



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Estrategias energéticas y climáticas a largo plazo para España: un análisis con un modelo tecnoeconómico

Autor: Helena Cabal Cuesta

Institución: CIEMAT
E-mail: helena.cabal@ciemat.es

Otros autores: Maryse Labriet (CIEMAT) Yolanda Lechón (CIEMAT)



RESUMEN:

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en España han crecido en más de un 50% desde 1990 hasta la actualidad, principalmente debido al rápido crecimiento económico del país durante la última década. Un aspecto crucial para España es, por tanto, definir políticas y medidas de reducción de emisiones que permitan cumplir con los compromisos internacionales asumidos, sin que se impongan cargas excesivas en la economía. Ejemplos de estos compromisos internacionales serían los asumidos en la ratificación del Protocolo de Kyoto (+15% GEI), la propuesta de reducción del 20-30% de GEI de la Comisión Europea en su Política Energética para Europa, así como los diversos objetivos sectoriales planteados (eficiencia energética, participación de renovables en la canasta energética o el uso de biocombustibles en el transporte). Este trabajo explora varias estrategias energéticas y climáticas para España en un horizonte a medio y largo plazo (hasta 2050) considerando, entre otros: el Protocolo de Kyoto, los objetivos asumidos por la Unión Europea (GEI y energía renovable), los aspectos relacionados con la seguridad energética (España importa casi la totalidad del gas y del crudo consumido), el desarrollo de las energías renovables y su posible papel en las estrategias climáticas y energéticas futuras, el futuro incierto de la energía nuclear, así como la posibilidad de comprar permisos de emisión en los mercados internacionales. El análisis cuantitativo se basa en el uso del modelo tecnoeconómico TIMES-Spain que optimiza el sistema energético durante el periodo 2000-2050 de forma que se minimice el coste neto del sistema y se satisfagan las demandas, especificadas exógenamente, de los diversos servicios energéticos (por ejemplo la producción de hierro y acero, los km recorridos por pasajero, las necesidades de calefacción del sector residencial, etc.) así como diversas restricciones de tipo medioambiental o político. El modelo TIMES contiene varios miles de tecnologías en todos los sectores del sistema energético que representan en detalle la extracción, el comercio, la transformación y el uso final de la energía. Los resultados obtenidos pueden ser de gran utilidad en la toma de decisiones sobre las futuras políticas y medidas energéticas y climáticas a adoptar por España.



INTRODUCCIÓN

La energía es un factor esencial en la actividad económica de un país y al mismo tiempo la principal fuente de gases de efecto invernadero (GEI) que son el origen de uno de los mayores problemas ambientales que sufre el planeta, el cambio climático.

En 1997, se firmó el Protocolo de Kyoto que establece un calendario de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en función de las emitidas por cada país. Para 2010, la Unión Europea en su conjunto debe reducirlas en un 8% respecto a las de 1990 tomado como año base. España está obligada a no exceder el incremento de las emisiones de GEI en un 15% respecto a las emisiones de 1990. Los últimos informes, sin embargo, demuestran que desde 1990 han aumentado en más de un 50%, debido principalmente al rápido crecimiento económico del país durante estos últimos años. En relación con este objetivo, Europa implementó el mercado de permisos de emisión (“*EU emission trading scheme*”).

Además de éste compromiso global, estamos sujetos a otros, a medio y largo plazo, impuestos por la política energética común de la Unión Europea y del propio país. Éstos guardan relación tanto con la seguridad energética (España importa casi la totalidad del gas y del crudo consumido) como con las tendencias actuales en cuanto a desarrollo de las energías renovables (inversiones en eólica y solar fundamentalmente) y su posible papel en las estrategias climáticas y energéticas futuras, el futuro incierto de las políticas sobre energía nuclear, así como la posibilidad de comprar permisos de emisión en los mercados internacionales.

