



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTORADO EN ECONOMÍA

Consideraciones sobre los consensos en las
interacciones sociales y sus aplicaciones en
economía: procesos de formación de precios con
múltiples agentes

EMILIANO ALVAREZ

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

Año 2021

PREFACIO

Esta tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Economía de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Departamento de Economía durante el período comprendido entre julio de 2017 y septiembre de 2021, bajo la dirección de la Dra. Silvia London y el Dr. Juan Gabriel Brida (Universidad de la República, Uruguay).

Emiliano Damián Álvarez Leites



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el.../.../..... , mereciendo la
calificación de..... (.....)

Dedicado a Cecilia y Guillermo

Agradecimientos

En primera instancia agradezco a mis Directores de Tesis, la Dra. Silvia London y el Dr. Juan Gabriel Brida, por brindarme su apoyo y consejo durante esta etapa. Ambos me brindaron la más absoluta libertad al momento de formular las preguntas de investigación, así como las metodologías aplicadas; al mismo tiempo, fueron fundamentales para organizar los resultados en una serie de proposiciones consistentes entre sí.

Muchos otros docentes e investigadores han ofrecido comentarios, sugerencias y aportes en este proceso. Agradezco los aportes de los docentes del Departamento de Economía de la Universidad Nacional del Sur, así como también agradezco a los docentes del Grupo de Investigación en Dinámica Económica de la Universidad de la República de Uruguay. A su vez, esta lista puede extenderse a los colegas que en seminarios, workshops y conferencias han contribuido con sus comentarios, así como a los revisores anónimos de los *journals* donde estos capítulos han pasado por el proceso de revisión por pares.

Finalmente, agradezco a los integrantes del Tribunal por tomarse el tiempo para leer esta tesis y por su dedicación al momento de formular nuevas extensiones y puntos de vista para este trabajo en proceso.

“Too large a proportion of recent ‘mathematical’ economics are merely concoctions, as imprecise as the initial assumptions they rest on, which allow the author to lose sight of the complexities and interdependencies of the real world in a maze of pretentious and unhelpful symbols.”

([Keynes, 1936](#), p. 298)

“...the ‘post-Keynesian’ development of cybernetics as an interdisciplinary field studying communication and control in complex dynamic systems may provide valuable suggestions for economists interested in exploring the ‘revolutionary’ approach to monetary theory towards which Keynes was groping.”

([Leijonhufvud, 1968](#), p. 48)

“...inflation is the observable outcome of a complex process of political and economical interaction in society”

([Heymann and Leijonhufvud, 1995](#), p. 11)

RESUMEN

En esta tesis se realizan contribuciones para poder analizar los fenómenos inflacionarios a partir del enfoque de los sistemas complejos en Economía. En particular, el fenómeno a analizar es la auto-organización en los sistemas de formación de precios, sus manifestaciones y sus posibles efectos en los sistemas económicos.

La tesis consta de una serie de análisis empíricos referidos al proceso inflacionario en Uruguay, revisiones bibliométricas sobre aspectos relevantes en la modelización y la presentación de un modelo sobre procesos inflacionarios que toma en cuenta muchas de las consideraciones de los capítulos anteriores.

Para facilitar la validez externa de los resultados de este trabajo, se proponen mejoras en la modelización y en la comunicación de los modelos económicos, así como la adecuación de las técnicas a los fenómenos estudiados.

Los resultados permiten observar al sistema de formación de precios como un proceso auto-organizado, con una estructura y patrones evolutivos no-ergódicos. En cuanto a la modelización, se observa que los problemas en la representación de los fenómenos inflacionarios de economías en desarrollo se encuentran determinados por los supuestos aplicados, por la forma en que se muestran los procedimientos y los resultados y por las técnicas empleadas.

Palabras clave: Economía, inflación, expectativas, sistemas complejos, modelos basados en agentes, redes complejas

ABSTRACT

In this research, contributions are made to analyze inflationary phenomena from the approach of complex systems in Economics. In particular, the phenomenon to be analyzed is self-organization in price formation systems, its manifestations and its possible effects on economic systems.

