

# Unidad de Análisis de Sistemas de CIEMAT. Marco FISA y modelo TIMES-Spain

*Yolanda Lechón y Santacruz Banacloche\**

## 1. OBJETIVO DE LA HERRAMIENTA Y APLICACIONES PREFERENTES

El marco para el análisis integrado de la sostenibilidad denominado FISA, por sus siglas en inglés *Framework for Integrated Sustainability Assessment*, tiene por objetivo analizar la sostenibilidad, principalmente en el campo de las inversiones en energías renovables, teniendo en cuenta los impactos ambientales, socioeconómicos y sociales de la producción de bienes y servicios a lo largo de su cadena de valor.

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

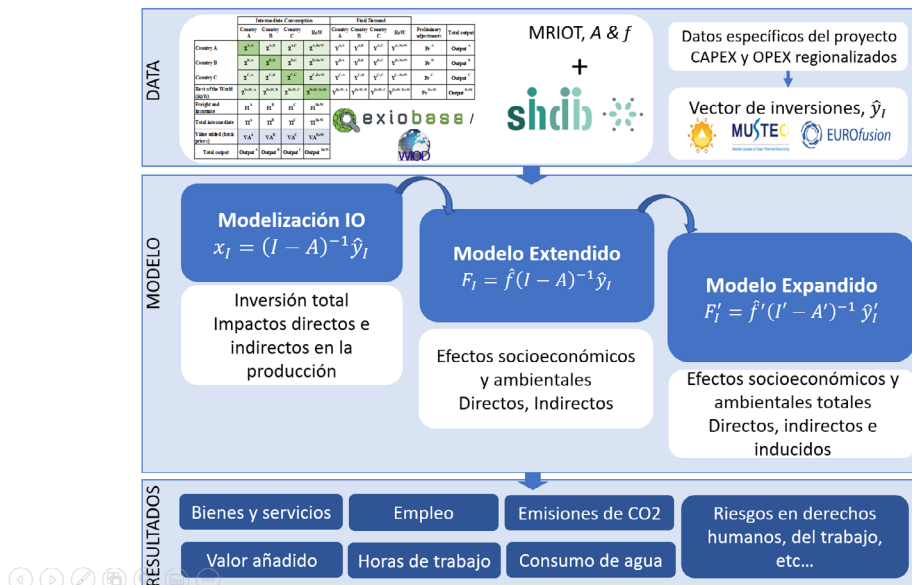
Gracias al enfoque multirregional de la metodología *Input-Output (Multiregional Input-Output "MRIO")*, se miden los efectos totales (directos, indirectos e inducidos) de cualquier producto o servicio a lo largo de su cadena de suministro, derivados de un aumento en la demanda de bienes y servicios en los diferentes sectores económicos y países involucrados en la cadena de valor. En segundo lugar, la dimensión social se integra en FISA con información de riesgos sociales incluidos en la base de datos SHDB (por sus siglas en inglés, *Social Hotspot Database*). Esta combinación tiene como resultado la creación del "Índice Social del Proyecto" o PSI (por sus siglas en inglés, *Project Social Index*), que permite identificar los puntos sociales críticos del proyecto, o también llamados PSH (por

---

\* Unidad de Análisis de Sistemas, CIEMAT.

Figura 1

## Representación del modelo FISA para el análisis de sostenibilidad de inversiones



sus siglas en inglés, *Project Social Hotspots*). Los PSH corresponden a aquellos sectores económicos que resultan más estimulados por el proyecto (en términos de horas de trabajo) pero también los que albergan altos riesgos sociales (Rodríguez-Serrano, 2017).

Para adaptar el modelo *Input-Output* a las inversiones en energía, una vez elegida la tabla MRIO, el próximo paso es crear vectores de inversión. Junto con las dos herramientas previamente expuestas, el marco FISA requiere de datos específicos del proyecto de inversión (para las fases de inversión y operación y mantenimiento). La figura 1 explica la adaptación del modelo a inversiones en energía ( $y_I$ ), donde modelamos una demanda final de bienes y servicios necesarios para la instalación y operación y mantenimiento de inversiones en energía. Para ello, necesitamos los siguientes datos:

- Localización de la inversión: país/región anfitriona.

