



Universidad de Valladolid

**Facultad de Ciencias Económicas
y Empresariales**

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Economía

**La distribución de la renta en
los modelos de evaluación
integrada**

Presentado

por:

Sara Pavesio Velasco

Tutelado por:

Óscar Carpintero y Jaime Nieto

RESUMEN

La economía tiene dos retos fundamentales, la distribución de la renta y el cambio climático. cuyas relaciones apenas han sido estudiadas. Sin embargo, las relaciones entre la economía y el cambio climático sí han sido analizadas, por ejemplo, por los modelos de evaluación integrada (IAM), de gran relevancia internacional. Este trabajo se centra en analizar el papel jugado por la distribución de la renta en los IAM, diferenciando aquellos que han incorporado esta dimensión (y los resultados obtenidos), respecto de los que no lo han hecho (que han sido la gran mayoría). En este sentido, se concluye que, efectivamente, la relación de la distribución de la renta con el cambio climático necesita una mayor atención sobre todo por las posibilidades que permite su introducción en las políticas medioambientales de cara a atender conjuntamente ambas cuestiones primordiales de la economía.

Palabras clave: Modelos de Evaluación Integrada (IAM), distribución de la renta y agente representativo.

Códigos de clasificación JEL (Journal of Economic Literature): C6, E1, Q01

ABSTRACT

The world economy faces two major challenges: income inequality and climate change, whose relations have been barely studied. Some links between the economy and climate change have been analyzed, namely with the use of Integrated Assessment Models (IAMs). This paper is focused on analysing the role played by income distribution in IAMs, differentiating between the models that have incorporated income distribution as well as the ones that have not, and interpreting the models' consequent results. The findings lead to the conclusion that more analysis and research is needed on the relationship between income distribution and climate change, especially due to the prospects that incorporating such a dynamic has for combatting the global economy's current challenges.

Key words: Integrated assessment model (IAM), income distribution and representative agent

(Journal of Economic Literature): C6, E1, Q01, Q56

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	3
INDICE DE ILUSTRACIONES	3
GLOSARIO DE ACRÓNIMOS.....	4
1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	6
2. MODELOS DE EVALUACIÓN INTEGRADA	8
2.1 Concepto.....	8
2.2 Historia.....	9
2.3 Clasificación y características de los IAM	11
2.4 Críticas a los IAMs.....	15
3. ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA RENTA EN LOS IAM.....	19
3.1 Modelos sin distribución de renta especificada	19
3.2 Modelos con distribución de la renta especificada	21
EUROGREEN	23
E3ME	26
GEM-E3-FIT.....	28
MEDEAS.....	30
4. CONCLUSIONES.....	32
5. BIBLIOGRAFIA.....	36

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENTRE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN Y DE SIMULACIÓN	13
TABLA 2.2 DIFERENCIAS CRÍTICAS EN LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN Y SIMULACIÓN	14
TABLA 2.3 CRÍTICAS GENERALES A LOS IAMs DIFERENCIADAS POR TIPO DE MODELO	16
TABLA 3.1 MODELOS SIN DISTRIBUCIÓN DE LA RENTA ESPECIFICADA.....	19
TABLA 3.2 RESUMEN IAM CON DIVISIÓN POR RENTA ESPECIFICADA	22

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 3. 1 EMISIONES GHG Y DESIGUALDAD.....	24
ILUSTRACIÓN 3.2: IMPACTO DE LA RENTA REAL DISPONIBLE EN 2030 EN LA UE27, % DE DIFERENCIA CON RESPECTO AL AÑO BASE, 2030	28

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

<i>ACRONYM</i>	<i>MEANING</i>	<i>TRANSLATION</i>
<i>IAMs</i>	Integrated Assessment Models	Modelos de evaluación integrada
<i>UNCHS</i>	United Nations Conference on the Human Environment	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano
<i>MIT</i>	Massachusetts Institute of Technology	Instituto de tecnología de Massachusetts
<i>IIASA</i>	International Institute for Applied System Analysis	Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados
<i>COPs</i>	Conferences of the Parties	Conferencia de las partes
<i>EFM</i>	Energy Modelling Forum	Foro de Modelado de Energía
<i>ASF</i>	Model of Atmospheric Stabilization Commitment	Modelo de compromiso de estabilización atmosférica
<i>PAGE</i>	Policy Analysis of the Greenhouse Effect	Análisis político del efecto invernadero
<i>DICE</i>	Dynamic Integrated Climate-Economy model	Modelo dinámico integrado de Clima y Economía
<i>RICE</i>	Regional Integrated Climate-Economy model	Modelo regional integrado de Clima y economía
<i>RAINS</i>	Regional Acidification Information and Simulation	Información y simulación de acidificación regional
<i>IPCC</i>	Intergovernmental Panel on Climate Change	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
<i>DSGE</i>	Dynamic Stochastic General Equilibrium	Equilibrio general dinámico estocástico
<i>CGE</i>	Computable General Equilibrium	Equilibrio general computable
<i>PEM</i>	Policy equilibrium models	Modelos de políticas de equilibrio
<i>POM</i>	Policy optimization models	Modelos de políticas de optimización

<i>RAA</i>	Representative agent assumption	Premisa del agente representativo
<i>ETS</i>	<i>Emission Trading System</i>	<i>Sistema de comercio de emisiones</i>
<i>NPR</i>	<i>New Productive Revolution</i>	<i>Nueva revolución productiva</i>
<i>EnM</i>	<i>Energy Mix</i>	<i>Mix de energía</i>
<i>BCA</i>	<i>Carbon tax and border carbon adjustment</i>	<i>Impuesto sobre el carbón y ajuste del carbono en la frontera</i>
<i>GG</i>	<i>GreenGrowth</i>	<i>Crecimiento Verde</i>
<i>PSE</i>	<i>Policies for social equity</i>	<i>Políticas para la equidad social</i>
<i>DG</i>	<i>De-growth</i>	<i>Decrecimiento</i>
<i>GEI</i>		<i>Gases de Efecto Invernadero</i>

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

A lo largo de toda la historia humana, la distribución de la renta se ha percibido como un problema colateral de la sociedad y del crecimiento económico, que se ha visto relegado, por algunos economistas, a un segundo plano. No obstante, la economía y el crecimiento económico dependen, en gran medida, de la distribución de la renta. Además, es la desigualdad en esta distribución uno de los primeros desafíos a los que se enfrenta la economía (Baer, 2009; Chancel & Piketty, 2021). Precisamente esta es una de las preocupaciones que motivan la realización de este trabajo.

Como es sabido, el análisis de la distribución de la renta se puede plantear desde dos perspectivas: la personal y la funcional. Por una parte, la distribución personal de la renta se refiere al reparto entre individuos de la sociedad, habitualmente ordenados según los percentiles de ingresos a los que pertenecen. Por ejemplo, cuanto mayor sea la diferencia entre los deciles superiores e inferiores, más transferencias y subvenciones necesitarán, y más probabilidades tendrán de residir en viviendas insalubres.

Por otra parte, en la distribución funcional o “de los factores”, se distingue entre las rentas salariales y las rentas del capital. También es conocida como la distribución primaria de la renta. Por ejemplo, el desarrollo tecnológico puede ocasionar que la oferta de mano de obra disminuya en ciertas áreas, reduciendo las rentas salariales (mayor número de perceptores) e incrementando las del capital (menor número de perceptores). Esto también se puede dar en sectores de mano de obra intensiva y poco eficientes, provocando que el desarrollo tecnológico genere desempleo. Dicho desempleo no se da de manera generalizada, sino que es mucho mayor en aquellos sectores donde los individuos están menos especializados y, por tanto, menos remunerados. Esto, a la larga, se traduce en una mayor desigualdad en los ingresos, un aumento del índice de Gini y un incremento de la polarización social.

Asimismo, la economía se enfrenta a un segundo problema, y es el que se da entre la economía y el cambio climático, donde la conexión es bidireccional. Por un lado, el cambio climático tiene efectos sobre la economía, que se traducen en

una disminución del crecimiento económico, como consecuencia de las políticas de mitigación del cambio climático o las pérdidas en materias primas derivadas de las temperaturas, fenómenos meteorológicos extremos y similares. Por otro lado, la economía también tiene efectos sobre el cambio climático, aumentando la velocidad de estos acontecimientos como consecuencia de la sobreexplotación de recursos, las emisiones de gases de efecto invernadero y los desechos que acaban siendo liberados en la naturaleza.

Este segundo aspecto suscitó la atención de dirigentes europeos y mundiales durante las últimas décadas, quedando reflejado en diversas conferencias, entre las que destacan las COPs y los informes del Grupo o Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés). Concretamente, el IPCC comienza a utilizar los modelos de evaluación integrada (IAM por sus siglas en inglés), con la finalidad de dar previsiones futuras sobre los efectos sobre el cambio climático de las diferentes políticas aplicables. Estos modelos interrelacionan la economía y el medioambiente intentando solucionar, o al menos paliar, las consecuencias derivadas del modelo económico actual.

Al principio del epígrafe se ha tratado la importancia de la distribución de la renta, tanto para la economía, como para el bienestar de la sociedad. Posteriormente, también se ha destacado la importancia de la economía como causa y consecuencia del cambio climático. No obstante, estas relaciones en la economía raramente se encuentran analizadas conjuntamente, a pesar de influenciarse de manera mutua. Por ejemplo, el nivel de renta afectaría a los impactos del cambio climático. Y de aquí emerge el interés por los IAM, que sí que han estudiado la relación entre cambio climático y economía. Por lo tanto, las preguntas que surgen son: ¿se suele considerar en estos modelos? En los casos que no, ¿por qué? En los casos que sí, ¿cómo se contempla y analiza?

Estas preguntas constituyen en parte el objetivo central de este trabajo que tiene también cuatro objetivos específicos:

1. Llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre cuál es el estado actual de la modelización de la distribución de la renta en los IAM.

2. Estudiar qué tipo de modelo tiene más fácil la introducción de la modelización de la renta, según el modelo económico subyacente.
3. En los casos que no se han llevado a cabo la distribución de la renta, entender las razones para no incorporarlo.
4. En los casos que, sí que se ha llevado a cabo, entender el modo en que se ha incorporado en las diferentes herramientas de modelado.

Para llevar esto a cabo, el trabajo se estructura en tres epígrafes principales. El primero (epígrafe 2), recoge la definición y características de los IAM, así como las críticas que han recibido. Además, se realiza una revisión bibliográfica sobre cómo se ha planteado teóricamente el modelado de los diferentes tipos, y cuáles son las características de las distintas teorías subyacentes.