The thesis consists of a series of empirical analysis referring to the inflationary process in Uruguay, bibliometric reviews on relevant aspects in modeling and the presentation of a model on inflationary processes that takes into account many of the considerations of the previous chapters.

To facilitate the external validity of the results of this work, improvements are proposed in the modeling and communication of the economic models, as well as the adaptation of the techniques to the studied phenomena.

The results allow observing the price formation system as a self-organized process, with a non-ergodic structure and evolutionary patterns. Regarding modeling, it is observed that

the problems in the representation of inflationary phenomena in developing economies are determined by the assumptions applied, the way in which the procedures and results are shown, and the techniques used.

Keywords: Economics, inflation, expectations, complex systems, agent-based models, complex networks

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Firma del Director

Índice general

Índice general	VII
I Introducción	1
1. Introducción	2
1.1. Conceptos introductorios	2
1.2. Objetivos	5
II Análisis empírico	8
2. Patrones emergentes en expectativas de inflación con múltiples agentes	9
2.1. Introducción	9
2.2. Modelos de expectativas de inflación	10
2.2.1. Modelo básico con expectativas	11
2.2.2. Independencia: distribuciones estables	12
2.2.3. Dependencia y efecto contagio	13
2.3. Antecedentes	13
2.4. Metodología y datos	14
2.4.1. Datos	14
2.4.2. Leyes de potencia	14
2.5. Resultados	15
2.6. Conclusiones	17
3. Autoorganización y multifractalidad en los sistemas de formación de precios	20
3.1. Introducción	20
3.2. Metodología	22
3.3. Resultados	23
3.3.1. Distribución de la variación de precios a nivel de producto a un mes	23
3.3.2. Distribución de la serie del IPC general	24
3.3.3. Exponente de Hurst para los productos de la canasta del IPC	26
3.3.4. Exponente de Hurst generalizado para la serie del IPC en primeras diferencias	27
3.4. Conclusiones	28
4. Dinámica de la estructura de precios en Uruguay	30
4.1. Introducción	30

4.2.	Antecedentes	32
4.3.	Metodología	35
4.3.1.	Datos	35
4.3.2.	Construcción de la red	35
4.3.3.	Selección del umbral	36
4.3.4.	Dinámica de comunidades	37
4.3.5.	Análisis dinámico de métricas de la red	39
4.3.5.1.	Densidad de la red	39
4.3.5.2.	Transitividad	39
4.3.5.3.	Distancia promedio	40
4.3.5.4.	Correlación media	40
4.3.6.	Precios relevantes	40
4.3.6.1.	Centralidad de intermediación	40
4.3.6.2.	Centralidad del vector propio	41
4.4.	Resultados	41
4.4.1.	Dinámica de comunidades	41
4.4.2.	Métricas de la red	42
4.4.3.	Precios relevantes	44
4.5.	Conclusiones	45
5.	Dinámica de los precios relativos y la relación con la inflación: un enfoque empírico a partir de un análisis de redes	47
5.1.	Introducción	47
5.2.	Metodología	50
5.2.1.	Datos	50
5.2.2.	Construcción de la red	50
5.2.3.	T-MDS	51
5.3.	Resultados	53
5.3.1.	Composición del T-MDS	53
5.3.2.	Capacidad de representación	56
5.4.	Conclusiones	58
III	Análisis a partir de Modelos Basados en Agentes	61
6.	Un análisis bibliométrico sobre documentación de ABM en Economía	62
6.1.	Introducción: documentación de ABM en Ciencias Sociales	63
6.2.	Datos y metodología	65
6.3.	Resultados	67
6.3.1.	Comparación de ODD con otros procedimientos de documentación	68
6.3.2.	Análisis de las revistas académicas en Economía	70
6.3.3.	Análisis de palabras clave	72
6.3.4.	Análisis de co-citación: referencias relevantes en ambas literaturas	75
6.4.	Conclusiones	78
7.	Revisión de tópicos de ABM en macroeconomía	82
7.1.	Introducción	82
7.2.	Metodología	83
7.3.	Resultados	85

