

Basque Center for Climate Change (BC3). Modelo DENIO: modelo Dinámico Econométrico Neokeynesiano *Input-Output* para España

Iñaki Arto, Kurt Kratena**, Xaquín García-Muros*, Ignacio Cazcarro***
y Mikel González-Eguino**

1. OBJETIVO

DENIO es un modelo dinámico econométrico neokeynesiano diseñado para la evaluación del impacto económico de escenarios y políticas en España, en especial aquellas relacionadas con la energía y el cambio climático (despliegue de energías renovables y tecnologías limpias, electrificación, eficiencia energética, rehabilitación, impuestos ambientales, etc.). El modelo analiza el impacto de estas políticas en una serie de variables socioeconómicas como el empleo, producto interior bruto (PIB), balanza comercial, renta/gasto/riqueza de los hogares y su distribución, ahorro cuentas de las administraciones públicas, deuda privada y pública, inflación, etc. (el cuadro 1 recoge un resumen de algunas de las principales variables socioeconómicas calculadas por DENIO).

El modelo está programado en GAMS y se resuelve como un sistema restringido de ecuaciones no lineales. El sistema se resuelve anualmente para la serie temporal comprendida entre el año base y el horizonte temporal de la simulación. DENIO puede utilizarse tanto en solitario como en combinación con modelos energéticos *bottom-up*.

* Low Carbon Group Line, Basque Centre for Climate Change, BC3.

** Centre of Economic Scenario Analysis and Research, CESAR.

*** Agencia Aragonesa para la Investigación y el Desarrollo, ARAID.

Cuadro 1

Cuadro resumen de principales variables socioeconómicas calculadas por DENIO

PIB y precios	Empleo	Cuentas de las AA.PP	Renta, riqueza hogares	Consumo hogares
<i>PIB: demanda</i>	<i>Total empleos</i>	<i>Ingresos AA.PP.</i>	<i>Renta: quintiles</i>	<i>Consumo: quintiles</i>
Consumo hogares	Mujeres	Impto. rentas, patrimonio, etc.	Quintil 1	Quintil 1
Consumo AAPP	Hombres	Impto. producción, productos	Quintil 2	Quintil 2
Formación bruta capital	Agricultura	Contribuciones Seg. Soc.	Quintil 3	Quintil 3
Exportaciones	Minería	Otros ingresos	Quintil 4	Quintil 4
Importaciones	Industria	<i>Gastos AA.PP.</i>	Quintil 5	Quintil 5
Imp. energéticas	Construcción	Transferencias	<i>Renta: componentes</i>	<i>Consumo: categorías</i>
Imp. no energéticas	Energía	Intereses deuda	Salarios	Alimentación
<i>PIB: oferta</i>	Servicios	Formación bruta capital	EBE, renta mixta	Vestido
Agricultura		Consumo	Rentas propiedad	Equipamiento hogar
Minería		Otros gastos	Impto. renta, patrimonio	Salud
Industria		<i>Cap.-nec. financiación</i>	Cotizaciones	Comunicaciones
Construcción		<i>Cap.-nec. financiación/PIB</i>	Prestaciones	Educación
Energía		<i>Deuda pública</i>	Otras transferencias	Hostelería
Servicios		<i>Deuda pública / PIB</i>	<i>Número hogares</i>	Seguros, serv. fin.
Impto. productos			Vulnerables	Otros servicios
<i>PIB: rentas</i>			No vulnerables	Electricidad
Salarios			<i>Ahorro bruto</i>	Calefacción
EBE, renta mixta			<i>Préstamos netos</i>	Carburantes
Impto. producción			<i>Deuda hogares</i>	Transporte
<i>Índice precios consumo</i>			<i>Activos hogares</i>	Electrodomésticos
				Vivienda
				Vehículos

Fuente: Elaboración propia.