En el segundo capítulo (epígrafe 3) se estudian modelos concretos donde la disparidad de renta está, o no, contemplada. Además de su posible utilidad, se analiza también la forma en que se ha incorporado esta dimensión (en el caso de que se haya hecho).

Para finalizar, el último capítulo (epígrafe 4) recoge las conclusiones y las respuestas a las preguntas planteadas, además de posibles futuras líneas de investigación y de incorporación de la distribución de la renta en los IAM.

2. MODELOS DE EVALUACIÓN INTEGRADA

2.1 Concepto

Los modelos de evaluación integrada (IAM) son programas computacionales cuyo objetivo es simular y describir el progreso del sistema energético global, en relación con la economía y el medio ambiente, usando para ello un gran número de variables y funciones (Bosetti, 2021; Nikas et al., 2018; D. H. Meadows et al., 1972). Los IAM destacan por su utilidad a la hora de analizar el efecto de las diferentes políticas que se puedan aplicar a nivel nacional o internacional. (Parson & Fisher-Vanden, 1997).

2.2 Historia

El auge del interés: El Club de Roma y los “Límites del crecimiento” (1960-1980)

Desde finales de los años 60 del siglo XX emergieron con mayor fuerza una serie de preocupaciones por el deterioro ambiental a escala global y la responsabilidad de la especie humana en ese proceso. Una responsabilidad que estaba muy ligada al modelo de producción y consumo imperante. La cumbre de Estocolmo sobre el “Medio Ambiente Humano” (1972) supuso, precisamente, una primera llamada de atención. En esa época, el Club de Roma¹ (creado en 1968) encargó a un equipo dirigido por el matrimonio Meadows la elaboración de un informe conocido posteriormente como “Los límites del crecimiento” (Meadows, et al., 1972), que fue publicado también en 1972 y generó una importante polémica. El objetivo principal de aquel trabajo era entender el comportamiento del sistema mundial a través de la interacción de los diferentes subsistemas (población, contaminación, consumo de energía renovable y no renovable, y producción de alimentos) y simular diferentes escenarios futuros en función de la evolución de esas variables y las sendas de agotamiento de los recursos naturales.

El modelo utilizado, “World3”, tuvo numerosas críticas, algunas de las cuales fueron asumidas desde el comienzo por parte de sus propios creadores, y que tenían que ver con cierta simplicidad del modelo y de los supuestos manejados, así como con la falta de datos y la ausencia de una desagregación regional que permitiera incorporar las relaciones Norte-Sur (Cragg, 1974; D. Meadows et al., 1982). No obstante, esta aportación constituyó el comienzo de lo que luego se han denominado modelos de evaluación integrada, a pesar de no haber recibido todavía dicho nombre. También supuso un cambio de la mentalidad hasta ese momento, pues puso el foco sobre la cuestión de si el modelo económico actual era sostenible o no. Una de sus conclusiones más conocidas fue la constatación

¹ El Club de Roma es una Organización no Gubernamental que se creó en 1968 por la unión de científicos e investigadores de los diferentes países y de diferentes contextos, y cuyo principal objetivo es llevar a cabo investigaciones y dar soluciones al problema de la humanidad”.

de que no parecía posible plantear una estrategia de crecimiento económico infinito en un planeta que, por definición, tenía espacio y recursos finitos.

Cabe añadir que, en estos años, aparecieron algunos problemas ambientales que traspasaban las fronteras nacionales, como por ejemplo el caso de las primeras lluvias ácidas (Esther Fleming, 2019). Estas lluvias, como ya había demostrado Eville Gorham², estaban influenciadas por la acción humana (Kowalok, 1993). Fue en este contexto en el que se creó -y salió a la luz años después en 1988- un modelo que pretendía incorporar las enseñanzas de la ecología, la meteorología y la tecnología para, así, ayudar a tomar decisiones políticas. Este modelo recibió el nombre de RAINS por las siglas de “Regional Acidification Information and Simulation”.

Es en esta década cuando los planteamientos y diálogos acerca de la insostenibilidad del modelo económico se asientan al formar parte de las discusiones en los organismos internacionales.

Como consecuencia de la primera crisis del petróleo (1973), se crea, en 1976, el Foro de Modelado Energético (EFM, por sus siglas en inglés) con la finalidad de estimar los acontecimientos futuros, y saber cómo actuar ante la siguiente crisis del petróleo (van Beek et al., 2020)³.

Uno de los autores más relevantes en el mundo de los IAM ha sido William Nordhaus, galardonado con el Nobel de Economía de 2018, quien se centró en la relación de la economía con el cambio climático y no tanto en los impactos de esta primera sobre el medio ambiente. Esto se materializó en el modelo “Dynamic Integrated Climate-Economy model” (DICE), cuya finalidad era encontrar el equilibrio a largo plazo del control de las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero (GEI) (Nordhaus, 1992). También, junto con este, se creó la versión regional “Regional Integrated Climate-Economy model”

² Ecologista y doctor canadiense en botánica.

³ También es en esta década cuando se introduce el concepto de decrecimiento con el debate entre Sicco Mansholt (presidente de la Comisión Europea) y Andre Gorz (filósofo, periodista y economista) que tiene lugar en París (Hughes & Paterson, 2017).

(RICE), capaz desagregar por regiones y viendo por tanto la desigualdad regional. Este autor, no obstante, recibió muchas críticas entre las que destacan las realizadas por Keen (2019) quien subraya, entre otras cosas, las incoherencias y debilidades de la función de daños y la tasa de descuento utilizadas por Nordhaus.

Desarrollo y asentamiento de los IAMs (1980- Actualidad)

En la década de los 80 es cuando se da el verdadero auge de los IAM. Se asientan los ya mencionados DICE, RICE o RAINS, pero también otros como, por ejemplo, el IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment).

Al igual que en las primeras dos conferencias de las partes (COPs), los IAM utilizados como apoyo en el protocolo de Kioto (1997) sirvieron para la simulación y predicción futura de las diferentes medidas que las partes acordaron aceptar, poniendo así el foco de atención en la lucha climática institucional.

En 2006, se publicó el conocido como informe Stern (2008) y, con ello, una gran cantidad de comentarios y críticas (Spash, 2007; Yohe & Tol, 2008) Principalmente, al igual que criticaron a Nordhaus, por las tasas de descuento y parámetros utilizados en la estimación, ya que apenas tenían relación con la realidad. Sin embargo, la conclusión de esta revisión era la diferencia que existiría en términos de costes entre la opción de no actuar (con costes muy superiores, en el entorno del 5-20 por 100 del PIB anual mundial) respecto a los costes de tomar medidas decididas de lucha contra el cambio climático (que el informe cifraba en el entorno del 1 por 100 del PIB anual mundial).

2.3 Clasificación y características de los IAM

La forma en la que se clasifican los distintos tipos de IAM ha sido muy variada a lo largo de toda la literatura. No obstante, en este trabajo nos centraremos en la división relevante para el análisis de la distribución de la renta, aunque mencionemos las otras grandes clasificaciones. Estos modelos se pueden clasificar en: determinísticos vs estocásticos, modelos económicos estándares vs biofísicos, modelos de equilibrio vs desequilibrio -donde destaca el modelo de

equilibrio general computable vs el modelo de simulación-, complejos vs no complejos o estáticos vs dinámicos (Babatunde et al., 2017; Por et al., 2020).

También, hay una posible clasificación, atendiendo al marco analítico, la estructura o cómo de integrados están los componentes fundamentales (Doukas & Nikas, 2020). Además, una de las primeras clasificaciones -y más comúnmente utilizadas- es la que distingue entre modelos coste-beneficio y “*detailed-process*” aunque, como bien sugiere Emmerling & Tavoni (2021), ambos tipos de modelos están igual de desarrollados en cuanto a la desagregación.

Como se constataba en la introducción, el objetivo de este trabajo es analizar el estado actual de la distribución de la renta en los IAM. Para lo que ahora nos interesa, la división será la establecida por Banuri et al., (2001) entre los modelos de optimización de políticas (POM, por sus siglas en inglés) y los modelos de simulación de políticas (PEM, por sus siglas en inglés), que se llamarán más adelante modelos de simulación.

Como podemos ver en la Tabla 2.1, la teoría económica que subyace a cada modelo puede ser diferente, al igual que las conclusiones. En el caso de los modelos de equilibrio general computable (CGE), nos encontramos principalmente con modelos clásicos o neoclásicos de equilibrio, donde el mercado se autorregula por sí solo. Mientras tanto, en el caso de los modelos de simulación, esta hipótesis desaparece, junto con la necesidad de que en ningún momento el mercado esté en equilibrio, al tener a la teoría post-keynesiana u otras teorías heterodoxas como base de los modelos de simulación.

Por una parte, los modelos de simulación son herramientas para resolver la pregunta *¿qué pasaría si cierta política específica fuese aplicada?* No buscan encontrar el equilibrio, sino simplemente responder a esa pregunta (Cantele et al., 2021; Peichl, 2015). De la Tabla 2.1 podemos intuir que este tipo de modelos tiende a ser más proclive a la idea de incorporar la distribución de la renta, gracias a que la teoría económica en la que se apoyan tiene en cuenta una mayor variedad de hogares (Peichl, 2015), y considera que la distribución de la renta - más concretamente la desigualdad- es un indicador macroeconómico que determina el funcionamiento de la economía. Aunque hay una mayor tendencia

a que los modelos Top-down sean de simulación y los de optimización Bottom-up, también se pueden encontrar casos contrarios.

Tabla 2.1: Comparación de características entre los modelos de optimización y de simulación

<i>Características</i>	<i>Modelos de optimización</i>	<i>Modelos de simulación</i>
<i>Objetivo</i>	Cuantificar el impacto de variables exógenas y medidas políticas en el equilibrio (Peichl, 2015)	Responder a la pregunta “¿Qué pasaría si...?” (Peichl, 2015)
<i>Modelo económico subyacente</i>	Economía neoclásica/convencional (Scriciu et al., 2013)	-Modelos Keynesianos -Modelos Post-Keynesianos, ecológicos y heterodoxos (Scriciu et al., 2013)
<i>Función en economía</i>	Bottom-up: análisis de políticas microeconómicas y modelado por tecnologías tanto en el corto como en el largo plazo	Top- down: macroeconómico, economía regional, medioambiental y comercio internacional (Gilbert, 2017)

Fuente: elaboración propia a partir de (Gilbert, 2017; Peichl, 2015; Scriciu et al., 2013)

Por una parte, los modelos de simulación son herramientas para resolver la pregunta *¿qué pasaría si cierta política específica fuese aplicada?* No buscan encontrar el equilibrio, sino simplemente responder a esa pregunta (Cantele et al., 2021; Peichl, 2015). De la Tabla 2.1 podemos intuir que este tipo de modelos tiende a ser más proclive a la idea de incorporar la distribución de la renta, gracias a que la teoría económica en la que se apoyan tiene en cuenta una mayor variedad de hogares (Peichl, 2015), y considera que la distribución de la renta - más concretamente la desigualdad- es un indicador macroeconómico que determina el funcionamiento de la economía. Aunque hay una mayor tendencia a que los modelos Top-down sean de simulación y los de optimización Bottom-up, también se pueden encontrar casos contrarios.