- Lista detallada de costes asociados a los bienes y servicios necesarios para el despliegue de la tecnología en las fases de inversión y operación y mantenimiento.
- País de origen de los componentes, bienes y servicios.
- Aspectos tecnoeconómicos (vida útil de los componentes, tasa de descuento, tipo de cambio, tasa de inflación).

FISA puede ser aplicado a casos de estudio específicos que parten de datos del proceso; así como también a escala nacional para inversiones con un impacto macroeconómico. Toda esta información es necesaria para adaptar los datos específicos de costes a la tabla MRIO. El siguiente paso es asignar los valores relativos a los costes de inversión en un sector y país de origen de la tabla MRIO. Finalmente, combinando los datos procedentes de las MRIOT y de los costes específicos, se obtienen los indicadores de sostenibilidad.

### 3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Este marco se ha utilizado principalmente en el campo de las inversiones en energía relacionados con la termosolar (Banacloche *et al.*, 2020b; Herrera *et al.*, 2020; Rodríguez-Serrano *et al.*, 2017). Otros ejemplos que beben del marco FISA son los estudios realizados por la Unidad en proyectos como EUROFusion (Banacloche *et al.*, 2020a), o BIOSOL (Banacloche, Herrera y Lechón, 2020c).

## 4. MODELO TIMES-SPAIN

### 4.1. Objetivo de la herramienta y aplicaciones preferentes

El modelo energético TIMES-Spain es un modelo de optimización energética de la familia TIMES. El generador de modelos energéticos TIMES ha sido desarrollado dentro del Programa de Cooperación Tecnológica de la Agencia Internacional de la Energía de Análisis de Sistemas de Tecnología Energética (ETSAP). TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System)(IEA-ETSAP, 2020) es un

generador de modelos de optimización para estimar la dinámica energética a largo plazo y con múltiples períodos. Los modelos de optimización TIMES tienen como objetivo suministrar servicios de energía al mínimo coste al tomar simultáneamente decisiones de inversión y operación en equipos, suministro de energía primaria y comercio de energía. Las decisiones de inversión realizadas por los modelos se basan en el análisis de las características de las tecnologías de generación alternativas, en el análisis económico del suministro de energía y en criterios ambientales (Loulou *et al.*, 2005).

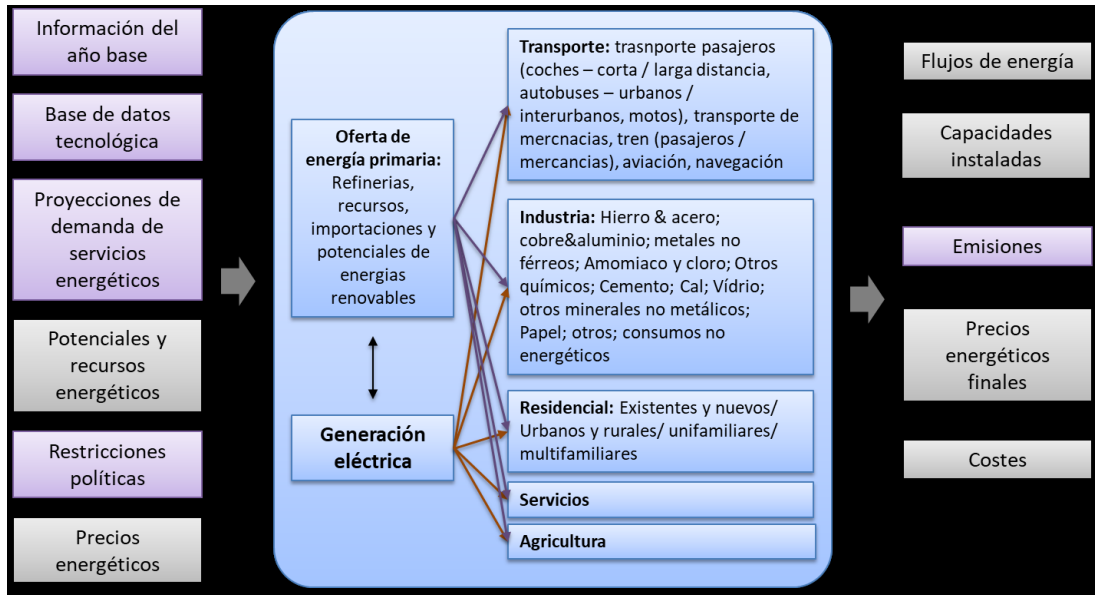
#### **4.2. Descripción breve: introducción cualitativa, formulación matemática esquemática, tipos de datos necesarios, y enlaces a la documentación relevante**