2. DESCRIPCIÓN

DENIO es un híbrido entre un modelo econométrico *input-output* y un modelo de equilibrio general computable (CGE). El modelo está inspirado en el modelo FIDELIO (*Fully Interregional Dynamic Econometric Long-term Input-Output Model*) de la Comisión Europea (Kratena *et al.*, 2013; Kratena *et al.* 2017). Este modelo ha sido utilizado por la Comisión Europea para la evaluación del impacto económico del *Clean Air Package* (Arto *et al.*, 2015) o el análisis de los efectos políticas proteccionistas en los Estados Unidos (Salotti *et al.*, 2019).

DENIO se caracteriza por la integración de las rigideces y las fricciones institucionales que hacen que en el corto plazo las políticas fiscales y las inversiones tengan un impacto diferente que a largo plazo. En el largo plazo, la economía converge hacia un equilibrio de pleno empleo y en esa fase de equilibrio el modelo funciona de manera similar a un modelo CGE. Sin embargo, a diferencia de un modelo CGE, DENIO describe explícitamente una senda de ajuste hacia este equilibrio. En DENIO actúan dos mecanismos que determinan la característica keynesiana del modelo en el corto plazo y la característica CGE a largo plazo: (i) la heterogeneidad de la propensión marginal al consumo respecto a la renta disponible, según la situación del sector financiero; (ii) el efecto sobre salarios/precios cuando la economía está en o por debajo de la tasa de paro de equilibrio. La propensión marginal al consumo también varía según grupos de renta.

DENIO es un modelo macroeconómico en el cual están representados los principales agentes de la economía en una serie de módulos: empresas/producción, hogares/consumo, mercado laboral, comercio internacional, gobierno, y energía y emisiones (parte central de la figura 1). El modelo incluye un total de 74 sectores (de los cuales 13 son energéticos), 88 productos (25 energéticos), 22.000 tipos de hogares y 16 categorías de consumo. Los parámetros del modelo se han estimado econométricamente utilizando datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INE) y del Banco de España (e.g. *Tablas de Origen y Destino del marco Input-Output de la Contabilidad Nacional*, *Cuentas Anuales no Financieras de los Sectores Institucionales*, *Encuesta de Población Activa*, *Encuesta de Presupuestos Familiares*, *Encuesta de Condiciones de Vida*, *Estadística Estructural de Empresas del Sector Industrial*, *Cuentas de los Flujos Físicos de la Energía*, las *Cuentas Financieras de la Economía Española*, *Encuesta Financiera de las Familias*, etc.).

Figura 1

Componentes del modelo DENIO e integración con modelos *bottom-up* del sistema energético



Fuente: Elaboración propia.

El crecimiento económico en DENIO depende del aumento de la productividad total de los factores a la cual corresponde una senda de precios y, por lo tanto, de competitividad de las exportaciones. Las exportaciones son exógenas y se ajustan en el escenario base a la senda del crecimiento del PIB. Las importaciones son endógenas y no hay ninguna condición de equilibrio sobre el balance exterior.

El módulo de demanda de los hogares comprende tres niveles en los que se determina la demanda que hacen los 22.000 tipos de hogares para un total de dieciséis categorías de gasto. En el primer nivel se deriva la demanda de bienes duraderos (viviendas y vehículos) y la demanda total de no duraderos. El segundo nivel vincula la demanda de energía en unidades monetarias y físicas (Terajulios) con el *stock* de bienes duraderos (casas, vehículos, electrodomésticos), teniendo en cuenta la eficiencia energética del *stock*. En el tercer nivel se determinan nueve categorías de demanda de bienes de consumo no duraderos en un sistema de demanda flexible (*Almost Ideal Demand System*, AIDS). Por último, el gasto total que hacen los hogares de esas dieciséis categorías de consumo (a precios de adquisición) se transforma en un vector de consumo de 88 productos a precios bási-

cos utilizando una matriz-puente producto/gasto y las matrices de valoración proporcionadas por el INE. El modelo está estimado utilizando microdatos de la *Encuesta de Presupuestos Familiares* y de la *Encuesta de Condiciones de Vida*. Los microdatos de ambas encuestas han sido fusionados utilizando un Statistical Matching

