observaron en el transporte, con un aumento del 19,8% (800,3 ktep), y en la industria, con un incremento del 8,7% (328,2 ktep).

El consumo en el sector servicios aumentó en menor medida, un 4,6% (54,8 ktep), mientras que en el sector primario se registró un ligero aumento del 0,8% (7,2 ktep). Estos datos reflejan variaciones significativas en los patrones de consumo de energía final en diferentes sectores de actividad.

El consumo de energía per cápita en 2021 muestra un aumento en comparación con el año anterior. El consumo de energía primaria per cápita alcanza los 2,0 tep (toneladas equivalentes de petróleo) por habitante, representando un incremento del 5,9%. En cuanto al consumo de energía final per cápita, se sitúa en 1,51 tep por habitante.

3.4 Los ODS y la planificación energética en Andalucía

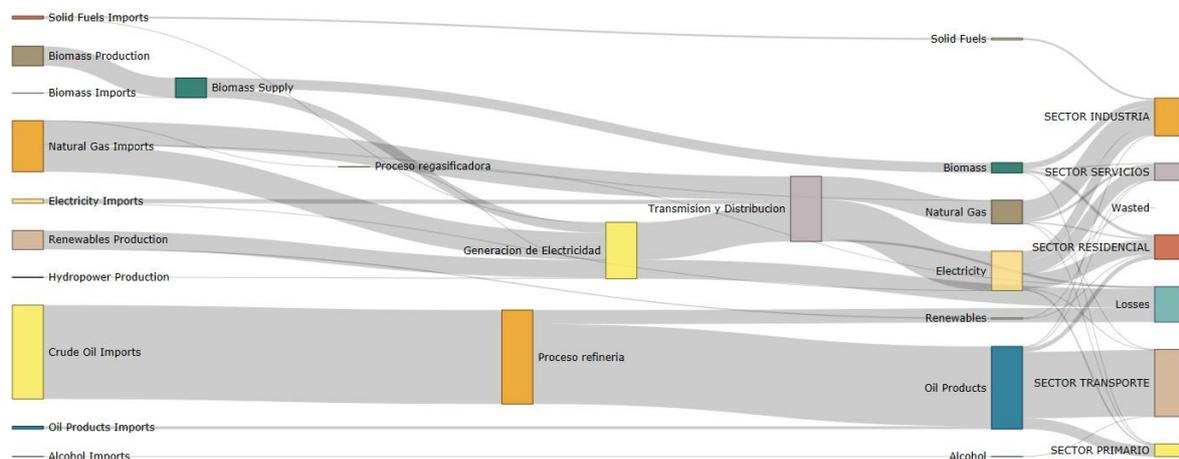
La relación entre la prospectiva energética y los ODS es crucial para lograr un futuro equitativo y sostenible. Estos objetivos proporcionan un marco global para abordar desafíos sociales, económicos y ambientales, mientras que la prospectiva energética ofrece una herramienta esencial para planificar y analizar el futuro del sector energético, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la mitigación del cambio climático. Dentro del marco de los ODS, el Objetivo 7 ("Energía Asequible y No Contaminante") es fundamental para garantizar el acceso universal a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. La prospectiva energética puede ayudar a alinear las acciones del sector energético con este objetivo, promoviendo el uso de fuentes de energía renovable, la mejora de la eficiencia energética y la inversión en tecnologías limpias. El Objetivo 13 ("Acción por el Clima") se centra en la necesidad de adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. La prospectiva energética puede contribuir a este objetivo mediante la identificación de estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, promover la transición hacia fuentes de energía más limpias y desarrollar políticas de adaptación al cambio climático.

Andalucía, con su rica historia, cultura y diversidad geográfica, se destaca como líder en la implementación de los ODS propuestos por las Naciones Unidas. Basándose en los principios establecidos en su Estatuto de Autonomía, la región andaluza ha abrazado el compromiso con la Agenda 2030, integrando completamente los pilares de prosperidad económica, inclusión social, igualdad de género y protección ambiental en su Estrategia Andaluza de Desarrollo Sostenible 2030 (EADS). Este compromiso se concreta a través de un sólido sistema de indicadores administrado por el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA), que no solo evalúa el avance hacia los ODS, sino que también fomenta la colaboración entre las comunidades autónomas, asegurando la coherencia metodológica y la comparabilidad de los resultados (Junta de Andalucía & Consejería de Presidencia, Interior, Diálogo Social y Simplificación Administrativa, 2023).

3.5 Modelado del sistema energético andaluz

En este apartado, se desarrolla un modelo energético para Andalucía. Se recopilan datos energéticos relevantes para modelar la demanda y luego se abordan procesos de transformación, transporte y generación de energía. Se elige el año 2021 como base, con datos obtenidos de la Agencia Andaluza de la Energía. El modelado se realiza con el software LEAP, diseñado para evaluar opciones de planificación energética a largo plazo, analizando demanda, producción y uso de energía, así como impactos económicos, ambientales y sociales de distintas políticas y escenarios energéticos.

Figura 1: Diagrama Sankey del año base (2021) (Fuente: Elaboración propia)



En primer lugar, se realiza el modelado energético del año seleccionado como base, que servirá como referencia para los escenarios futuros. Los datos del año 2021 serán el punto de partida, con ajustes o modificaciones en los años siguientes. El proceso consta de los siguientes pasos: modelado de la generación y transformación de energía, luego modelado de la demanda, clasificada en cinco sectores principales: Residencial, Industrial, Transporte, Servicios y Primario. Se consideran las fuentes de energía predominantes en cada sector: carbón, derivados de petróleo, gas natural, energías renovables y electricidad, el año base se visualiza en un diagrama Sankey.