En un modelo TIMES, el procedimiento de optimización encuentra la composición óptima de tecnologías energéticas y combustibles que minimizan el coste total del sistema en todo el horizonte de modelización. Para ello, todos los costes del sistema se descuentan al año base para hallar su valor presente neto. Los costes considerados son los siguientes:

- Costes de capital para invertir y/o dismantelar procesos.
- Costes de operación y mantenimiento fijos y variables.
- Coste de las importaciones y de la producción de recursos energéticos internos.
- Ingresos por exportaciones.
- Gastos de distribución de los productos consumidos.
- Impuestos y subsidios asociados con los flujos de productos básicos, inversiones, etcétera.
- Valor de rescate de procesos y productos al final del horizonte.
- Pérdida de bienestar resultante de la reducción de las demandas de uso final.

Figura 2

## Diagrama esquemático del modelo TIMES-Spain



La función objetivo en TIMES consiste en la minimización de la suma descontada de todos estos costes anuales. La consecuencia de minimizar la función objetivo, sujeto a las limitaciones derivadas de los límites del sistema energético (capacidades existentes, tecnologías y potenciales) y las añadidas por el modelador (límites de emisiones, límites de capacidad, etc.), es la creación de las curvas de suministro que satisfacen la demanda exógena de servicios energéticos (Loulou *et al.*, 2016).

El modelo energético TIMES-Spain ha sido desarrollado por el CIEMAT en el marco de varios proyectos europeos (García-Gusano, 2014; Labriet *et al.*, 2010). TIMES-Spain es un modelo energético de una región utilizado para el modelado del sistema energético español a medio y a largo plazo.

En TIMES-Spain, el sector de suministro de energía consiste en la producción y transformación de combustibles y la producción de electricidad y calor. El modelo contiene datos sobre producción primaria de combustibles fósiles no transfor-

ados, biomasa y combustible nuclear, basados en los potenciales y reservas de recursos energéticos actuales y futuros.

Las transformaciones secundarias consisten en actividades de las refinerías, las plantas de producción de otros combustibles y las tecnologías de producción de electricidad y calor. Esta energía de uso final satisface la demanda de servicios energéticos para los sectores agrícola, residencial, comercial, industrial y de transporte (ver figura 2). Las importaciones y exportaciones de energía también se describen en el modelo. Asimismo, TIMES-Spain contiene datos de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> derivados de la combustión de combustibles, así como algunos factores de emisión extra para procesos sin combustión. El modelo también incluye los potenciales de captura de carbono.

### 4.3. Ejemplo de aplicación

El análisis de escenarios utilizando estos modelos energéticos permiten definir la composición del sistema energético a medio y largo plazo bajo diferentes escenarios políticos y climáticos teniendo en cuenta los futuros desarrollos tecnológicos y la evolución de los costes de las distintas tecnologías.

Permiten, por tanto, anticipar el papel que las distintas tecnologías pueden tener en escenarios energéticos futuros. Estas herramientas son ampliamente utilizadas en las evaluaciones prospectivas de sistemas energéticos por parte de centros de investigación, universidades, organizaciones y administraciones públicas nacionales e internacionales (ver <https://iea-etsap.org/index.php/applications>).