Por otra parte, la idea general de los modelos de optimización es la de computar valores numéricos como variables endógenas y cuantificar matemáticamente los impactos de las variables exógenas y de las medidas políticas para alcanzar el equilibrio económico, donde la principal herramienta que se utiliza es el ajuste vía precios (Cantele et al., 2021; Peichl, 2015). Para llevar a cabo esto suelen empezar con una simulación “Business-as-usual”, donde la economía está en

equilibrio para posteriormente introducir la política como un shock (Babatunde et al., 2017).

Los modelos de optimización, como se ve en la Tabla 2.2, están normalmente calibrados y basados en una matriz de contabilidad social, que es un sistema de datos comprensible, desagregado y consistente con un periodo de referencia (Decaluwé et al., 1999). En otras palabras, es una matriz que nos muestra las relaciones entre los sectores productivos con la sociedad. La gran mayoría solamente pueden simular el efecto en un único hogar, sin considerar las diferencias en renta, por tanto, sin considerar la desigualdad entre los hogares. Esta suposición implica también que es algo exógeno al modelo y que no varía o no afecta al modelo a lo largo del tiempo.

Tabla 2.2 Diferencias críticas en los modelos de optimización y simulación

<i>Diferencias clave</i>	<i>Modelos de optimización de políticas (POM)</i>	<i>Modelos de simulación de políticas (PEM)</i>
<i>Equilibrio de mercado</i>	Las economías están en equilibrio y el mercado se regula a sí mismo vía precios.	No hay necesidad de que el mercado esté en equilibrio, ni siquiera a largo plazo.
<i>Visión macroeconómica</i>	Utilización óptima y completa de recursos.	Utilización subóptima de recursos, que permite introducir el desempleo, el subempleo y la determinación social de la distribución de la renta.
<i>Visión microeconómica</i>	Los agentes son racionales y cuentan con información perfecta.	Los agentes son heterogéneos con limitada racionalidad e información, limitando la agregación de los agentes.
<i>Crecimiento económico</i>	Crecimiento por la vía de la oferta con economías estructuradas a través de la función de producción.	También tiene en cuenta la vía de la demanda y del empleo.
<i>Política macroeconómica</i>	La intervención por parte del gobierno se ve como una distorsión de la economía y esta reducida a instrumentos de mercado.	La intervención de mercado es mayor y la intervención puede ser tanto fiscal como monetaria, donde la primera es sobre todo clave.
<i>Instituciones</i>	Reducido para asegurar la estabilidad macroeconómica	Las instituciones tienen una visión más amplia y tienen el rol de crear senderos de desarrollo sostenibles.

Fuente: (Scriciu et al., 2013)

Las razones para entender la diferencia en planteamientos y en la capacidad de introducir la heterogeneidad de los hogares se puede ver en la Tabla 2.2. Al tenerse solamente un único hogar, no podemos ver desiguales comportamientos entre los diferentes hogares, además de que no están contempladas las características que diferencian a los agentes.

La mayor parte de los IAM utiliza la teoría clásica de optimización por la facilidad de análisis (Dierickx & Diemer, 2022). Estos modelos solamente tienen en cuenta a un agente, puesto que consideran que todos los agentes tienen el mismo comportamiento maximizador de beneficios y generalmente racional. No obstante, ha sido justo esta simplificación la que ha sido criticada en los últimos años por la falta de conexión real entre las dinámicas de la sociedad y las de la economía (Mathias et al., 2020).

Mientras tanto, al igual que la economía del comportamiento ha demostrado (Kahneman, 2011), la teoría post-keynesiana sostiene que los agentes rara vez tienen información perfecta, y que normalmente se guían por reglas del azar. Por lo tanto, no resulta adecuado considerar a un hogar representativo habida cuenta la heterogeneidad en el comportamiento entre diferentes hogares, sobre todo si tienen distinta renta. Cuando se incorpora la diferenciación de los individuos se cambia, por tanto, todo el enfoque, y se deja espacio para la incertidumbre, la diferenciación de la renta (lo que abre la puerta, por ejemplo, a políticas fiscales distintas), o las diferencias en el consumo.

2.4 Críticas a los IAMs

Las limitaciones de los IAM son relevantes en cuanto a que muchas, a pesar de ser limitaciones generales, están relacionadas con la ausencia de la distribución de la renta, como iremos viendo. Además, estas críticas ayudan a entender el funcionamiento del modelo. Como podemos ver en la Tabla 2.3, están divididas en cinco grupos diferentes.

Tabla 2.3 Críticas generales a los IAMs diferenciadas por tipo de modelo

Críticas	Razón de las críticas	Diferencias entre	
		POM	PEM
<i>Incertidumbre en los sistemas económicos y físicos</i>	Incertidumbres físicas sobre la magnitud y signo de los “feedback” físicos	Se intenta contemplarlos	No contemplados
<i>Agregación y cuestiones distributivas</i>	Supuesto del agente representativo (Kirman, 1992)(Balint et al., 2017)	Agente representativo	Más de un agente
<i>Cambio tecnológico</i>	El cambio tecnológico es exógeno al modelo,	Originalmente exógeno, aunque actualmente se están incluyendo como variable endógena	Endógeno
<i>Función de daños</i>	Falta de funciones de daños	Hay una función de daños de manera agregada	Rara vez hay una
<i>Transparencia en que determina el modelo</i>	Falta de información en los costes energéticos	Falta general en ambos modelos	

Fuente: elaboración propia basado en (Farmer et al., 2015; Keppo et al., 2021)

La importancia de abordar la incertidumbre -problema que se ha criticado desde el principio- reside en poder localizar y cuantificar correctamente los costes de reducción de emisiones y sus implicaciones. Cuando los impactos sociales son cuantificados de manera agregada, erran doblemente, primero, en la proporción de esos impactos, y segundo, al considerar que a toda la población le afectara de la misma manera.

Por otro lado, la crítica de la agregación de la población y, más concretamente, de la ausencia de la desigualdad y la distribución de la renta (Cantele et al., 2021; Keppo et al., 2021) tiene como origen el supuesto del agente representativo (RRA, por sus siglas en inglés). Aunque entraremos más en detalle sobre esta cuestión más adelante, este supuesto sostiene que el comportamiento de un solo agente es suficiente para modelar la sociedad, puesto que todos actúan de la misma manera.

No obstante, aunque la desagregación, en líneas generales, casi no se ha llevado a cabo, es necesario resaltar que sí que se ha desarrollado la

desagregación territorial, diferenciando bien por países o bien por regiones y por sectores económicos.

El cambio tecnológico se ha considerado históricamente en los IAM -y en la economía neoclásica hasta no hace mucho- como una variable exógena, aspecto que ha ido cambiando e introduciéndose como variable endógena, aunque de manera insatisfactoria. La importancia de introducirlo como una variable endógena proviene del aumento de los rendimientos a escala que acarrea, lo que redundaría en una reducción de costes y aumento de la eficiencia (Creutzig et al., 2017). Además, está el hecho de que la tecnología puede ser rápidamente sustituida, por lo que los resultados de ignorar la retroalimentación de la tecnología sobre la industria pueden ocasionar resultados extremos y poco realistas, ya sean estos positivos o negativos (Keppo et al., 2021). La importancia de incluir esta dimensión para la desigualdad radica en la distribución funcional, es decir: si no se tiene en cuenta el progreso tecnológico, entonces no podremos estudiar este tipo de desigualdad.

Por otro lado, la función de daños es la que nos ayuda a tener en cuenta la incertidumbre que surge de los costes sociales del cambio climático y de las diferentes formas de modelar las consideraciones distributivas o cambios tecnológicos. Aunque varios autores (v.gr. Pindyck, 2013, p. 862) sostengan que la función de daños es el elemento más especulativo del análisis, en muchos casos son consideradas como algo plausible por numerosos investigadores (Farmer et al., 2015). No obstante, son estas funciones donde se recogen los efectos causados por el cambio climático sobre los diferentes submodelos (economía, población, etc.) y, por tanto, a la hora de introducir la distribución de la renta son de vital importancia al no afectar, como ya hemos mencionado, de igual manera según la renta de los hogares.

Por último, aunque no menos importante, la opacidad y falta de transparencia sobre las razones que llevan a los resultados han sido criticadas numerosas veces, (Capellan-Perez et al., 2020; Gambhir et al., 2019; Weyant, 2017). A la vez, y en la misma línea, hay una falta de “back testing” lo que quiere decir que normalmente los resultados obtenidos del modelo no se cotejan con los datos históricos, donde especialmente las simulaciones de los POM rara vez casan

con los datos históricos. Si la obtención de datos que es lo que impulsa al modelo no es público, no sabremos cual es la razón concreta en la que se basa para llevar a cabo la agregación.

Además de las críticas generales a estos modelos, existen también algunas críticas específicas acerca de sus limitaciones desde el punto de vista socioeconómico. Por ejemplo, la falta de consideración y modelización de aspectos clave como el mercado financiero también repercuten en la dificultad para incorporar, con plenas garantías, las cuestiones que tienen que ver con la distribución de la renta. Y aunque algunos IAM ya han empezado a introducir el sector financiero como consecuencia de un aumento de la preocupación de los políticos y el sistema bancario (Keppo et al., 2021), este sector es la causa de muchas perturbaciones y crea dinámicas dañinas en otros sectores que deberían ser consideradas cuando hablamos de la modelización de la economía. Por ejemplo, la relación tan estrecha que se establece entre el sector financiero y las dinámicas inmobiliarias a través de la expansión de crédito hipotecario y su impacto en los diferentes hogares según niveles de renta y composición.

