

Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas (GEEDs), Universidad de Valladolid. Modelo MEDEAS

*Iñigo Capellán-Pérez, Ignacio de Blas, Jaime Nieto, Margarita Mediavilla, Carlos de Castro, Óscar Carpintero, Luis Fernando Lobejón, David Álvarez-Antelo, Noelia Ferreras-Alonso, Gonzalo Parrado, Fernando Frechoso, Carmen Duce-Díaz y Luis Javier Miguel**

1. OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA Y APLICACIONES PREFERENTES

Los modelos MEDEAS son un conjunto de modelos dinámicos y recursivos de simulación que han sido diseñado por el Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid (GEEDS-UVa). Se han desarrollado dentro del proyecto europeo de mismo nombre “MEDEAS (*Modelling the Energy Development under Environmental And Socioeconomic constraints*)” que tenía como meta proporcionar a los encargados de formular políticas nuevos instrumentos de modelización para evaluar mejor los impactos y limitaciones de la transición del sistema energético de la Unión Europea a uno más sostenible. El objetivo de los modelos MEDEAS es entonces facilitar la evaluación de políticas que estudian cómo realizar la transición energética durante las próximas décadas. En los modelos MEDEAS se pueden analizar, entre otras, políticas de decarbonización del transporte (de Blas *et al.*, 2020), de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Nieto *et al.*, 2020) o de modificación de la demanda de los hogares.

Otro objetivo de los modelos MEDEAS es facilitar a los ciudadanos la comprensión del problema de la sostenibilidad global, con el doble propósito de concienciarlos sobre la gravedad del problema y ayudarlos a comprender mejor la complejidad de las soluciones. Para ello basado en los modelos MEDEAS se han

* Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid. GEEDS-UVa.

diseñado distintas herramientas como por ejemplo un juego de simulación participativa (Capellán-Pérez, Álvarez-Antelo y Miguel González, 2019).

2. DESCRIPCIÓN BREVE: INTRODUCCIÓN CUALITATIVA, FORMULACIÓN MATEMÁTICA ESQUEMÁTICA, TIPOS DE DATOS NECESARIOS, Y ENLACES A LA DOCUMENTACIÓN RELEVANTE

Los modelos MEDEAS son un conjunto de modelos agregados de economía, energía y medio ambiente (o modelos de evaluación integrada, IAM). Han sido diseñados utilizando la dinámica de sistemas, la cual facilita la integración del conocimiento desde diferentes perspectivas. La dinámica de sistemas es una metodología utilizada para analizar y modelar el comportamiento temporal en entornos complejos debido a su capacidad para representar explícita y dinámicamente realimentaciones, retrasos existentes en el sistema y no linealidades.

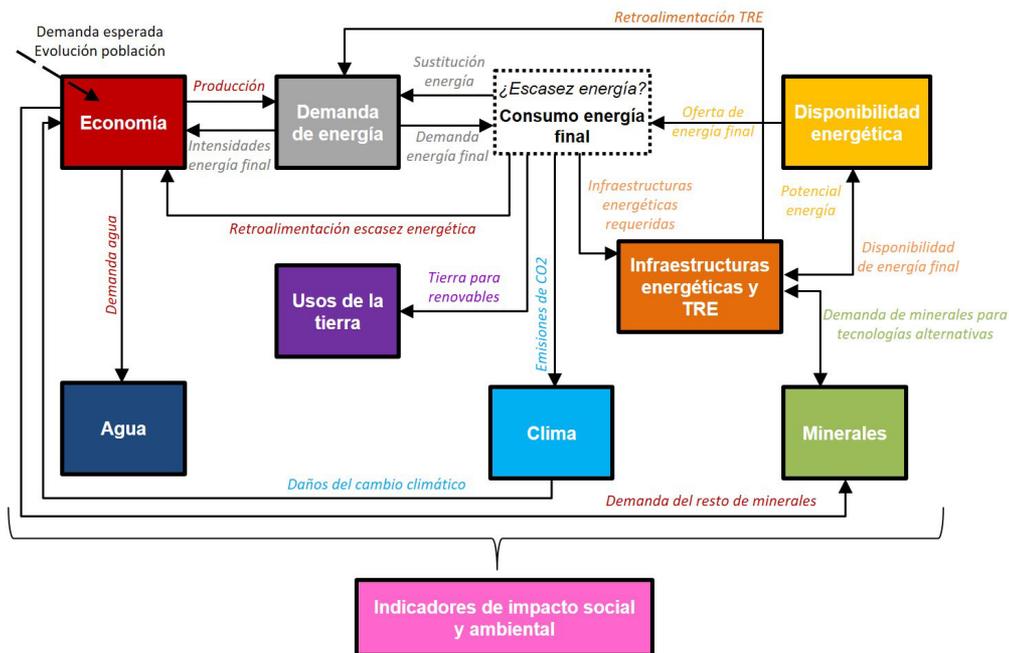
El conjunto de modelos de simulación MEDEAS está compuesto por modelos en tres diferentes escalas geográficas: global (MEDEAS-W), Unión Europea (MEDEAS-EU) y país (MEDEAS-AUT y MEDEAS-BGR). Por simplicidad, la integración entre modelos es secuencial (una sola dirección): los modelos “padre” (W, EU) proporcionan entradas a los modelos “hijo” (EU, país).

