



ACADEMIA DE LAS CIENCIAS  
Y LAS ARTES MILITARES

Serie de monografías y ensayos  
Número 4



**Análisis de la perspectiva  
energética europea**  
**El Plan Nacional de Energía y Clima**

***Jesús M. Alonso Martín  
Carlos Rodríguez Alcalá  
Miguel Alonso-Majagranzas Carrero***

Febrero de 2023





ACADEMIA DE LAS CIENCIAS  
Y LAS ARTES MILITARES

Serie de monografías y ensayos  
Número 4

**Análisis de la prospectiva  
energética europea**  
**El Plan Nacional de Energía y Clima**

*Jesús M. Alonso Martín*  
Academia de las Ciencias y las Artes Militares  
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

*Carlos Rodríguez Alcalá*  
Isdefe

*Miguel Alonso-Majagranzas Carrero*  
Isdefe

## Índice de contenido

Análisis de la prospectiva energética europea .....	i
Resumen .....	i
<i>Abstract</i> .....	ii
Sobre los autores .....	iv
Introducción .....	1
Modelo de prospectiva. Estructura y procesos .....	3
Construcción de un modelo de prospectiva energética para llevar a cabo las proyecciones del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima español .....	4
Resultados del PNIEC y evaluación de medidas para alcanzar los objetivos europeos .....	10
Conclusiones .....	14
Referencias bibliográficas: .....	16

**Nota:** Las ideas y opiniones contenidas en este documento son de responsabilidad de los autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento de la Academia de las Ciencias y las Artes Militares.

# Análisis de la prospectiva energética europea

## El Plan Nacional de Energía y Clima

*Jesús M. Alonso Martín*

Academia de las Ciencias y las Artes Militares  
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

*Carlos Rodríguez Alcalá*  
Isdefe

*Miguel Alonso-Majagranzas Carrero*  
Isdefe

### Resumen

Motivado por los compromisos adquiridos en relación al cambio climático, la crisis sanitaria y la guerra de Ucrania, la Comisión Europea ha definido un marco de actuación en materia de clima y energía con unos objetivos claros. Para llegar a alcanzar estos objetivos se definió un sistema en el que establece que cada país miembro debe desarrollar un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) que define la trayectoria hasta 2030 para alcanzar los objetivos definidos.

Un modelo de prospectiva energética es un proceso estructurado que permite anticiparse y explorar los estados futuros posibles, permitiendo identificar tendencias y detectar riesgos. La finalidad no es mostrar con certeza cómo evolucionará el panorama energético en España. El propósito del modelo presentado es calcular con una metodología determinada y con los mejores datos disponibles, las proyecciones del sistema energético español hasta el año 2030 y así poder dar respuesta a determinadas peticiones realizadas en el Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima.

El proyecto se ha construido mediante el uso de diferentes herramientas, utilizando cálculos de optimización lineal para alcanzar la solución al problema con el coste

más bajo posible para el sistema energético nacional, a través de un modelo clasificado como *Bottom up*.

Para la realización del ejercicio se ha llevado a cabo una metodología que abarca desde la adquisición y almacenamiento de datos hasta el análisis y explotación de los resultados obtenidos.

Los resultados del modelo sirven para dar apoyo en el planteamiento de medidas que puedan ser aplicadas en un futuro, para alcanzar algunos de los objetivos marcados por la Unión Europea a 2030. Tal y como se describe a lo largo del artículo, el PNIEC español fue valorado de forma positiva por los informes realizados por la Comisión Europea, poniendo como ejemplo de buenas prácticas el PNIEC español por la manera de combinar los objetivos cuantificados de reducción de las emisiones, concretamente para el sector transporte, con las políticas y medidas de apoyo para conseguirlos.

### **Palabras clave**

Energía, Emisiones, Prospectiva energética, Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, PNIEC, Descarbonización, Transición energética, Modelo *Bottom up*.

### ***Abstract***

*Motivated by the commitments acquired in relation to climate change, the health crisis and the war in Ukraine, the European Commission has defined a framework for action in the field of climate and energy with clear objectives. To achieve these objectives, a system was defined in which it establishes that each member country must develop a National Energy and Climate Plan (NECP) that defines the trajectory until 2030 to achieve the defined objectives.*

*An energy prospective model is a structured process that allows anticipating and exploring possible future states, allowing trends to be identified and risks to be detected. The purpose is not to show with certainty how the energy panorama in Spain will evolve. The purpose of the model presented, is to calculate with a specific methodology and the best available data, the projections of the Spanish energy system until the year 2030 and to be able to respond to certain requests made in Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council on governance of the Energy Union and Climate Action.*

*The project has been built using different tools, using linear optimization calculations to reach the solution, with the lowest cost for the national energy system, through a model classified as "Bottom up".*

*To carry out the exercise, a methodology has been carried out that ranges from the acquisition and storage of data to the analysis and exploitation of the results obtained.*

*The results of the model serve to support the measures that can be applied in the future, to achieve some of the objectives set by the European Union by 2030. As described throughout the article, the Spanish NECP was valued in a positive way by the reports made by the European Commission, using the Spanish NECP as an example of good practices for the way of combining the quantified objectives of reducing emissions, specifically for the transport sector, with the support policies and measures to achieve them.*

**Key words**

*Energy, Emissions, Energy prospective, National Energy and Climate Plan, NECP, Decarbonization, energy transition, Bottom up Model.*

## Sobre los autores

### ***Jesús Alonso Martín***

Ingeniero Aeronáutico por la Universidad Politécnica de Madrid, MBA por el Instituto de Empresa (Madrid), Diplomado en Planificación y Administración de Empresas por el Centro de Estudios de Planificación y Administración de Empresas (CEPADE) de la Universidad Politécnica de Madrid. Académico Correspondiente por la Academia de las Ciencias y las Artes Militares.