Tabla 1: Año base: Potencia Eléctrica Instalada (2021) (Fuente: Elaboración propia, con datos extraídos de infoEnergía –AAE)

Tecnologías	2021 (MW)	2021 (%)
Fotovoltaica	3.455	20,11%
Eólica	3.515	20,46%
CT convencional	870	5,06%
Bombeo	570	3,32%
Termosolar	997	5,80%
Hidroeléctrica	650	3,78%
Biomasa	274	1,60%
Cogeneración	893	5,20%
Ciclo combinado	5.953	34,66%
Total	17.177	100,00%

Tabla 2: Año base: Energía Eléctrica Generada (2021) (Fuente: Elaboración propia, con datos extraídos de infoEnergía – AAE)

Tecnologías	2021 (GWh)	2021 (tep)	2021 (%)
Fotovoltaica	5.364	461	17,08%
Eólica	7.266	625	23,14%
CT convencional	241	21	0,77%
Bombeo	198	17	0,63%
Termosolar	2.240	193	7,13%
Hidroeléctrica	507	44	1,61%
Biomasa	1.776	153	5,65%
Cogeneración	5.171	445	16,47%
Ciclo combinado	8.643	743	27,52%
Total	31.406	2.701	100,00%

Para el modelado de la demanda, se ha recopilado información sobre los datos energéticos basándose en datos proporcionados por la Agencia Andaluza de la Energía. El modelo de la demanda se estructura mediante una clasificación sectorial que considera los sectores Residencial, Industrial, Servicios, Primarios y Transporte. Dentro de estos sectores, se ha llevado a cabo una clasificación adicional según las fuentes energéticas principales, que incluyen el petróleo y sus derivados, el carbón, el gas natural, las energías renovables y la electricidad.

3.6 Análisis de escenarios futuros

Una vez que se ha representado el año base mediante el modelo energético, se procede a la creación de los escenarios. Para los escenarios de 2030, se han utilizado datos de tendencia y eficiente del informe de la "Estrategia Energética de Andalucía 2030" (Junta de Andalucía, 2022). En cuanto al escenario 2050, se han considerado los objetivos a largo plazo a nivel nacional, extrapolando estos datos a la región de Andalucía, con referencia al informe "Horizonte 2050 (Brugger, Eichhammer, Mikova, & Dönitz, 2021) Hacia un modelo energético andaluz altamente descarbonizado".

Los documentos mencionados proporcionan la base y el contexto para el modelado y análisis de los diferentes escenarios energéticos. Los escenarios evaluados son: Escenario Eficiente 2030: Se formulan hipótesis considerando el impacto de las acciones llevadas a cabo en el marco de la Estrategia Energética de Andalucía 2030, buscando alcanzar los objetivos establecidos mediante intervenciones planificadas que influyan en el escenario tendencial, este modelado es necesario porque es la base de la que parte el escenario 2050. Por otro lado, el Escenario Eficiente 2050: Basado en el escenario anterior, este tiene como objetivo principal descarbonizar la región al máximo. Busca alcanzar un balance neto cero de emisiones de efecto invernadero, priorizando las energías renovables, combustibles alternativos, mayor participación de la electricidad en el consumo final y mayor eficiencia energética, lo que implica una reducción del consumo energético.

3.7 Escenario 2050

En este escenario, se prevé un notable aumento en la capacidad de generación mediante fuentes fotovoltaicas y eólicas, proyectando que superen el 75% de la potencia total instalada. La eliminación de centrales operadas con combustibles fósiles es un elemento clave de esta estrategia, marcando un avance decisivo hacia una matriz energética más limpia y sostenible.

Además, se introduce un enfoque innovador al aumentar la capacidad de almacenamiento a través de instalaciones de bombeo hidroeléctrico. Esta tecnología actúa como un método eficaz para almacenar energía en forma de agua durante períodos de excedente y liberarla cuando la demanda es alta. No solo contribuye a la estabilidad del suministro eléctrico, sino que también sirve como un medio de almacenamiento a gran escala, mejorando la capacidad del sistema para manejar la variabilidad inherente a las fuentes renovables.

Tabla 3: Potencia Eléctrica Instalada Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia)

Tecnologías	2021 (MW)	2021 (%)	2030 (MW)	2030 (%)	2050 (MW)	2050 (%)	Diferencia
Fotovoltaica	3.455	20,11%	20.000	54,79%	25.000	58,14%	25%
Eólica	3.515	20,46%	6.000	16,44%	8.000	18,60%	33%
CT convencional	870	5,06%	500	1,37%	0	0,00%	-100%
Bombeo	570	3,32%	2.500	6,85%	5.000	11,63%	100%
Termosolar	997	5,80%	3.000	8,22%	3.000	6,98%	0%
Hidroeléctrica	650	3,78%	2.000	5,48%	2.000	4,65%	0%
Biomasa	274	1,60%	100	0,27%	0	0,00%	-100%
Cogeneración	893	5,20%	400	1,10%	0	0,00%	-100%
Ciclo combinado	5.953	34,66%	2.000	5,48%	0	0,00%	-100%
Total	17.177	100,00%	36.500	100,00%	43.000	100,00%	18%

La generación de energía en este escenario se centra en la transición hacia fuentes renovables, destacando la energía solar, eólica e hidroeléctrica. Este enfoque diversificado no solo promueve la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también aprovecha de manera sostenible los recursos naturales disponibles. La generación basada en energías renovables contribuirá a un sistema eléctrico más limpio y resistente, abordando al mismo tiempo los desafíos asociados con la variabilidad en la producción de energía renovable.