La política energética común de la Unión Europea (20-20-20) propone para 2020 combatir el cambio climático reduciendo las emisiones de GEI un 20% con respecto a los niveles de 1990, reduciendo el consumo energético en un 20 % en relación con las tendencias actuales mediante mejoras sustanciales en la eficiencia energética y aumentando el uso de las energías renovables hasta alcanzar un 20% del consumo de energía total. Propone además alcanzar un 10% del consumo de combustibles en el transporte con biocarburantes.

A nivel nacional, existen planes y estrategias a seguir como el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 que pretende cubrir con fuentes renovables el 12% de energía primaria en 2010 y lograr un consumo de biocarburantes del 5,83% sobre el consumo de gasolina y gasóleo para el transporte también en 2010; el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión de CO₂ y la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética de España (E4) para reducir los consumos energéticos.

Este trabajo explora algunas de estas estrategias energéticas y climáticas para España en un horizonte hasta 2030 como los objetivos asumidos por la Unión Europea (GEI y energía renovable), las políticas de apoyo a las energías renovables, los aspectos relacionados con la seguridad energética (España importa casi la totalidad del gas y del crudo consumido), el desarrollo de las energías renovables y su posible papel en las estrategias climáticas y energéticas futuras y el futuro incierto de la energía nuclear.

Este trabajo está basado en los resultados obtenidos dentro del proyecto RES2020 [1], cofinanciado por el programa “Intelligent Energy – Europe (IEE)” de la Comisión Europea, cuyo objetivo es analizar la futura contribución de las energías renovables a los sistemas energéticos de los 27 países de la Unión Europea.



METODOLOGÍA. EL MODELO TIMES-SPAIN

a) Los modelos de tipo TIMES

La seguridad en el suministro energético, que a la vez tenga un mínimo impacto negativo en el medioambiente y sea totalmente factible, es una preocupación común de todos los países ya que de ello depende el bienestar de su población y la evolución de su economía. Todo país o región necesita de una planificación energética a largo plazo donde se tengan en consideración los nuevos avances en tecnologías convencionales y renovables ya existentes, las tecnologías de nueva aparición y las predicciones sobre tecnologías futuras. Además, para crear escenarios a largo plazo se necesita conocer o vislumbrar las necesidades futuras de consumo en base al desarrollo económico y demográfico de la región. Estos escenarios, con un horizonte temporal de 30, 50 o más años, solo pueden reproducirse por medio de avanzados modelos energéticos que incorporen todas estas variables.

Los modelos energéticos se utilizan habitualmente por parte de los Gobiernos y las Agencias Internacionales como herramienta de apoyo al proceso de toma de decisiones. Para los responsables políticos en el campo de la energía, la solución ideal requiere una combinación de medidas: reducir la demanda de servicios energéticos, aumentar la eficiencia de éstos y reducir las emisiones de contaminantes por unidad de energía utilizada. Los modelos energéticos se usan para asistir a este proceso de toma de decisiones, de modo que deben presentar las tecnologías energéticas actuales y futuras con sus datos asociados de costes y funcionamiento.

Los modelos energéticos son representaciones matemáticas de la forma en que la energía se obtiene, se transporta y finalmente se utiliza. Son, en primer término, herramientas económicas que requieren además información especializada sobre tecnologías y otras disciplinas.

TIMES (MARKAL-EFOM System) [2][3][4] es una evolución del generador (“source code”) de modelos MARKAL desarrollado dentro del programa ETSAP (Energy Technology System Analysis Programme) de la Agencia Internacional de la Energía. Se trata de un generador de modelos dinámicos de optimización que permiten representar escenarios futuros de sistemas energéticos complejos tanto a escala nacional como regional, local o sectorial. Un modelo generado por TIMES ofrece la solución de menor coste bajo determinadas restricciones. Utiliza escenarios para explorar posibles desarrollos futuros de un sistema energético. Estos escenarios constan de una completa serie de datos de entrada que reflejan los supuestos realizados por el modelista como la proyección de la evolución de la demanda energética inducida por el cambio en la población y el producto interior bruto (PIB) o la disponibilidad de nuevas tecnologías en determinado momento. Las bases de datos de los modelos TIMES contienen miles de tecnologías en todos los sectores del sistema energético que representan en detalle la extracción, el comercio, la transformación y el uso final de la energía.