Por último, cabe concluir subrayando que, tal vez, la gran laguna de los IAM sea la falta de materialización la complejidad social de los individuos. La desagregación por sexo, por ejemplo, no se contempla en estos modelos a pesar de haberse constatado la brecha salarial de género (Onaran et al., 2022). Por otro lado, hay otras desigualdades que ni siquiera están contempladas y que, como Emmerling & Tavoni (2021) defiende, tienen una estrecha relación con la economía, lo que en última instancia tiene relación con el cambio climático. Ejemplos claros de esto es el nivel educativo o la brecha de género. En la última década, incluso en los últimos años, ha habido movimientos que han cambiado en cierta manera el consumo de los individuos como el movimiento *Fridays for Future*, demostrando que el nivel de educación cambia la visión que tenemos sobre el cambio climático. Conjuntamente, solamente las personas con estudios superiores pueden acceder a ciertos trabajos, que normalmente tienen salarios más altos (Checchi & van de Werfhorst, 2018), lo que se traduce en mejores condiciones de vida, puesto que acarrea una mejor vivienda o un acceso a una mejor alimentación, por ejemplo.

Especialmente importante es una primera aproximación a la disparidad de género como mantiene (Onaran et al., 2022) puesto que una muy baja proporción de las mujeres, por ejemplo, tiene acceso a trabajos de alta remuneración. Ambos aspectos deberían ser introducidos en el modelo al menos por la parte de impactos para ver las dinámicas que se generan.

3. ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA RENTA EN LOS IAM

En este caso se han tomado como referencia los modelos establecidos en el consorcio de IAM y, más concretamente, los establecidos en la “wikilAMs” que fueron creados por el mismo consorcio, al considerar que los de mayor relevancia y envergadura se encuentran dentro de este grupo. También, esta decisión ha sido tomada como consecuencia de la amplitud de IAM existentes y la ambigüedad respecto a qué se considera un IAM y que no. Por todo ello, nos centraremos primero, únicamente, en si el IAM tiene la distribución de la renta especificada y, posteriormente, dentro de los que sí, las razones de su inclusión, la forma en que se ha hecho y las conclusiones que se derivan de ello.

3.1 Modelos sin distribución de renta especificada

Como podemos ver en la tabla 3.1, la mayor parte de los modelos se pueden clasificar como POM. Esta optimización suele estar basada en el supuesto del agente representativo que hemos mencionado con anterioridad, y que fue ya cuestionado hace tres décadas por Kirman (1992), y posteriormente por Hirt et al. (2020) y van Sluisveld et al. (2016). Este supuesto se utiliza en los modelos neoclásicos o modelos económicos ortodoxos, donde se asume que la sociedad puede modelarse a través del comportamiento de un solo agente. Sin embargo, existen varias críticas que siguen siendo pertinentes (Kirman 1992):

1. La racionalidad individual no implica racionalidad colectiva.
2. La información asimétrica desaparece con el RRA.
3. La estimación de los cambios políticos con el RRA lleva a resultados engañosos al obviar la diferencia de los efectos que dependen de la renta, sexo, religión o zona rural/ urbana, entre otras muchas.

Por tanto, el supuesto de agente representativo ignora los efectos redistributivos de la riqueza. Además, se ignora, en primer lugar, cómo el cambio climático y las políticas de mitigación afectarán de manera diferente, dependiendo de la capacidad adquisitiva de las diferentes familias y, en segundo lugar, cómo afecta a la economía. No en vano, son los altos percentiles de renta los que tienden a consumir más energía (Fragkos et al., 2021). A su vez, esta falta de heterogeneidad -en y entre los diferentes agentes- lleva a malentendidos y errores, especialmente en tres dimensiones de los IAM: en las políticas, los impactos y el bienestar (Emmerling & Tavoni, 2021).

Aunque la unificación y agregación de los agentes haya sido una manera elegante de lidiar con este problema, los economistas están de acuerdo en que esta solución no coincide con la realidad ya que, por ejemplo, las personas tienden a sentir más las pérdidas que las ganancias (Rabin & Kostegi, 2006). No queda espacio para el sentimiento de igualdad o de equidad que llevaría a la sociedad a actuar de manera más *eco-friendly*, o las medidas cualitativas, como educación y sensibilización, que a pesar de no estar contempladas afectan a la manera en la que la sociedad actúa (Farmer et al., 2015).

Pese a todo esto, históricamente, el supuesto del agente representativo se ha aceptado como válido por dos razones que tienen que ver con la facilidad para su tratamiento matemático (Emmerling & Tavoni, 2021):

1. La restricción de preferencias desarrolladas en la función de utilidad.
2. El supuesto de la existencia de mercados completos.

Como hemos mencionado anteriormente en la Tabla 2.2, los modelos CGE que se encuentran dentro de los POM (Peichl, 2015) se han creado sobre el concepto de equilibrio general. Serían una consecuencia de la *ley de Say* que sostiene que la oferta es la que crea la demanda y, por lo tanto, todo lo que se produce, se consume y viceversa, provocando que el mercado se vacíe y encuentre, a su vez, el equilibrio (Lemelin, 2017). Como cabía esperar, esta ley ha sido criticada en muchas ocasiones, puesto que se encuentra lejos de parecerse a una realidad que muestra normalmente situaciones con desempleo y recesiones no previstas, entre otras muchas perturbaciones.

Tabla 3.1 Modelos sin distribución de la renta especificada.

<i>Modelo</i>	<i>Tipo de modelo</i>	<i>Fuentes</i>
<i>DICE</i>	<i>POM</i>	(Ikefuji et al., 2021)
<i>BLUES</i>	<i>POM</i>	(Rochedo et al., 2018)
<i>C3IAM</i>	<i>POM</i>	(Wei et al., 2018)
<i>GRACE</i>	<i>POM</i>	(A. Aaheim et al., 2018a)
<i>IMACLIM</i>	<i>POM</i>	(le Treut, n.d.)
<i>FUND</i>	<i>POM</i>	(Anhoff & SS. J. Tol, 2014)
<i>REMIND-Mag-PIE</i>	<i>POM</i>	(REMIND – Regional Model of Investments and Development Index, n.d.)
<i>GRACE</i>	<i>POM</i>	(A. Aaheim et al., 2018b; H. A. Aaheim & Rive, 2005)
<i>PAGE</i>	<i>C-B</i>	(Yumashev, n.d.; Yumashev Lancaster, 2019)
<i>POLES</i>	<i>PEM</i>	(Després et al., 2018)
<i>MESSAGE</i>	<i>POM</i>	(Huppmann et al., 2019)
<i>REMIND-maGPIE</i>	<i>POM</i>	(Baumstark et al., 2021; Zhang et al., 2020)
<i>MEDEAS</i>	<i>PEM</i>	(Capellán-Pérez et al., 2020)
<i>MODESLOW</i>	<i>PEM</i>	(Dios-Vicente & Rios-Rodríguez, 2021)
<i>TIAM-UCL</i>	<i>POM</i>	(Pye et al., 2020)
<i>WITCH</i>	<i>POM</i>	(The WITCH team, 2017)

Fuente: Elaboración propia

3.2 Modelos con distribución de la renta especificada

Dentro de los modelos con desagregación según la renta, la explicación se va a llevar a cabo de manera individualizada. Como podemos ver en la tabla 3.2, estamos hablando de cuatro modelos, donde cabe destacar que solamente uno pertenece al consorcio de IAM considerado.

Tabla 3.2 Resumen IAM con división por renta especificada

	EUROGREEN	E3ME	GEM-E3-FIT	MEDEAS ⁴	IMAGE
Objetivo del modelo	Aplicación de políticas que establezcan nexos entre las emisiones y la desigualdad	Implicaciones sociales del sistema de mercado de emisiones	Aplicación de políticas sociales y medioambientales	Análisis transiciones hacia una economía baja en emisiones de carbono	Explorar las dinámicas e impactos a largo plazo de las interacciones socioeconómicas y medioambientales
Aplicación de la distribución de la renta en el modelo	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de Gini • Mercado de trabajo 	Análisis general, por deciles	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de Gini • Ratio S80/S20 	<ul style="list-style-type: none"> • Variaciones en los escenarios • Estimación de demanda de bienes y servicios. • Crecimiento del PIB 	<ul style="list-style-type: none"> • Personas con menos de 1.25 USD • Índice de desarrollo humano (HDI) • Indicadores sanitarios
Medida de distribución empleada	Cualificación laboral (bajas, medias y altas competencias)	<ul style="list-style-type: none"> • Circunstancias personales (variables del comportamiento) • Deciles de renta 	Capacitación (no cualificados, dependientes, oficinistas y administradores)	Distribución Primaria de la renta	<ul style="list-style-type: none"> • Quintiles de ingreso • Urban/rural • Genero • Educación
Fuente	(D'Alessandro et al., 2018)	(Model Manual E3ME Technical Manual v6.1, 2019; Zsófia Kömüves, 2020)	(Fazekas et al., 2021; Perry et al., 2013)	(Nieto, Carpintero, Lobejón, et al., 2020; (Capellán-Pérez et al., 2020))	(Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014; van Sluisveld et al., 2016)

Fuente: elaboración propia

⁴ MEDEAS, es un modelo que se encuentra fuera del wikiIAM, aunque sí que forma parte del consorcio. No obstante, se ha decidido introducir al ser el único modelo que introduce la distribución de la renta a través de la renta primaria.

EUROGREEN

EUROGREEN (D'Alessandro, et al., 2018, 2020) es un modelo de simulación de políticas con una perspectiva post-keynesiana. Su principal objetivo radica en observar cómo las políticas sociales y medioambientales median como nexo entre las emisiones y las desigualdades. A su vez, estudia las consecuencias de implementar más de una política ya que, como sus autores defienden, solo con políticas mixtas se conseguirá hacer frente a los retos que presenta la crisis ante la que nos encontramos.

La distribución de la renta se ha materializado en dos aspectos en el modelo. Primero, en el índice de Gini y, segundo, en el mercado de trabajo que también mide la distribución funcional de la renta entre los salarios (dados por la masa salarial bruta total) y los beneficios.