Tabla 4: Energía Eléctrica Generada Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia)

Tecnologías	2021 (GWh)	2021 (tep)	2021 (%)	2030 (GWh)	2030 (tep)	2030 (%)	2050 (GWh)	2050 (%)	Diferencia
Fotovoltaica	5.364	461	17,08%	33.000	2.838	48,89%	40.000	59,26%	21%
Eólica	7.266	625	23,14%	16.000	1.376	23,70%	20.000	29,63%	25%
CT convencional	241	21	0,77%	203	17	0,30%	0	0,00%	-100%
Bombeo	198	17	0,63%	675	58	1,00%	2.500	3,70%	270%
Termosolar	2.240	193	7,13%	2.500	215	3,70%	2.500	3,70%	0%
Hidroeléctrica	507	44	1,61%	2.500	215	3,70%	2.500	3,70%	0%
Biomasa	1.776	153	5,65%	500	43	0,74%	0	0,00%	-100%
Cogeneración	5.171	445	16,47%	675	58	1,00%	0	0,00%	-100%
Ciclo combinado	8.643	743	27,52%	11.475	987	17,00%	0	0,00%	-100%
Total	31.406	2.701	100,00%	67.500	5.805	100,04%	67.500	100,00%	0%

Este escenario, centrado en energías renovables del sol, el viento y el agua, refleja un compromiso significativo hacia la descarbonización y la transición hacia un sistema de energía más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

En cuanto a la demanda, se prevé una transición hacia fuentes de energía más sostenibles en varios sectores para el periodo 2030-2050. En el sector industrial, se espera eliminar totalmente las emisiones de carbono y reducir el consumo de petróleo en un 80%, mientras se aumenta la demanda de electricidad generada por fuentes renovables. En el sector primario, se anticipa una reducción en el uso de diésel y gas licuado de petróleo (GLP), con un incremento notable en el uso de biomasa. En el sector residencial, se prevé una disminución en el consumo de combustibles fósiles y un aumento en la utilización de energía renovable, resultando en una reducción del 29% en la demanda total de energía. En el sector de servicios, se proyecta una reducción del 28% en el consumo total de energía, con una disminución en el uso de gas natural y un aumento en la participación de la biomasa. Finalmente, en el sector del transporte, se observa una transición hacia combustibles más sostenibles, con una reducción significativa en el consumo de gasolina y gasoil, y un aumento en la demanda de electricidad y biocombustibles. Estos cambios reflejan un compromiso con la eficiencia energética y la reducción de emisiones en todos los sectores.

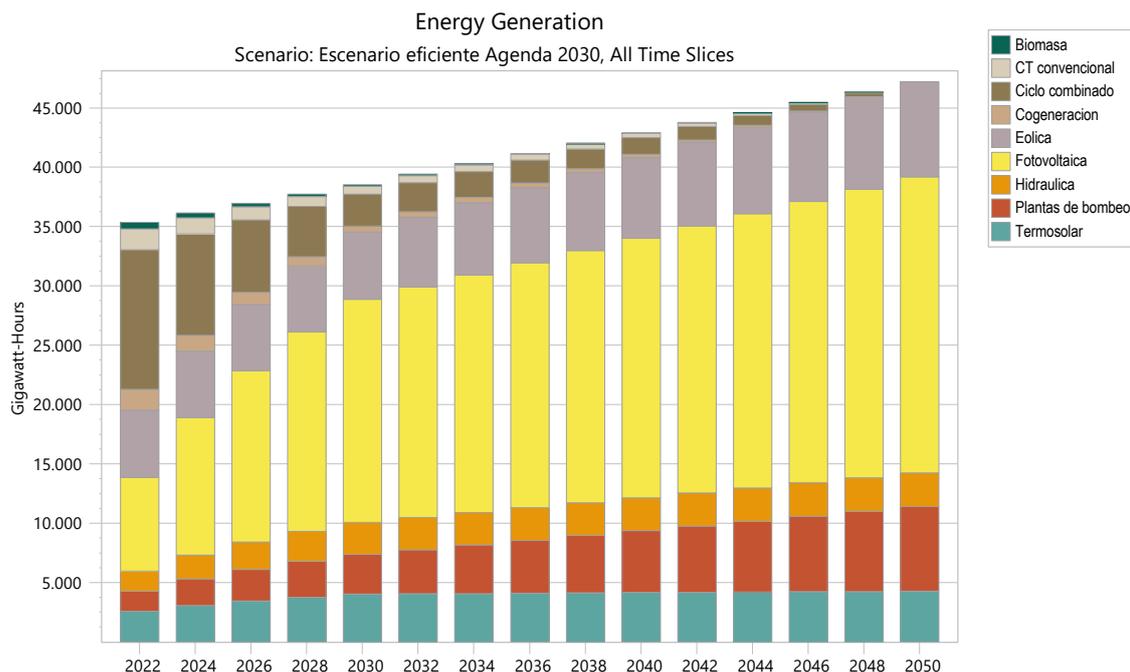
3.8 Resultados de la proyección del escenario eficiente 2050

En el escenario eficiente 2050, se observa un notable aumento en la generación eléctrica, superando los 45,000 GWh y representando un incremento del 50% en comparación con el año base. Este crecimiento se debe principalmente a la expansión de tecnologías de generación renovable y libre de emisiones.

