

05-009

### **ENERGY TRANSITION IN ANDALUSIA. ENERGY FORESIGHT ANALYSIS AND SDG COMPLIANCE THROUGH LEAP**

Terrados Cepeda, Julio <sup>(1)</sup>; Galán Cano, Lucía <sup>(1)</sup>; Hermoso Orzáez, Manuel Jesús <sup>(1)</sup>; Ogáyar Fernández, Blas <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Jaén

This paper presents a study of the energy metabolism of regions, energy foresight methodologies, and the analysis of the relationships between GHG emissions, energy generation, and consumption applied to the Andalusian energy system, in order to assess its future contribution to the energy transition and the fulfillment of the Sustainable Development Goals. To this end, data on Andalusia's current energy behaviour has been compiled and its energy model has been processed, using the "Long-range Energy Alternatives Planning system" (LEAP) methodology, to carry out an energy foresight and estimate future energy consumption and GHG emissions, so that it is possible to analyse the decarbonisation trajectories in Andalusia and measure its situation with respect to achieving the targets set for 2030 in the Sustainable Development Goals (SDGs). In total, five scenarios were developed, and the best results were obtained in the efficient scenario with a reduction (compared to the reference year) in primary energy consumption of 11%, in final energy consumption of 15% and in emissions of 39%, and in the efficient transportation scenario, which showed similar data in the reduction of primary and final energy and a 50% reduction in emissions.

*Keywords:* Energy foresight; energy metabolism; energy transition; Sustainable Development Goals.

### **TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ANDALUCÍA. ANÁLISIS DE PROSPECTIVA ENERGÉTICA Y CUMPLIMIENTO DE ODS MEDIANTE LEAP**

El trabajo presenta un estudio del metabolismo energético de las regiones, las metodologías de prospectiva energética y el análisis de las relaciones entre emisiones de GEI, generación y consumo energético aplicadas al sistema energético andaluz, para evaluar su contribución futura a la transición energética y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para ello se han recopilado datos del comportamiento energético actual de Andalucía y se ha procesado su modelo energético para, mediante la metodología "Long-range Energy Alternatives Planning system" (LEAP), realizar una prospectiva energética y estimar los consumos energéticos y emisiones GEI futuras, de modo que sea posible analizar las trayectorias de descarbonización en Andalucía y poder medir su situación respecto al logro de las metas establecidas para 2030 en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En total desarrollaron cinco escenarios, y los que mejores resultados han arrojado son tanto el escenario eficiente con una disminución (con respecto al año de referencia) del consumo de energía primaria del 11%, del consumo de energía final del 15% y de emisiones del 39%, como el escenario de transporte eficiente que ha presentado datos similares en la reducción de la energía primaria y final, y una disminución de emisiones del 50%.

*Palabras clave:* prospectiva energética; metabolismo energético; transición energética; Objetivos de Desarrollo Sostenible.

*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



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

Andalucía, como el resto de regiones del mundo, se está viendo 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. Así, la Junta de Andalucía ha venido desarrollando diferentes planes y estrategias para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus efectos, como el Programa andaluz de adaptación al Cambio Climático (Junta de Andalucía, 2011) o, más recientemente, el Plan Andaluz de Acción por el Clima 2021-2030 (Junta de Andalucía, 2021).

En paralelo a estos planes y programas, los trabajos de investigación sobre el cambio climático en Andalucía son fundamentales 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.

Por ello, este trabajo presenta un estudio de las metodologías de prospectiva energética y el análisis de las relaciones entre emisiones de GEI, generación y consumo energético aplicadas al sistema energético andaluz, para evaluar su contribución futura a la transición energética y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para ello se han recopilado datos del comportamiento energético actual de Andalucía y se ha procesado su modelo energético para, mediante la metodología “Long-range Energy Alternatives Planning system” (LEAP), realizar una prospectiva energética y estimar los consumos energéticos y emisiones GEI futuras, de modo que sea posible analizar las trayectorias de descarbonización en Andalucía y poder medir su situación respecto al logro de las metas establecidas para 2030 en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

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 estrategias para avanzar en este proceso de manera efectiva. Es, por tanto, 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. Prospectiva y transición energética en regiones

### 2.1 Prospectiva 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.

En general, hay consenso en la comunidad científica sobre que la transición a una economía con bajas emisiones de carbono es la estrategia fundamental 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 como una herramienta de proyección que facilita información de la situación actual y futura de los sistemas energéticos a nivel nacional e internacional. Este instrumento es usado para el establecimiento de prioridades y tomas de decisiones, en el largo plazo, considerando aspectos técnicos, 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.