Comenzó su trayectoria profesional en 1988 como Profesor en la Escuela Universitaria Politécnica de la Universidad de Valladolid. En el año 1990 se incorporó a BDE, empresa de consultoría e ingeniería de diseño y postventa de grandes sistemas, donde ocupó diferentes puestos, hasta asumir la Dirección de Desarrollo de Negocio de la compañía.

En 1999 se integró en la Empresa Indra. En el año 2000 se incorporó como Country Manager en Globe Support, empresa del área de nuevas tecnologías para el sector de Defensa y Aeronáutico. En 2001 se incorporó a ISDEFE donde ha desempeñado diferentes puestos. Tras prestar servicio como Director de Organización, Procesos y Energía, en el año 2012 fue nombrado Director Desarrollo de Negocio, puesto que ocupa actualmente.

### ***Miguel Alonso-Majagranzas Carrero***

Ingeniero superior de Minas en la especialidad de Energía y Combustibles, cuenta con experiencia en la realización de estudios sobre el sistema eléctrico nacional dentro de Red Eléctrica de España, para llevar a cabo la planificación de la red eléctrica de transporte, además de participar en el proyecto INELFE para la interconexión en corriente continua mediante el doble enlace Baixas-Santa Llogaia entre Francia y España.

Los últimos seis años de su carrera en Isdefe los ha destinado para dar apoyo al que hoy se llama Ministerio para la Transición Energética, en la realización de modelos de prospectiva energética, participando entre otros proyectos, en la realización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y la Estrategia a Largo Plazo (ELP).

***Carlos Rodríguez Alcalá***

Ingeniero en Geodesia y Cartografía, especialidad: Gestión y Difusión de la Geo-información y Máster Europeo en Energías Renovables y Eficiencia Energética.

Con experiencia en el desarrollo de trabajos en el análisis espacial del territorio en el ámbito energético y desde 2014 más concretamente para la Secretaría de Estado de energía en la ejecución de funciones de regularización de los registros públicos y en la planificación energética dando apoyo en el desarrollo y la elaboración del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), realizando funciones de actualización, mantenimiento y desarrollo del modelo matemático de prospectiva energética..



# **Análisis de la perspectiva energética europea**

## **El Plan Nacional de Energía y Clima**

### **Introducción**

Actualmente Europa se encuentra en un periodo de transición en el ámbito energético motivado por el compromiso adquirido en el acuerdo de la COP21 de París y acentuado por la grave crisis sanitaria originada por la COVID 19 y la actual guerra en Ucrania.

El 24 de octubre de 2014 el Consejo Europeo adoptó el «Marco de actuación en materia de clima y energía hasta el año 2030» y posteriormente, el 26 de noviembre de 2015, el documento «Conclusiones del Consejo sobre el sistema de gobernanza de la Unión de la Energía».

En materia de gobernanza se acordó establecer un sistema basado en cinco dimensiones; descarbonización, eficiencia energética, seguridad energética, mercado interior de la energía y la investigación e innovación y competitividad, y se determinó que una de las componentes esenciales de dicho sistema sería establecer un Plan Nacional sobre Energía y Clima (PNIEC) que adoptara cada Estado miembro, seguido de una serie de informes de situación periódicos sobre la ejecución de cada Plan nacional, todo ello basado en modelos normalizados.

Finalmente se estableció, con el Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, que a más tardar el 31 de diciembre de 2019 y posteriormente cada diez años, los Estado miembros comunicarán a la Comisión un nuevo Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

Asimismo, el Reglamento de Gobernanza específica «El objetivo de una Unión de la Energía resiliente centrada en una política ambiciosa es ofrecer a los consumidores de la Unión, incluidos los hogares y las empresas, un abastecimiento de energía seguro, sostenible, competitivo y asequible, y fomentar la investigación y la innovación a través de la atracción de la inversión».

Considera de gran importancia la transparencia, exactitud y coherencia de la información. Por ello, para garantizar la utilización de datos e hipótesis sólidas y coherentes y la puesta a disposición del público de una información exhaustiva, se estableció como imprescindible la notificación por parte de los Estados miembros de sus políticas, medidas y proyecciones como una componente esencial de los informes de situación.

Dado el reto que representa el cambio del sistema energético en un país, es imprescindible el análisis riguroso de todos los factores que intervienen en los procesos de transformación para el cumplimiento de los objetivos establecidos. A este respecto cabe destacar la importancia de tener modelos de prospectiva energética como herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

La prospectiva energética es un proceso estructurado de anticipación y exploración de los estados futuros posibles de un sistema energético que permite identificar tendencias y determinar si existen riesgos potenciales que demanden la aplicación de políticas preventivas y/o correctivas. Dada la incertidumbre que caracteriza a la evolución futura de los sistemas socioeconómicos, incluyendo los correspondientes subsistemas energéticos, la prospectiva constituye una valiosa herramienta para reducir el grado de incertidumbre en los procesos de decisión sobre inversión y marcos habilitantes.

Los modelos de prospectiva energética permiten crear diferentes escenarios, ayudan a definir medidas con un objetivo determinado y a ver en detalle los efectos que pueden tener cada una de las actuaciones propuestas. El Reglamento de gobernanza contempla tres tipos de proyecciones:

- Proyecciones sin medidas: proyecciones de las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero, que excluyen los efectos de todas las políticas y medidas previstas, adoptadas o aplicadas con posterioridad al año elegido como punto de partida
- Proyecciones con medidas: proyecciones de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero, o de desarrollo del sistema energético, que engloban los efectos, en términos de reducción de las emisiones de gases de efecto