Las fuentes renovables, especialmente la termosolar, hidroeléctrica, fotovoltaica y eólica, son los principales actores en la generación eléctrica, capturando la totalidad del sector. Entre ellas, la energía solar destaca al representar casi el 60% de la generación total, indicando un aumento significativo en la adopción de tecnologías fotovoltaicas y termosolares. Estas fuentes de energía no solo son sostenibles, sino que también contribuyen a la descarbonización del sector eléctrico.

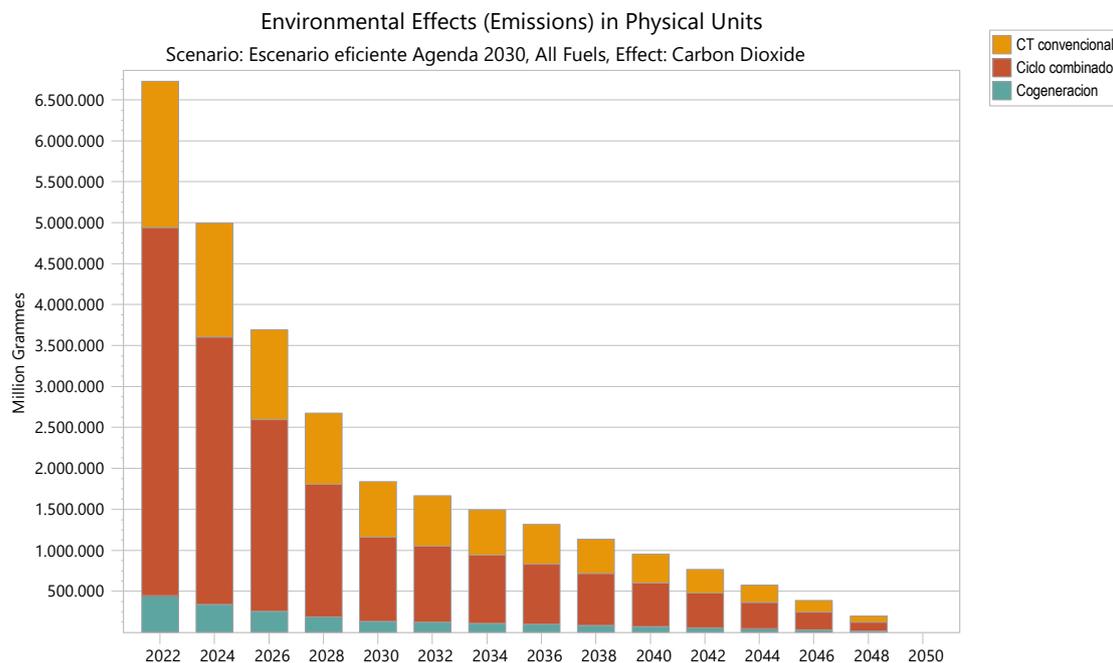
Otra estrategia clave en este escenario es el uso de tecnologías de bombeo, que actúan como sistemas de almacenamiento para abordar la variabilidad inherente de las fuentes renovables. Dado que estas tecnologías renovables son menos gestionables, el bombeo se utiliza como una herramienta eficaz para equilibrar la oferta y la demanda de energía, optimizando así la utilización de fuentes renovables y garantizando un suministro constante de electricidad.

Figura 2: Evolución de la generación energía eléctrica del Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia, extraído de LEAP)



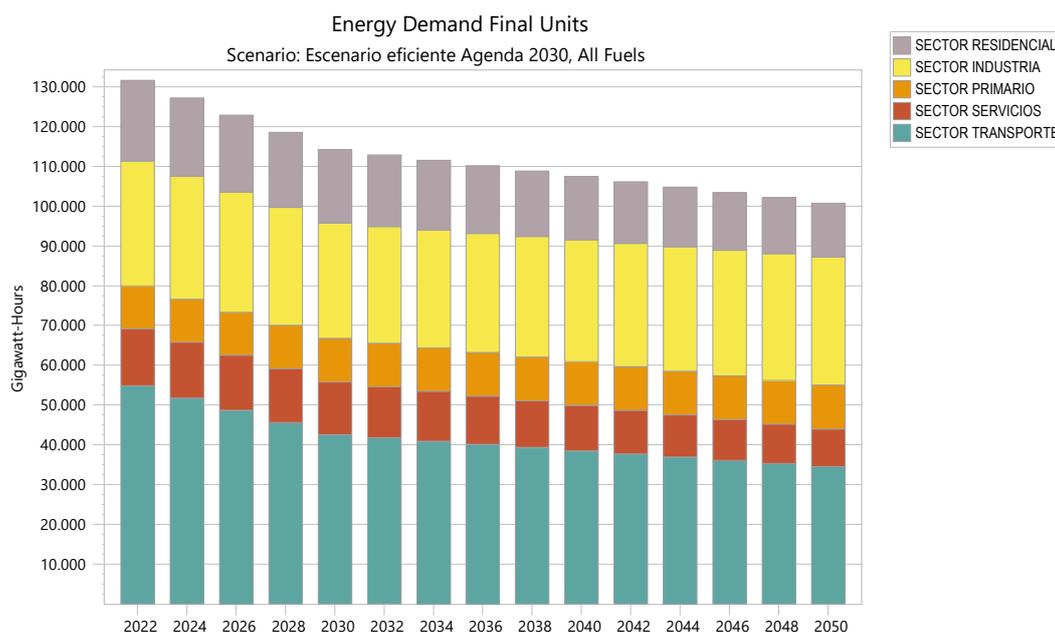
Este escenario marca un hito hacia la descarbonización total del sector eléctrico, con emisiones asociadas a la producción eléctrica dirigiéndose hacia cero en dos fases: hasta 2030 y de 2030 a 2050. Se logra mediante el cierre planificado de centrales térmicas convencionales y ciclos combinados al final de su vida útil. En la primera fase hasta 2030, se implementan estrategias y tecnologías más eficientes y sostenibles, resultando en una disminución notable de las emisiones. Luego, entre 2030 y 2050, se lleva a cabo una fase más avanzada de descarbonización, retirando progresivamente estas centrales de la infraestructura eléctrica.