El núcleo *Input-Output* del modelo se basa en tablas de Origen y Destino elaboradas por el INE. El modelo de producción vincula las estructuras de producción (tecnologías Leontief) de los 74 sectores y 88 productos a un modelo Translog con cuatro factores de producción (capital, trabajo, energía y resto de *inputs* intermedios). La demanda del factor energía se divide en 25 tipos que a su vez se enlazan con el modelo en unidades físicas (Terajulios y toneladas de CO₂). El conjunto de categorías de energía del modelo se vincula directamente con dos partes del modelo: i) las cuentas físicas (Terajulios) de energía por industria (74 + hogares) y tipo de energía (25); ii) los productos e industrias de la energía de las tablas de Origen y Destino en unidades monetarias. Para ello se utilizan una serie de precios implícitos que vinculan usos/producción de energía en unidades física (TJ) y en términos monetarios. El módulo energético de DENIO describe, por tanto, la producción y uso de energía de los diferentes agentes de la economía, incluyendo las diferentes ramas de actividad del sector energético, los sectores no energéticos y los hogares.

El elevado nivel de detalle en término de ramas de actividad del sector energético (13) y productos energéticos (25), permite enlazar el modelo DENIO con modelos energéticos *bottom-up*. De esta forma los ejercicios de evaluación se benefician de la mejor representación de las tecnologías relacionadas con las políticas energéticas de los modelos *bottom-up* y de la representación del conjunto de la economía de DENIO. Por ejemplo, en diversos ejercicios de evaluación de políticas, el modelo se ha utilizado en combinación con los modelos energéticos TIMES-SINERGIA, ROM y modelos de Red Eléctrica Española (figura 1). En concreto, DENIO toma de estos modelos datos como el *mix* energético y eléctrico, la intensidad/eficiencia energética, los precios energéticos o las inversiones. Esta información es utilizada por DENIO para analizar los impactos económicos de las diferentes medidas en variables socioeconómicas clave.

La demanda de *inputs* intermedios no-energéticos se modela en tres pasos. En primer lugar, se utiliza un modelo Translog que estima la demanda total de intermedios de cada sector productivo. En segundo lugar, esta demanda se desagrega utilizando las estructuras productivas de la Tabla de Origen del marco *Input-Output*. Por último, la demanda intermedia se divide en productos nacionales e importados. La formación de capital también es endógena y se deriva de la demanda de capital por sector del modelo Translog, aplicando la matriz de formación de capital producto/sector.

El mercado laboral se especifica a través de curvas salariales, donde los aumentos salariales por industria dependen de la productividad, el índice de precios al consumo y la distancia al pleno empleo.

El modelo se cierra mediante la endogeneización de partes del gasto e inversión públicos para cumplir con el programa de estabilidad a medio plazo para las finanzas públicas. Ese mecanismo de cierre de modelo forma parte del módulo del sector público. Ese módulo integra varios componentes de ingresos endógenos: impuestos a la renta (con tipos variables en función de la renta de cada hogar), al patrimonio, al capital, a los productos y a la producción, y cotizaciones a la Seguridad Social. Los pagos de interés por la deuda pública también son endógenos y dependen de la senda de la deuda pública. El consumo público y la inversión son endógenas por el cierre de modelo descrito arriba.

3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

DENIO ha sido utilizado para la evaluación del impacto económico de diferentes planes y estrategias diseñadas por el Gobierno de España como el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, PNIEC 2021-2030 (González-Eguino *et al.*, 2020; MITECO, 2020a, b), la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, ELP 2050 (MITECO, 2020c) o la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España, ERESEE 2020 (Arto *et al.*, 2019; MITMA, 2020).

En el País Vasco también se ha utilizado un modelo de características similares a DENIO (DERIO: *Dynamic Econometric Regional Input-Output model*) para

analizar el impacto económico de políticas en esta región. En concreto, DERIO se ha utilizado en la evaluación de la Estrategia de Cambio Climático 2050 del País Vasco.