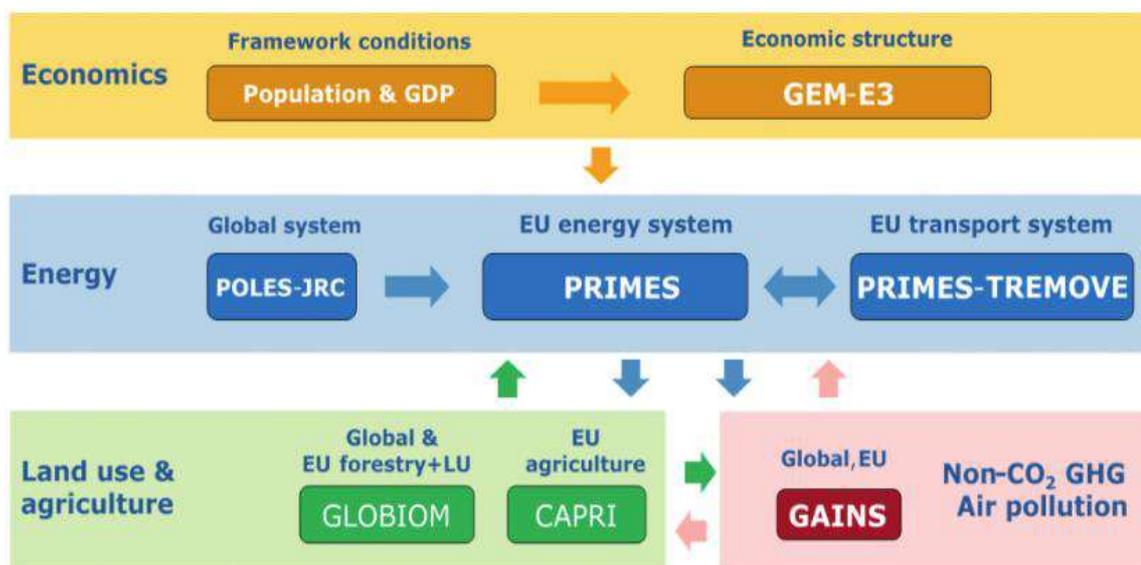
invernadero o de desarrollo del sistema energético, de las políticas y medidas adoptadas y aplicadas

- Proyecciones con medidas adicionales: previsiones de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de gases de efecto invernadero, o de desarrollo del sistema energético, que engloban los efectos, en términos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de las políticas y medidas adoptadas y aplicadas para mitigar el cambio climático o cumplir los objetivos energéticos, así como de las políticas y medidas previstas a ese efecto.

## Modelo de prospectiva. Estructura y procesos

Un modelo de prospectiva energética tiene como finalidad realizar un análisis global sobre la posible evolución de un sistema energético a lo largo de un periodo determinado en base a parámetros tecnológicos, económicos, políticos y sociales.

Es un ejercicio global y complejo que combina diferentes modelos y herramientas como puede verse en la siguiente figura:



*Fuente: Comisión Europea*

Cada modelo tiene un objetivo concreto que puede tomar como base y/o sirve como referencia a otro. En su conjunto forman un sistema complejo con el objetivo de simular el sistema energético europeo en un horizonte determinado.

Por ejemplo, el conjunto de modelos PRIMES obtiene las proyecciones de emisiones de transporte y energía. El modelo GAINS se usó para las proyecciones

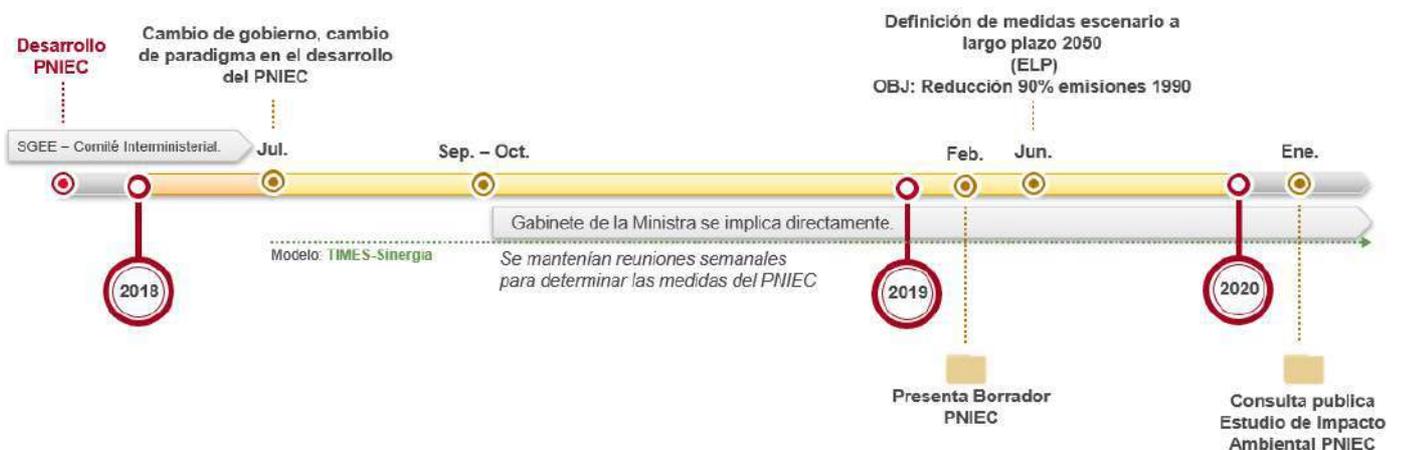
de emisiones que no son de CO<sub>2</sub>, para las proyecciones económicas por rama de actividad se utilizó el modelo macroeconómico GEM-E3, el modelo CAPRI para las proyecciones de la actividad agrícola, etc.

Aunque los modelos pueden clasificarse de diversas formas, una de las más significativas, según cita la Agencia Internacional de la Energía dentro de su programa ETSAP (*Energy Technology System Analysis Program*), es según el grado de detalle de las tecnologías modeladas. Dentro de esta clasificación se pueden distinguir los modelos *bottom up*, *top down* e híbridos.

## Construcción de un modelo de prospectiva energética para llevar a cabo las proyecciones del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima español

Para llevar a cabo el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) español, con una proyección a 2030, la Subdirección General de Prospectiva, Estrategia y Normativa en Materia de Energía (SDGPEN) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), con el apoyo de Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España (ISDEFE), definió dos escenarios, uno a modo de referencia con las medidas aplicada a día de hoy denominado «escenario tendencial» y un segundo con medidas destinadas a alcanzar los objetivos establecidos denominado «escenario objetivo». Estos escenarios se han realizado con un modelo de prospectiva energética *bottom up*.