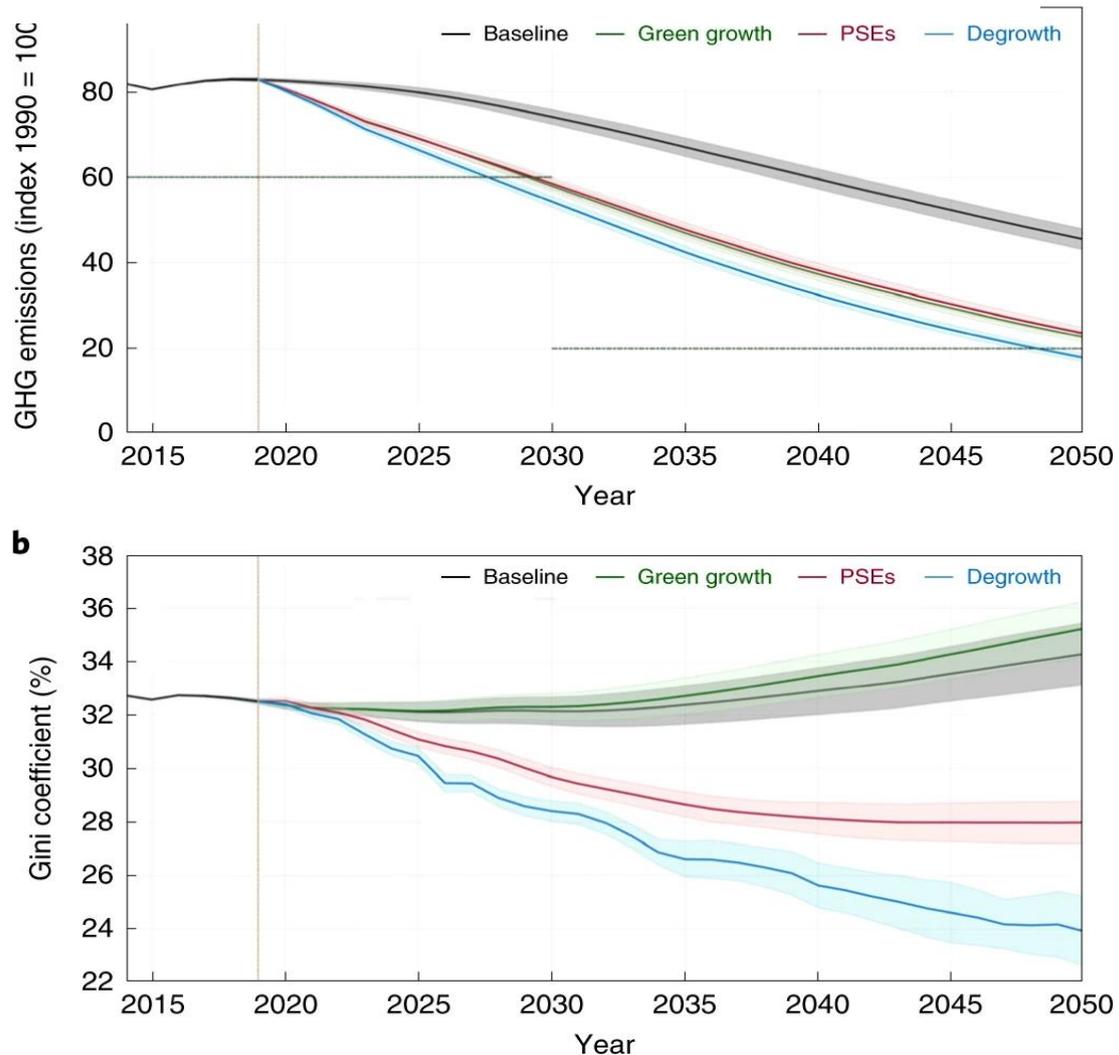
Los hogares están divididos en tres grupos diferentes. En primer lugar, han sido divididos según las habilidades (altas, medias y bajas) y, posteriormente, dentro de estas en empleados, desempleados, inactivos y retirados. De manera independiente aparecen los perceptores de rentas del capital (capitalistas). Esta segregación es de gran utilidad para ver cómo surgen las desigualdades como consecuencia de las políticas de los diferentes grupos. Además, se introducen impuestos progresivos que tienen como finalidad disminuir o, al menos, no empeorar las desigualdades en la renta.

Con el fin de comentar los resultados y ver cuál ha sido la relevancia de incluir la división y subdivisión que este modelo proporciona, tenemos que saber las políticas y escenarios alternativos. Hay dos tipos de políticas que se establecen. En primer lugar, las individuales, que serán analizadas solas y que después se combinarán para crear tres escenarios. Estas políticas individuales son: New productive revolution (NPR), Basic Income (BI), Job Guarantee (JG), Working Time Reduction (WTR), Energy Mix (EnM) y Carbon Tax and Border Carbon Adjustment (BCA). Por último, las políticas mixtas o escenarios son:

- Green Growth (GG) GG=nueva revolución productiva + cambios en el mix energético + impuesto sobre el carbón y ajuste del carbono en la frontera.

- Políticas for social equity (PSE) PSE= trabajo garantizado + reducción del tiempo de trabajo+ ajuste del carbono en la frontera.
- De-Growth(DG) esta política mixta añade a la anterior los efectos del decrecimiento en el consumo y las exportaciones, además de un aumento en un impuesto sobre la riqueza.

Ilustración 3. 1 Emisiones GHG y desigualdad.



Fuente: (D'Alessandro et al., 2020)

La Ilustración 3.1 nos muestra que a pesar de que los tres escenarios disminuyen las emisiones de CO2 a la atmosfera, el impacto distributivo no es el mismo, aumentando tanto en el escenario base como en el *GreenGrowth* la brecha de ingreso. Destaca en ambos casos el escenario de *PostGrowth*, donde se dan las mayores reducciones tanto en el coeficiente de Gini como en las emisiones.

Constatando nuevamente y sirviendo como prueba de la importancia de introducir la distribución de la renta en estos análisis.

Las conclusiones de este modelo, que a la vez se derivan de la ilustración 3.1 son tres:

1. El desarrollo tecnológico solo consigue disminuir las emisiones de efectos invernaderos, pero empeora la desigualdad y el desempleo como consecuencia de la mayor sustitución del capital por trabajo, siendo de esta manera una política insostenible desde el punto de vista social. Esto se mantiene inalterado incluso cuando se introducen las políticas fiscales del GreenGrowth. Todo lo cual sugiere que este tipo de políticas mixtas o escenarios refuerza la solución de los problemas sociales. Por otro lado, los resultados obtenidos muestran que, en términos sociales, este escenario se mantiene muy similar al escenario base. Este escenario de *Greengrowth* mantiene el desempleo a un nivel bastante parecido al escenario base, donde el grueso de los empleados está en los trabajadores con capacidades medias. Por otro lado, al mantener los niveles de empleo, esto también se refleja en el valor del índice de Gini, siendo este escenario, el único donde podemos ver cómo el índice aumenta y, por tanto, empeora la desigualdad.
2. La introducción conjunta de empleo garantizado y la reducción de las horas de trabajo -con políticas medioambientales- reduce significativamente las emisiones, además de mejorar la distribución de la renta y el empleo. Este sería el escenario de las políticas de equidad social, donde el desempleo disminuye en casi dos millones de empleados en comparación con el escenario base. No obstante, se mantiene el mayor desempleo en los individuos con características medias.
3. La política de decrecimiento genera ciertas mejoras a nivel de equidad social, siendo además el único escenario que reduce las emisiones de carbono establecidas para el 2050. Pero también empeora la situación en comparación con la situación base, en cuanto a empleo, encontrándose en un punto intermedio entre las dos políticas anteriormente mencionadas.

E3ME

El modelo E3ME es un modelo macroeconómico que tiene como objetivo modelizar la economía global, el sistema energético y el medioambiente. Concretamente nos vamos a centrar, en una de sus numerosas implicaciones, en el efecto del sistema de comercio de emisiones (ETS). Esta caracterizado por:

- Economías y deseconomías de escala, tanto en la producción, como en el consumo.
- Mercado con diferentes grados de competencia y donde el comportamiento institucional tiene como objetivo maximizar la utilidad de la sociedad.
- Mercado de trabajo que se distingue por el desempleo a largo plazo. Además, podemos ver a los hogares diferenciados según dos criterios, dependiendo de las circunstancias individuales como, por ejemplo, su demanda de combustibles, y su renta.

La necesidad de incluir la dimensión distributiva surge como consecuencia de la preocupación por los efectos redistributivos de los sistemas de comercio de emisiones (ETS), debido a la gran probabilidad de que los hogares acaben siendo quienes paguen más impuestos, al utilizar energías más contaminantes. Lo que, tanto de manera relativa como absoluta, empeorara la equidad al solamente utilizaran energías menos eficientes, y por tanto con más impuestos. Además, relativamente utilizan mayor proporción de sus ingresos para pagarlas, al ser estos más bajos.

Este modelo desagrega la población según habilidades, y asume que cuando se necesitan trabajadores habrá recursos humanos con las características adecuadas para cubrir el puesto de trabajo. Aunque esto ocurra, sí que diferencia entre los deciles de renta atendiendo a dos componentes:

- El de los ingresos, que incluye los ingresos de cada grupo social procedentes de los salarios, las prestaciones y "otros ingresos" que se escalan de acuerdo con los resultados del modelo agregado para los salarios y las prestaciones.
- Los datos de la encuesta del gasto de los hogares con la finalidad de ver los efectos que tendría una subida de precios en los deciles más bajos.

Gracias al desglose por sectores de empleo, podemos observar algunas conclusiones. Respecto a la ocupación, se ve que hay un traspaso del sector de los combustibles fósiles al sector productor de electricidad, aunque con una pérdida de empleo consecuencia de la mayor eficiencia de este último sector. En segundo lugar, se prevé que el sector que más mano de obra gane sea el de la construcción, que es uno de los sectores con menores rentas, aumentando así su participación los percentiles de renta más bajos.

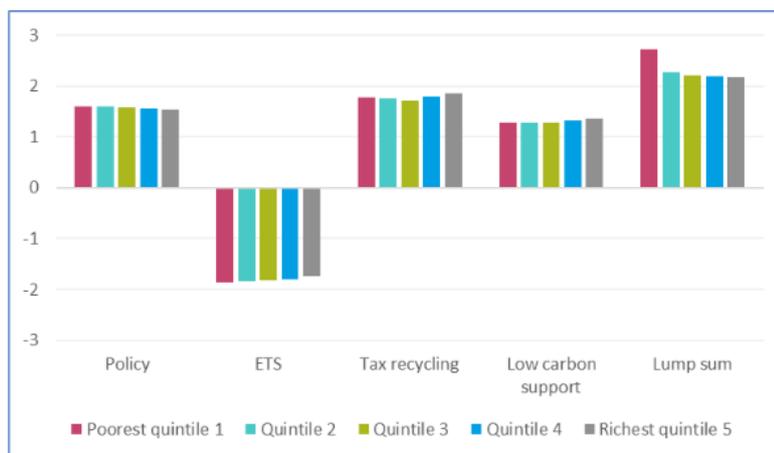
La introducción de un sistema de comercio de emisiones (ETS por sus siglas en inglés) afectara a todos los grupos, como vemos en la ilustración, pero especialmente a los percentiles más bajos. La razón es que el coste adicional representa una mayor proporción de su ingreso y tienen típicamente un tiempo de respuesta mucho más bajo (debido a que gran parte del consumo que hacen es esencial). Además, se encuentran con obstáculos para adoptar las tecnologías con bajas emisiones de carbono (regímenes de alquiler y escasas opciones de financiación).