Figura 3: Evolución de las emisiones derivadas de la generación de electricidad (en ktCO₂) del Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia, extraído de LEAP)



En este escenario positivista, se observa una marcada disminución en la demanda energética, que alcanza los 100,000 GWh. Esta reducción refleja una mayor eficiencia y un uso más sostenible de la energía en comparación con períodos anteriores. Los sectores industria y transporte destacan como los principales consumidores en este panorama energético, subrayando su papel crucial en la configuración del consumo energético.

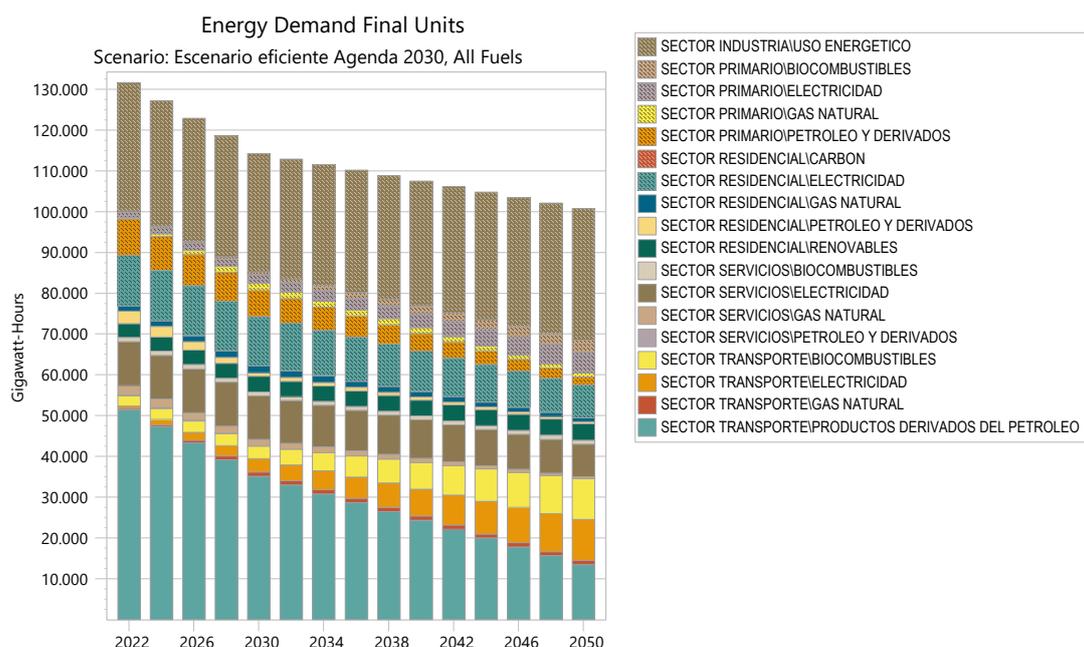
Figura 4: Evolución de la demanda de energía final (por sector) del Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia, extraído de LEAP)



En el escenario evaluado, se prevé que la industria, como uno de los sectores más intensivos en energía, haya implementado medidas significativas para mejorar su eficiencia energética y adoptar tecnologías más limpias. Asimismo, el sector del transporte habría experimentado transformaciones importantes, como la electrificación de vehículos y la adopción de combustibles más sostenibles, en un esfuerzo por reducir su dependencia de los derivados del petróleo. En cuanto al consumo de energía por tecnología y sector, se destaca una notable disminución en el uso de derivados del petróleo en el sector del transporte, mientras que se introducen tecnologías alternativas como el gas natural, la electricidad y biocombustibles. En el sector primario, se observa una marcada reducción en el uso de combustibles fósiles, con un aumento en la utilización de electricidad y biocombustibles, especialmente en áreas de difícil implantación.