Todos los modelos tienen una estructura modular y flexible en la que cada módulo se puede modificar. Los modelos están estructurados en nueve módulos principales: economía, demanda de energía, disponibilidad de energía, infraestructuras energéticas y tasa de retorno energético, minerales, uso de la tierra, agua, clima y emisiones e indicadores de impactos sociales y medioambientales. La figura 1 muestra el esquema conceptual del modelo MEDEAS-W incluyendo las principales relaciones entre los módulos. Las principales características de cada módulo son:

- *Economía*: está modelada siguiendo un enfoque poskeynesiano de desequilibrio (los mercados no están obligados a vaciarse, como es habitual en economía convencional) y donde el crecimiento económico depende del nivel de demanda de los 35 sectores económicos considerados y los hogares. La estructura económica está representada a través de tablas *input-output* (TIO).

Figura 1

Esquema general de los módulos de MEDEAS-W y sus relaciones



Fuente: Capellán-Pérez *et al.* (2020).

- **Demanda de energía:** la demanda final de energía, por sector y de los hogares, se estima a través de las proyecciones de manera sectorial de la producción económica y de las intensidades energéticas finales. La evolución de las intensidades energéticas finales tiene en cuenta las mejoras de eficiencia y la sustitución energética generada tanto por políticas como por la escasez de recursos.
- **Disponibilidad energética:** en este módulo se estima la disponibilidad de recursos de las energías renovables y no renovables teniendo en cuenta las limitaciones biofísicas y temporales. En total, se tienen en cuenta 25 fuentes y tecnologías primarias de energía y cinco energías finales (electricidad, calor, sólidos, gases y líquidos). La intermitencia de las energías renovables en el modelo se computa endógenamente a través de las sobrecapacidades y el almacenamiento de energía, dependiendo de la penetración de las tecnologías energéticas variables.
- **Infraestructuras de energía y tasa de retorno energético (TRE):** este módulo estima las capacidades para generar electricidad y calor teniendo en cuenta los tiempos

de planificación y construcción. Las inversiones en energía para que las energías renovables generen electricidad se modelan de forma endógena y dinámica, de modo que se puede estimar la TRE de las tecnologías individuales y de todo el sistema energético. La demanda de energía varía en función del TRE del sistema. El transporte se modela detalladamente diferenciando entre clases de vehículos para los hogares y para transporte terrestre de mercancías y de pasajeros.

- **Minerales:** se estiman los recursos necesarios para toda la economía, especialmente los utilizados para la construcción, operación y mantenimiento de tecnologías alternativas de energía. También se consideran las políticas de reciclaje.
- **Uso de la tierra:** este módulo estima fundamentalmente los requerimientos de tierra adicionales debido al uso de las energías renovables.
- **Agua:** este módulo proyecta el uso del agua por tipo (azul, verde y gris) y por sector económico y para uso en los hogares.
- **Clima:** el modelo global estima los efectos de cambio climático a partir de las emisiones de GEI emitidas por la sociedad. Este módulo incluye una función de daño que transforma los efectos de cambio climático en daños al sistema económico.
- **Indicadores de impacto social y ambiental:** en este módulo los resultados “biofísicos” se trasladan en impactos sociales y ambientales. Su objetivo es explorar las repercusiones para la sociedad humana en términos de bienestar e impactos ambientales.

Una descripción más completa de los módulos de MEDEAS y los resultados obtenidos en el modelo se puede encontrar en el artículo “MEDEAS: a new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints” de la revista *Energy & Environmental Science* (Capellán-Pérez *et al.*, 2020). Documentación más detallada de los modelos con los datos y ecuaciones utilizadas en ellos se puede obtener en la web del proyecto MEDEAS (www.medeas.eu/). Los modelos han sido desarrollados con el *software* Vensim DSS y trasladados a Python. Los modelos están disponibles para cualquier usuario de manera gra-

tuita en <https://www.medeas.eu/model/medeas-model> y futuras actualizaciones se encontrarán en la página web del grupo www.geeds.es.

3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Como se ha dicho en el apartado anterior, el objetivo de los modelos MEDEAS es facilitar el análisis de las políticas que buscan la transición a un sistema energético más sostenible. Un buen ejemplo son las políticas de descarbonización de sector transporte (de Blas *et al.*, 2020). El transporte es normalmente identificado como uno de los sectores más difíciles de descarbonizar. Esto es debido a las actuales pautas de movilidad cultural, al continuo crecimiento de la demanda mundial de movilidad y las limitaciones técnicas existentes para sustituir los combustibles derivados del petróleo. Actualmente el transporte depende en gran medida de los combustibles líquidos (95 %) y más del 50 % del total de los combustibles líquidos se dedican a este fin.