El objetivo, en este caso era observar cuales serían los impactos de las opciones de reciclaje de los ETS. Para ello se realizan cinco escenarios:

- *Policy*: se pretende alcanzar las emisiones de CO₂ al introducir medidas políticas sin mercado de emisiones.
- *ETS*: el control se establece únicamente para alcanzar unas reducciones del 40% en las reducciones de emisiones en los sectores que no tienen un mercado de emisiones en 2030.
- El reciclaje de los ingresos que se obtienen del mercado de emisiones se distribuye a través de:
 - impuestos sobre la renta (*tax recycling*), lo que aumenta la renta disponible, favoreciendo mayormente a las personas con ingresos superiores.
 - Apoyar las tecnologías de bajas emisiones de carbono (*low carbon support*), donde el impacto, como vemos en la Ilustración 3.2 es mínimo, al afectar solamente a un tipo concreto de tecnologías.
 - Transferencias (*lump sum transfers*), también aumenta la renta disponible favoreciendo esta vez a los percentiles más bajos.

En líneas generales, los efectos sobre todos los quintiles son similares gracias a los efectos redistributivos. Con la única excepción de las políticas “lump up recycling” donde el impacto positivo es mucho mayor en el caso del quintil con menor renta al constituir esta transferencia una mayor proporción de sus ingresos.

Ilustración 3.2: Impacto de la renta real disponible en 2030 en la UE27, % de diferencia con respecto al año base, 2030



Fuente: (Fazekas et al., 2021)

Este modelo, no obstante, como cabría de esperar, tiene limitaciones que sus propios creadores contemplan:

- No es posible estimar la respuesta ante una subida de precios de energía entre los diferentes grupos.
- No es posible considerar cómo las perturbaciones salariales afectan a los diferentes grupos sociales.
- No puede contemplar la heterogeneidad entre los grupos.

GEM-E3-FIT

El GEM-E3-FIT es un modelo CGE multirregional y multisectorial. Su objetivo es analizar las políticas relacionadas con el medioambiente y el uso de energía y sus interacciones con otro tipo de políticas de índole más económica (mercado de trabajo, industria, comercio o innovación).

Este tipo de modelos, como hemos venido diciendo a lo largo de todo el trabajo, se caracteriza por tener un modelo económico subyacente que busca encontrar

el equilibrio, donde hay competencia perfecta en la industria, información simétrica y racionalidad de los agentes (lo que permite agregarlos a todos bajo el supuesto del agente representativo).

Este modelo, no obstante, ha ido un paso más allá, y ha decidido introducir un mercado de trabajo imperfecto con desempleo involuntario endogeneizado y diferenciando entre cinco tipos de capacidades: no cualificados, dependientes y trabajadores en el marco de servicios, técnicos, oficinistas y administradores. Además, a su vez se ha dividido la población en deciles de renta dependiendo del origen de estos ingresos y del patrón de consumo y ahorro, y que se utilizaran para analizar los impactos de las políticas de cambio climático en el mercado de trabajo.

Esto se ha llevado a cabo con la finalidad de ir un paso más en su objetivo y ver dos aspectos de las políticas medioambientales. En un primer lugar, se trata de ver las diferencias de renta en general (índice de Gini) y entre los estratos más bajos y altos (S80/S20). No obstante, la introducción de las diferentes clases sociales en un CGE es complicado por la cantidad de datos que necesita y los problemas computacionales que acarrea, y se podría implementar por:

- La integración de varios grupos de hogares que toman decisiones de manera simultánea. La ventaja de hacerlo de esta manera es la consistencia interna y permite obtener los *feedback*, a pesar de la complejidad de ejecutarlo así.
- La integración de un único hogar representativo, pero unido a un módulo satélite con diferentes hogares, con diferentes cambios de precios, ingresos y demandas hasta que el equilibrio se establece. Llevarlo a cabo de esta manera, es mucho más sencillo, razón por la cual se ha adoptado en este modelo.

El *bottom-up* primero se calibra utilizando las variables de manera agregada y sus previsiones hasta 2050. Posteriormente, todas estas calibraciones se computan para dividir a la sociedad por deciles y finalmente se vuelven a agregar para devolver al GEM-E3-FIT un “único agente”.

Como no podía ser de otra manera, este estudio también tiene limitaciones y es que gran parte de las variables que la lógica intuye que se modificarán, se mantienen constantes. Por ejemplo: la distribución de los deciles, el tamaño del hogar representativo, el patrón de consumo, la tasa de impuestos y la distribución de los beneficios. Tampoco se contemplan los impuestos a la propiedad, los préstamos con bajos tipos de interés o las leyes de salarios mínimos.

Las conclusiones que se derivan de esta investigación sostienen que un impuesto sobre el carbono afectará de manera negativa a los hogares de rentas bajas. De igual manera, las políticas medioambientales afectan de forma desproporcionada nuevamente a este grupo. Además, las políticas más ambiciosas que afectan a los empleados y al mercado de trabajo tienen un impacto muy reducido, resultando en una disminución de los trabajos de baja capacitación y un mayor aumento de los de alta capacitación. Todo ello conlleva un incremento de la diferencia entre ambos grupos. Una transición a una economía baja en carbono también acarrearía un aumento de los gastos en energía, sobre todo para los percentiles más bajos, aumentando también esta medida la brecha de ingresos.

Por último, este modelo muestra los efectos positivos que tendría una utilización correcta de los beneficios de ETS, derivando en la misma conclusión que producía el modelo E3ME, donde los *“lump sum transfer”* constituyen las medidas más efectivas a nivel redistributivo y medioambiental.

MEDEAS

A diferencia del resto de modelos mencionados, MEDEAS tiene en cuenta la distribución de la renta primaria. Esta distribución de la renta se origina en el proceso productivo y hace referencia a cómo está distribuido el valor de la producción entre el salario y capital. Por tanto, hace referencia a la distribución funcional de la renta, que es interesante como variable dentro del mercado de trabajo y para el desarrollo tecnológico, pero no permite ver las desigualdades económicas entre los hogares. Aunque sí que permite intuir que la distribución de la renta mejorará si aumenta la tasa de participación salarial, al ser los salarios la principal fuente de ingresos de los deciles inferiores de la sociedad. Además,

el problema de este modelo reside en que, al evaluar sus escenarios, las hipótesis de distribución se hacen junto con otras, por lo que no se puede observar el efecto individual que tiene. Al ser una distribución de la renta diferente a las anteriores, el análisis del modelo deberá modificarse también.

La distribución de renta se ha dividido en:

- Rentas del trabajo: los salarios e ingresos sociales.
- Rentas del capital: los rendimientos brutos obtenidos por las empresas, dividendos, rentas y el consumo de capital fijo.

En este caso, los escenarios en los que se ha modificado la distribución primaria de la renta han sido en el *Green Growth* (aumento de la participación del trabajo en el valor, entre otras medidas) y en el *Post-Growth* (gran aumento de la participación del trabajo en el valor, entre otras medidas). A pesar de ser un análisis de distribución de la renta primaria, las conclusiones son parecidas, salvando las distancias, de las que han propuesto el resto de los modelos. El escenario “business as usual” disminuye en gran medida el empleo y el único escenario que consigue mantener el empleo por encima de los niveles de 2010 (año base), es el escenario de post-crecimiento. Por último, cabe destacar que al introducir políticas específicas y desagregar por rentas primarias podemos ver cómo, en comparación con el resto de los escenarios, el empleo aumenta respecto del año base (Nieto, Carpintero, Lobejón, et al., 2020).

IMAGE

IMAGE tiene como objetivo simular las consecuencias de la actividad humana sobre el cambio climático. Este modelo destaca por la numerosa desagregación de sus componentes, concretamente, en términos poblaciones, se divide en rural vs urbana, quintiles de ingresos, nivel de educación y género. No obstante, este último se ha aplicado exclusivamente para obtener resultados sobre la salud y sobre la natalidad.

La desigualdad se analiza gracias a un modelo integrado en IMAGE que recibe el nombre de “Global Integrated Sustainability Model” (GISMO). Este modelo está centrado en las relaciones entre los problemas del desarrollo económico y

humano con los medioambientales. Asimismo, su principal objetivo es cuantificar el concepto de desarrollo sostenible a través de la modelización y cálculo del índice de desarrollo sostenible. Por tanto, aunque sí que se estudie la desigualdad, el objetivo principal de esta desagregación, o al menos hasta donde este trabajo ha llegado, es para analizar el hambre, acceso a agua potable y saneamiento básico, es decir, la pobreza en sus diferentes dimensiones y con ella el desarrollo de los objetivos de desarrollo sostenible. Esto constituirá el motivo por el cual, no se analizará las políticas y proyecciones de este modelo.

La desagregación de la renta se realiza a través de la división de la población en urbana y rural en un primer momento, para después dentro de cada una de estas, dividir las por quintiles de renta, consiguiendo por tanto una división en 10 grupos. Para calcular esto y, además, la pobreza, se aplica a una distribución log-normal de la población, utilizando la renta per cápita y el índice de Gini.

Este modelo, a pesar de haber ido un paso más allá en cuanto a la desagregación de la población tiene muchas limitaciones. En la mayor parte de los casos esta desagregación, por ejemplo, se hace a través de una función de distribución a partir de la media poblacional, por lo que no representan fielmente la distribución real de la población. Además, las funciones de distribución no se ven modificadas a lo largo del tiempo.

4. CONCLUSIONES

A continuación, vamos a resumir las principales conclusiones y resultados alcanzados en las páginas precedentes.

En primer lugar, hay que destacar que la desagregación por ingresos se ha llevado a cabo en muy pocos análisis. Solo dos de los IAM que pertenece al consorcio tiene la distribución de la renta especificada y otro, el IMAGE, tiene un submodelo, pero que no es más que una adhesión, lo que muestra la falta de interés por este tema.

No obstante, existe más de una manera de introducir la desigualdad, y la mayor parte de los modelos, aunque no incluyan una desigualdad entre individuos, sí que incluye la desigualdad regional, introduciendo más de una región. Asimismo,

también se puede estudiar la desigualdad funcional al introducir la distribución de la renta primaria como primera medida para observar la repartición del valor de la producción entre los factores, viendo la desigualdad entre los factores de producción y también se podría intuir el aumento de la desigualdad de la renta a través del empleo.