### 4.4. Breve descripción del grupo de investigación y enlaces relevantes

La Unidad de Análisis de Sistemas Energéticos del CIEMAT (<http://rdgroups.ciemat.es/web/ase/>) centra sus actividades en:

- El análisis de la sostenibilidad de tecnologías energéticas mediante la utilización de las metodologías de Análisis de Sostenibilidad de Ciclo de Vida que incluye

las dimensiones medioambiental (análisis de ciclo de vida ambiental), social (análisis de ciclo de vida social) y económica (análisis de costes de ciclo de vida). En este último aspecto, la unidad ha trabajado en el desarrollo y aplicación de la metodología de evaluación de externalidades ExterneE (<http://www.externe.info>) a tecnologías energéticas y al transporte.

- El análisis de las implicaciones socioeconómicas de las inversiones en tecnologías energéticas mediante el uso de la metodología de análisis *input output* multirregional y sus extensiones e hibridaciones para evaluar algunos aspectos medioambientales, sociales, económicos y geopolíticos.
- El análisis de políticas energéticas y de cambio climático mediante el uso de metodologías de análisis coste beneficio.
- La modelización de sistemas energéticos nacionales y globales mediante el uso de modelos de optimización de equilibrio parcial del tipo TIMES.

## REFERENCIAS

BANACLOCHE, S., GAMARRA, A. R., LECHON, Y. y BUSTREO, C. (2020a). Socioeconomic and environmental impacts of bringing the sun to earth: A sustainability analysis of a fusion power plant deployment. *Energy*, 209, 118460. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118460>

BANACLOCHE, S., GAMARRA, A. R., TÉLLEZ, F. y LECHÓN, Y. (2020b). Sustainability assessment of future CSP cooperation projects in Europe: MUSTEC deliverable D9.1.

BANACLOCHE, S., HERRERA, I. y LECHÓN, Y. (2020c). Towards energy transition in Tunisia: Sustainability assessment of a hybrid concentrated solar power and biomass plant. *Sci. Total Environ.*, 744, 140729. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140729>

GARCÍA-GUSANO, D. (2014). A long-term analysis of the Spanish environmental policies using the life cycle assessment method and enegy optimization modeling.

HERRERA, I., RODRÍGUEZ-SERRANO, I., LECHÓN, Y., OLIVEIRA, A., KRÜGER, D. y BOUDEN, C. (2020). Sustainability assessment of a hybrid CSP/biomass. Results of a prototype plant in Tunisia. *Sustain. Energy Technol. Assessments*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100862>

IEA-ETSAP (2020). Times [WWW Document]. URL <https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times> (accessed 11.12.20).

LABRIET, M., CABAL, H., LECHÓN, Y., GIANNAKIDIS, G. y KANUDIA, A. (2010). The implementation of the EU renewable directive in Spain. Strategies and challenges. *Energy Policy*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.015>

LOULOU, R., LEHTILÄ, A., KANUDIA, A., REMME, U. y GOLDSTEIN, G. (2016). Documentation for the TIMES Model. PART II.

LOULOU, R., REMNE, U., KANUDIA, A., LEHTILA, A. y GOLDSTEIN, G. (2005). Documentation for the TIMES Model PART I.

RODRÍGUEZ-SERRANO, I. (2017). *A Framework for Integrated Sustainability Assessment to support decision making. Application to solar thermal and natural gas combined cycle electricity production in Mexico*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.46746>

RODRÍGUEZ-SERRANO, I., CALDÉS, N., RÚA, C. D. L. C. DE LA y LECHÓN, Y. (2017). Assessing the three sustainability pillars through the Framework for Integrated Sustainability Assessment (FISA): Case study of a Solar Thermal Electricity project in Mexico. *J. Clean. Prod.*, 149, pp. 1127–1143.