Como en la mayoría de los modelos de sistema energéticos, los vectores energéticos interconectan en TIMES la conversión y el consumo de energía. Estos incluyen todos los vectores energéticos relacionados con las fuentes primarias (minería, extracción del petróleo, cultivo de la biomasa, etc.), la conversión y procesado (centrales eléctricas, refinerías, etc.) y el uso final de servicios energéticos (calderas, automóviles, etc.). La demanda de servicios energéticos se puede desagregar para cada sector (residencial, industrial, transporte y comercial) y por funciones específicas dentro de un sector (aire acondicionado, calefacción, iluminación, agua caliente, etc.). La rutina de optimización

usada en la solución del modelo selecciona cada una de las fuentes, vectores de energía y tecnologías de transformación para producir la solución de menor coste sujeta a una serie de restricciones puestas por el modelista (p.e. emisiones de CO₂).

b) *TIMES-Spain*

Utilizando el generador de modelos TIMES, se ha desarrollado el modelo tecn-económico *TIMES-Spain* que optimiza el sistema energético español durante el periodo 2000-2030 o 2000-2050 de forma que se minimice el coste neto del sistema y se satisfagan las demandas, especificadas exógenamente, de los diversos servicios energéticos de todos los sectores así como diversas restricciones de tipo medioambiental o político. Este modelo se ha desarrollado en el marco del proyecto europeo NEEDS [5] y mejorado en diversos aspectos relacionados con las tecnologías renovables en el marco del proyecto europeo RES2020 [1]. El modelo *TIMES-Spain* forma parte de un modelo Pan Europeo (PEM) desarrollado dentro del proyecto NEEDS que integra los modelos nacionales de los 27 países de la Unión Europea más Noruega, Suiza e Islandia.

El modelo español consta de una única región interna con información para los cinco sectores de la energía (industrial, residencial, comercial, transporte y eléctrico). La proyección de la demanda se calcula en base a unos factores de crecimiento como la población, el producto interior bruto o las unidades familiares que se obtendrán externamente a través de otros modelos o fuentes. Las tasas de crecimiento del PIB se obtienen mediante un modelo general de equilibrio, el GEM-E3 [6] (General Equilibrium Model for studying Economy-Energy-Environment interactions), que estudia las interacciones entre economía, sistema energético y medio ambiente en los países europeos incluidos en el modelo Pan Europeo. El uso de GEM-E3 asegura la consistencia global en el desarrollo macroeconómico considerado para los distintos países integrantes del modelo PEM. Estas tasas de crecimiento del PIB se muestran en la tabla a continuación:

2005	2010	2015	2020	2025	2030
2,8%	3,6%	3,3%	3%	2,8%	2,7%

Tabla 1. Tasa anual de crecimiento del producto interior bruto

Para las proyecciones de población y unidades familiares se utilizan fuentes externas, Eurostat [7] en este caso. Estas proyecciones se han comparado con las cifras de proyecciones de población a corto plazo del INE [8] para verificar su adecuación a la realidad española y las cifras utilizadas son similares. La Tabla 2. muestra las tasas de crecimiento de la población consideradas:

2005	2010	2015	2020	2025	2030
1,4%	1,6%	1,1%	0,7%	0,4%	0,2%

Tabla 2. Tasa anual de crecimiento de la población

El suministro en el sector de producción de energía estará dividido en producción primaria, que provee los combustibles sin transformar, la biomasa y el combustible nuclear; la transformación secundaria, que convierte las formas de energía primaria en combustibles para los sectores de uso final y para la generación de calor y electricidad; y el uso final. El modelo también hace un seguimiento de las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O a lo largo de todo el sistema. *TIMES-Spain* utiliza como parámetros económicos el PIB y todos los costes de inversión y costes variables y fijos de todas las tecnologías contempladas en el modelo.