Sin embargo, se puede decir que el modelo económico que subyace al IAM es relevante a la hora de introducir la desigualdad. De todos modos, como hemos visto, en ambos casos (POM y PEM) podemos introducir la distribución de la renta. Por ejemplo, en el caso de GEM-E3-FIT, modelo CGE, se hace de manera externa al modelo y después se vuelve a integrar en el modelo de manera agregada. Entonces, ¿cuál es el modelo que mejor se adecua? Además de las diferencias que hemos mostrado al inicio del trabajo entre los POM y los PEM, podemos ver cómo, en comparación con el escenario base, las variaciones son mayores en el modelo E3ME, en comparación con el GEM-E3-FIT (Zsófia Kómúves, 2020). En ambos casos, los resultados pueden ser interesantes si se tienen en cuenta dentro de las teorías generales que sostienen a ambos modelos.

Hay que tener en presente que, aunque ambos modelos puedan medir los impactos sobre la distribución de la renta, no establecerán siempre las mismas relaciones entre las variables. Por ejemplo, los modelos con una base económica neoclásica seguirán considerando que el comportamiento sigue siendo maximizador.

En segundo lugar, los modelos tienen conclusiones similares. Por un lado, el escenario de post-crecimiento es el que tiene resultados más equitativos y alineados los objetivos de la Unión Europea sobre el cambio climático (EUROGREEN y MEDEAS). Por otro, en el caso de E3ME y de GEM-E3-FIT sosteniendo que los “*lump sum transfer*” tienen los impactos más positivos tanto para el medioambiente como para la sociedad.

La desagregación de renta se materializa de manera diferente en los modelos con distribución de la renta secundaria (EUROGREEN, GEM-E3-FIT y E3ME)

haciéndose por percentiles. Mientras tanto, en el caso de IMAGE se realiza por quintiles, reduciendo por tanto el número de grupos.

En tercer lugar, y como crítica a los modelos que sí que tienen la distribución de la renta contemplada, cabe señalar que a pesar de haber ido un paso más allá que el resto de los modelos, se quedan muy cortos analizando la desigualdad de la renta, puesto que, vagamente contemplan las causas de esa desigualdad. EUROGREEN y E3ME señalan una de las causas de estas diferencias de renta: la capacitación de los individuos. Sin embargo, ni siquiera los modelos más avanzados contemplan las limitaciones (sexo, condiciones económicas de la familia, religión o edad, etc.) a la hora de acceder a un estudio que les permite ocupar puestos de trabajo con mayores remuneraciones, sin contemplar la multidimensionalidad de la desigualdad. Por lo tanto, aunque como primera aproximación sea interesante, es necesario un análisis más detallado de las causas de la desigualdad, que se puede ver dificultado por la falta de datos. IMAGE es el único que contempla aspectos mas interesantes de la multidimensionalidad y complejidad de la población (genero o nivel de educación) aunque estos, al no estar aplicados a la distribución de la renta, carecen de interés para este trabajo y se podrían criticar igual que el resto de los modelos.

Estas críticas pueden ser entendidas como propuestas de actuación futura con el objetivo de mejorar los modelos. Y una interesante aproximación a la multidimensionalidad de la desigualdad podría ser la relación entre la desigualdad atendiendo a razones de género y de educación. Dos factores, que como se ha dicho con anterioridad, han demostrado estar en gran medida relacionados con la desigualdad, tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo. También, sería interesante ahondar en la relación de la educación, no solamente con el mercado laboral, sino también con las emisiones de gases de efecto invernadero realizadas por los hogares(Checchi & van de Werfhorst, 2018).

Como ultima crítica, y posible primera línea de actuación para los modeladores, resaltar que, a excepción de EUROGREEN, ninguno se ha centrado en ambos tipos de distribución (primaria y personal). GEM-E3-FIT y E3ME se han centrado

en la distribución personal, proponiendo, por tanto, únicamente soluciones fiscales a los problemas de la desigualdad. O en el caso de MEDEAS, que se centra solamente distribución primaria de la renta, se proponen únicamente políticas que aumenten la participación laboral en el valor de la producción. Si todos los modelos aunaran estos dos tipos de distribución se podrían llevar a cabo políticas conjuntas, donde, por un lado, se recortasen los beneficios de los capitalistas, aumentando por tanto la participación salarial. Y. por otro, se aplicasen políticas fiscales sobre las rentas de los hogares.

5. BIBLIOGRAFIA

Aaheim, A., Orlov, A., Wei, T., Glomsrød, S., & Kallbekken, S. (2018a). *GRACE model and applications* Title: *GRACE model and applications*.
www.cicero.oslo.no

Aaheim, A., Orlov, A., Wei, T., Glomsrød, S., & Kallbekken, S. (2018b). *GRACE model and applications* Title: *GRACE model and applications*.
www.cicero.oslo.no

Aaheim, H. A., & Rive, N. (2005). *CICERO Report 2005-05 - A Model for Global Responses to Anthropogenic Changes in the Environment (GRACE)*.
<http://www.cicero.uio.no>

Anhoff, D., & SS. J. Tol, R. (2014). The climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND), technical description, *Version 3.9*.
http://data.iea.org/ieastore/product.asp?dept_id=101&pf_id=305

Babatunde, K. A., Begum, R. A., & Said, F. F. (2017). Application of computable general equilibrium (CGE) to climate change mitigation policy: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 61–71.
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.04.064>

Baer, P. (2009). Equity in climate-economy scenarios: the importance of subnational income distribution. *Environmental Research letters*, 4(1).
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/1/015007>

Balint, T., Lamperti, F., Mandel, A., Napoletano, M., Roventini, A., & Sapio, A. (2017). Complexity and the Economics of Climate Change: A Survey and a Look Forward. *Ecological Economics*, 138, 252–265.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2017.03.032>

Banuri, T., Barker, T., Bashmakov, I., Blok, K., Bouille, D., Christ, R., Davidson, O., Edmonds, J., Gregory, K., Grubb, M., Halsnaes, K., Heller, T., Hourcade, J.-C., Jepma, C., Kauppi, P., Markandya, A., Metz, B., Moomaw, W., Moreira, J. R., ... Weyant, J. (n.d.). *A Report of Working Group III of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change represents the formally agreed statement of the IPCC concerning climate change mitigation.

Baum, H. (2013). Reviewed Work(s): Thinking, fast and slow by Daniel Kahneman. *Planning Theory*, 12(4), 442–446.

Baumstark, L., Bauer, N., Benke, F., Bertram, C., Bi, S., Gong, C. C., Dietrich, J. P., Dirnaichner, A., Giannousakis, A., Hilaire, J., Klein, D., Koch, J., Leimbach, M., Levesque, A., Madeddu, S., Malik, A., Merfort, A., Merfort, L., Odenweller, A., ... Luderer, G. (2021). REMIND2.1: transformation and innovation dynamics of the energy-economic system within climate and sustainability limits. *Geoscientific Model Development*, 14(10), 6571–6603. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-6571-2021>

Cantele, M., Bal, P., Kompas, T., Hadjikakou, M., & Wintle, B. (2021). Equilibrium Modeling for Environmental Science: Exploring the Nexus of Economic Systems and Environmental Change. *Earth's Future*, 9(9), e2020EF001923. <https://doi.org/10.1029/2020EF001923>

Capellan-Perez, I., de Blas, I., Nieto, J., de Castro, C., Javier Miguel, L., Carpintero, O., Mediavilla, M., Fernando Lobejón, L., Ferreras-Alonso, N., Rodrigo, P., & Frechoso, F. (2020). *MEDEAS: a new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints*. <https://doi.org/10.1039/c9ee02627d>

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., & Álvarez-Antelo, D. (2020). MEDEAS: a new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints. *Energy & Environmental Science*, 13(3), 986–1017. <https://doi.org/10.1039/C9EE02627D>

Chancel, L., & Piketty, T. (2021). Global Income Inequality, 1820-2020: The persistence and mutation of extreme inequality. *Journal of the European Economic Association* 19(6), 3025–3062. <https://doi.org/10.1093/jeea/jvab047>

- Checchi, D., & van de Werfhorst, H. G. (2018). Policies, skills and earnings: How educational inequality affects earnings inequality. *Socio-Economic Review*, 16(1), 137–160. <https://doi.org/10.1093/ser/mwx008>
- Creutzig, F., Agoston, P., Goldschmidt, J. C., Luderer, G., Nemet, G., & Pietzcker, R. C. (2017). The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. *Nature Energy*, 2(9). <https://doi.org/10.1038/NENERGY.2017.140>
- D'Alessandro, S., Cieplinski, A., Distefano, T., & Dittmer, K. (2020). Feasible alternatives to green growth. *Nature Sustainability*, 3(4), 329–335. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0484-y>
- D'Alessandro, S., Dittmer, K., & Cieplinski, A. (2018). *EUROGREEN Model of Job Creation in a Post-Growth Economy*.
- Decaluwé, B., Patry, A., Savard, L., & Thorbecke, E. (1999). Poverty analysis within a general Equilibrium Framework.
- Després, J., Keramidas, K., Schmitz, A., & Kitous, A. (2018). *POLES-JRC model documentation 2018 update*. <https://doi.org/10.2760/814959>
- Dierickx, F., & Diemer, A. (2022). Economic and sociopolitical evaluation of climate change for policy and legal formulations. In *Biomass, Biofuels, Biochemicals* (pp. 55–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823500-3.00012-1>
- Doukas, H., & Nikas, A. (2020). Decision support models in climate policy. *European Journal of Operational Research*, 280(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2019.01.017>
- Emmerling, J., & Tavoni, M. (2021). Representing inequalities in integrated assessment modeling of climate change. *One Earth*, 4(2), 177–180. <https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2021.01.013>
- E3ME. (2020). *The right tool for the job? A case study on the choice of model for policy analysis* - Retrieved July 10, 2022, from <https://www.e3me.com/developments/choice-of-model-policy-analysis/>

E3ME Technical Manual (2019). *Model Manual (V6.1 temporary update)*
www.camecon.com

Esther Fleming. (2019, September 26). *Are first rains acidic?*
<https://www.sidmartinbio.org/are-first-rains-acidic>.