Para elaborar las proyecciones incluidas en la Estrategia a Largo Plazo (ELP) se utilizó el mismo modelo adecuando este para lograr el objetivo de cero emisiones netas y descarbonización del sistema energético para el año 2050. En este último escenario fue necesario incluir tecnologías mucho más disruptivas que en el PNIEC.



Fuente: Elaboración propia

La elaboración del PNIEC siguió los tres pasos tradicionales para este tipo de ejercicios, adquisición de la información, cálculo de proyecciones y análisis de los resultados. A continuación, se describe lo más relevante de cada uno de ellos:

### ***Adquisición y almacenamiento de la información***

Crear un modelo *bottom up* requiere recopilar gran cantidad de información para definir los parámetros de las tecnologías, de las materias primas, de los combustibles y otras variables incluidas en el modelo, todo ello para cada uno de los sectores que integran un sistema energético a nivel nacional.

Son sectores complejos que requieren recopilar información detallada y de calidad, conocer la normativa que los regula y realizar un análisis profundo de los mismos fundamentando de la mejor manera posible las hipótesis contempladas, recopilando la documentación y estudios que sustenten dichas hipótesis.

Como ejemplo de los sectores analizados, lo que da una idea de la complejidad del modelo, podemos destacar el residencial (demandas en las viviendas de calor, agua caliente, iluminación, electrodomésticos, etc.), el industrial (producción de cemento, acero, industria química, etc.), el transporte (transporte privado urbano, interurbano, transporte de mercancías, transporte ferroviario, aviación, navegación), la agricultura, el eléctrico, el transformador (refinerías, etc.), etc.

Además, es muy importante analizar no solo los procesos actuales, sino aquellos que todavía no están en funcionamiento a gran escala pero que podrían entrar en el mercado en los próximos años, como pueden ser los combustibles sintéticos creados a partir de energía solar, denominado *Sun to liquid*.

Todo ello requiere la participación de un equipo multidisciplinar, ya que entran en juego diferentes campos de trabajo que van desde el conocimiento del modelo en sí a las particularidades de cada sector. Este equipo debe conocer también las líneas relevantes de investigación y desarrollo de los diferentes sectores, las tecnologías con potencial en el horizonte de estudio y los parámetros característicos de las mismas. También es importante la participación de las instituciones públicas encargados de definir las estrategias, las políticas y medidas concretas.

Al realizar un ejercicio de prospectiva es importante crear un repositorio con toda la información de referencia de las tecnologías e incluir la documentación referente a los procesos de todos los sectores energéticos representados en el modelo, evitando errores de versiones y fomentando el uso del dato único.

En ocasiones es necesario realizar el tratamiento de los datos para ajustarlo a las necesidades del modelo. Es importante registrar la trazabilidad, detallar el tratamiento de los datos y los cálculos de valores a partir de documentos de fuentes contrastadas ya que parte de las fuentes utilizadas son públicas, pero otra parte proviene de registros propiedad de la Administración y otros actores implicados en la elaboración del PNIEC.

Además de la información referente al modelo, el repositorio contiene toda la documentación referida a directivas, reglamentos, borradores y propuestas que se necesitan analizar y que utilizan el modelo como apoyo para el análisis de dichas propuestas.

### ***Cálculo de proyecciones***

La herramienta utilizada es TIMES (*The Integrated MARKAL-EFOM System*), un generador de modelos *bottom up* que llega a una solución mediante optimización lineal de los costes del sistema a partir de los datos de entrada y una serie de condiciones impuestas al sistema, denominadas restricciones. Es un modelo con el cual se puede realizar un análisis global del sistema energético, incluyendo tanto la demanda como la oferta de todos los sectores.

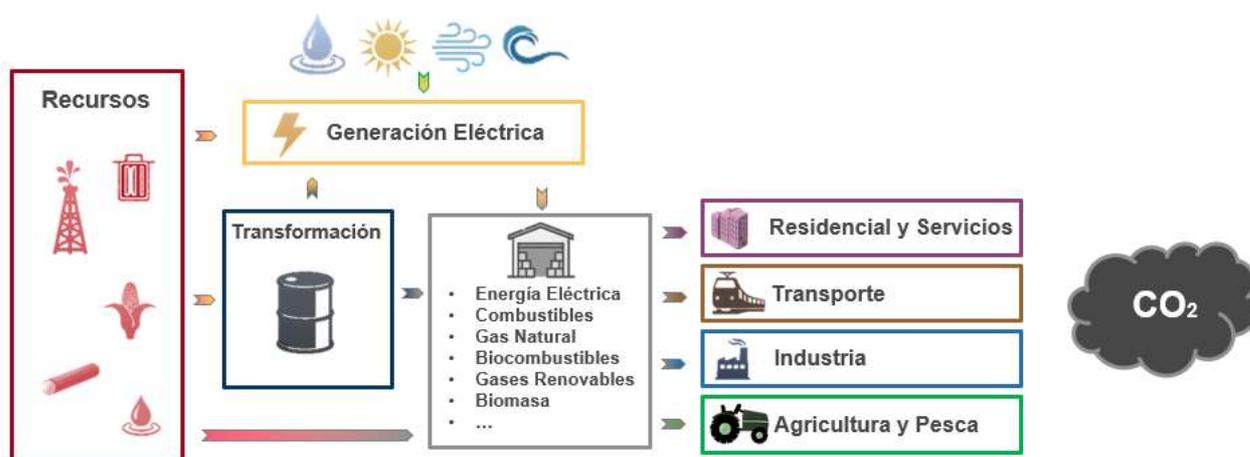
El modelo no utiliza series pasadas para calcular las proyecciones a futuro, sino que emplea un año de referencia existente a partir del cual se modelan todos los sectores con sus tecnologías asociadas con una desagregación establecida, condicionada normalmente a los datos disponibles. Una buena herramienta de gran utilidad para calibrar el consumo energético en el año base son los balances energéticos publicados en la página web de Eurostat.