Estudios de prospectiva energética, muchos de ellos mediante la técnica Delphi, se han llevado a cabo en regiones y países para abordar la planificación estratégica del sistema energético y el desarrollo de nuevas fuentes de energía en los territorios (Mesa, Cortegoso, & Marthon, 2011). Otros ejemplos se pueden encontrar en los trabajos de Celiktas y Koca (2010) en Turquía o de Czaplicka-Kolarz et al. (2009) en Polonia.

## **2.2 Prospectiva energética mediante LEAP**

Existen diferentes metodologías para realizar los estudios de prospectiva energética entre los que podemos destacar los modelos de simulación de sistemas dinámicos (Aspen HYSYS, MATLAB, DynaSim, EnergyPLAN), las herramientas de análisis de escenarios (MARKAL, SimSEE, TimNet), modelos de soporte a la decisión (@Risk, Crystal Ball, Stochastic Frontier Analysis), modelos de balance energético (Balmorel, EnergyPLAN), o incluso modelos de análisis de ciclo de vida (SimaPro, GaBi).

Sin embargo, en los últimos años está siendo muy valorada en este ámbito la tecnología 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 para modelar el sistema energético andaluz 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. Podemos destacar los trabajos de Nieves et al. (2015) para analizar la demanda energética y las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia, o el estudio sobre eficiencia energética y el potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria siderúrgica en Turquía llevado a cabo por Ates (2015).

A nivel nacional Gomez et al. (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, mientras que García-Gusano et al. (2018) utilizan LEAP para modelar y evaluar la prospectiva energética del mix de producción eléctrica español.

## **3. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el ámbito energético**

### **3.1 Prospectiva energética y ODS**

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 169 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. Mediante los ODS, y sus metas asociadas, la ONU busca abordar desafíos globales, como el cambio climático y la promoción de energía limpia y accesible. Por ello, dentro de este marco de objetivos, hay varios que tienen un carácter energético y guarda relación con la estrategia energética de regiones y países.

De esta forma, 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. Por ello, la prospectiva energética ha de ser una herramienta que ayude 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. La prospectiva energética puede contribuir a los ODS mediante la identificación de escenarios y políticas energéticas que permitan avanzar hacia un futuro más sostenible.

Hay cinco objetivos (ODS7, ODS11, ODS12, ODS13 y ODS14) que tienen relación con los sistemas energéticos regionales, y dentro de ellos son fundamentalmente dos los que se enfrentan a los impactos director de la transición energética, el ODS7 y el ODS13:

- ODS 7: Garantizar el acceso a energías asequibles, seguras y modernas para todos.
- ODS 13: Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos negativos.

### 3.2 Indicadores asociados a los ODS

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. Llevar esta medición a partir de indicadores permite tener un conocimiento sobre los objetivos que van más adelantados y aquellos que no progresan. Los indicadores establecidos por Naciones Unidas para cada una de las metas del objetivo 7 y 13 son los que se presentan en la tabla 1.

Al ser un número escaso, se ha realizado para este trabajo una selección más amplia teniendo en cuenta indicadores no solo establecidos por Naciones Unidas, sino por otros organismos que también son de relevancia como Eurostat. Finalmente, se han seleccionado los cinco indicadores que se proponen en la tabla 2.