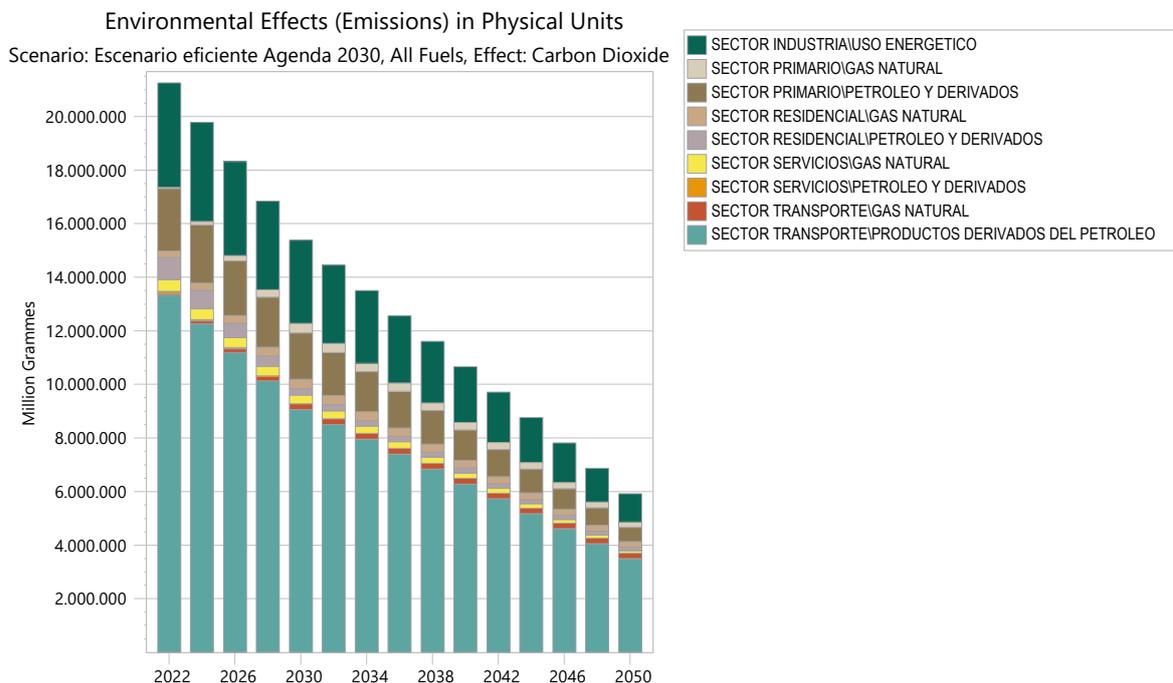
Estos cambios reflejan una transición hacia tecnologías más sostenibles y amigables con el medio ambiente en ambos sectores. Además, la introducción de biocombustibles en el sector primario sugiere una estrategia para abordar los desafíos asociados con áreas geográficas remotas o de difícil acceso. En resumen, las adaptaciones en la demanda de energía por tecnología y sector en el escenario eficiente 2050 apuntan hacia una transición más limpia y sostenible en la matriz energética.

Figura 5: Evolución de la demanda de energía final (por sector y fuente) del Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia, extraído de LEAP)



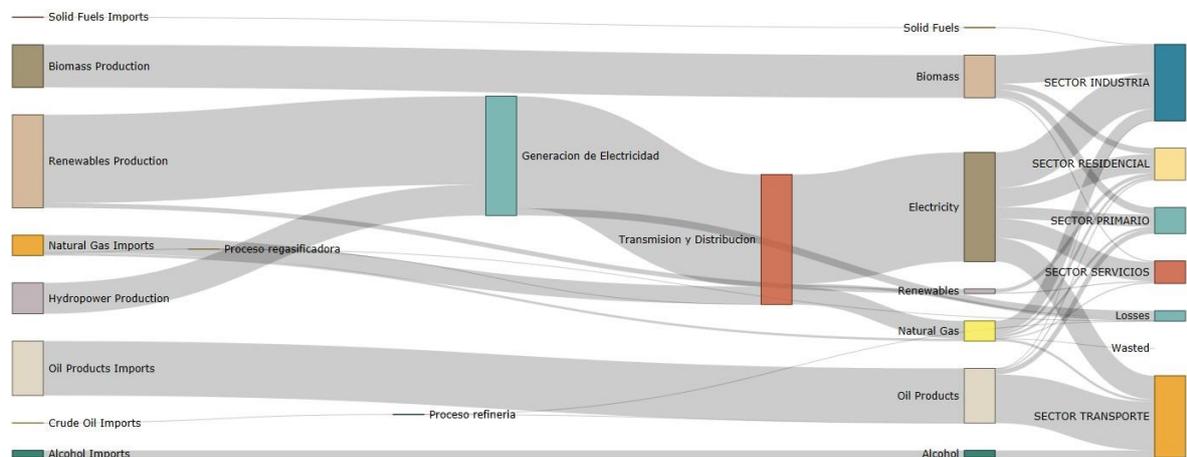
En el escenario eficiente 2050, se evidencia una drástica reducción de las emisiones de dióxido de carbono (ktCO₂), disminuyendo de 21,000 ktCO₂ a apenas 6,000 ktCO₂ para el año 2050. El sector de transporte experimenta la mayor disminución absoluta, principalmente debido al abandono de fuentes fósiles, aunque se registra un ligero aumento en el uso de gas natural. El sector residencial prácticamente elimina sus emisiones, presentando una reducción significativa, aunque se podría identificar margen para mejoras adicionales. En el sector primario, las emisiones disminuyen considerablemente, quedando solo una fracción asociada al uso de derivados del petróleo en tareas de difícil sustitución por otras fuentes. Por último, el sector industrial reduce sus emisiones al adoptar alternativas como la energía solar, biomasa y otras fuentes más limpias. Estas transformaciones reflejan un marcado éxito en la descarbonización de múltiples sectores, contribuyendo significativamente a los objetivos medioambientales del escenario eficiente 2050.

Figura 6: Evolución de las emisiones (en ktCO₂) del Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia, extraído de LEAP)



En este escenario, el diagrama Sankey muestra que la biomasa tiene un papel crucial en varios sectores, siendo principalmente utilizada en la industria, pero también en residencial y primario. Las energías renovables como solar, eólica e hidroeléctrica se emplean principalmente para generación eléctrica, con una creciente adopción en el sector residencial. Las importaciones de gas natural abastecen principalmente a la industria, mientras que los productos petroleros se destinan al transporte. El bioetanol, ya sea local o importado, se prevé se use principalmente como combustible en el transporte, contribuyendo a la descarbonización. En síntesis, el diagrama Sankey ilustra de manera clara cómo se distribuyen y utilizan diversas fuentes de energía en el escenario eficiente de 2050, resaltando tendencias hacia la sostenibilidad y la reducción de emisiones.