En el ejercicio de prospectiva realizado para el PNIEC se han representado con un alto grado de detalle los diferentes sectores: transporte, industria, residencial, servicios, agricultura y pesca, eléctrico, las refinerías, las coquerías, las electrolizadoras, metanizadoras, etc., junto con las tecnologías y procesos asociados a cada uno de ellos utilizando los mejores datos disponibles.

Al conseguir realizar una desagregación tan grande se puede conocer el consumo y las emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes tecnologías pertenecientes a un sector a lo largo del horizonte analizado.

Esta capacidad de proporcionar datos desagregados a ese nivel en los resultados permite tomar decisiones dentro de los diferentes sectores para lograr un objetivo determinado, permitiendo a su vez analizar la repercusión a nivel global en el sistema energético definido. Una de las grandes ventajas de tener un modelo de prospectiva global del sistema energético es la coherencia de resultados entre los

diferentes sectores, ya que al estar todos los sectores modelados se puede ver la influencia que puede tener una medida realizada en un sector sobre otros



Fuente: Elaboración propia

Un reto importante a destacar es la dificultad que supone en ocasiones el trasladar políticas y medidas, que a priori se definen con una base económica o regulatoria, a parámetros medibles dentro del modelo de prospectiva energética para su modelado y así poder estimar la repercusión que tendría tanto en el consumo y en emisiones en el sector que aplica, como en la repercusión que pueda tener a nivel global.

A modo de ejemplo, si tomamos como referencia el sector transporte, la desagregación incluye las tecnologías de turismos (diésel, gasolina, eléctricos, etc.), autobuses urbanos (diésel, hidrógeno, etc.), autobuses interurbanos (diésel, hidrógeno, etc.), camiones (diésel, hidrógeno, etc.), furgonetas (diésel, eléctricas, etc.), metro, trenes de pasajeros, trenes de mercancías, aviones de pasajeros, aviones de mercancías, aeronaves pequeñas, aviación internacional, navegación y bunkers. Dentro de las tecnologías definidas intervienen parámetros como la vida útil, el consumo de combustibles y biocombustibles desagregados por su origen, etc. Cada vehículo representado en el modelo tiene en cuenta un consumo de combustible necesario para circular un número determinado de kilómetros cargado



Fuente: Elaboración propia

de personas o mercancías. En función del consumo obtenido, se obtienen las emisiones de los vehículos.

Para poder crear el modelo energético ha sido necesario introducir los siguientes datos de entrada:

- Evolución de las demandas de servicios energéticos para cada uno de los sectores finales incluidos, entendiendo por demanda las necesidades de bienes y servicios que requieren de un consumo de energía para satisfacerlas. Por ejemplo, toneladas de acero producidas a lo largo del horizonte analizado.
- Tecnologías existentes dentro de los sectores con sus parámetros asociados, por ejemplo, costes de operación y mantenimiento, rendimiento, vida útil u horas máximas de funcionamiento.
- Tecnologías nuevas dentro de los sectores, las pueden suponer una mejora en el rendimiento de las tecnologías existentes o tecnologías que estarán disponibles en el futuro. Para estas tecnologías es necesario introducir los costes de inversión y de operación y mantenimiento, el año de disponibilidad, vida útil, horas máximas de funcionamiento, etc.
- Evolución a futuro del PIB, los hogares, costes de los combustibles, costes de las emisiones y tasas de retorno de inversión en las diferentes tecnologías.
- Es necesario definir el periodo a analizar y el intervalo horario con el que se realizan los cálculos dentro de un año definido en el modelo.

El principio de funcionamiento del modelo es tratar de satisfacer las demandas de servicios energéticos con las tecnologías implementadas en él, utilizando para ello las que sean más coste-eficientes.

Una vez calculadas las proyecciones energéticas para el horizonte analizado es necesario apoyarse en otros modelos que permiten entrar en mayor detalle en sectores específicos que lo requieren. Por ejemplo, los datos calculados del sector eléctrico se envían a Red Eléctrica de España (REE) para integrarlo en el modelo que maneja donde se analiza este sector de forma horaria, y las emisiones de CO<sub>2</sub> son ajustadas por el Sistema español de Inventario de Emisiones con su propio modelo.

Tanto para el proceso de retroalimentación de otros modelos como para el análisis de los resultados del modelo, es necesario un proceso de estructuración y análisis de la información, ya que los datos devueltos están codificados y almacenados de manera agregada sin orden lógico.

Por último, hay que tener en cuenta el tamaño del modelo creado ya que condiciona el tiempo dedicado en la sincronización de la información y en la ejecución para resolver el sistema, lo que puede hacerlo poco manejable.

### ***Análisis y explotación de resultados***

El análisis y la explotación de los datos obtenidos es fundamental para el correcto entendimiento de estos y cuanto más grande sea el modelo, mayor importancia tiene, dada la cantidad de datos obtenidos.

Es importante considerar que los resultados del modelo TIMES son bajo el supuesto de información perfecta extendida a todo el horizonte de planificación. Es decir, cada agente tiene un conocimiento completo de la situación del mercado presente y futuro y realiza una previsión perfecta. El resultado se obtiene optimizando todos los costes representados en el modelo para todo el horizonte planificado, obteniendo el máximo beneficio posible.

Para llevar a cabo la explotación de los resultados se ha creado un sistema de información que contiene no solamente los resultados del modelo, sino el cálculo de los objetivos e indicadores según la metodología proporcionada por las diferentes directivas europeas y las peticiones realizadas por los diferentes actores.

Las explotaciones realizadas se han enviado al Sistema Español de Inventario de Emisiones, a Red Eléctrica de España, al *Basque Centre for Climate Change* (BC3), Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), etc. Todo esto ha servido para tener una coherencia en los datos entregados para los estudios realizados por los diferentes actores implicados en la elaboración del PNIEC o de otros documentos de obligado reporte.

