

La Red MENTES: red temática de modelización energética para una transición energética sostenible

Los compromisos adoptados por España en materia de cambio climático, tanto en el marco del Acuerdo de París (por el cual se estableció un acuerdo a nivel mundial para limitar el calentamiento global por debajo de los 2° C en 2100), como en el seno de la Unión Europea, requieren una transformación profunda de toda la economía, y en particular del sector energético, que debe evolucionar hacia un nuevo modelo totalmente descarbonizado. Este proceso de transición, ya planteado por el Gobierno español en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y en la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050, requiere desplegar políticas de amplio alcance, así como incorporar los avances tecnológicos que se van produciendo a nivel global. A su vez, estos cambios políticos y tecnológicos tendrán un impacto significativo en la economía, el medio ambiente, y la sociedad de nuestro país.

Es fundamental pues tomar las decisiones estratégicas asociadas al proceso de descarbonización de la economía con todo el rigor posible, así como evaluar correctamente las implicaciones económicas, sociales y medioambientales de las mismas, de forma que resulten en el mayor bienestar posible para el país. Esto requiere contar con herramientas de modelización apropiadas y adaptadas a la realidad energética de nuestro país.

Existen muchas herramientas disponibles, pero pocas de ellas se han aplicado de forma regular en la planificación energética hasta la fecha. El objetivo de este número es, con la colaboración de la red MENTES (<https://redmentes.es/>) y los equipos que la integran, presentar las herramientas de modelización energética desarrolladas por investigadores españoles, y que pueden estar a disposición de instituciones y empresas de nuestro país para realizar análisis de escenarios de transición energética.

La Red MENTES: red temática de modelización energética para una transición energética sostenible

El objetivo de la red MENTES es poner en contacto a los grupos de investigación nacionales que, desde distintos ángulos y aproximaciones metodológicas, trabajan en modelización energética para:

- Explotar las sinergias y complementariedades existentes entre los distintos grupos que conformarían la red.
- Alinear las prioridades de investigación de los distintos grupos de forma que se adapten y den respuesta a las necesidades y desafíos del país en materia de transición energética.
- Constituir un grupo de referencia a nivel nacional en modelización energética que pueda apoyar a los decisores políticos y agentes involucrados en la toma de decisiones.
- Favorecer la creación de capacidades en materia de modelización energética en nuestro país a través de actividades de formación organizadas conjuntamente por la red, mediante la codirección de tesis doctorales y a través de estancias breves de doctorandos y estudiantes de máster en centros de la red.
- Reforzar la presencia internacional de los grupos de investigación nacionales a través de la participación en redes o iniciativas supranacionales.
- Participar en proyectos de I+D+i nacionales e internacionales conjuntamente.
- Transmitir a la sociedad los resultados de las líneas de investigación de la red, como los impactos que tendrá la transición energética y las alternativas de política económicas existentes para su adaptación.

La red está formada por nueve equipos de investigación: el Global Energy and Environmental Economics Analysis Research Group (GEAR) de la Universidad de Castilla-La Mancha, que actúa como coordinador; el grupo Low Carbon Society Research Line del Basque Centre for Climate Change (BC3); el equipo del Institute for Advanced Research in Business and Economics (INARBE) de la Universidad Pública de Navarra; el Grupo de Energía, Economía y Dinámica de

Sistemas (GEEDS) de la Universidad de Valladolid; la Unidad de Análisis de Sistemas (UAS) de la Fundación IMDEA Energía; la Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos del CIEMAT; el grupo Crecimiento, Demanda y Recursos Naturales (CREDENAT) de la Universidad de Zaragoza; el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) de la Universidad Pontificia Comilla, y el grupo de Planificación Energética de Tecnalía.

Cada grupo de investigación presenta en este número las herramientas de modelización energética que tiene a su disposición, incluyendo ejemplos de aplicación. Como podrá verse, el abanico de modelos disponibles es muy amplio, desde aquellos que permiten el análisis de la operación de corto plazo de los sistemas eléctricos (algo fundamental en un contexto de penetración masiva de las energías renovables) a los que estudian el impacto social, económico y ambiental, incluyendo el comercio internacional, como los modelos *input-output* multirregionales (MRIO) o los modelos de evaluación integrada (IAM). Otros modelos disponibles son los de simulación de la operación y planificación de sistemas eléctricos (incluyendo tanto generación como transporte y distribución); modelos de análisis de eficiencia y productividad; modelos de proyección de demanda energética; modelos de equilibrio general aplicado; análisis de ciclo de vida; modelos de prospectiva energética; o modelos dinámicos econométricos no keynesianos.