7.3.1. Análisis de palabras clave	85
7.3.2. Red de colaboración y tópicos analizados	89
7.4. Conclusiones	91
8. Credibilidad de las metas de inflación con agentes heterogéneos	92
8.1. Introducción	92
8.2. Modelo	94
8.3. Metodología	96
8.4. Resultados	97
8.4.1. Estabilidad del modelo ante decisiones de los hogares	97
8.4.2. Preferencia intertemporal	99
8.4.3. Comportamiento del Banco Central ante decisiones de los hogares	100
8.4.4. Leyes de escala en precios	101
8.5. Conclusiones	104
IV Consideraciones finales	107
9. Conclusiones	108
9.1. Reflexiones a partir de los objetivos de la investigación	108
9.2. Sobre las recomendaciones de política	113
Bibliografía	116
V Anexos	134
Anexo	135
A. Anexo del Capítulo 2	135
A.1. Estimación de parámetros bajo distribuciones estables	135
B. Anexos del Capítulo 4	137
B.1. Estimación del umbral u	137
B.2. Comunidades halladas	139
C. Anexos del Capítulo 5	140
C.1. Índice de Persistencia	140
C.2. Clases con más participaciones en el T-MDS	141
D. Anexos del Capítulo 6	142
D.1. Estadísticas descriptivas del conjunto de datos	142
D.2. Criterio de clasificación de Bradford	143
D.3. Resumen de redes de co-citación	144
E. Anexo del Capítulo 8	146
E.1. Descripción del modelo, a partir del Protocolo ODD	146

Parte I

Introducción

Capítulo 1

Introducción

1.1. Conceptos introductorios

Siguiendo la definición de Heymann y Leijonhufvud, “inflation is the observable outcome of a complex process of political and economical interaction in society” [la inflación es el resultado observable de un complejo proceso de interacciones políticas y económicas en una sociedad] (Heymann and Leijonhufvud, 1995, p. 11). Por lo tanto, va más allá de una definición operativa de inflación como un aumento de precios sostenido: es un resultado que *emerge* a partir de la interacción de una diversidad de elementos dentro de una sociedad que toman decisiones en forma autónoma, pero que a la vez se ven influenciados por el contexto económico.

Los sistemas de formación de precios y su dinámica no encuentran una representación adecuada en la modelización más utilizada en economía. Blanchard (2014) afirma que existen dos motivos: por una parte, la disciplina se ha visto dominada por técnicas asociadas a menores fluctuaciones y con ajustes automáticos; por otra parte, por la suposición general entre economistas que las no-linealidades no eran percibidas como importantes. Incluso bajo supuestos más realistas sobre la información en el modelo, Kirman (2016) afirma que bajo muchas condiciones no existe una convergencia al equilibrio.

La economía es un sistema que no se encuentra necesariamente en equilibrio. Como menciona Arthur (1999), los agentes económicos cambian sus estrategias y sus acciones en función de los resultados de la interacción; a su vez, esto genera cambios en los resultados, por lo cual origina cambios en las acciones de los individuos. El efecto de este proceso es la generación de una serie de patrones agregados a partir del comportamiento individual y cambios en el comportamiento individual a partir de los patrones agregados (Arthur, 2013). Por lo tanto se producen bucles de retroalimentación y se genera un fenómeno llamado *reflexividad*.

No existe un acuerdo acerca del significado de este concepto, pero como menciona Rosser (2019), implica en cierta forma una acción reflejada en otros y una serie de acciones

tomadas a partir de la imagen reflejada. A su vez, tampoco hay un acuerdo acerca del término *complejidad*¹ (Rosser, 2021), pero sí se entiende que existe un vínculo entre complejidad y reflexividad. Autores tales como Davis (2018) y Rosser (2019) analizan el vínculo entre ambos conceptos, llegando a la conclusión que la reflexividad genera cambios en las microestructuras, modificando los procesos causales y generando cambios a nivel de las macroestructuras, con resultados no explicables a partir de las microestructuras. A este cambio en los aspectos macroscópicos generados a partir de la interacción local se le denomina *emergencia* (Epstein and Axtell, 1996). Existe una discusión respecto al carácter de estos procesos emergentes, desarrollada en Zahle and Kaidesoja (2019): por una parte, existe una noción epistémica de emergencia, como una característica de los fenómenos sociales derivada de nuestra falta de conocimiento sobre ellos. Por otra parte existe una noción ontológica del término, a partir de la cual el fenómeno de emergencia existe más allá del nivel de conocimiento sobre los fenómenos analizados; es un atributo del sistema como menciona Dawid and Delli Gatti (2018). Más allá de las diferentes concepciones acerca de los procesos emergentes, en Davis (2018) y Zahle and Kaidesoja (2019) se observan identidades individuales y luego a los fenómenos sociales como su comportamiento agregado. En su modelo de la economía derivado de las ciencias sociales, Davis (2018) encuentra que una visión ontológica capta mejor el tipo de problemáticas de las ciencias sociales, vinculada además con el tipo de metodologías necesarias para analizar estos comportamientos emergentes.

Por todo esto, los sistemas económicos son sistemas abiertos, compuestos por n agentes económicos heterogéneos que interactúan entre sí a nivel local y que a su vez se relacionan con el ambiente. Es importante remarcar la heterogeneidad, ya que no sólo es fundamental para poder entender a la economía como un sistema adaptativo complejo, sino que además es la fuerza impulsora de la actividad económica, según Bookstaber and Kirman (2018). Otras características de este tipo de sistemas son la auto-organización, la aparición de leyes de escala y la posibilidad de representar y analizar su comportamiento a partir del análisis de redes.

Los individuos reaccionan ante estímulos externos, tanto del ambiente como de otros individuos de una manera auto-organizada, así como también reaccionan a estímulos internos (Mantegna and Stanley, 1999). Bak et al. (1988) extiende este concepto al Estado Críticamente Autoorganizado (*SOC*, por sus siglas en inglés) el cual supone que los sistemas abiertos con elementos que interactúan entre sí se organizan en el entorno de un estado crítico “estacionario”, sin otras escalas más que las impuestas por el sistema. Estos estados críticos se encuentran caracterizados por leyes de potencias espaciales y temporales². Es a partir del trabajo de Mandelbrot (1963) que se comenzaron a utilizar leyes de potencia

¹Una de las definiciones más aceptadas en economía es la establecida en (Simon, 1962, p. 267): “*Roughly by a complex system I mean one made up of a large number of parts that interact in a non-simple way. In such systems, the whole is more than the sum of the parts, not in an ultimate metaphysical sense, but in the important pragmatic sense that, given the properties of the parts and the laws of their interaction, it is not a trivial matter to infer the properties of the whole.*”

²“*Power-laws, and consequently stable Pareto-Levy laws are fingerprints of an underlying cooperative, critical dynamics, and no low-dimensional dynamical picture has been able to explain the Paretian distribution.*” (Bak et al., 1992)

vinculadas a fenómenos económicos (para revisiones más recientes, ver [Gabaix \(2009\)](#); [Sornette \(2014\)](#)).

A partir de una analogía con los sistemas naturales, [Barabási \(2007\)](#) menciona que los comportamientos que se observan en las relaciones sociales no son ni de extremo orden ni desorden: en cambio, los individuos se vinculan a través de redes. Estas redes no tienen una topología de red aleatoria -redes de Erdős-Rényi, ([Erdos and Renyi, 1960](#))- sino que por el contrario, se asemejan a redes libres de escala ([Barabási and Albert, 1999](#)). Son llamadas de esta manera porque no poseen una escala específica; su distribución de grado sigue una ley de potencia y su grado promedio no ofrece mucha información. La aparición de redes libres de escala, afirma [Barabási \(2007\)](#), se produce a partir de la evolución de las redes.

El desarrollo de modelos basados en agentes (ABM, por sus siglas en inglés) es un marco adecuado para analizar los vínculos entre los agentes en los distintos mercados que pueden dar lugar a los resultados hallados empíricamente. A su vez, como se afirma en [Epstein and Axtell \(1996\)](#) los ABM permiten analizar los procesos emergentes derivados de los cambios en las macroestructuras a partir de la interacción de los agentes individuales. Esta forma de modelización permite contrastar resultados de diversos tipos de experimentos ([Assenza et al., 2021](#); [Hommes et al., 2019](#)) y estudiar modelos *generativos* de los fenómenos estudiados. Según [Leijonhufvud \(1997\)](#), es importante en economía desarrollar otras formas de comunicación, además de los modelos. Esto ocurre porque los modelos son una simplificación a través de una formalización de algunos aspectos de las teorías, en cuanto que estas últimas son un sistema de creencias sobre la economía³. Es entonces de vital importancia profundizar en otras formas de comunicación, ya que esto es necesario no sólo para mejorar la comprensión de los modelos sino también para analizar la validez de las teorías de las cuales provienen.

Dentro de los fenómenos económicos analizados como sistemas complejos, el estudio de los fenómenos macroeconómicos ha tenido especial relevancia. En estos modelos interactúan gran cantidad de individuos heterogéneos, que toman gran cantidad de decisiones, a la vez que intercambian producción e información ([Dawid and Delli Gatti, 2018](#)) en un ambiente signado por las instituciones. Para analizar este tipo de sistemas macroeconómicos, [Dawid and Delli Gatti \(2018\)](#) proponen a los ABM. Una de las características centrales para el análisis macroeconómico es la falta de mecanismos centralizados de coordinación entre agentes. Uno de los primeros artículos donde se analiza específicamente el problema inflacionario es en [Salle et al. \(2013\)](#), con una extensión en [Salle \(2015\)](#). Se encuentran otros artículos tales como [Schasfoort et al. \(2017\)](#); [Bouchaud et al. \(2018\)](#), donde se encuentra que bajo reglas de ajuste por tasas de interés la política monetaria tiene poco poder. En esta literatura no se analizan los factores intrínsecos a los individuos que pueden provocar la inestabilidad macroeconómica, sino que se analizan los parámetros de ajuste del Banco Central.

³ "When a model fails, the conclusion nearest to hand is that some simplifying assumption or choice of empirical proxy-variable is to blame, not that one's beliefs about the way the world works are wrong. So one looks around for a modified model that will be a better vehicle for the same theory" ([Leijonhufvud, 1997](#)).

En esta tesis se analiza el fenómeno inflacionario desde el punto de vista empírico, teórico y de su modelización.

Desde el punto de vista empírico, se observarán algunos aspectos distintivos en los sistemas de precios tales como la multidimensionalidad, la complejidad de las relaciones entre sus componentes y la emergencia de resultados macroscópicos en el sistema. Se analizan además la ocurrencia de leyes de escala en la distribución de las variables estudiadas y se observan comportamientos que obedecen a la formación de redes dinámicas en la formación de precios.

Desde el punto de vista teórico, en esta tesis se avanza en distintos aspectos de la teoría económica en el contexto del paradigma de los sistemas complejos en economía. Desde la modelización, se plantean innovaciones consistentes con los resultados empíricos y vinculados a temáticas no discutidas por esta literatura.

1.2. Objetivos

El objetivo general de esta tesis consiste en analizar la existencia de procesos auto-organizados en la estructura de precios de la economía uruguaya y estudiar posibles modelos generativos de estos procesos. Esta tesis se enmarca dentro del paradigma de los sistemas complejos en economía, por lo cual las técnicas y las metodologías son consistentes con sus postulados.