Destacar que todos los indicadores u objetivos deben calcularse con una metodología estándar, siendo en el caso de la Unión Europea la marcada por las diferentes directivas y Eurostat. En ocasiones esta metodología es compleja y requiere de un tratamiento complejo de los datos del modelo.

Al tener dos escenarios, uno con las medidas existentes y otro con las adicionales, se puede identificar no solo la evolución esperada con diferentes hipótesis, si no que permite medir aproximadamente la repercusión e impacto de cada medida, teniendo presente que una medida se verá afectada por otras medidas.

Cabe destacar la importancia de poder analizar los resultados de todo el sistema energético de forma global para poder llevar a cabo la toma de decisiones y la realización de análisis de sensibilidad. Para facilitar el análisis de toda esta cantidad de información se han definido cuadros de mando referenciados a la base de datos

con los resultados y el cálculo de los objetivos, de forma que toda la información quede al servicio del usuario.

Asimismo, para el seguimiento de los datos reales y el cumplimiento de las políticas y medidas definidas, el sistema almacena los indicadores de obligado reporte a la Comisión para el seguimiento del PNIEC, pudiendo realizar una comparativa de los resultados obtenidos en las proyecciones con los datos reales.

Tan importante es incluir medidas para la descarbonización como evaluar y realizar el seguimiento de las mismas a lo largo del horizonte analizado, ya que esto mostrará su viabilidad y repercusión real, siendo necesario actualizar datos o hipótesis incluidas en el modelo, teniendo como referencia los datos reales o estudios actualizados o incluyendo nuevas tecnologías si fuese necesario.



## Resultados del PNIEC y evaluación de medidas para alcanzar los objetivos europeos

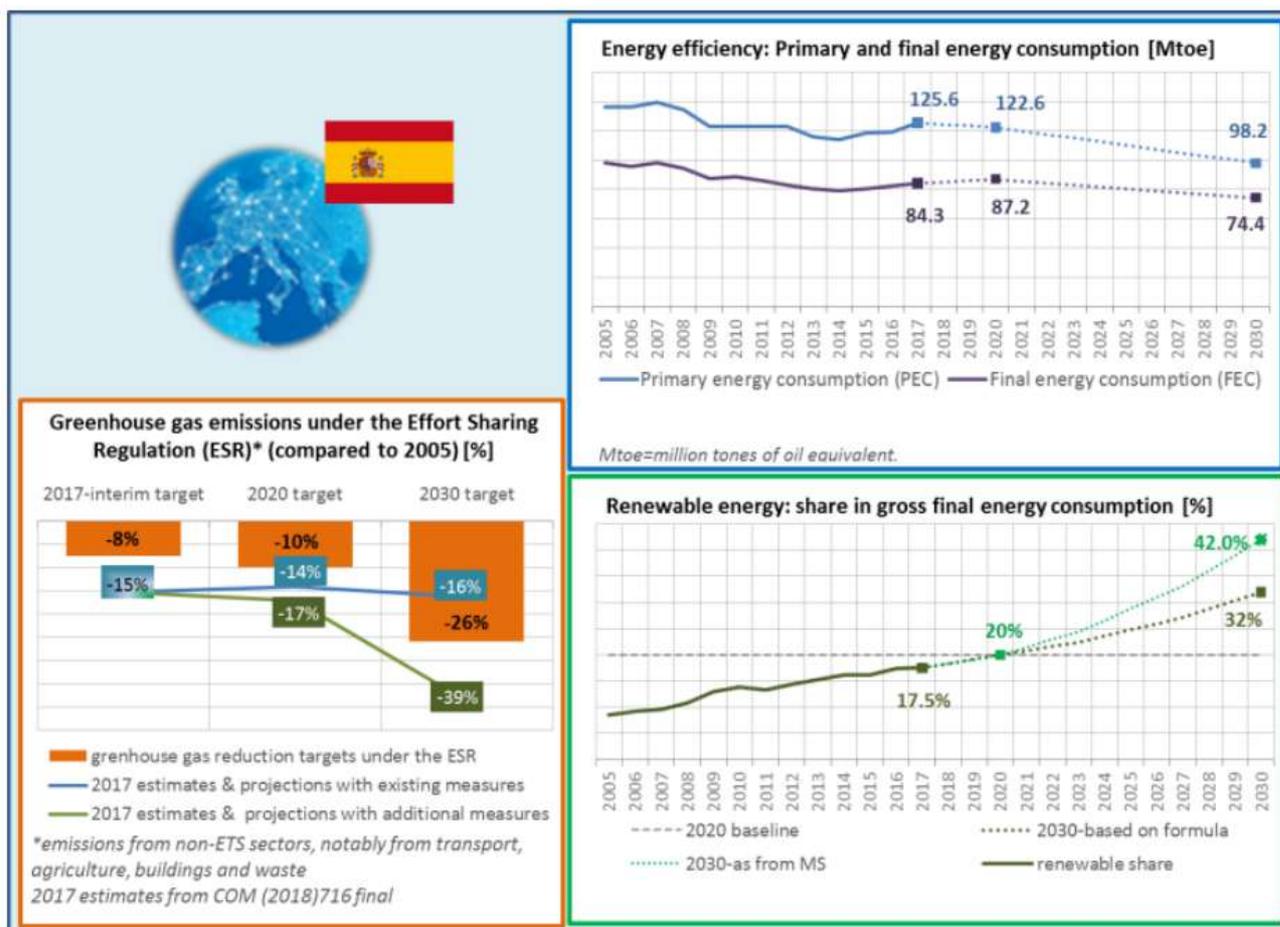
Como se ha comentado anteriormente, la Unión Europea incluyó, como uno de sus pilares, la realización de los Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima por parte de sus Estado Miembros. Para la realización de dichos planes existía la necesidad de cumplir con los objetivos incluidos en las diferentes directivas y debían tenerse en cuenta las cinco dimensiones; descarbonización, eficiencia energética, seguridad energética, mercado interior de la energía y la investigación e innovación y competitividad.