**Tabla 1. Indicadores asociados a los ODS 7 y 13**

Meta	Indicador
7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos	-
7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas	7.2.1 Proporción de energía renovable en el consumo final total de energía
7.2.1 Proporción de energía renovable en el consumo final total de energía	7.3.1 Intensidad energética medida en función de la energía primaria y el PIB
13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales	13.2.2 Emisiones totales de gases de efecto invernadero por año

**Tabla 2. Selección de los indicadores más relevantes (ONU/Eurostat)**

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

#### 4. Modelado del sistema energético andaluz.

Para evaluar la situación del sistema energético andaluz respecto a los indicadores de los ODS se ha modelado el sistema, usando como año base el año 2019 para no incluir las anomalías derivadas de la pandemia. Para ello, se ha realizado una recopilación de todos los datos energéticos de interés para modelar la demanda, los procesos de transformación, transporte y generación de energía, y los consumos.

Una vez construido y modelado el año base ha sido posible realizar una serie de escenarios de prospectiva energética para estimar el comportamiento del sistema en el futuro.

Todo este proceso de modelado energético se ha llevado a cabo a través del software LEAP, 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.

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

Se ha modelado energéticamente el año seleccionado como base. Este año base va a servir de referencia para el resto de escenarios futuros, por lo que el escenario del año 2019 será el de partida y el resto serán desarrollados partir de dicho año.

El procedimiento que se ha seguido en este escenario se puede resumir en los siguientes pasos:

- Modelado de la demanda: 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.
- 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, generación de energía eléctrica, y transformación de energía.

En la siguiente ilustración (figura 1) se muestra el esquema que se ha seguido para el modelado energético de Andalucía, y en la figura 2 se presenta el diagrama de Sankey resultante del modelado.