4. DESCRIPCIÓN DEL GRUPO

El grupo de investigación Low Carbon del Basque Centre for Climate Change (BC3) comenzó su andadura en el año 2013. En la actualidad está compuesto por dieciséis personas de diferentes disciplinas cuya labor investigadora se centra en generar conocimiento que contribuya a la toma de decisiones en el proceso de transición hacia una sociedad baja en carbono. Para ello, el grupo desarrolla herramientas y metodologías para el estudio de las implicaciones sociales, económicas, ambientales y de la transición y el diseño de políticas que faciliten este proceso de una forma justa y equitativa. La actividad del grupo de investigación se caracteriza por su enfoque transdisciplinar, integrador y multiescalar. Desde su creación en 2013 el grupo ha participado en un gran número de proyectos de carácter internacional, incluyendo tres proyectos europeos del 7º Programa Marco (COMPLEX, FLAGSHIP, CECILIA2050), tres proyectos europeos Horizonte 2020 (TRANSrisk, PARIS REINFORE, LOCOMOTION), un proyecto LIFE (URBAN KLIMA 2050) y un proyecto financiado por el International Development Research Centre (DECCMA). También ha trabajado para diversos organismos internacionales (World Bank, World Health Organization, Food and Agriculture Organization, Joint Research Centre) y nacionales (Ministerio para la Transición Ecológica, Ministerio de Fomento, Gobierno Vasco). Asimismo, desde su creación en 2013, el grupo ha publicado más de 80 artículos en revistas científicas, así como numerosos documentos científico-técnicos y ha dirigido cinco tesis doctorales.

REFERENCIAS

ARTO, I., GONZÁLEZ-EGUINO, M., RODRÍGUEZ-ZUÑIGA, A. y TOMÁS, M. (2019). Impacto económico de la rehabilitación energética de viviendas en España en el periodo 2021-2030. Estudio (07) para la ERESEE 2020 “Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España”.

Ministerio de Fomento, Subdirección General de Políticas Urbanas, Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo.

ARTO, I., KRATENA, K., AMORES, A. F., TEMURSHOEV, U. y STREICHER, G. (2015). *Market-based instruments to reduce air emissions from household heating appliances. Analysis of scrappage policy scenarios*. Luxembourg: European Commission. ISBN 978-92-79-50850-9.

GONZÁLEZ-EGUINO, M., ARTO, I., RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA, A., GARCÍA-MUROS, X., SAMPEDRO, J., KRATENA, K., CAZCARRO, I., SORMAN, A. H., PIZARRO-IRÍZAR, C. y SANZ-SÁNCHEZ, M. J. (2020). Análisis de impacto del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 de España. *Papeles de Economía Española*, 163, pp. 9-22.

KRATENA, K., STREICHER, G., SALOTTI, S., SOMMER, M. y VALDERAS JARAMILLO, J. M. (2017). *FIDELIO 2: Overview and theoretical foundations of the second version of the Fully Interregional Dynamic Econometric Long-term Input-Output model for the EU-27*. Luxembourg: European Commission. ISBN 978-92-79-66258-4.

KRATENA, K., STREICHER, G., TEMURSHOEV, U., AMORES, A. F., ARTO, I., MONGELLI, I., NEUWAHL, F., RUEDA-CANTUCHE, J. M. y ANDREONI, V. (2013). *FIDELIO 1: Fully Interregional Dynamic Econometric Long-term Input-Output Model for the EU27*. Luxembourg: European Commission. ISBN 978-92-79-30009-7.

MITECO, MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. (2020a). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, PNIEC 2021-2030*.

— (2020b). *Impacto económico, de empleo, social y sobre la salud pública del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*.

— (2020c). *Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, 2050. Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050*.

MITMA, MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. (2020). ERESEE 02020, Actualización 2020 de la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España.

SALOTTI, S., ROCCHI, P., RUEDA-CANTUCHE, J. M. y ARTO, I. (2019). *Macroeconomic effects of US tariffs on steel and aluminium: who would pay the bill?* Luxembourg: European Commission. ISBN 978-92-76-08299-6.