Farmer, J. D., Hepburn, C., Mealy, P., & Teytelboym, A. (2015). A Third Wave in the Economics of Climate Change. *Environmental and Resource Economics*, 62(2), 329–357. <https://doi.org/10.1007/s10640-015-9965-2>

Fazekas, D., Stenning, J., Molnar, B., Vu, A., & Dénes Hartvig, Á. (2021). *Final Report European Climate Foundation Exploring the trade-offs in different paths to reduce transport and heating emissions in Europe Exploring the trade-offs in different paths to reduce transport and heating emissions in Europe 2 Exploring the trade-offs in different paths to reduce transport and heating emissions in Europe 3*. www.camecon.com

Fragkos, P., Fragkiadakis, K., Sovacool, B., Paroussos, L., Vrontisi, Z., & Charalampidis, I. (2021). Equity implications of climate policy: Assessing the social and distributional impacts of emission reduction targets in the European Union. *Energy*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121591>

Gambhir, A., Butnar, I., Li, P. H., Smith, P., & Strachan, N. (2019). A review of criticisms of integrated assessment models and proposed approaches to address these, through the lens of BECCs. *Energies*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/en12091747>

Gilbert, J. (2017). *General Equilibrium Analysis Part I Introduction to CGE Capacity Building Workshop “Enhancing Capacity on Trade Policies and Negotiations in Laos.”*

Hirt, L. F., Schell, G., Sahakian, M., & Trutnevyte, E. (2020). A review of linking models and socio-technical transitions theories for energy and climate solutions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35, 162–179. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2020.03.002>

- Hughes, H. R., & Paterson, M. (2017). Narrowing the Climate Field: The Symbolic Power of Authors in the IPCC's Assessment of Mitigation. *Review of Policy Research*, 34(6), 744–766. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ropr.12255>
- Huppmann, D., Gidden, M., Fricko, O., Kolp, P., Orthofer, C., Pimmer, M., Kushin, N., Vinca, A., Mastrucci, A., Riahi, K., & Krey, V. (2019). The MESSAGEix Integrated Assessment Model and the ix modeling platform (ixmp): An open framework for integrated and cross-cutting analysis of energy, climate, the environment, and sustainable development. *Environmental Modelling and Software*, 112, 143–156. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2018.11.012>
- Ikefuji, M., Laeven, R. J. A., Magnus, J. R., & Muris, C. (2021). DICE Simplified. *Environmental Modeling and Assessment*, 26(1). <https://doi.org/10.1007/S10666-020-09738-2>
- Keen, S. (2019). *The Cost of Climate Change - Economics*. <https://economics.com/steve-keen-nordhaus-climate-change-economics/>
- Keppo, I., Butnar, I., Bauer, N., Caspani, M., Edelenbosch, O., Emmerling, J., Fragkos, P., Guivarch, C., Harmsen, M., Lefevre, J., le Gallic, T., Leimbach, M., Mcdowall, W., Mercure, J. F., Schaeffer, R., Trutnevyte, E., & Wagner, F. (2021). Exploring the possibility space: taking stock of the diverse capabilities and gaps in integrated assessment models. In *Environmental Research Letters* (Vol. 16, Issue 5). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe5d8>
- Kirman, A. P. (1992). Whom or What Does the Representative Individual Represent? *Journal of Economic Perspectives*, 6(2), 117–136. <https://doi.org/10.1257/JEP.6.2.117>
- Kowalok, M. E. (1993). Common threads: Research lessons from acid rain, ozone depletion, and global warming. *Environment*, 35(6), 12–38. <https://doi.org/10.1080/00139157.1993.9929107>

- le Treut, G. (2020). *Description of the IMACLIM-Country model: A country-scale computable general equilibrium model to assess macroeconomic impacts of climate policies*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02949396>
- Lemelin, A. (2017). Current Account Balances, Exchange Rates, and Fundamental Properties of Walrasian CGE World Models: A Pedagogical Exposition. In *Journal of Global Economic Analysis* (Vol. 2, Issue 1).
- Mathias, J. D., Debeljak, M., Deffuant, G., Diemer, A., Dierickx, F., Donges, J. F., Gladkykh, G., Heitzig, J., Holtz, G., Obergassel, W., Pellaud, F., Sánchez, A., Trajanov, A., & Videira, N. (2020). Grounding Social Foundations for Integrated Assessment Models of Climate Change. In *Earth's Future* (Vol. 8, Issue 7). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1029/2020EF001573>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). The Limits to Growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. In *The Limits to Growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books. <https://doi.org/10.1349/ddlp.1>
- Meadows, D., Richardson, J., & Bruckmann, G. (1982). *Book Reviews Groping in the Dark: The First Decade of Global Modelling*.
- Nieto, J., Carpintero, Ó., Lobejón, L. F., & Miguel, L. J. (2020). An ecological macroeconomics model: The energy transition in the EU. *Energy Policy*, 145. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2020.111726>
- Nieto, J., Carpintero, Ó., Miguel, L. J., & de Blas, I. (2020). Macroeconomic modelling under energy constraints: Global low carbon transition scenarios. *Energy Policy*, 137. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.111090>
- Nordhaus, W. D. (1992). *The "Dice" Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming*. <https://elischolar.library.yale.edu/cowles-discussion-paper-series>

- Onaran, Ö., Oyvat, C., & Fotopoulou, E. (2022). Gendering Macroeconomic Analysis and Development Policy: A Theoretical Model. *Feminist Economics*. <https://doi.org/10.1080/13545701.2022.2033294>
- Parson, E. A., & Fisher-Vanden, K. (1997). Integrated assessment models of global climate change. *Annu. Rev. Energy Environ* (Vol. 22). www.annualreviews.org
- Peichl, A. (2015). Linking Microsimulation and CGE models. *International Journal of Microsimulation*, 9(1), 167–174. <https://doi.org/10.34196/ijm.00132>
- Perry, M., Abrell, J., Ciscar, J. C., Pycroft, J., & Saveyn, B. (2013). *GEM-E3 Model Documentation Third Main Title Line Third Line*. <https://doi.org/10.2788/47872>
- Pindyck, R. S. (2015). The use and misuse of models for climate policy. *National Bureau of Economic Research*. 21097, DOI 10.3386/w21097
- Nieto, J. (2020). Modelling energy transitions to a low carbon economy. [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. *Repositorio de tesis de la Universidad de Valladolid*. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/42727>
- Pye, S., Butnar, I., Cronin, J., Welsby, D., Price, J., Dessens, O., Solano Rodríguez, B., Winning, M., Anandarajah, G., Scamman, D., & Keppo, I. (2020). *The TIAM-UCL Model (Version 4.1.1) Documentation*.
- Rabin, M., & Kostegi, B. (2006). A model of reference-dependent preferences. *Quarterly journal of economics*. Issue 4.
- REMIND - REgional Model of INvestments and Development [index]*. (2020). Retrieved July 10, 2022, from <https://rse.pik-potsdam.de/doc/remind/2.1.0/#how-to-cite>
- Rochedo, P. R. R., Soares-Filho, B., Schaeffer, R., Viola, E., Szklo, A., Lucena, A. F. P., Koberle, A., Davis, J. L., Rajão, R., & Rathmann, R. (2018). The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. In *Nature Climate*

Change (Vol. 8, Issue 8, pp. 695–698). Nature Publishing Group.
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0213-y>

Scrieciu, S., Rezai, A., & Mechler, R. (2013). On the economic foundations of green growth discourses: The case of climate change mitigation and macroeconomic dynamics in economic modeling. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment* (Vol. 2, Issue 3, pp. 251–268).
<https://doi.org/10.1002/wene.57>

Spash, C. L. (2007). The economics of climate change impacts à la Stern: Novel and nuanced or rhetorically restricted? *Ecological Economics*, 63(4), 706–713. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2007.05.017>

Stern, N. (2008). The economics of climate change. *American Economic Review*, 98(2), 1–37. <https://doi.org/10.1257/AER.98.2.1>

The WITCH team. (2017). *WITCH documentation*. <http://doc.witchmodel.org>

Țigan, E., Brînzan, O., Obrad, C., Lungu, M., Mateoc-Sîrb, N., Milin, I. A., & Gavrilaş, S. (2021). The Consumption of Organic, Traditional, and/or European Eco-Label Products: Elements of Local Production and Sustainability. *Sustainability 2021*, Vol. 13, Page 9944, 13(17), 9944.
<https://doi.org/10.3390/SU13179944>

UNFCCC. (2015). *Paris Agreement Spanish*.

van Beek, L., Hajer, M., Pelzer, P., van Vuuren, D., & Cassen, C. (2020). Anticipating futures through models: the rise of Integrated Assessment Modelling in the climate science-policy interface since 1970. *Global Environmental Change*, 65.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102191>

van Sluisveld, M. A. E., Martínez, S. H., Daioglou, V., & van Vuuren, D. P. (2016). Exploring the implications of lifestyle change in 2°C mitigation scenarios using the IMAGE integrated assessment model. *Technological Forecasting*

and Social Change, 102, 309–319.
<https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2015.08.013>

van Soest, H. L., de Boer, H. S., Roelfsema, M., den Elzen, M. G. J., Admiraal, A., van Vuuren, D. P., Hof, A. F., van den Berg, M., Harmsen, M. J. H. M., Gernaat, D. E. H. J., & Forsell, N. (2017). Early action on Paris Agreement allows for more time to change energy systems. *Climatic Change*, 144(2), 165–179. <https://doi.org/10.1007/S10584-017-2027-8/FIGURES/4>

Wei, Y. M., Han, R., Liang, Q. M., Yu, B. Y., Yao, Y. F., Xue, M. M., Zhang, K., Liu, L. J., Peng, J., Yang, P., Mi, Z. F., Du, Y. F., Wang, C., Chang, J. J., Yang, Q. R., Yang, Z., Shi, X., Xie, W., Liu, C., ... Liao, H. (2018). An integrated assessment of INDCs under Shared Socioeconomic Pathways: an implementation of C3IAM. *Natural Hazards*, 92(2), 585–618. <https://doi.org/10.1007/S11069-018-3297-9>

Weyant, J. (2017). Some contributions of integrated assessment models of global climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1), 115–137. <https://doi.org/10.1093/reep/rew018>

Yohe, G. W., & Tol, R. S. J. (2008). The Stern Review and the economics of climate change: An editorial essay. In *Climatic Change* (Vol. 89, Issues 3–4, pp. 231–240). <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9431-z>

Yumashev, D. (2020). *PAGE-ICE Integrated Assessment Model*. <https://www.researchgate.net/publication/342396462>

Yumashev Lancaster, D. (2019). *PAGE-ICE IAM, v6.22 Technical Description the Pentland Centre for Sustainability in Business*.

Zhang, S., Bauer, N., Yin, G., & Xie, X. (2020). Technology learning and diffusion at the global and local scales: A modeling exercise in the REMIND model. *Technological Forecasting and Social Change*, 151. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2019.119765>

Zsófia Kőműves. (2020). *The right tool for the job? A case study on the choice of model for policy analysis* - E3ME.
<https://www.e3me.com/developments/choice-of-model-policy-analysis/>