**Figura 1: Proceso para el modelado energético de Andalucía**

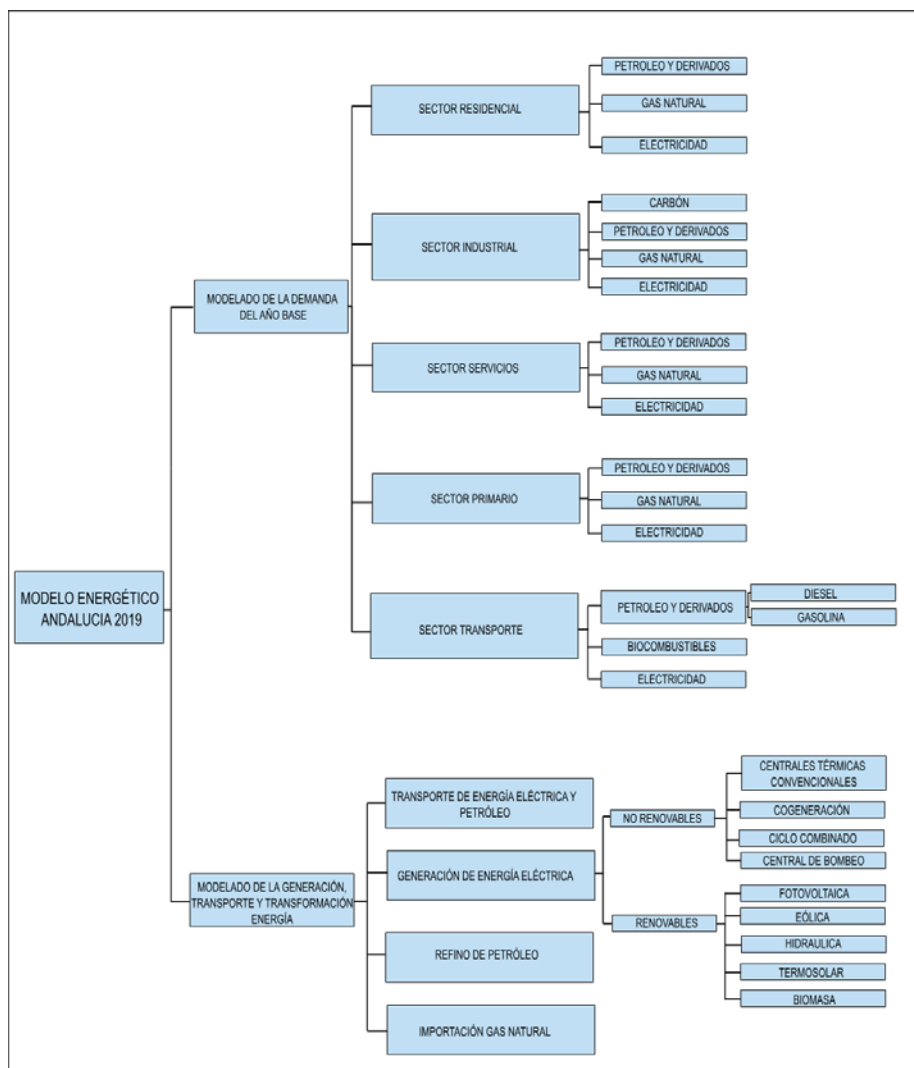
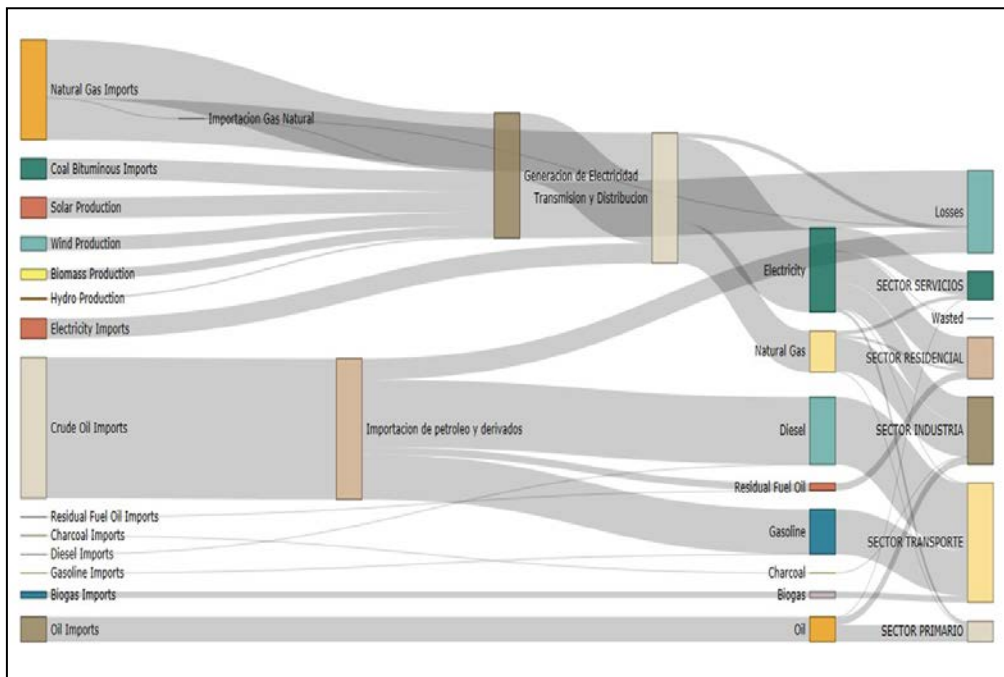


Figura 2: Diagrama Sankey para el año base (Fuente: Elaboración propia a través de LEAP)