Figura 7: Diagrama Sankey del Escenario Eficiente 2050 (Fuente: Elaboración propia, extraído de LEAP)



4. Conclusiones

En el análisis exhaustivo del sistema energético andaluz, se destaca la urgente necesidad de tomar medidas frente al cambio climático y avanzar hacia la sostenibilidad. Andalucía, con su ubicación estratégica, tiene el potencial de desempeñar un papel significativo en la transición energética y en la consecución de los ODS (ODS).

La metodología utilizada, centrada en el metabolismo energético regional y la prospectiva energética con LEAP, ofrece un enfoque integral y a largo plazo para evaluar y modelar la evolución del sistema energético. Es esencial considerar diferentes metodologías aplicables y elegir aquellas que estén en línea con los objetivos específicos.

La transición hacia energías renovables, especialmente solar y eólica, es crucial para la descarbonización, pero requiere una gestión cuidadosa para evitar impactos ambientales negativos. Las herramientas de evaluación del impacto ambiental son fundamentales para equilibrar la necesidad de energía con la preservación del medio ambiente.

Los datos energéticos muestran un panorama dinámico en el consumo de energía en Andalucía, resaltando la urgencia de avanzar hacia fuentes de energía renovable. Aunque se observa un progreso significativo en infraestructuras energéticas, el almacenamiento de energía sigue siendo un desafío clave para la descarbonización.

El desarrollo sostenible, basado en el uso prudente de recursos, es crucial para el bienestar presente y futuro. La integración efectiva de la prospectiva energética en la consecución de los ODS es esencial para un desarrollo sostenible en Andalucía y a nivel global, requiriendo colaboración, planificación estratégica y evaluación continua.

En definitiva, es de gran importancia abordar la transición energética con medidas más ambiciosas y eficaces para lograr una matriz energética más limpia y sostenible en Andalucía. La planificación y la implementación de estrategias centradas en la eficiencia y las energías renovables son cruciales para alcanzar los objetivos ambientales y de desarrollo sostenible establecidos por diversas entidades gubernamentales.

5. Referencias

Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2023a). Objetivo 13: Acción por el clima. Retrieved from <https://cooperanda.org/objetivos-de-desarrollo-sostenible/ods13/>

Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2023b). Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. Retrieved from <https://cooperanda.org/objetivos-de-desarrollo-sostenible/ods7/>

Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo, (AACID). Los 17 ODS. Retrieved from <https://cooperanda.org/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Agencia Andaluza de la Energía. Andalucía renovable

Agencia Andaluza de la Energía. (2021a). Datos energéticos de Andalucía 2021.

Agencia Andaluza de la Energía. (2021b). Estrategia energética de Andalucía 2030 valoración del impacto en la salud septiembre 2021.

Agencia Andaluza de la Energía. (2023a). Mapa de infraestructuras energéticas de Andalucía - MIEA. Retrieved from <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/miea/miea/init.do?prefix=/miea&name=map>

Agencia Andaluza de la Energía. (2023b). Mapa de infraestructuras energéticas de Andalucía - MIEA. Retrieved from <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/informacion-energetica/cartografia-energetica-de-andalucia/mapa-de-infraestructuras-energeticas-de-andalucia-miea>

Agencia Andaluza de la Energía, & Consejería de Industria, E. y. M. (2023). Estrategia energética de Andalucía 2030. Retrieved from <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/transicion-energetica/estrategia-energetica-de-andalucia-2030>

Agencia Andaluza de la Energía, & Consejería de Industria, E. y. M. (2023). INFORME DE INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS ANDALUCÍA actualización: 30 de junio de 2023.

Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía. (2021). Inventario andaluz de emisiones gases de efecto invernadero. año 2021.

ALIENTE. (2022). Renovables sostenibles: Fotovoltaica.

ALIENTE - Alianza Energía y Territorio. (2021). Iniciativa legislativa municipal Andalucía.

Brugger, H., Eichhammer, W., Mikova, N., & Dönitz, E. (2021). Energy efficiency vision 2050: How will new societal trends influence future energy demand in the European countries? Energy Policy, 152, 112216. Doi: 10.1016/j.enpol.2021.112216

Comisión Europea. (2014). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones.

Consejería de Economía, Hacienda y Fondos Europeos. (2023). Clasificación del grado de urbanización. Retrieved from <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/dega/clasificacion-del-grado-de-urbanizacion>

Consejería de Industria, E. y. M., & Agencia Andaluza de la Energía. (2023). Info - ENERGÍA. Retrieved from <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/info-web/loginController>

Consejería de Medio Ambiente, & Junta de Andalucía. (2012). Estudio básico de adaptación al cambio climático. sector energético.

Díaz, J., Sáez, M., Carmona, R., Mirón, I. J., Barceló, M. A., Luna, M. Y., & Linares, C. (2019). Mortality attributable to high temperatures over the 2021–2050 and 2051–2100-time horizons in Spain: Adaptation and economic estimate. *Environmental Research*, 172, 475-485. Doi: 10.1016/j.envres.2019.02.041

E. Briglia et al. Integración del mercado eléctrico y el mercado de gas natural en los modelos de optimización y simulación SimSEE.