Para cumplir con el objetivo general se proponen una serie de objetivos específicos:

1. Analizar la pertinencia de la utilización de los primeros momentos de la distribución de las expectativas de inflación como insumos principales de la política monetaria en Uruguay.
2. Calcular la distribución empírica de las variaciones de precios para distintos períodos.
3. Analizar la red de vínculos en las variaciones de precios.
4. Examinar el desarrollo de los modelos basados en agentes y su adecuada comunicación en economía.
5. Construir modelos económicos en los cuales las variaciones de precios y las expectativas de inflación se manifiesten a partir de las interacciones entre múltiples agentes del sistema.

El resto de la tesis se organiza en tres apartados, donde se desarrollan los análisis empíricos, los resultados a partir de los modelos basados en agentes y las conclusiones.

El apartado empírico se desarrolla en 4 capítulos. En el Capítulo 2 se analiza la distribución de expectativas de inflación de las empresas para Uruguay entre los meses de junio de 2012 y

diciembre de 2017, a partir de una encuesta realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y el Banco Central del Uruguay (BCU). Se utilizan técnicas de bootstrapping para calcular las distribuciones empíricas y se halla que no se rechaza la hipótesis nula de una distribución de ley de potencias, mientras que sí se rechaza la distribución normal en toda la muestra. Se discute acerca de los posibles procesos generativos, se testean las posibles distribuciones estables y se interpretan los resultados. Una versión de este capítulo ha sido publicada en el *Journal of Dynamics and Games* en coautoría con la Dra. Silvia London (UNS, Argentina) ([Alvarez and London, 2020](#)).

En el Capítulo 3 se analiza la distribución de cada una de las series de precios relevadas por el INE en el Índice de Precios al consumo (IPC) entre diciembre de 2010 y diciembre de 2020, así como también la distribución de la serie agregada desde el año 1937 hasta el año 2020. Para diferentes ventanas temporales y para los distintos meses y años analizados se encuentra que la distribución de variaciones de precios es sesgada y no se rechaza la presencia de leyes de escala para las series agregadas y desagregadas, mientras que sí se rechazan otros tipos de distribuciones. Se estudia este fenómeno junto con la persistencia hallada en la serie agregada y se explica la forma en que se complementan el análisis multifractal y el estudio de la distribución empírica.

El Capítulo 4 estudia la dinámica de los índices de precios en relación a las correlaciones entre los índices de precios a nivel de clases de productos de la canasta del IPC. Con datos entre los años 2010 y 2020 y aplicando técnicas de redes se encuentra que la dinámica de los precios no es homogénea, sino que existen grupos definidos con dinámicas diferentes. La existencia y la conformación de estos grupos es consistente con la literatura previa para Uruguay. Se halla además que la estructura subyacente presenta patrones evolutivos, lo cual tiene consecuencias en los análisis de políticas y en los ajustes del índice. Una versión de este capítulo se encuentra actualmente aprobada para su publicación en la Revista *Rect@* ([Alvarez et al., 2021b](#)), en coautoría con el Dr. Juan Gabriel Brida (UdelaR, Uruguay) y el Lic. Pablo Mones (UdelaR, Uruguay).

Aplicando las mismas redes que en el capítulo anterior, en el Capítulo 5 se busca representar la dinámica de la serie a partir de un mínimo set dominante (T-MDS por sus siglas en inglés). De esta manera, se logran replicar muchas de sus características y se obtienen mejoras en la predicción de muy corto plazo. Se discute además la capacidad de realizar políticas de fijación de precios en este contexto, relacionado con el capítulo anterior. Se encuentra también que este set dominante está compuesto fundamentalmente por alimentos, analizado en función de la evidencia empírica disponible y la literatura sobre la inflación de los productos alimenticios.

En el apartado siguiente, se presentan los resultados de un modelo basado en agentes con características propias de países en desarrollo, precedido de revisiones sobre la comunicación en esta clase de modelos y sobre la macroeconomía con modelos basados en agentes. Este apartado consiste de 3 capítulos.