Por último, el modelo se ha calibrado para el año 2000 utilizando datos de balance energético para España de la base de datos Eurostat.

ESCENARIOS ANALIZADOS

- Escenario BaU (Business as Usual): con subvenciones y primas a las energías renovables tal y como existen en la actualidad. En esta versión de los resultados se han incluido las tarifas reguladas del Real Decreto 661/2007 de mayo de 2007. Una nueva versión con las nuevas tarifas reguladas de septiembre 2008 se está desarrollando;
- Escenario REF: escenario sin subvenciones ni primas;
- Escenario RES-2020: incorpora al escenario REF los objetivos de la Directiva de Energías Renovables [9] y sus correspondientes objetivos para las emisiones de CO₂, distintos para los sectores que participan en el mercado de emisiones (ETS) de los que no lo hacen (no-ETS) según se muestra en la Tabla 4;

2005	2011-2012	2013-2014	2015-2016	2017-2018	2020
8,7%	12%	13%	14%	16%	20%

Tabla3. Objetivos para España hasta alcanzar el 20% de renovables en 2020

Emisiones totales de CO ₂ en EU-27	Límite superior de 3.591 Mt CO ₂ en 2020
Emisiones de los sectores ETS	Comercio de todo el CO ₂ emitido por los sectores ETS entre países de la UE
Emisiones de los sectores no-ETS	Límite superior de 183.6 Mt CO ₂ en 2020

Tabla 4. Hipótesis relacionadas con los GEI

- Escenario RES-2020T: igual que el anterior pero introduciendo además la posibilidad de un comercio interior de certificados verdes. En este escenario, por cada unidad generada y por cada unidad consumida de electricidad renovable en el sector de energía final, se coloca un certificado verde que puede ser utilizado para conseguir el objetivo de la Directiva o para comerciar con otros países.

La comparación entre los escenarios RES-2020 y BaU dará una indicación de cómo los incentivos nacionales aplicados en los distintos países pueden ayudar o no al cumplimiento de la Directiva.

Otras hipótesis:

- Sobre la energía nuclear, en todos los escenarios se ha considerado que la capacidad total instalada es constante a lo largo de todos los periodos de tiempo.
- En los escenarios BaU y REF, se asume una tasa de CO₂ para las emisiones provenientes de los sectores sujetos al ETS de 20€₂₀₀₅/tCO₂ en 2010 y de 24€₂₀₀₅/tCO₂ en 2030.
- Existe un mercado interior de electricidad y bioenergía (biocarburantes de 1ª y 2ª generación y biomasa) entre los 27 países basado en el proceso de optimización del mínimo coste del modelo.



RESULTADOS PRELIMINARES

Las conclusiones que aquí se muestran se basan en resultados preliminares del modelo. Para recibir los resultados definitivos, por favor diríjase a las autoras.