Emodi, N. V., Emodi, C. C., Murthy, G. P., & Emodi, A. S. A. (2017). Energy policy for low carbon development in Nigeria: A LEAP model application. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 68, 247-261. Doi: 10.1016/j.rser.2016.09.118

Endémico. (2023). Metabolismo urbano: Una forma de habitar el espacio a escala sostenible. Retrieved from <https://endemico.org/metabolismo-urbano-una-forma-habitar-espacio-escala-sostenible/>

Eneko Astigarraga. (s.f.). El método Delphi

Enzo Coppes y Marcelo Forets. (2012). Modelo de flujo de cargas aplicado al SIMSEE.

Faraji Zonooz, M. R., Nopiah, Z. M., Yusof, A. M., & Sopian, K. A review of MARKAL energy modeling.

Fundación Renovables. (2021). Renovables, ordenación del territorio y biodiversidad.

García-Gusano, D., Arrizabalaga, E., & Hernández, P. TECNALIA research and innovation. herramienta ENERKAD, modelo LEAP

Gómez, A., Dopazo, C., & Fueyo, N. (2016). The “cost of not doing” energy planning: The Spanish energy bubble. *Energy (Oxford)*, 101, 434-446. Doi: 10.1016/j.energy.2016.02.004

Hu, G., Ma, X., & Ji, J. (2019a). Scenarios and policies for sustainable urban energy development based on LEAP model – A case study of a post-industrial city: Shenzhen China. *Applied Energy*, 238, 876-886. Doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.162

Hu, G., Ma, X., & Ji, J. (2019b). Scenarios and policies for sustainable urban energy development based on LEAP model – A case study of a post-industrial city: Shenzhen China. *Applied Energy*, 238, 876-886. Doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.162

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. (2023a). Sistema de indicadores de desarrollo sostenible de Andalucía para la agenda 2030 - nota informativa. Retrieved from <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ods/notaprensa.htm>

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. (2023b). Sistema de indicadores de desarrollo sostenible de Andalucía para la agenda 2030. Retrieved from <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ods/index.htm>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). AR6 synthesis report

Climate change 2023. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

IPCC. (2023). CLIMATE CHANGE 2023. synthesis report. summary for policymakers.

Junta de Andalucía. (2022). Estrategia energética de Andalucía 2030.

Junta de Andalucía. Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul. (2023). El plan andaluz de acción por el clima (2021-2030). Retrieved from 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, & Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Sostenible. (2019). Estrategia andaluza de desarrollo sostenible 2030.

- Junta de Andalucía, & Consejería de Hacienda y Financiación Europea. (2022). Estudio ambiental estratégico. estrategia energética de Andalucía 2030.
- Junta de Andalucía, & Consejería de Presidencia, Interior, Diálogo Social y Simplificación Administrativa. (2023). ODS (ODS) y la agenda 2030. Retrieved from <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/presidenciainteriordialogosocialysimplificacionadministrativa/areas/cooperacion-internacional-desarrollo/objetivos-ods.html>
- Junta de Andalucía, Consejería de, TRA. E. IN. CO. U., & IECA. (s.f.). "sistema de indicadores de desarrollo sostenible de Andalucía para la agenda 2030".
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59. doi:10.1162/jie.2007.1107
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609. Doi: 10.1016/j.rser.2016.11.191
- Leslie G. Fishbone, H. A. (1981). Markal, a linear-programming model for energy systems analysis: Technical description of the bnl version.
- Luis García Benedicto. (2004). Desarrollo de un modelo multicriterio-multiobjetivo de oferta de energías renovables: Aplicación a la comunidad de Madrid
- Matias Carrere Seguel. (2022). Metabolismo urbano: Estado del arte, metodologías y cuantificación del metabolismo urbano del carbono para Santiago, Chile.
- Ministerio de Transición Ecológica. (2020). Impacto económico, de empleo, social y sobre la salud pública del plan nacional integrado de energía y clima 2021-2030.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023a). Marco sobre clima y energía para 2030. Retrieved from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_es
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023b). Plan nacional integrado de energía y clima (PNIEC) 2021-2030. Retrieved from <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>
- MITECO. (2020a). Plan nacional integrado de energía y clima 2021-2030.
- MITECO. (2020b). Zonificación ambiental para la implantación de energías renovables: Eólica y fotovoltaica.
- MITECO. (2020c). Zonificación ambiental para la implantación de energías renovables: Eólica y fotovoltaica. sensibilidad ambiental y clasificación del territorio - memoria.
- Naciones Unidas. (2023a). Cambios demográficos. Retrieved from <https://www.un.org/es/un75/shifting-demographics>
- Naciones Unidas. (2023b). ODS. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Naciones Unidas, UN - Environment, & IRS. The weight of cities resource requirements of future urbanization
- Raigoza Loaiza, J. F. (2016). Aplicación de métodos multicriterio (MCDA) para planeamiento energético de largo plazo en la industria del cemento. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57828>
- Raza, M. A., Khatri, K. L., Hussain, A.; Rehman, H.; Rubab, F.; & Khan, A. (2022-07-27). Sector-wise optimal energy demand forecasting for a developing country using LEAP software.

Paper presented at the doi:10.3390/engproc2022020006 Retrieved from
<https://www.mdpi.com/2673-4591/20/1/6/pdf?version=1661129706>

Rodrigo Barcia Fuentes. (2018). Metabolismo urbano

Terrados, J., Almonacid, G., & Pérez-Higueras, P. (2009). Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. application to a Spanish region. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 13(8), 2022-2030. Doi: 10.1016/j.rser.2009.01.025

Comunicación alineada con los ODS:

