

La necesidad de un cambio de paradigma en la predicción económica. Del equilibrio general a los modelos basados en agentes

The need of a paradigm shift in economic forecasting. From the general equilibrium to agent-based models¹

Juan Luis SANTOS

Instituto Universitario de Análisis Económico y Social (IAES)/Universidad de Alcalá

juanluis.santos@iaes.es

BIBLID [ISSN 2174-6753, nº4, 133-150]

Artículo ubicado en: www.encrucijadas.org

Fecha de recepción: *septiembre del 2012* || Fecha de aceptación: *diciembre del 2012*

RESUMEN: La teoría macroeconómica ha desarrollado distintos modelos para evaluar y simular políticas de acuerdo a las teorías dominantes en cada momento. Actualmente muchos bancos centrales y administraciones públicas usan los modelos de equilibrio general dinámico estocástico para predecir el efecto de sus decisiones y escoger entre alternativas. La imposibilidad de predicción de las crisis por parte de estos modelos, así como su escasa aportación a las políticas con impacto regional o redistributivas hace que no sean la herramienta idónea para evaluar y simular políticas. Con los modelos basados en agentes se pueden conocer en profundidad las relaciones entre los distintos componentes de la economía, haciendo énfasis en la importancia de la heterogeneidad, las redes, la localización y el aprendizaje por imitación. Estos modelos permiten conocer no solo la tendencia esperada de variables agregadas, sino su impacto sobre los distintos agentes de acuerdo a sus características.

Palabras clave: Modelos basados en agentes, modelos DSGE, predicción económica, evaluación de políticas, macroeconomía.

ABSTRACT: The macroeconomic theory has been developing different models to assess and simulate policies according to the dominant theories in every moment. Currently, many central banks and governments use dynamic stochastic general equilibrium models to predict the effect of their decisions and choose among alternatives. The unpredictability of the crisis by these models and its narrow contribution to the regional impact of policies or the income distribution, make this kind of models a lackluster tool to evaluate and simulate policies. To overcome these drawbacks, making use of agent-based models we can learn in depth the relations between different actors, emphasizing the importance of heterogeneity, networks, location and learning by imitation. These models help us understanding not only the expected trend of macroeconomic variables, but its impact on the various actors according to their characteristics.

Keywords: Agent-based models, DSGE models, economic forecasting, policy evaluation, macroeconomics.

¹ Los resultados recogidos en este documento se enmarcan en el proyecto MOSIPS (Modeling and Simulation of the Impact of Public Policies on SMEs), cofinanciado por el VII Programa Marco de Investigación de la Comisión Europea bajo el contrato 288833. El autor desea expresar su agradecimiento por sus valiosas sugerencias e indicaciones al resto de componentes del equipo del IAES en el proyecto MOSIPS, encabezado por Tomás Mancha e integrado por Federico Pablo Martí, María Teresa Gallo, Antonio García Tabuenca, y María Teresa del Val. No obstante, las ideas expresadas en el texto reflejan únicamente el punto de vista del autor y no deben ser atribuidas a ninguna institución participante en el proyecto.

1. Introducción

Las corrientes dominantes de la ciencia conviven con disidentes que cuestionan la validez de sus postulados y conclusiones. Desde sus inicios, la macroeconomía no es ajena a esta crítica. Sin embargo, ha sido el fracaso de la disciplina para predecir la crisis financiera lo que ha hecho que el terreno sea particularmente fértil para un replanteamiento en profundidad.

Los críticos tienden a ponerse de acuerdo sobre qué es erróneo en las previsiones macroeconómicas en la actualidad. En julio de 2010, una comisión de la Cámara de Representantes de Estados Unidos debatió acerca de los modelos de Equilibrio General Dinámico Estocástico (DSGE en sus siglas en inglés) que constituyen el núcleo de la macroeconomía en la actualidad (Caballero, 2010) y se utilizan por instituciones internacionales y por los bancos centrales y los ministerios de economía de un creciente número de países. La reunión sirvió para cuestionar la pertinencia en confiar la política económica nacional en un modelo único y específico, cuando se dispone de alternativas (Solow, 2010). Un número creciente de economistas vienen atacando muchos de sus supuestos, incluida la eficiencia de los mercados financieros y las expectativas racionales, en los que estos modelos se basan (Kirman, 2010). Estos supuestos son demasiado simplistas para recoger la complejidad de los procesos socioeconómicos. Parece haber un acuerdo en la necesidad de un cambio, pero hay menos consenso sobre qué debería sustituir a los modelos actuales. Una de las opciones más prometedoras es la que se centra en los modelos basados en agentes (ABM), que podrían incorporar las lecciones de esta crisis y servir, quizás, para desarrollar un sistema de alerta temprana para la próxima.

Al contrario que los DSGE, los ABM no suponen que la economía puede alcanzar un equilibrio establecido. A diferencia de muchos modelos, estos no están compuestos por agentes representativos idénticos: empresas u hogares cuyos individuos reflejen el comportamiento de la economía en su conjunto. Por el contrario, un ABM utiliza un enfoque de lo particular a lo general, asignando normas de comportamiento para cada tipo de agente sin establecer un resultado a priori.

El comportamiento de los agentes puede ser determinado y alterado fundamentalmente por la interacción directa entre ellos, mientras que la interacción en los modelos convencionales ocurre solo de forma indirecta a través de los precios. Esta característica de los ABM permite, por ejemplo, el cambio de conducta a través de la imitación, que hace que los inversores tiendan a comportarse como dicta el sentimiento de mercado. Así, los agentes pueden aprender de la experiencia o cambiar sus estrategias de acuerdo a la opinión de la mayoría, a pesar de que no sea racional llevar a cabo esta acción. Además, en estos modelos se pueden agregar diversas estructuras institucionales, como bancos y empresas. Estas características son difíciles de implementar en los modelos convencionales.

Aunque los modelos DSGE también se basan en fundamentos microeconómicos, se construyen bajo el supuesto según el cual los mercados están siempre en equilibrio. Este supuesto no parece desacertado en la mayor parte del tiempo y de los mercados, por lo que los modelos DSGE se comportan suficientemente bien como para aceptar sus resultados cuando las economías se encuentran siguiendo ciclos económicos en los que no hay alteraciones. No obstante, su desempeño durante las grandes crisis no alcanza un nivel suficiente como para que sus predicciones sirvan como fundamento en la toma de decisiones de política económica, en especial cuando entran en juego el riesgo y la incertidumbre, que pueden alterar los com-

portamientos de los agentes. Por su concepción, las ecuaciones de los modelos DSGE recogen pequeñas fluctuaciones en torno a un estado estacionario y de esta forma analizan y predicen los ciclos económicos de las economías.

Los ABM, en cambio, no hacen suposiciones acerca de la eficiencia de los mercados o de la existencia de un equilibrio. Las grandes fluctuaciones y los periodos de crisis pasan a ser una característica inherente de los sistemas modelizados, pudiendo predecirse las grandes crisis a través de las tensiones en el sistema. Esto se debe a que los ABM contienen mecanismos de retroalimentación que pueden amplificar los efectos de pequeña dimensión, tales como el cambio en el comportamiento por imitación y el pánico, que generan respectivamente burbujas y desplomes en el precio de los activos.

En términos matemáticos, estos modelos son no lineales y no linealizables, lo que implica que los efectos generados no tienen por qué ser proporcionales a sus causas (Scholl, 2010)². La contrastación empírica de la no linealidad fue claramente expuesta en la contracción del crédito. El desequilibrio en algunos mercados financieros afectó al resto de la economía multiplicando el efecto que de otra manera hubiera sido mucho menor. En los últimos años se están desarrollando varios modelos del mercado de la vivienda en Estados Unidos inspirados en los enfoques ABM que muestran cómo una conjunción de precios crecientes de la vivienda, tipos de interés decrecientes y un fácil acceso a la refinanciación pueden crear una carga insostenible de deuda que, al no poder seguir creciendo, da lugar indudablemente a una severa crisis bancaria. Esta conclusión no puede ser prevista en los modelos DSGE, pero la corriente dominante se niega a abandonar sus postulados, tratando de incorporar la reciente burbuja en el QUEST III, el modelo usado por la Comisión Europea (Ratto, Roeger e in't Veld, 2010).

En la sección dos se considerará el proceso que llevó a la adopción de los modelos DSGE como núcleo de la macroeconomía del análisis del corto y medio plazo. En la parte tres se discutirán algunas de sus características y puntos débiles que hacen necesaria su sustitución. A continuación se definirán los modelos ABM y sus características, centrándonos en las mejoras que aportan y en la quinta sección se presentan las herramientas necesarias para su correcta utilización como modelos macroeconómicos. Finalmente, se repasarán los principales inconvenientes que han impedido que sean utilizados en el pasado y en las conclusiones se valorará, a la vista de los resultados, la posible necesidad de un cambio de paradigma.

2. El fracaso del modelo IS-LM. Hacia los modelos DSGE

Hasta mediados del siglo veinte el estudio de la macroeconomía se llevaba a cabo sin una teoría formal que respaldara sus postulados. La política macroeconómica se basaba en un conocimiento empírico sin interconexiones y sin gran parte de la teoría que hoy en día consideramos básica. El campo avanzó a través de ensayo y error, y los economistas comenzaron utilizando modelos sencillos, tales como la teoría cuantitativa y la cruz keynesiana, que capturan los elementos esenciales de la macroeconomía y proporcionan orientación cualitativa para adoptar decisiones políticas. La teoría económica no había evolucionado

² En este trabajo se recogen las diferencias a nivel técnico entre los modelos de sistemas dinámicos y los basados en agentes. Mientras que en los modelos que usan sistemas dinámicos la simultaneidad dificulta la tarea de encontrar causas para los efectos observados, los modelos basados en agentes permiten identificar las causas en áreas a priori no relacionadas entre sí. En algunas simulaciones de ABM estos efectos pueden ser de una magnitud mucho mayor a las causas que los provocaron mientras que en otras los efectos se disipan de manera convencional.

do a su fase axiomática matemática en ese momento, así que la idea de un modelo macroeconómico basado en axiomas sobre el comportamiento individual no se había planteado.

Con el desarrollo de modelos macroeconómicos de carácter econométrico muchos de los modelos keynesianos se presentaron como poseedores de los fundamentos de la teoría microeconómica y ofrecieron un modelo formal, el IS-LM (*Investment-Saving / Liquidity preference-Money supply*) concebido en 1936 durante la *Econometric Conference* y presentado más tarde por Hicks (1937) que llegó a considerar a éste y al resto de modelos de equilibrio general inadecuados para tomar decisiones políticas (Hicks, 1980).

Los fundamentos microeconómicos se fueron integrando en los modelos sectoriales, para darles la apariencia de estar basados en el enfoque axiomático de la teoría del equilibrio general. Esto llevó a la economía keynesiana a separarse de la que su fundador concibió, basada en las decisiones individuales de los agentes, que se relacionaban entre ellos de maneras diversas, emergiendo los valores agregados como la suma de las decisiones individuales, asentadas en diferentes motivaciones (Mancha y Villena, 1993).

Estos modelos keynesianos siguieron progresando hasta finales de los sesenta, sin ser ajenos a críticas desde mediados de la década de los cincuenta con Friedman (1957) y su hipótesis de la renta permanente, que atacaba la función de consumo de estos modelos, sobre la que se basan los multiplicadores de la política fiscal. Los pensadores neoclásicos siguieron atacando los postulados de los modelos keynesianos sosteniendo que la inestabilidad económica era causada por una mala política monetaria y no por los *animal spirits* de los inversores (Friedman y Schwartz, 1963) sirviendo de precedente la política monetaria basada en el control de la inflación. La curva de Phillips se usa para explicar en los modelos keynesianos cómo los precios se ajustan a lo largo del tiempo sirviéndose de un *tradeoff* entre inflación y desempleo. Phelps (1968) atacó este supuesto y el pensamiento neoclásico explicó el desempleo a partir de la ilusión monetaria.

Robert Lucas (1976) mantiene que los modelos keynesianos que se usaban hasta la fecha no eran válidos para predecir los efectos de las políticas ya que se basaban en las reglas de decisión óptima de los agentes económicos, y estas reglas varían con los cambios en su entorno. De esto se deduce que cualquier cambio en las políticas altera la estructura de los modelos econométricos. Para Lucas es ingenuo tratar de predecir los efectos de un cambio en la política económica sobre la base de las relaciones observadas en los datos históricos, sobre todo de los agregados. Este argumento pone en tela de juicio el uso a gran escala de los modelos econométricos para explicar la dinámica de los procesos macroeconómicos. La crítica de Lucas sugiere que para predecir el efecto de una medida política, es necesario acudir a modelos con parámetros que tengan en cuenta la relación de preferencias, la tecnología y las limitaciones de recursos que rigen el comportamiento individual. De este modo es factible predecir las actuaciones que los individuos llevarían a cabo, teniendo en cuenta el cambio en las políticas, y luego agregar las decisiones individuales para calcular los efectos macroeconómicos de estas variaciones.

Las teorías del ciclo económico de Kydland y Prescott (1982) y Long y Plosser (1983) se diferenciaron de los anteriores trabajos neoclásicos en que omitieron el papel de la política monetaria para explicar las fluctuaciones económicas. Estos autores remarcaron el rol de las perturbaciones aleatorias en la tecnología y la sustitución intertemporal de consumo y de ocio que estas perturbaciones inducen.

Gracias a estas aportaciones, la visión dominante de la macroeconomía se sirvió del rigor matemático y se diluyeron las diferencias con la microeconomía. Los modelos de ciclo económico son ejemplos concretos y dinámicos de la teoría del equilibrio general, que forma parte de la teoría microeconómica. Esta teoría trata de dar una explicación global del comportamiento de la producción, el consumo y la formación de precios en una economía con uno o varios mercados de bienes, servicios y factores de producción. El equilibrio general intenta dar una explicación de lo particular a lo general, comenzando con los mercados y agentes individuales, mientras que la macroeconomía de corte keynesiano empleaba una visión de lo general a lo particular, donde el análisis comienza por los componentes más destacados.

En las economías de mercado los precios y la producción de todos los bienes, incluyendo el precio del dinero, están interrelacionados. Un cambio en el precio de un bien puede afectar a otros precios, como por ejemplo los salarios de los productores de ese bien y el precio de bienes sustitutivos o complementarios. En teoría, calcular el precio de equilibrio de un único bien requiere un análisis que considere el resto de los diversos bienes que están disponibles para su producción e intercambio.

El primer intento de modelizar la formación de los precios de toda una economía lo realizó Léon Walras en 1874. Su línea de investigación fue continuada por los economistas de la corriente neoclásica a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. En su obra proporciona varios modelos, cada uno de los cuales tiene en cuenta una cantidad creciente de aspectos de una economía real: diferentes tipos de bienes, producción, crecimiento económico y cantidad de dinero.

Kenneth Arrow y Gerard Debreu (1954) prosiguieron con la investigación de las condiciones necesarias para que los equilibrios sean únicos y estables. Así, cualquier modelo de equilibrio general supone que se cumplen los supuestos que dan lugar a la existencia y unicidad de este equilibrio. Algunos de estos supuestos se centran en las preferencias de los individuos y en las funciones de producción de las empresas, que tienen que cumplir una serie de condiciones matemáticas implausibles en la realidad. Con un número elevado de consumidores estas condiciones se pueden relajar hasta exigir solo dotaciones positivas de bienes para garantizar este equilibrio. Un gran número de autores ha criticado la falta de verosimilitud en el cumplimiento de estas condiciones. No obstante, los modelos basados en la teoría del equilibrio general han demostrado su indiscutible utilidad en los últimos años.

Al tiempo que se daba lo que ha venido a llamarse "revolución neoclásica" los economistas con ideas keynesianas reaccionaron e incluyeron el equilibrio general en sus modelos para comprender la asignación de recursos y las crisis (Barro y Grossman, 1971). Más adelante los neokeynesianos continuaron discutiendo la hipótesis de la racionalidad perfecta y la fijación de precios (Mankiw, 1985; Akerlof y Yellen, 1985). Al contrario de lo que sucedió con los trabajos de los neoclásicos, que rompían con los paradigmas del pasado, las contribuciones de los neokeynesianos se incluyeron en la teoría del equilibrio general, subsanando algunos de sus problemas más importantes y llegando a la síntesis neoclásica-keynesiana, que lejos de satisfacer a las dos partes fue atacada por postkeynesianos como Joan Robinson, Michal Kalecki o Nicholas Kaldor.

Ya en la última década del siglo pasado, se alcanzó una nueva síntesis, aplicada en especial en investigación sobre política monetaria (McCallum y Nelson, 1999; Clarida, Gali y Gertler, 1999). Esta síntesis se construyó a partir de los modelos neoclásicos usando herramientas de la teoría del equilibrio general y se materializó en los modelos DSGE (Marimom y Scott, 1999; Canova, 2011; DeJong y Dave, 2011). Las

preferencias de los agentes, las restricciones a las que se enfrentan y el mecanismo de optimización intertemporal son el punto de partida y el análisis se construye a partir de estos fundamentos microeconómicos. Una de las características de estos modelos es la rigidez de los precios en el corto plazo, uno de los supuestos que los neoclásicos rechazaron con más vehemencia en sus primeros ataques al keynesianismo.

Estos nuevos modelos se han impuesto como el paradigma dentro del análisis macroeconómico de corto y medio plazo tal como preveía Sims (1996). Los bancos centrales y ministerios de economía se han mostrado cada vez más interesados en su utilidad para el análisis de políticas. Hoy en día muchas instituciones, tanto en los países desarrollados como en las economías emergentes, han desarrollado sus propios modelos y muchos otros están empezando o tienen previsto hacerlo. Los DSGE se han aplicado directamente a la evaluación y simulación de políticas a pesar de que su validez no fue suficientemente demostrada a partir de series históricas.

Los modelos DSGE son herramientas potentes que proporcionan un marco coherente para el análisis y la evaluación de políticas. Ayudan a identificar las fuentes de fluctuaciones, responden a preguntas sobre los cambios estructurales y pronostican el efecto de los cambios en las políticas, permitiendo realizar experimentos contrafactuales.

3. ¿El fracaso de los modelos DSGE? Hacia los modelos ABM

Una característica muy importante de los modelos de equilibrio general es lo que Walras describió como condición de equilibrio de mercado (*market clearing condition*), que venía dada por una autoridad central que propone un conjunto de precios, determina un exceso de demanda a estos precios, y los va ajustando a sus valores de equilibrio. Ahora sabemos que la dinámica implícita en una economía de intercambio es generalmente inestable, e incluso caótica (Fisher, 1983; Saari, 1985). Por otra parte, el mecanismo walrasiano de tanteo no tiene contrapartida en la economía de mercado real, y viola el espíritu de intercambio descentralizado en el que el modelo de equilibrio general está basado. Dado que todavía no ha sido descubierto ningún ajuste no descentralizado, por el momento no existe un modelo aceptable de la dinámica del sistema walrasiano.

Un enfoque más razonable sería reconocer que el comportamiento del conjunto no tiene por qué corresponder con el comportamiento de los componentes, ni puede por lo general derivarse de la consideración de este último únicamente. Cualquier modelo macroeconómico que pretenda ser teóricamente sólido debería analizar no solo las características de los individuos, sino también la estructura de sus interacciones. Este punto de vista es algo común en otras disciplinas como la biología, la física y la sociología. Estas ciencias reconocen que el comportamiento agregado de los sistemas de partículas o moléculas no se puede deducir a partir de las características de un representante de la población. Lo mismo es cierto para los sistemas económicos, la falacia de la composición existe, y debe ser tratada (Howitt, 2006).

Las variables macroeconómicas surgen a partir de la agregación de las actividades de los distintos agentes que llevan a cabo acciones económicas. Para obtener los mejores resultados posibles sería conveniente entender esas acciones a nivel individual. De esta forma además de datos agregados nacionales o regionales se podrían observar conductas locales y de más bajo nivel. Una de las funciones más importantes de la macroeconomía es la evaluación de políticas y con observar el resultado macroeconómico, aun

suponiendo que fuera correcto, no sería suficiente porque no se observarían los efectos sobre los distintos agentes. De este modo, un modelo que agregue a los agentes no podrá informar sobre quién pierde o encuentra empleo como consecuencia de una política, dónde está localizado y cuáles son sus características. Este debería ser el objetivo último de un análisis macroeconómico además de conocer el efecto total sobre el conjunto de la economía.

Hay factores muy importantes en el mundo real como las necesidades de subsistencia, los mercados incompletos, la competencia imperfecta o las interacciones estratégicas de comportamiento y aprendizaje, que complican enormemente las formulaciones analíticas y por lo tanto no suelen incorporarse. Conscientes de las limitaciones de los modelos de equilibrio general, alrededor de mediados de la década de los ochenta, varios investigadores comenzaron a desarrollar herramientas basadas en agentes dentro del área de la economía computacional, capaz de capturar la complejidad de los fenómenos económicos del mundo real de forma útil para los propósitos de estos modelos. En poco tiempo se comenzó a debatir si la aplicación de estos instrumentos podría facilitar una mayor base empírica en la modelización macroeconómica. Tres décadas después, gracias al formidable aumento de la capacidad de los sistemas informáticos y a la proliferación de fuentes de microdatos, parece que ya ha llegado el momento de superar los inconvenientes de los modelos DSGE y apostar por una nueva metodología que dista de ser perfecta, pero permitirá seguir avanzando en el estudio de la macroeconomía.

Además, tal como recoge Diebold (1998) según se debatió en la sesión "*Monetary and Fiscal Policy: The Role for Structural Macroeconomic Models*" en la reunión anual de la *American Economic Association*, los modelos DSGE no aspiraron en un primer momento más que a representar unas pocas variables en equilibrio siguiendo el principio KISS (*Keep It Sophisticatedly Simple*). Sin embargo, los modelos se fueron complejizando haciendo casi imposible la comprensión de qué sucede en realidad dentro de ellos. El resultado fue la situación que describió Robert Solow (2006), cuando escribió que tal vez resida en la naturaleza humana un placer profundo en adoptar y defender una doctrina totalmente contraria a la intuición, que deja a los no iniciados cuestionándose en qué planeta se encuentran.

Con lo visto hasta ahora se justifica la necesidad de un cambio en el paradigma de la predicción macroeconómica. Tal como se ha apuntado, los modelos basados en agentes podrían ser una de las alternativas, pero no la única ya que existen otros modelos fuera del *mainstream* que también pueden predecir grandes crisis (Caballero, 2010). Sin embargo, trabajos recientes que no han sido rebatidos ponen en duda la validez de cualquier método económico basado en ecuaciones en vez de en algoritmos. Kumaraswamy Vela Velupillai (2005, 2011, 2012a, 2012b) sostiene y argumenta matemáticamente que no solo no sirven los modelos actuales de predicción, sino que cualquier modelo ecuacional basado en lo que él denomina matemáticas "clásicas" puede ser coherente consigo mismo y correcto desde un punto de vista formal, pero sus resultados no son extrapolables. Solo los modelos algorítmicos pueden ser utilizados para comparar sus resultados con la realidad. Toda la macroeconomía que conocemos no serviría para su propósito y sería necesario comenzar casi desde cero para poder decir algo relevante. La única posibilidad es usar algoritmos, operaciones y reglas que permiten hallar la solución de un problema. Estos algoritmos deben ser implementados sobre las unidades decisoras que llevan a cabo las acciones: los agentes.

4. Los modelos basados en agentes

Las ciencias sociales tratan de comprender el comportamiento de los individuos, pero también cómo las interacciones entre ellos dan lugar a los resultados agregados que se observan. La comprensión del sistema económico requiere más información y conocimiento que la comprensión de los individuos que lo componen. También se necesita para la comprensión del sistema conocer cómo los individuos interactúan unos con otros, y de qué manera esto conlleva que los resultados puedan ser más que la suma de las partes.

Los modelos ABM son adecuados para estudiar de forma objetiva la macroeconomía ya que trabajan con un método para el estudio de los sistemas que se componen de la interacción de agentes; y en los que aparecen propiedades emergentes, es decir, propiedades que surgen de las interacciones de los agentes que no se pueden deducir simplemente mediante la agregación de las propiedades de los individuos que los componen.

Cuando la interacción de los agentes depende de la experiencia pasada, y especialmente se adaptan permanentemente en base a la experiencia, las expectativas o a la imitación, el análisis matemático suele ser muy limitado en su capacidad para derivar las consecuencias dinámicas. En este caso, los ABM podrían ser el único método práctico de análisis.

4.1 La economía computacional basada en agentes

Como se explica en Epstein y Axtell (1996) y se amplía en Tesfatsion (2007), la Economía Computacional Basada en Agentes (ABCE) es el cálculo de los procesos económicos modelizados como sistemas dinámicos de interacción de agentes. Aquí agente se refiere a una colección de datos individualizados y a los métodos de representación de una entidad residente en un mundo construido virtualmente. Estos agentes pueden ser seres vivos, agrupaciones sociales, instituciones o empresas.

La ABCE es un enfoque para el estudio del sistema económico de forma holística. Una vez que las condiciones iniciales han sido especificadas por el modelizador, todos los acontecimientos posteriores son impulsados por las interacciones entre agentes. Estas interacciones son determinadas de forma dinámica por las estructuras internas de comportamiento, el nivel de información, las creencias, motivaciones y métodos de procesamiento de datos. Un punto crucial es que la modelización no se necesita para limitar las interacciones entre agentes a priori por la imposición de distintas condiciones que pueden ser subjetivas. Lo ideal sería que los agentes en los modelos ABM fueran tan libres de actuar dentro de sus realidades virtuales como su contrapartida empírica en el mundo real.

Para crear un modelo ABM con el objeto de facilitar la comprensión de la macroeconomía, deberían seguirse tres criterios. El modelo debe incluir una correcta clasificación de los agentes con base empírica. En segundo lugar, la escala del modelo debe ser adecuada para los objetivos que se pretendan. Por último, las especificaciones del modelo deben estar sujetas a la validación empírica en un intento de proporcionar una visión fidedigna de los mecanismos causales tanto últimos como inmediatos.

4.2 Clasificación de los agentes

La clasificación de los fenómenos en grupos o categorías ordenadas es indispensable para la investigación científica. Además, facilita la detección y corrección de errores, al tiempo que permite comparar resultados. La clasificación debe hacerse con una base empírica, resaltando su importancia en el proceso de teorización y construcción de modelos macroeconómicos. Para llevarla a cabo debemos conocer la respuesta a las siguientes cuestiones:

- Tipos de necesidades humanas y deseos que son relevantes para la comprensión de los fenómenos macroeconómicos.
- Tipos de bienes y servicios que cumplen estas necesidades y deseos.
- Tipos de instalaciones que existen o pueden existir para producir y distribuir estos bienes y servicios, y que participan en las actividades de producción.
- Posible presencia de agentes que supervisan el diseño y el funcionamiento de estas instituciones, y en su caso, fines que persiguen.

La ABCE como tal no ofrece respuestas a estas preguntas, se trata de un enfoque, no de una teoría. Por el contrario, los modelos ABM proporcionan una manera sistemática para incorporar cualquier clasificación que se considere relevante para el estudio exploratorio de un fenómeno económico particular. El investigador se puede liberar de la constrictiva teoría del equilibrio general y adentrarse en un área con gran maleabilidad analítica y de la necesidad de contar con clasificaciones artificiales derivadas de los conocimientos de la propia macroeconomía y de otras disciplinas.

De hecho, los agentes en los modelos ABM pueden abarcar todo el espectro de las funciones de decisión: desde neutral al entorno sin función cognitiva hasta tomador de decisiones con sofisticadas capacidades cognitivas que recojan y procesen datos activamente. Por ejemplo, los modelos macroeconómicos ABM pueden incluir agentes estructurales (por ejemplo el territorio), agentes institucionales (como un sistema legal, el sector público, empresas o los mercados), y agentes cognitivos (por ejemplo empresarios, consumidores y intermediarios financieros).

Estos agentes pueden tener una extensa lista de características, pero emergen algunas apuntadas por Wooldridge y Jennings (1995) que son: la autonomía para interactuar independientemente, las habilidades sociales para poder relacionarse mediante algún sistema de comunicación, la reactividad para percibir el entorno y responder a cambios en él y la proactividad, que hace que no solo sean capaces de responder al entorno, sino que toman decisiones por iniciativa propia. El grado de racionalidad no se define sino como la probabilidad de que un agente tome la decisión más acertada desde su punto de vista y con la información disponible a su alcance.

Una vez que la clasificación de los agentes se especifica, los datos y relaciones de cada tipo pueden ser definidos utilizando la evidencia disponible de estudios de campo, estudios econométricos, experimentos económicos, encuestas y entrevistas. Los modelos ABM se implementan normalmente utilizando lenguajes de programación orientados a objetos (Nguyen, 2008) para formular las capacidades y relaciones de cada agente, y permitir modularlas posteriormente para refinar el modelo.

4.3 La robustez y el número de agentes

Al igual que el resto de las ciencias, la macroeconomía se debería esforzar por construir modelos que sean “simples pero no demasiado simples”, como se recoge en la reconocida cita mal atribuida a Albert Einstein. Al leer cualquier artículo que trate sobre un modelo DSGE, puede comprobarse que su especificación dista de ser simple, como es el caso del modelo que utiliza el Ministerio de Economía de España (Boscá *et al.*, 2010).

La escala del modelo es un aspecto crítico de esta simplificación cuando abandonamos las ideas de la agregación y el agente representativo. Han de plantearse una serie de cuestiones para las que desarrollar una respuesta adecuada, basada en estos y otros criterios:

- Cómo deben representarse las familias con diferentes necesidades y deseos.
- Cómo deben representarse los bienes y servicios para satisfacer estas necesidades y deseos.
- Cuántos aspectos institucionales de producción y distribución deben incorporarse explícitamente.

La elección del número de agentes es fundamental por sus consecuencias sobre la actividad económica. En un extremo del espectro, cuando los participantes del mercado son suficientemente numerosos, se da competencia perfecta entre compradores y vendedores. En el otro extremo, cuando un mercado se compone de un vendedor al que se enfrentan numerosos compradores aparece un monopolio en el que el único vendedor fija el precio de mercado para obtener el máximo beneficio posible. Entre estos dos extremos se encuentra una vasta región, en la que la rivalidad entre compradores y vendedores conduce a la competencia imperfecta. La teoría macroeconómica moderna está en gran parte basada en los supuestos de competencia perfecta. Esta estrategia de modelización no se da tanto por la evidencia empírica sino por consideraciones en el tratamiento analítico.

Uno de los mayores aportes que los ABM podrían hacer a la teoría macroeconómica es la exploración constructiva de los efectos de escala sin la imposición externa de dispositivos de coordinación artificial. Sin delimitar de antemano los comportamientos de los agentes en la fijación de precios y cantidades, es posible simular lo que sucede cuando la economía tiene a unos pocos miles frente a varios millones de participantes. Habría que delimitar y contrastar qué efectos macroeconómicos son resueltos de manera satisfactoria por modelos a pequeña escala, y qué requiere de una escala más cercana a la realidad empírica. Actualmente la capacidad de computación permite llevar estas simulaciones a cabo; ahora lo que se necesita es comprender los motivos que nos han de llevar a usar esas grandes capacidades de cálculo y discernir cuándo conviene tratar un número de agentes más limitado.

5. ABM como modelos macroeconómicos

En los últimos años un número creciente de modelos ABM se han utilizado para predecir y para simular el impacto de políticas públicas. Entre los primeros trabajos se encuentran los de Gintis (2006), que puso en duda el funcionamiento de los mercados tal como los trabajos de equilibrio general han venido aplicando. Al igual que sucedió con los primeros trabajos de esta teoría, adolecía de defectos importantes. Algunos de estos fallos se subsanaron en la familia de modelos *Lagom* – una palabra sueca para designar justo la cantidad correcta– (Mandel *et al.*, 2009) que ha continuado incluyendo nuevas características para mejo-

rar sus predicciones (Wolf *et al.*, 2011). Otro intento de utilizar la ABCE ha sido el iniciado con el artículo “Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles” (Dosi, Fagiolo y Roventini, 2010) que aúna las teorías de los dos autores y estudia las propiedades dinámicas de los agregados macroeconómicos y cómo las políticas públicas afectan a los distintos componentes de una economía.

En la actualidad gracias a los avances en la capacidad de computación que permiten manejar millones de agentes con un número aún más elevado de relaciones entre ellos, una nueva serie de modelos macroeconómicos como Eurace@Unibi (Deissenberg, Van der Hoog y Dawid, 2008; Cincontti, Raberto y Teglio, 2010; Dawid *et al.*, 2011) o MOSIPS (Pablo-Martí *et al.*, 2012a) –Modelo de Simulación de Impactos de las Políticas públicas sobre pymes– aspiran a representar de forma realista una economía, poniendo el énfasis en las interrelaciones que vienen determinadas en buena medida por las variables espaciales. De este modo, no solo es necesario representar los agentes con sus características sino también su posición y los agentes con los que comparten información e intercambian productos, servicios, factores de producción y activos financieros.

Cualquier modelo ABM cuya finalidad sea predecir y simular el impacto de las políticas sobre los agentes económicos debe desarrollarse en paralelo a una base de datos que cumpla las características requeridas por el modelo: todos los agentes deben tener un valor para todas las variables relevantes, incluyendo su localización precisa y sus relaciones con otros agentes. En la actualidad no existen bases de datos públicas que cumplan estos requisitos así que deben construirse mediante dos técnicas hasta ahora infrecuentes en las ciencias sociales. Estas técnicas son la fusión estadística y el escalaje. La primera de ellas permite unir microdatos de varias fuentes, como el censo de población o la encuesta de población activa. La segunda técnica nos permite conocer mejor el territorio y estudiar la vertiente espacial de los modelos.

5.1. Técnicas de fusión estadística

La fusión estadística o *statistical matching* es una técnica que se utiliza para unir varias fuentes estadísticas en una sola combinando sus variables cuando los datos carecen de un identificador común. Esta técnica se ha venido utilizando en el tratamiento estadístico para unir dos fuentes que contenían datos complementarios como ingresos y gastos de las familias. Sin embargo, para construir las bases de datos de los modelos ABM de predicción y simulación macroeconómica es necesario unir un elevado número de fuentes estadísticas diferentes con características dispares.

A la hora de afrontar una fusión estadística deben tenerse en cuenta varias cuestiones (Sutherland, 2001). Es necesario que las dos muestras presenten un cierto número de variables comunes, proporcionando además cada una de ellas variables propias no comunes. En segundo lugar, deberemos distinguir entre muestra principal y muestra complementaria: la primera de ellas será la que nos proporcione la estructura, los datos y el tamaño muestral, mientras que la segunda se limitará a suministrar las variables adicionales necesarias. En tercer lugar, deberán homogeneizarse las muestras para corregir la posible heterogeneidad en distintos aspectos (unidad de análisis, territorio o población representada). También deberán escogerse las variables de fusión apropiadas que permitan emparejar observaciones de una y otra muestra. Una vez dados estos pasos, se lleva a cabo la fusión propiamente dicha, que suele realizarse en dos fases: en la primera de ellas se crean “celdas” de observaciones similares, que se agrupan según cri-

terios de distancia establecidos para varias variables de fusión; y en la segunda se lleva a cabo el emparejamiento solo entre observaciones de la misma celda, a través de otra variable de fusión.

Las variables de fusión son aquellas variables comunes a ambas muestras que se utilizarán para emparejar observaciones. Para que la fusión se realice correctamente, debe exigirse que las variables no comunes estén relacionadas entre sí solo a través de las variables de fusión, lo que se conoce como propiedad de independencia condicional (D'Orazio, Di Zio y Scanu, 2006)

En un ejemplo reciente, al unir el censo de población que proporciona la localización de la residencia junto con encuestas de movilidad que informan del lugar donde trabajan los individuos se comprueba cómo los patrones de compra se modifican al tener en cuenta esta información adicional (Schenk, Löffler y Rauh, 2007).