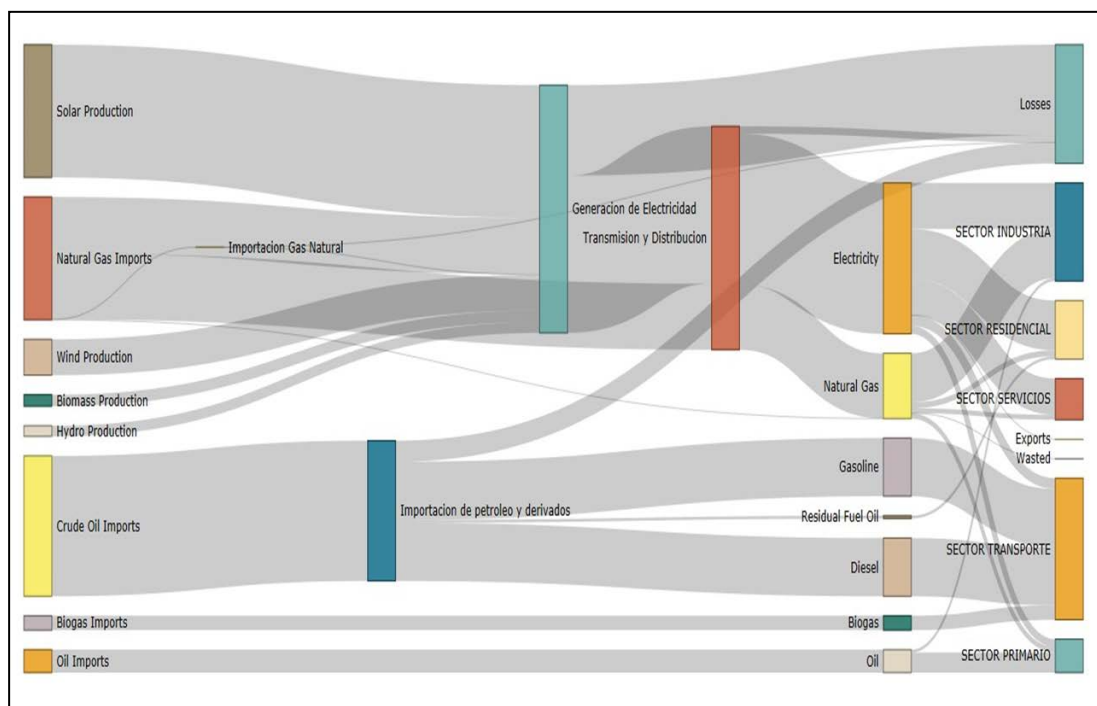
## 5. Escenarios del sistema energético andaluz

### 5.1 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 energética de Andalucía 2030 (Juan de Andalucía, 2022) para lograr los objetivos establecidos para el sistema energético andaluz. De la misma manera que se ha procedido en el modelado energético del año base, se hace con este escenario tendencial.

El resultado se puede ver en el diagrama de Sankey para el escenario tendencial eficiente del año 2030 que se presenta en la figura 3.

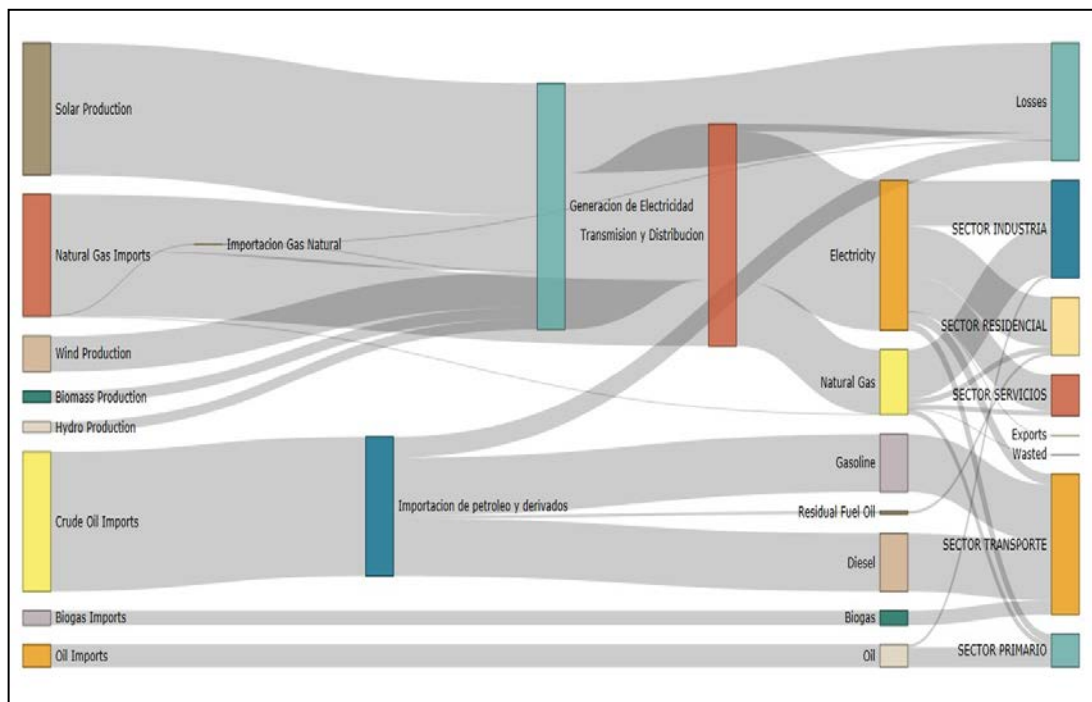
Figura 3: Diagrama Sankey para año 2030 del escenario eficiente (Fuente:LEAP)