La Comisión Europea realizó un análisis sobre los resultados presentados en los planes integrados de todos los Estados miembro y así poder analizar el aporte de cada uno de ellos a los objetivos globales.

España se enfrenta a un reto importante, nuestro sistema energético se caracteriza por su alta dependencia de los combustibles fósiles, la cual registró su máximo histórico en 2008 con un 81,3%. Este uso de combustibles fósiles complica el cumplimiento de los compromisos asumidos por España con la Unión Europea.

Gracias a la generación con energías renovables la dependencia ha ido disminuyendo, situándose en un 74% en 2017 (petróleo 44,9%; gas natural 21,1% y carbón 8,6%) y en un 69 % en 2021. Aun así, España se sitúa entre 15 y 20 puntos porcentuales por encima de la media de la Unión Europea, cuya dependencia alcanzó el 55% en 2017.

Descontado lo anterior, del análisis del documento *Summary of the Commission assessment of the draft National Energy and climate Plan 2021-2030* se puede observar cómo los resultados obtenidos en el PNIEC español están por encima de los objetivos marcados por Europa.



Fuente: Summary of the Commission assessment of the draft National Energy and climate Plan 2021-

Como se puede ver en el gráfico de la izquierda, para los datos del PNIEC español, se espera superar en un 13 % el objetivo de reducción de emisiones no sujetas al

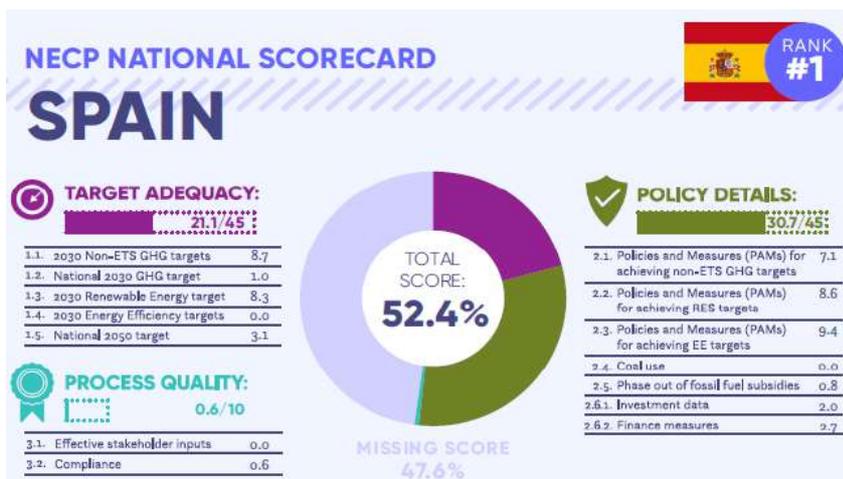
mercado de derechos de emisión respecto al objetivo europeo del 26% de reducción respecto al 2005.

Con respecto a la cuota de renovables, abajo a la derecha, España alcanzaría un 42% en 2030, superando el objetivo europeo que establece en un 32%, aunque hoy en día se están llevando a cabo revisiones de las directivas europeas y se espera que aumente el grado de ambición de forma considerable sobre este y otros objetivos.

Respecto a la seguridad energética del PNIEC español, un punto sensible del sistema energético nacional, se marca el objetivo de reducir la ratio de dependencia energética mediante la disminución de la importación de combustibles fósiles, en especial el carbón y el petróleo. En el año 2017 la dependencia energética era del 74%, mientras que se espera reducir dicha dependencia al 59% en 2030.

En las recomendaciones realizadas por la Comisión Europea se recomienda a España seguir desarrollando medidas de apoyo a la consecución de los objetivos de seguridad energética en lo que concierne a la diversificación y reducción de la dependencia energética, en particular medidas a garantizar la flexibilidad del sistema.

Cabe destacar que en la «Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones» se citan los planes español y austriaco como ejemplo de buenas prácticas y de cómo

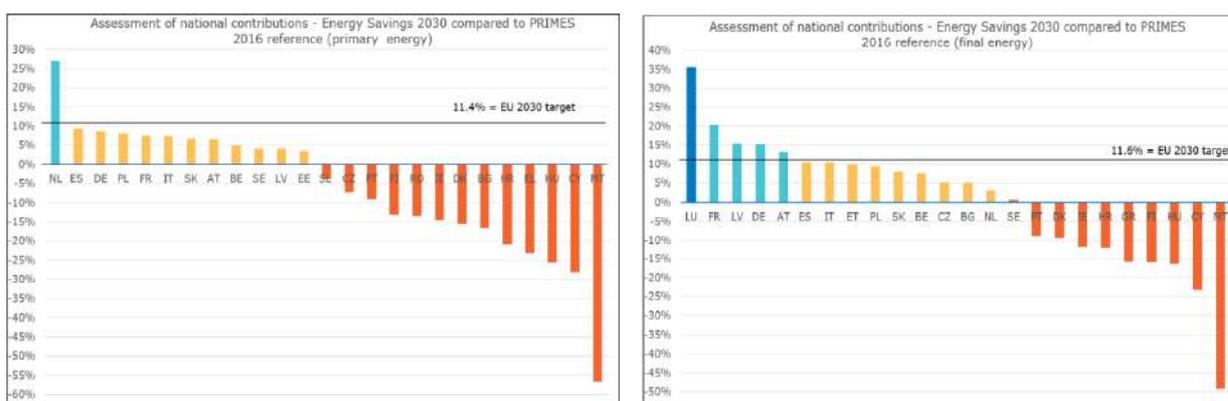


**Fuente:** Assessment of the draft national Energy and Climate Plan

combinar objetivos cuantificados de reducción de las emisiones, concretamente para el sector transporte con las políticas y medidas de apoyo para conseguirlos.