5.2 Escalaje e importancia de la localización

El escalaje o *downscaling* es una técnica estadística que une diversas fuentes espaciales con diferente nivel de definición para llegar a un resultado que supera en calidad a cada una de las fuentes utilizadas. Este procedimiento se utiliza en los modelos para el estudio del clima.

Para poder establecer contactos entre individuos de forma adecuada se tiene que incluir información de su localización geográfica. En el futuro este proceso no será necesario porque la Unión Europea prevé implantar en los próximos años la obligatoriedad de recoger la información individualizada incluyendo su georreferenciación. Sin embargo, en la actualidad la solución más utilizada consiste en unir varias fuentes con información territorial mediante el escalaje, para obtener una retícula en la que localizar a los agentes incluidos en el modelo (Gallego, 2010).

Los agentes basan su comportamiento en sus características, entre las que se incluye la información sobre su lugar de trabajo, su residencia o su patrón de movilidad. Por ejemplo, si un individuo tiene su vivienda en propiedad en una zona con altos precios en los bienes inmobiliarios, podrá endeudarse con mayor facilidad. Una empresa será diferente a otra, entre otras variables, por su localización, que determina tanto sus costes como su demanda potencial. Además, el entorno viene determinado por las características de quienes rodean a cada agente (personas, empresas). Estas características y el entorno definen y alteran su conducta. La información sobre la localización de los agentes se complementa con vías de comunicación, precio y uso del suelo e instalaciones públicas.

Mientras que para la macroeconomía tradicional todos los agentes participan en un mercado, en un ABM correctamente construido hay tantos mercados como agentes. Cada individuo no tiene acceso a todas las empresas, solo a las que conoce, que suelen ser las más cercanas y las más grandes. Por eso se ha de definir el concepto de visibilidad. Se pueden establecer funciones de tipo normal con su centro en la localización del agente y que dependen del tamaño de la empresa y la distancia con ésta. A mayor distancia o menor tamaño, disminuye la visibilidad de los agentes. Este concepto se ilustra con las compras al por menor. Los individuos conocen los precios de todos los comercios cercanos, pero solo saben los de los grandes centros comerciales alejados de su localización, a los que pueden sumar los precios del transporte dependiendo de su grado de racionalidad. Por eso, cada agente no se enfrenta a toda la oferta, sino que su demanda solo puede ser positiva en algunos establecimientos. La introducción de infraestructuras

de transporte altera las distancias, y por lo tanto las visibilidades y los patrones de compra. Esto ocurrirá también al agregar más fuentes de datos con la fusión estadística.

De este modo, la visibilidad de las empresas junto con la localización de los agentes es lo que hace posible que se produzcan intercambios comerciales en los mercados en un ABM. Por su parte, en un DSGE todos comercian con todos, en un supuesto mucho más irreal. No obstante, sería posible construir un ABM sin tener en cuenta la heterogeneidad de los agentes, su localización ni sus relaciones y asumiendo los supuestos de la teoría general. Así se llegaría al mismo resultado que con un DSGE. Por lo tanto, estos modelos estarían incluidos dentro de los ABM, pero usarían datos y supuestos que no corresponden a la realidad y por tanto los resultados serían diferentes a los de un ABM correctamente desarrollado.

Además, gracias al escalaje y a esta definición de los mercados se pueden determinar niveles de integración económica espacial dentro de las unidades autónomas determinadas. A nivel local aparecen zonas en las que personas y empresas efectúan una gran proporción de sus operaciones entre los componentes de su misma área integrada (Pablo-Martí *et al.*, 2012b). La importancia de la información espacial radica en buena parte en que permite identificar cuáles de estas áreas son susceptibles de verse afectadas en mayor o menor medida por los cambios en políticas o por la puesta en marcha de proyectos de infraestructuras de cualquier tipo.

Con toda esta información se puede introducir el concepto de economías de aglomeración. Dos lugares sin actividad económica son distintos en cuanto a su atractivo para ser susceptibles de utilización como suelo empresarial o zona residencial. El uso de técnicas de escalaje puede servir para asignar diferentes precios a localizaciones aparentemente iguales en el resto de variables como por ejemplo un área agrícola cercana a una gran urbe y otra aparentemente similar distante de cualquier ciudad.

6. Problemas de los ABM

La validación empírica es importante tanto para los modelos económicos tradicionales como para los modelos ABM. Sin embargo, los investigadores reconocen la existencia de ciertos problemas de validación especiales para esta metodología (Galán *et al.*, 2009).

Un problema consiste en los grados de libertad. Los modelos ABM a menudo contienen muchos parámetros y, como es bien conocido por los econométricos, cualquier investigador con experiencia podría llegar a mostrar una característica deseada definiendo a su antojo los grados de libertad. Este problema se ve agravado por el hecho de que las funciones y los algoritmos de aprendizaje se encuentran a disposición de los investigadores para ser modificados. En caso de utilizar un modelo genético que permita el aprendizaje de los agentes, debe decidirse si la información debe ser almacenada en una red neuronal o en un modelo de predicción lineal. Esta flexibilidad en el diseño sugiere que las herramientas para modelizar ABM pueden ser muy fructíferas en términos de ajuste de datos, pero deben basarse en patrones de comportamiento contrastados.

Otro problema es que por las propiedades especiales de los ABM muchos de los modelos actualmente no están correctamente definidos y no se motivan en el comportamiento humano observado. A pesar de estos problemas, hay razones de peso para esperar que los investigadores finalmente sean capaces de elevar el listón de la validación empírica. En la actualidad la validación de los modelos supone un desafío de

mayor envergadura que la construcción de los mismos. Mientras se desarrollen mecanismos simples, un método comúnmente utilizado para validar es conectar el comportamiento del agente con experimentos con personas reales.

Además de los datos de laboratorio, otro método de validación empírica directa es la replicación de las características empíricas en muchos niveles y con múltiples escalas. La mayoría de los modelos macroeconómicos estándar se detienen aquí, pero los modelos ABM ofrecen la posibilidad de nuevas pruebas, ya que generan una economía rica en microdatos bajo los datos macro. Por ejemplo, se puede probar si los comportamientos simulados se hallan bien alineados con los reales de los sujetos similares a los simulados. Por ello es fundamental tener en cuenta que, más allá de series de tiempo simples, los modelos ABM generan una completa dinámica de distribución para una economía. Se pueden comprobar características tales como la distribución de la riqueza o el tamaño de las empresas y su comparación con las distribuciones correspondientes a las de las verdaderas economías. Esta distribución a nivel micro es una aproximación a la validación empírica, pero requiere información que no siempre se encuentra disponible. Sin embargo, muestras limitadas pero representativas del mundo real proporcionan un control importante sobre la plausibilidad empírica de las distribuciones simuladas a nivel micro.

Asimismo, se ha de tener en cuenta que los modelos ABM pueden mostrar dinámicas complejas en relación con no linealidades en su interconexiones, planteando preguntas difíciles de responder con la econometría tradicional. En resumen, sus propiedades hacen a estos modelos tan interesantes para el estudio como complejos en su validación empírica.

También es importante preguntarse cómo los responsables políticos podrían hacer uso de los ABM. Los investigadores no deberían decidir ad hoc crear modelos basados en agentes con dimensiones e interrelaciones no basadas en la realidad contrastada con los datos. En cambio, los políticos podrán recurrir a los modelos ABM para tratar de expandir su poder. Por ejemplo, los responsables políticos podrían utilizar estos modelos para explorar los cambios importantes que difieren mucho de la configuración política actual, teniendo en cuenta los cambios conductuales que pueden desarrollarse en los agentes sobre los que las políticas inciden. Un ejemplo de ello se encuentra en la campaña de Obama en las elecciones de 2012, en donde el uso de los microdatos contruidos a partir de las técnicas anteriormente descritas junto con un modelo de comportamiento y el análisis politológico ha sido fundamental para conseguir la victoria (Beas, 2012).