Los modelos de proyección de demanda (*demand forecasting*), en este caso centrados en demandas de tipo energético, son modelos matemáticos de especial relevancia en multitud de análisis prospectivos. En dichos análisis, la necesidad de diseñar sistemas producción-demanda hace que el primer aspecto a considerar sea la introducción de las proyecciones de demanda. La creciente complejidad de los sistemas energéticos o la aparición de fenómenos estructurales como el desacople energía-economía, hace necesario el uso de modelos de proyección de demanda que ayuden a los modelizadores energéticos, planificadores y decisores políticos, a establecer escenarios de necesidades. Para ello, existen varios tipos de modelos de proyección de demandas energéticas como son: las series temporales, los modelos de regresión, los modelos econométricos, los análisis de descomposición, los modelos tipo ARIMA, las redes neuronales, la lógica difusa, los algoritmos genéticos y/o los modelos autorregresivos. En la mayoría de casos, las modelizaciones se adaptan al tipo de análisis que se espera llevar a cabo: análisis de prospectiva

La Red MENTES: red temática de modelización energética para una transición energética sostenible puro, utilización de dichas proyecciones en otros modelos, evolución de variables asociadas a la demanda (emisiones, costes, etc.). Por todo lo anterior, es reseñable la importancia que dichos modelos de proyección de la demanda están empezando a adquirir en el diseño avanzado de modelos energéticos de optimización (MARKAL/TIMES, LEAP, MESSAGE, PRIMES...), tradicionalmente usados a escala nacional por los organismos gubernamentales.

Los modelos de análisis frontera para el análisis de la eficiencia y productividad son metodologías que permiten la estimación de distintas dimensiones relacionadas con la eficiencia productiva (y, en general, con diversas medidas de desempeño o *performance*), así como la identificación de sus fuentes y determinantes. Estas metodologías se agrupan fundamentalmente en dos familias genéricas: el análisis de fronteras estocásticas (basado en modelos econométricos) y el *Data Envelopment Analysis* (basado en modelos de programación lineal). El objetivo es la estimación de una frontera de producción (o de costes) a partir de las mejores prácticas observadas. Esa frontera sirve como referencia para el resto de unidades que se analizan, de tal forma que la medida de la *performance* de una unidad (una empresa, una región, un país) viene definida por su distancia a esa frontera. Estas metodologías resultan especialmente útiles para la estimación de la (in)eficiencia energética y medioambiental, permitiendo cuantificar las posibilidades de mejora en la utilización de los recursos y la reducción de emisiones.

Los modelos de simulación del sector eléctrico son también muy relevantes para evaluar las consecuencias de la transición, ya que dicho sector es uno de los más afectados, y además, su representación es compleja desde el punto de vista técnico. Existen distintas escalas de modelado, que contemplan desde los modelos de planificación de largo plazo, que permiten analizar decisiones de inversión; los modelos de coordinación hidrotérmica, generalmente multianuales, necesarios para determinar la gestión óptima de las reservas hidráulicas; o los modelos de operación o despacho, que representan generalmente con gran nivel de detalle técnico la operación del sistema. La creciente entrada de las energías renovables variables en la generación eléctrica ha supuesto un reto adicional para este tipo de modelos, al requerir una representación más detallada de las restricciones técnicas de operación, así como de la variabilidad de la producción renovable.

También son particularmente útiles en este contexto los modelos de simulación del transporte, en particular del transporte por carretera. Modelos como TREMOVE o TRENEN son referencia habitual en los análisis de la transición energética a nivel europeo. Tanto a escala regional, como a nivel urbano, estos modelos permiten representar la evolución de la oferta y la demanda de movilidad, y sus consecuencias económicas, energéticas o ambientales. En este ámbito el reto fundamental es la introducción en estos modelos de nuevos modos de transporte, en particular el *car-sharing* o el *car-pooling*, y eventualmente, la utilización de vehículos autónomos.