El modelo MEDEAS-W se ha utilizado para estudiar cuatro estrategias distintas de descarbonización del sector transporte en 2050. Los resultados muestran que una sustitución masiva de los vehículos de petróleo por vehículos eléctricos no consigue reducir por sí sola las emisiones de GEI y además podría dar lugar a la escasez de algunos minerales clave, como el litio o el magnesio. Según los resultados obtenidos, la única estrategia de las cuatro analizadas que puede lograr los objetivos de reducción de emisiones a nivel mundial es el decrecimiento, que combina un cambio rápido y radical a vehículos eléctricos más ligeros y modos de transporte no motorizados junto con una drástica reducción de la demanda total de transporte.

El otro gran objetivo de los modelos MEDEAS es facilitar a los ciudadanos una comprensión del problema de la sostenibilidad global. Para ello se ha desarrollado, utilizando MEDEAS-W, un juego de simulación participativa para que cualquier persona pueda testear políticas de reducción de emisiones de GEI a nivel global y ver sus efectos económicos y ambientales. El juego llamado *Global Sustainability Crossroads* se basa en un interfaz que permite realizar simulaciones con el modelo. El interfaz del juego está disponible para todos a quienes les interese (tanto en versión en inglés como en castellano) en la página web del grupo

(www.geeds.es/global-sustainability-crossroads) y la descripción del juego y las experiencias pedagógicas llevadas a cabo hasta diciembre de 2018 se han publicado en la revista *Sustainability* (Capellán-Pérez, Álvarez-Antelo y Miguel, 2019).

MEDEAS se ha utilizado también para otros estudios científicos, por ejemplo, el análisis de los objetivos del “Energy Roadmap 2050”, empleando el modelo MEDEAS-EU (Nieto *et al.*, 2020), o el estudio de la tasa de retorno energético (TRE) dinámica y los requerimientos de materiales en la transición global a las energías renovables (Capellán-Pérez, de Castro y Miguel González, 2019).

4. BREVE DESCRIPCIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y ENLACES RELEVANTES

El grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid lo formamos un grupo de profesores e investigadores de diversas áreas de conocimiento, tales como Economía Aplicada, Física, Ingeniería Eléctrica, Sociología o Ingeniería de Sistemas y Automática. Todos nosotros compartimos una preocupación personal y profesional por el desarrollo humano sostenible, que ha conducido una parte importante de nuestra trayectoria académica y compromiso social. (<https://geeds.es/>). De esta forma hemos intentado acercar nuestras preocupaciones como ciudadanos del mundo a la investigación académica en la universidad.

Nuestras líneas de investigación se centran en la energía y la economía, como factores clave de la tecnología y la vida; y en la dinámica de sistemas, como la herramienta más adecuada para analizar las complejas relaciones entre algunas de las variables que influyen en la sostenibilidad y el desarrollo, con una visión sistémica. Participamos en distintos proyectos de investigación tanto nacionales como internacionales, entre ellos el mencionado MEDEAS (www.medeas.eu/), recientemente finalizado, LOCOMOTION (www.locomotion-h2020.eu) o MODESLOW.

REFERENCIAS

CAPELLÁN-PÉREZ, I., ÁLVAREZ-ANTELO, D. y MIGUEL, L. J. (2019). Global Sustainability Crossroads: A Participatory Simulation Game to Educate in the Energy and Sustainability Challenges of the 21st Century. *Sustainability*, 11 3672. <https://doi.org/10.3390/su11133672>

CAPELLÁN-PÉREZ, I., DE BLAS, I., NIETO, J., DE CASTRO, C., MIGUEL, L. J., CARPINTERO, Ó., MEDIAVILLA, M., LOBEJÓN, L. F., FERRERAS-ALONSO, N., RODRIGO, P., FRECHOSO, F. y ÁLVAREZ-ANTELO, D. (2020). MEDEAS: a new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints. *Energy Environ. Sci.* <https://doi.org/10.1039/C9EE02627D>

CAPELLÁN-PÉREZ, I., DE CASTRO, C. y MIGUEL GONZÁLEZ, L. J. (2019). Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100399. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100399>

DE BLAS, I., MEDIAVILLA, M., CAPELLÁN-PÉREZ, I. y DUCE, C. (2020). The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm. *Energy Strategy Reviews*, 32, 100543. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100543>

NIETO, J., CARPINTERO, Ó., LOBEJÓN, L. F. y MIGUEL, L. J. (2020). An ecological macroeconomics model: The energy transition in the EU. *Energy Policy*, 145, 111726. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111726>