## 5.2 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.

Figura 4: Diagrama Sankey para año 2030 del escenario no eficiente (Fuente:LEAP)



## 5.3 Otros escenarios

Se han modelado también otros escenarios alternativos con distintas opciones:

- Escenario alternativo 1 (Sector transporte eficiente). Este escenario considera 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 refinación y las emisiones asociadas, lo que tendría un impacto positivo en el consumo de energía primaria.
- Escenario alternativo 2 (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.
- Escenario alternativo 3 (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.

## 6. Resultados

Una vez elaborados los distintos escenarios es posible evaluar, para cada uno de ellos, 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: “ODS 7: Energía asequible y no contaminante” y “ODS 13: Acción por el clima”.

### 6.1 Resultados del indicador 1 (consumo de energía final respecto al 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.

**Tabla 3. Resultados del indicador 1 (consumo de energía final)**

Escenarios de estudio	Consumo de energía final GWh	Disminución con respecto al año base
Año base 2005	168.925,8	-
Año base estudio 2019	143.561,8	15,01 %
Año 2030 Escenario eficiente	122.153,7	27,68 %
Año 2030 Tendencial no eficiente	164.406,0	02,67 %
Escenario 1. Transporte eficiente	122.200,8	27,66 %
Escenario 2. Res y ser. eficiente	122.153,7	27,68 %
Escenario 3. Industria eficiente	123.117,0	27,11 %

### 6.2 Resultados del indicador 2 (Consumo de energía primaria respecto al 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.

**Tabla 4. Resultados del indicador 2 (consumo de energía primaria)**

Escenarios de estudio	Consumo de energía primaria GWh	Disminución con respecto al año base
Año base 2005	232.523,24	-
Año base estudio 2019	222.412,12	4,34 %
Año 2030 Escenario eficiente	197.946,78	14,87 %
Año 2030 Tendencial no eficiente	249.101,57	-7,12 %
Escenario 1. Transporte eficiente	198.022,16	14,83 %
Escenario 2. Res y ser. eficiente	197.946,78	14,87 %

Escenario 3. Industria eficiente	199.508,13	14,19 %
----------------------------------	------------	---------

### 6.3 Resultados del indicador 3 (Emisiones totales de gases de efecto invernadero)

La metodología utilizada para analizar las emisiones de CO<sub>2</sub> es diferente a la de los indicadores de consumo de energía final y primaria. Se han recopilado datos sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> en todos los escenarios, alcanzando incluso una reducción del 75% en comparación con el año base.

**Tabla 5. Resultados del indicador 3 (Emisiones totales de gases de efecto invernadero)**

Emisiones de CO <sub>2</sub> (kilotoneladas)	Demanda (kt)	Generación electricidad (kt)	Importación petróleo (kt)	Gas natural (kt)	Total (kt)	Reducción
Año base estudio 2019	23.632,3	9.612,3	2.106,5	17,8	35.368,9	<b>49,75%</b>
Año 2030 Escenario eficiente	16.238,3	3.734,0	1.324,5	35,6	21.332,4	<b>69,69%</b>
Año 2030 Tendencial no eficiente	26.023,8	3.952,9	2.346,9	35,6	32.359,2	<b>54,03%</b>
Escenario 1. Transporte eficiente	12.433,6	4.694,6	819,4	35,6	17.983,2	<b>74,45 %</b>
Escenario 2. Res y ser. eficiente	15.277,1	4.073,7	1.292,0	35,6	20.678,4	<b>70,63 %</b>
Escenario 3. Industria eficiente	15.592,9	4.049,0	1.324,5	35,6	21.002,0	<b>70,17 %</b>