Los modelos energéticos de optimización, del tipo por ejemplo de los modelos TIMES desarrollados por el Programa de Colaboración Tecnológica ETSAP de la Agencia Internacional de la Energía, son herramientas fundamentales para la representación y el análisis de sistemas energéticos complejos a medio y largo plazo que proporcionan, desde un punto de vista coste-eficiente, soluciones sobre la composición óptima del sistema energético teniendo en cuenta los compromisos medioambientales y la demanda energética. Son modelos de tipo *bottom-up* que combinan una aproximación técnica y una aproximación económica. Por el lado del suministro de energía, comprende la extracción de combustibles, la producción primaria y secundaria, y la importación y exportación energética. Los “agentes” de la oferta energética son los “productores”. La demanda energética se estructura sectorialmente en sectores residencial, comercial, agrícola, de transporte e industrial. Los “agentes” del lado de la demanda de energía son los “consumidores”. Las relaciones matemáticas, económicas y de ingeniería entre estos “productores” de energía y “consumidores” son la base que sustenta los modelos TIMES. Estos modelos pueden ser muy útiles en la planificación energética a medio y largo plazo y están siendo usados por numerosos países para la preparación de sus estrategias energéticas y de cambio climático. De hecho, una versión modificada del modelo Times–Spain desarrollado por CIEMAT, el modelo TIMES-Sinergia es el que está usando actualmente el Ministerio de Transición Ecológica para la realización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC).

Los modelos *input output* y en especial los modelos *input-output* multirregionales (*multiregional input-output models*, MRIO) son una herramienta muy útil

La Red MENTES: red temática de modelización energética para una transición energética sostenible para analizar la sostenibilidad en sentido amplio de las actividades productivas, incluyendo la energía, teniendo en cuenta dimensiones de las tres esferas de la sostenibilidad: económica, social y medioambiental, en lo que se ha venido a llamar modelos *input-output* extendidos. El análisis *input-output* (AIO) es una herramienta única para representar de forma completa los flujos e interrelaciones de sectores y países que forman la compleja red de las cadenas globales de la producción a nivel mundial. Por este motivo, el AIO es considerado como el más apropiado para el cálculo de emisiones basadas en el consumo o huellas de carbono, ámbito este en el que los modelos MRIO se han convertido en la norma de cálculo. La visión sistémica del AIO es fundamental en relación con el cambio climático para evaluar estrategias de mitigación de carácter intersectorial frente a otras más centradas en sectores específicos o tecnologías individuales, junto con la identificación de los cobeneficios o efectos colaterales adversos, sinergias y *trade-offs*, que puedan producirse. Además, el carácter flexible del AIO permite combinarlo con otros modelos, como se comenta a continuación.

Los modelos de equilibrio general (MEGA o CGE, en inglés) son capaces de evaluar endógenamente las interacciones entre los distintos mercados de bienes y factores que existen en una economía. Permiten la simulación de cambios puntuales en las decisiones de política económica, de uso de la tecnología y de comportamiento de la demanda, así como representar en detalle la relación entre las tecnologías utilizadas y las fuentes energéticas requeridas, o la cuantificación del volumen de emisiones contaminantes o de gases de efecto invernadero. Por ello, su papel como modelos de simulación está ampliamente reconocido en el ámbito energético y medioambiental. Presentan una aproximación que permite detectar cómo un cambio en un sector o en un agente concreto de un país, u otra área geográfica, puede afectar al conjunto de la economía representada. Los modelos evalúan endógenamente los cambios en precios y cantidades, y están sujetos a restricciones de carácter tecnológico y de dotación de factores de la economía.

Los modelos dinámicos econométricos neokeynesianos representan un híbrido entre los modelos anteriores (*input output* econométrico y CGE). Se trata de modelos con elevado detalle en términos de sectores, productos y hogares que permiten analizar los impactos económicos de diferentes esce-

narios y políticas en variables como el empleo, PIB, balanza comercial o la distribución de renta.

Finalmente, los modelos basados en dinámica de sistemas son una alternativa a los modelos econométricos de equilibrio general en los que las relaciones de realimentación, los retardos y otras posibles funciones no lineales permiten ofrecer una visión dinámica, integrada y comprensible de sistemas complejos.

Las siguientes páginas presentan en mayor detalle cada una de las herramientas desarrolladas por los grupos de la red en estos ámbitos.