Otro de los principales problemas mencionados normalmente es la violación de la ley del precio único, pero esto ocurre únicamente en el corto plazo. El precio promedio de largo plazo en los ABM es igual al precio de equilibrio histórico. Por otra parte, la realidad nos muestra que la existencia de la dispersión de precios es significativa, incluso en la gestión integrada de mercados, como Estados-nación o en la Unión Europea, tal y como está confirmado por numerosos estudios empíricos, así que esta característica también podría verse como una particularidad positiva.

La imitación es fundamental en estos modelos, pero se considera un aprendizaje de segunda clase en la economía, aunque sea la base de los modelos evolutivos. La descendencia hereda todos los genes de los padres, con una tasa muy baja de mutación. La transmisión cultural es predominante en la biología, la antropología y la sociología, y la importancia de la cultura depende en gran medida de su capacidad para imitar. Esta capacidad mimética es mucho más alta en el ser humano que en otros animales. Por el con-

trario, el aprendizaje individual por la experiencia, el mecanismo preferido en la teoría económica, por lo general es muy lento e ineficiente, a menos que la volatilidad haga ineficaz la imitación (Conlisk, 1988). Para definir correctamente los patrones de imitación se deben relacionar adecuadamente a los agentes, formando redes. El establecimiento de estas redes sociales entre personas o entre empresas adolece de un alto componente de subjetividad y falta de contrastación empírica, dado que no existen fuentes estadísticas ni estudios lo suficientemente amplios sobre cómo los individuos se transmiten información y cómo responden a ésta a la hora de afrontar los distintos problemas económicos, desde la búsqueda de empleo hasta la inversión en activos inmobiliarios o la compra de bienes de consumo.

Se han indicado otros problemas en algunos modelos ABM como los mecanismos de acumulación de capital, pero sin duda más temprano que tarde podrán ser resueltos en su totalidad como sucedió con los modelos de equilibrio general. En cambio, parece que la validación de los modelos en base a la determinación probabilística de su verosimilitud tardará más en tener lugar, aunque sin duda es un área apasionante a la vez que extremadamente compleja y difícil de abordar. Este problema procede de la multitud de fuentes utilizadas, así como el proceso para unir las y enlazar los agentes con el territorio y entre sí. El comportamiento agregado será suficientemente cercano a la realidad a partir de un nivel determinado, y nunca lo podrá ser a nivel individual debido a la aleatoriedad de los procesos llevados a cabo en el seno del modelo, y por la propia construcción de los agentes. La dificultad reside en encontrar el punto a partir del cual los resultados puedan ser considerados válidos, ya que esto depende de las variables implicadas en los resultados que se persigan.

7. Conclusiones

La necesidad de evaluar y predecir los efectos de las políticas hizo necesaria la adopción de los modelos DSGE. Sin embargo, estos modelos presentan algunos inconvenientes como no incluir la heterogeneidad o la imposibilidad hasta la fecha de predecir cambios bruscos. De este modo, no pueden informar sobre los efectos regionales ni sobre la distribución resultante de ciertas variables. No explican quiénes incidirán sobre las políticas positiva o negativamente ni en qué cuantía. Aún más grave que este hecho es que, por su naturaleza tendente al equilibrio, no puedan predecir grandes crisis como la que a partir de 2007 está afectando a un gran número de países.

Debido a estas graves deficiencias, se hace necesario impulsar un nuevo tipo de modelos que puedan predecir las crisis y el efecto de las políticas sobre los individuos. Estos modelos son los ABM, en los que se pone el énfasis en los agentes individuales, las diferencias entre ellos y sus relaciones. Las conductas de los agentes vienen determinadas por el entorno y las relaciones con otros individuos, pudiendo aprender por imitación, como de hecho sucede, aunque en la teoría económica apenas se haya tenido en cuenta. Los ABM también tienen sus propios problemas y necesidades. Entre los primeros la dificultad en la validación y la elección de escala. Además, en cuanto a las necesidades, deben desarrollarse técnicas complejas de fusión estadística y escalaje adecuadas a los objetivos de cada modelo para poder ser utilizados como modelos macroeconómicos.

8. Bibliografía

- AKERLOF, G.A. y J.L. YELLEN. 1985. "A Near-Rational Model of the Business Cycle with Wage and Price Inertia" *Quarterly Journal of Economics*, Vol.100, pp. 823-838.
- ARROW, K.J. y G. DEBREU. 1954. "The existence of an equilibrium for a competitive economy" *Econometrica*, Vol. 22(3), pp. 265-290.
- BARRO, R.J. y H. GROSSMAN. 1971. "A General Disequilibrium Model of Income and Employment" *American Economic Review*. March, Vol. 61(1), pp. 82-93.
- BEAS, D. 2012. "Obama 2012: de los medios sociales a la estrategia de datos" *Memorando* nº 182, Fundación Alternativas, Madrid.
- BOSCÁ, J.E., A. DÍAZ, R. DOMENÉCH, J. FERRI, E. PÉREZ y L. PUCH. 2010. "A rational expectations model for simulation and policy evaluation of the Spanish economy" *SERIEs*, Vol. 1(1), pp. 135-169.
- CABALLERO, R.J. 2010. "Macroeconomics after the Crisis: Time to Deal with the Pretense-of-Knowledge Syndrome" *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 24(4), pp 85-102.
- CANOVA, F. 2011. *Methods for applied macroeconomic research*. Vol.13. Princeton: Princeton University Press.
- CINCONTI, S., R. M. RABERTO y A. TEGLIO. 2010. "Credit money and macroeconomic instability in the agent-based model and simulator Eurace" *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal* Vol. 4.
- CLARIDA, R., J. GALI y M. GERTLER. 1999. "The Science of Monetary Policy: A New Keynesian Perspective" *Journal of Economic Literature*. Vol.37(4), pp. 1661-1707.
- CONLISK, J. 1988. "Optimization cost" *Journal of Economic Behavior and Organization*, nº 9, pp. 213-228.
- DAWID, H, S. GEMKOW, S. VAN DER HOOG y M. NEUGART. 2011. "The Eurace@ Unibi Model: An Agent-Based Macroeconomic Model for Economic Policy Analysis". Working paper. Universität Bielefeld.
- DEISSENBERG, C., VAN DER HOOG, S. y H. DAWID. "EURACE: A massively parallel agent-based model of the European economy" *Applied Mathematics and Computation* Vol. 204(2), pp. 541-552.
- DEJONJ, D.N. y C. DAVE. 2011. *Structural macroeconometrics*. Princeton: Princeton University Press.
- DIEBOLD, F.X. 1998. "The Past, Present, and Future of Macroeconomic Forecasting" *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 12, pp.175-192.
- D'ORAZIO, M., M. DI ZIO y M. SCANU. 2006. *Statistical matching: Theory and practice*. West Sussex: Wiley.
- DOSI, G., G.FAGIOLO y A. ROVENTINIA. 2010. "Schumpeter Meeting Keynes: A Policy-Friendly Model of Endogenous Growth and Business Cycles" *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 34(9), pp 1748-1767.
- EPSTEIN, J.M. y R.Y. AXTELL. 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Cambridge: MIT Press.
- FISHER, F.M. 1983. *Disequilibrium Foundations of Equilibrium Economics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- FRIEDMAN, M. 1957. *A Theory of the Consumption Function*. Princeton: Princeton University Press.
- FRIEDMAN, M. y A.J. SCHWARTZ. 1963. *A Monetary History of the United States, 1867-1960*. Princeton: Princeton University Press.