Asimismo, *The European Climate Foundation* (ECF), en su documento *Assessment of the draft national Energy and Climate Plan*, evaluó los diferentes borradores de todos los estados miembro y realizó un ranking en el que España obtuvo el primer puesto. Para ello, se resaltan como fortalezas que es el segundo objetivo de emisiones no ETS (*Emissions Trading System*) para 2030 más ambicioso en este ranking y se considera que se detallan correctamente las políticas y medidas existentes y planificadas sobre eficiencia energética, energías renovables y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En el documento realizado por la Comisión Europea *State of Energy Efficiency in National Energy and Climate Change*, se detallan diferentes gráficas con una comparativa respecto a la aportación a los objetivos de energía primaria y energía final por parte de cada Estado Miembro.



**Fuente:** *State of Energy Efficiency in National Energy and Climate*

Del anterior gráfico, resaltar la posición destacada que ocupa España en cada una de ellas y la coherencia, estabilidad y solidez de los resultados del plan español ya que mantiene una posición parecida, con un nivel de ambición similar, en lo que respecta a la contribución en la reducción del consumo de energía primaria y final. En otros países se observa una reducción del consumo en primaria elevado y en energía final reduce su consumo levemente.

Una vez evaluado el PNIEC, a partir de este se definió el escenario de la ELP. Para este escenario también se ha utilizado la herramienta generadora de modelos *bottom up* TIMES. En la definición del caso del escenario para ELP, con un horizonte a más largo plazo (2050), requiere de medidas disruptivas para alcanzar los objetivos planteados (cero emisiones netas en 2050) y la implementación de

tecnologías aún inmaduras. Su desarrollo ha supuesto un reto importante y entrar más en detalle requeriría un artículo dedicado a ello.

Asimismo, desde que los diferentes miembros entregasen los diferentes planes nacionales integrados de energía y clima, han surgido nuevos planes como el *Fit for 55* y el *Repower EU*, además de surgir nuevas modificaciones sobre directivas existentes y propuestas de modificaciones realizadas por cada uno de los miembros del triunvirato europeo de la energía (Comisión, Parlamento y Consejo), siendo necesario un consenso de los tres miembros para su implementación final. Evaluar las diferentes propuestas y objetivos considerados en los paquetes dentro de un modelo de prospectiva, puede dar una idea de la cantidad de medidas que sería necesario incluir en el modelo para alcanzar dichos objetivos.

Como ya se ha comentado, tras la publicación del PNIEC en 2019 no solo se están revisando los objetivos definidos, sino que han variado de manera notable las condiciones de contorno en todos los países del mundo, debido a los denominados «cisnes negros», como son la pandemia por COVID-19 o la guerra en Ucrania.

Estas situaciones han condicionado de manera notable el consumo de la energía y el precio de esta, la cual se ha incrementado por encima de las previsiones inicialmente realizadas por la Unión Europea. Debido a ello es necesario volver a calibrar los modelos de prospectiva energética con las nuevas condiciones de contorno, incluyendo los datos reales.

El 2020 ha dejado constancia de que los resultados obtenidos por cualquier proyección deben ser actualizados de forma continua. Dentro del plan de gobernanza se piden actualizaciones de los planes integrados de energía y clima, donde se pueden y deben realizar las modificaciones pertinentes.

## Conclusiones

La prospectiva energética no pretende predecir el futuro, son simulaciones bajo unas circunstancias concretas, pero que apoya la toma de decisiones y el diseño de políticas y medidas para alcanzar una serie de objetivos para un horizonte dado a nivel europeo y nacional.

La prospectiva energética requiere de una metodología compleja, unos procesos que deben ser definidos de forma clara y unas herramientas informáticas para hacer viable el proyecto y alcanzar los hitos marcados

El trabajo de prospectiva energética requiere un equipo multidisciplinar, fuertemente coordinado, con una alta capacidad de análisis de los datos, con un

conocimiento profundo de los diferentes sectores y un seguimiento continuo de cada uno de ellos para detectar las tendencias y los desarrollos tecnológicos de relevancia.

El PNIEC ha supuesto un ejercicio formidable; se han desagregado en detalle 7 sectores energéticos; residencial, servicios, industria, transporte, agricultura y pesca, generación eléctrica y transformador, se han definido aproximadamente 70 demandas energéticas, unas 800 tecnologías y procesos existentes y 750 nuevas tecnologías, que requieren a su vez definir los parámetros que definen cada una de estas tecnologías y procesos, suponiendo más de 9.300 parámetros.

Hoy en día la prospectiva energética es una disciplina que puede utilizarse con diferentes fines y uno de ellos es el cálculo de proyecciones para reportar a la Unión Europea dentro de los planes integrados de energía y clima. Los modelos de prospectiva energética ayudan en la toma de decisiones referentes a la política energética nacional para alcanzar los objetivos establecidos por las directivas europeas.

## Referencias bibliográficas:

- Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.o 663/2009 y (CE) n.o 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo y las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, y se deroga el Reglamento (UE) n.o 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo. <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00001-00077.pdf>
- European Commission, Directorate-General for Climate Action, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Mobility and Transport, De Vita, A., Capros, P., Paroussos, L., et al., EU reference scenario 2020: energy, transport and GHG emissions: trends to 2050, Publications Office, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/35750>
- Documentation for the TIMES Model. Energy Technology Systems Analysis Programme - International Energy Agency (IEA). Richard Loulou, Co-authors: Gary Goldstein, Amit Kanudia, Antti Lettila, Uwe Remme, Reviewers: Evelyn Wright, George Giannakidis, Ken Noble. July 2016.
- Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. 20 de enero de 2020. [https://www.miteco.gob.es/images/es/pniecCompleto\\_tcm30-508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pniecCompleto_tcm30-508410.pdf)
- State of Energy Efficiency in National Energy and Climate Plans.pdf
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones.pdf
- Recomendaciones realizadas por la Comisión Europea respecto a la seguridad energética del 18 de junio de 2019 sobre el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima de España para el período 2021-2030.pdf
- Assessment of the draft national Energy and Climate Plan of Spain.pdf
- NECP National Scorecard Spain. The European Climate Foundation (ECF). <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2019/05/Spain-scorecard.pdf>