### 6.4 Resultados del 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%.

**Tabla 6. Resultados del indicador 4 (consumo de energías renovables)**

Escenarios de estudio	Energía final (GWh)	Consumo EERR (GWh)	Disminución respecto al año 2005
Año base estudio 2019	143.561,8	47.143,5	32,84%
Año 2030 Escenario eficiente	122.153,7	54.184,0	44,36%
Año 2030 Tendencial no eficiente	164.406,0	57.731,0	35,11%
Escenario 1. Transporte eficiente	122.200,8	69.135,0	56,57%
Escenario 2. Res y ser. eficiente	122.153,0	58.682,0	48,04%
Escenario 3. Industria eficiente	123.117,8	58.362,6	47,40%

## 7. Conclusiones

El trabajo incide en la altísima relación entre la transición energética y la consecución de las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y la importancia de los estudios de prospectiva energética.

Buscando realizar un modelo energético de Andalucía, se ha recopilado datos energéticos importantes del año 2019, 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, y se ha modelado el sistema energético mediante el software LEAP.

En total se han estudiado cinco escenarios: Escenario tendencial 2030 eficiente, basado en la Estrategia Energética Andalucía 2030; Escenario tendencial 2030 no eficiente, donde no se han incluido políticas públicas energéticas adicionales; Escenario alternativo 1, que considera un sector transporte eficiente con implantación del vehículo eléctrico y de biocombustibles; Escenario alternativo 3, que considera un sector residencial y servicios eficientes; y Escenario alternativo 4, que prevé una mayor electrificación en el sector industrial.

De todos estos escenarios que se han realizado, los dos que mejores resultados han arrojado son 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%; y el escenario de transporte eficiente que ha presentado datos similares en la reducción de la energía primaria y final, y una disminución de emisiones alcanza de un 50%.

Se ha podido comprobar que el software LEAP es una herramienta muy útil para llevar a cabo modelos de prospectiva energética y desempeñar escenarios futuros de transición energética, pero es necesario realizar una planificación detallada sobre la forma en que se estructurará la demanda y generación de energía. Además, el software permite llevar a cabo modelos muy detallados si los datos disponibles lo permiten.

En cuanto al cumplimiento de las metas de 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). Respecto a la energía primaria, en comparación con 2007 se prevé una disminución del 39,5%. 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), logrando una reducción del 54% en comparación con los niveles de 2005. Pero 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%. 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.

## 8. Referencias

- 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. *Energy*, 90, 417-428.
- Celiktas, M. S., & Koca, G. (2010). From potential forecast to foresight of Turkey's renewable energy with Delphi approach. *Energy*, 35, 1973-1980.
- 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. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 327-338
- Foxon, T., & Pearson, P. (2008). Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime. *Journal of Cleaner Production*, 16, 148-161.
- García-Gusano, D., & Iribarren, D. (2018). Prospective energy security scenarios in Spain: The future role of renewable power generation technologies and climate change implications. *Renewable Energy*, 126, 202-209.
- Gómez, A., Dopazo, C., & Fueyo, N. (2016). The “cost of not doing” energy planning: The Spanish energy bubble. *Energy*, 101, 434-446.
- 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. *Environmental Science and Technology*, 42(7), 2221-32.
- Juan de Andalucía. (2022) Estrategia energética de Andalucía 2030. Agencia Andaluza de la Energía.
- Junta de Andalucía. (2011). Programa andaluz de adaptación al Cambio Climático. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- Junta de Andalucía. (2021). Plan Andaluz de Acción por el Clima 2021-2030. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.
- Junta de Andalucía. (2022). Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Obtenido de <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/ods/index.htm>
- Nieves, J., Aristizabal, A., Dyner, I., Baez, O., & Ospina, D. (2015). Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application. *Energy*, 169, 380-397.