- GALÁN, J.M., L.R. IZQUIERDO, S.S. IZQUIERDO, J.I. SANTOS, R. del OLMO, A. LÓPEZ y B. EDMONDS. 2009. "Errors and artefacts in agent-based modeling" *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 12(1).
- GALLEGO, F.J. 2010. "A population density grid of the European Union" *Population and Environment*, nº 31, pp.460-473.
- GINTIS, H. 2006. "The emergence of a price system from decentralized bilateral exchange". *BE Journal of Theoretical Economics*, Vol. 6, nº 1, pp. 1302-1322.
- HICKS, J.R. 1937. "Mr. Keynes and the "Classics" - A Suggested Interpretation" *Econometrica*. Vol. 5(2), pp. 147-159.
- HICKS, J. R. 1980. "IS-LM: An Explanation", *Journal of Post Keynesian Economics*, Vol.3, pp. 139-155.
- HOWITT, P. 2006. "Coordination Issues in Long-Run Growth", Pp. 1605-1624 en *Agent-Based Computational Economics. Agent-Based Computational Economics. Vol.2*, coordinado por L. Tesfatsion y K. Judd, Amsterdam: North Holland.
- KIRMAN, A. 2010. "The Economic Crisis is a Crisis for Economic Theory" *CESifo Economic Studies*, Vol. 56(4), pp.498-535.
- KYDLAND, F., y E.C. PRESCOTT. 1982. "Time to build and aggregate fluctuations" *Econometrica*, Vol. 50(6), pp. 1345-1370.
- LONG, J.B. y C. PLOSSER. 1983. "Real business cycles." *Journal of Political Economy*, Vol. 91(1), pp. 39-69.
- LUCAS, R 1976. "Econometric Policy Evaluation: A Critique", Pp. 19-46 en *The Phillips Curve and Labor Markets, Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, Vol.1*, coordinado por Brunner, K y A. Meltzer, New York: American Elsevier.
- MANCHA, T. y J. E. VILLENA. 1993. "El estado actual de la macroeconomía: implicaciones básicas desde la perspectiva de la política económica" *Información Comercial Española*, nº 718, pp. 161-178.
- MANDEL, A., S. FÜRST, W. LASS, F. MEISSNER y C. JAEGER. 2009. Lagom generiC: an agent-based model of growing economies. ECF Working Paper, Vol. 1, Postdam.
- MANKIW, N.G. 1985. "Small Menu Costs and Large Business Cycles: A Macroeconomic Model of Monopoly" *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 100(2), pp. 529-537.
- MARIMON, R. y A. SCOTT (Eds.) 1999. *Computational methods for the study of dynamic economies*. Oxford: Oxford University Press.
- MCCALLUM, B.T. y E. NELSON. 1999. "An Optimizing IS-LM Specification for Monetary Policy and Business Cycle Analysis." *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 31(3), parte 1, pp. 296-316.
- NGUYEN, C.T. 2008. "Developing a conceptual architecture for a generalized agent-based modeling environment". Tesis Doctoral. Naval Postgraduate School. Monterey, California.
- PABLO-MARTI, F., M.T. GALLO, A. GARCÍA-TABUENCA, J.L. SANTOS y T. MANCHA. 2012a. "MOSIPS agent-based model for predicting and simulating the impact of public policies on SMEs" *Proceedings of the International Conference on Modeling and Applied Simulation*, pp. 143-152.
- _____. 2012b. "Forecasting and simulation of the impact of public policies on industrial districts using an agent-based model" Presentado en el 53th ERSA Congress, Agosto, Bratislava. Próxima aparición en *Sviluppo locale*.
- PHELPS, E.S. 1968. "Money-wage dynamics and labor-market equilibrium" *The Journal of Political Economy*, Vol 76(4), parte 2, pp. 678-711.

- RATTO M, W. ROEGER y J. in 't VELD. 2010. "Using a DSGE model to look at the recent boom-bust cycle in the US", *European Economy Economic Paper* nº 397, Comisión Europea, Bruselas.
- SAARI, D.G. 1985. "Iterative price mechanisms", *Econometrica*, Vol.53(5), pp. 1117-1131.
- SCHENK, T., G. LÖFFLER y J. RAUH. 2007. "Agent-based simulation of consumer behaviour in grocery shopping on a regional level". *Journal of Business Research*, nº 60, pp.894-903.
- SCHOLL, H. J. 2001. "Agent-based and System Dynamics Modeling: A Call for Cross Study and Joint Research" *Proceedings of the 34th Hawaiian International Conference on Systems Science*, Wailea.
- SIMS, C.A. 1980. "Macroeconomics and reality" *Econometrica*, Vol.48(1), pp. 1-48.
- SOLOW, R. 2006. "Reflections on the Survey" Pp. 234-238, en *The Making of an Economist Redux*, coordinado por D. Colander, Princeton, Princeton University Press.
- _____. 2010. "Building a Science of Economics for the Real World." *Prepared Statement to the House Committee on Science and Technology, Subcommittee on Investigations and Oversight*. U.S House of Representatives, July 20. 111th Congress. Washington, DC: Government Printing Office.
- SUTHERLAND, H., R. TAYLOR y J. GOMULKA. 2001. "Combining household income and expenditure data in policy simulations," University of Cambridge, Department of Applied Economics Working Papers / Microsimulation Unit Discussion Papers, nº MU0101, Cambridge.
- TESFATSION, L. 2007. "Agents Come to Bits: Towards a Constructive Comprehensive Taxonomy of Economic Entities", *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 63, nº 2, pp. 333-346.
- VELUPILLAI, K.V. 2005. "The unreasonable ineffectiveness of mathematics in economics" *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 29, nº6, pp. 849-872.
- _____. 2011. "Towards an algorithmic revolution In economic theory," *Journal of Economic Surveys*, Vol. 25, nº3, pp. 401-430.
- _____. 2012a. "Taming the incomputable, reconstructing the nonconstructive and deciding the undecidable in mathematical economics," *New Mathematics and Natural Computation*, Vol.8(1), pp 5-51.
- _____. 2012b. "The Epistemology of Simulation, Computation and Dynamics in Economics," ASSRU-Algorithmic Social Science Research Unit., Discussion Papers 121, Trento.
- WALRAS, L. [1877] 1954. *Elements of Pure Economics or the Theory of Social Wealth*. Boston: Harvard University Press.
- WOLF, S., S. FÜRST, A. MANDEL, W. LASS, D. LINCKE, F. PABLO-MARTI y JAEGER, C. 2011. "Lagom regiO—a multi-agent model of several economic regions". *Proceedings of the 100th Dahlem Conference, New Approaches in Economics after The Financial Crisis*, pp. 28-31.
- WOOLDRIDGE, M. y N.R. JENNINGS. 1995. "Intelligent agents: theory and practice". *Knowledge Engineering Review*, nº 10, pp. 115-152.