- En general, el consumo bruto de energía más alto corresponde al escenario de referencia, REF, que es aquel que no tiene en cuenta ninguna política o medida de apoyo a las energías renovables. Es en éste escenario en el que también se da una menor penetración de las energías renovables en el sistema frente a un aumento en el uso del gas en periodos futuros. Queda reflejado de este modo el papel de estas medidas, como son las primas a la producción con energías renovables, en la promoción de éstas tecnologías haciendo que experimenten un desarrollo mayor cuando son aplicadas como es el caso del escenario BaU que se corresponde con la situación actual.
- No existen diferencias notables en el consumo de un sector entre los distintos escenarios. El consumo total en 2030 es menor en los escenarios RES. Esta reducción se debe en gran parte al sector industrial. En cuanto al sector transporte, se observa la penetración de los biocarburantes en los escenarios RES a partir de 2010 con la consiguiente reducción de consumo en los combustibles fósiles a los cuales sustituyen. En 2010, el consumo de biocarburantes en estos escenarios supone un 5,75% del total, en 2020 un 10% (los objetivos de la Directiva) y en 2030 un 10%.
- Solo los escenarios que incluyen los objetivos para las energías renovables de la Directiva alcanzan dichos objetivos. Tanto el escenario BaU con las primas y ayudas actuales como el escenario REF que no contempla nada de lo anterior, quedarían por debajo de los objetivos marcados. Se observa que cuando se ponen objetivos para las renovables, el modelo opta por introducir la energía eólica en mayor medida que el resto de las tecnologías renovables y en la misma cantidad que en el caso de la aplicación de primas y ayudas. Sin embargo, solo en el caso de las primas, la energía solar experimenta un gran avance en la composición del sistema energético lo que no ocurre cuando se fijan los objetivos.
- Con los escenarios BaU y REF no se alcanzaría el objetivo del 20% de renovables en el sistema energético en 2020.
- En cuanto a las importaciones de combustibles fósiles, a partir de 2020 se observa una reducción debida a la penetración de las energías renovables en el sistema. Entre 2020 y 2025, esta reducción alcanza a ser de un 17% según los resultados del escenario RES frente a los resultados del escenario de referencia en el que no se incluyen medidas de fomento a las renovables. Respecto a los biocarburantes, para satisfacer la demanda futura el modelo importa biocarburantes pero de países dentro de la Unión Europea en los que la seguridad del suministro está garantizada.

CONCLUSIONES

Entre los resultados más importantes se ha observado que los mayores impactos del establecimiento de unos objetivos para las energías renovables recaen sobre el sector eléctrico. En concreto, las tecnologías solar y eólica penetran en el mercado de manera considerable frente a la escasa participación que tienen en el escenario de referencia en el que no se consideran ayudas ni primas.

En relación con el impacto de las ayudas actuales, se observa que sobre todo benefician a las plantas solares que sin las primas ni incentivos tienen una penetración mucho menor incluso que cuando se incluye el objetivo de la Directiva para 2020.



La participación de los biocarburantes nunca excede el nivel impuesto por la Directiva.

Por último, en términos de seguridad energética, el establecimiento de unos objetivos de participación de las energías renovables resulta en una reducción en las importaciones de combustibles fósiles y un aumento en las importaciones de los biocarburantes que no obstante, dado que se importan de países de la UE, no contribuyen negativamente a la seguridad en el suministro sino al contrario.

REFERENCIAS

- [1] RES2020. <http://www.res2020.eu/>
- [2] Loulou R., Remme U., Kanudia A., Lehtila A. y Goldstein G. (2005a). *Documentation for the TIMES Model. PART I: TIMES Concepts and Theory*. ETSAP.
- [3] Loulou R., Remme U., Kanudia A., Lehtila A. y Goldstein G. (2005b). *Documentation for the TIMES Model. PART II: Reference Manual*. ETSAP.
- [4] Loulou R., Remme U., Kanudia A., Lehtila A. y Goldstein G. (2005c). *Documentation for the TIMES Model. PART III: GAMS Implementation*. ETSAP.
- [5] NEEDS <http://www.needs-project.org/>
- [6] GEM-E3 <http://www.gem-e3.net/>
- [7] Eurostat, base de datos de la Oficina Estadística de las Comunidades Europeas http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1090.30070682.1090_33076576&_dad=portal&_schema=PORTAL
- [8] INE, 2008. <http://www.ine.es> Accedido por última vez en noviembre 2008.
- [9] Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. COM(2008) 19 final 2008/0016 (COD)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto RES2020 parcialmente financiado por el programa “Intelligent Energy – Europe (IEE)” de la Comisión Europea.