En el Capítulo 6 se pretende contribuir al conocimiento en las formas de documentación y comunicación de los modelos basados en agentes en Economía. Aquí se realiza una revisión bibliométrica del uso de la documentación en los ABM en economía, con un énfasis en el análisis de la literatura económica que utiliza el Protocolo ODD. Los resultados presentados muestran por una parte que una documentación y comunicación de los ABM más adecuada al tipo de modelos utilizados tiene como consecuencia una mayor difusión del conocimiento científico. Por otra parte, se discute acerca de la conveniencia de un lenguaje común y un lenguaje propio de la disciplina. Una versión de este capítulo ha sido publicada en *Advances in Complex Systems* (Alvarez et al., 2021a), en coautoría con el Dr. Juan Gabriel Brida (UdelaR, Uruguay) y la Dra. Silvia London (UNS, Argentina).

El Capítulo 7 expone el estado del arte de los tópicos analizados mediante los modelos macroeconómicos basados en agentes (MABM). Para el análisis se integra el uso de las bases de datos de Scopus y Web of Science y se realiza un análisis descriptivo, a la vez que se busca responder cuáles son las temáticas más desarrolladas, cuál es la distribución geográfica del conocimiento científico en este campo y si existe una vinculación entre ambas categorías. Se encuentra que la agenda de temas se extiende en estos últimos años, mientras que se fortalecen los vínculos multidisciplinarios.

Finalmente, el Capítulo 8 presenta un MABM que analiza las dinámicas inflacionarias a partir de un enfoque *bottom-up*. Una versión de este capítulo se encuentra publicada en el libro *Advances in Social Simulation* de la editorial Springer (Alvarez et al., 2020), realizado en coautoría con el Dr. Gabriel Brida (FCEA, UdelaR, Uruguay) y el Dr. Marco Dueñas (Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia). En este modelo se analizan las consecuencias en el nivel de precios y la actividad para el caso en que los agentes económicos generan sus expectativas a partir de la información del ambiente y del grado de tolerancia ante desvíos del Banco Central respecto de la meta. Se encuentra que ante un bajo nivel de tolerancia, las políticas de fijación de tasas de interés son ineficaces para estabilizar el sistema, mientras que se hallan los valores de los parámetros para los cuales la acción bancocentralista puede ser eficaz. En el Anexo de este capítulo se presenta este modelo documentado mediante el Protocolo ODD.

En el último apartado se presenta una síntesis de los resultados de los capítulos anteriores, una discusión relacionada con el desarrollo actual de la formulación de políticas económicas y las conclusiones.

Parte II

Análisis empírico

Capítulo 2

Patrones emergentes en expectativas de inflación con múltiples agentes

La teoría macroeconómica y las recomendaciones de política de los bancos centrales han estudiado durante décadas el vínculo entre el valor esperado de la inflación futura y su posterior realización. Las expectativas de inflación de los agentes se han convertido así en un insumo fundamental de la política económica: permiten saber si los agentes económicos están sincronizados con las políticas y permiten a los Bancos Centrales anticipar las tendencias del mercado.

En esta sección, encontramos evidencia para el caso de Uruguay de una discrepancia entre la distribución de las expectativas de inflación de los agentes y la distribución esperada por los modelos tradicionales. Una primera consecuencia es un aumento de la incertidumbre en las estimaciones; se analizan los problemas relacionados con su distribución asintótica y los supuestos que surgen de esta distribución agregada. Otra consecuencia está relacionada con la existencia de una estructura en los datos y la noción de equilibrio en el modelo. Se concluye que una discusión sobre la naturaleza del fenómeno económico es fundamental para la correcta especificación del modelo estudiado.

2.1. Introducción

“...Since all models are wrong the scientist must be alert to what is importantly wrong. It is inappropriate to be concerned about mice when there are tigers abroad” (Box, 1976)

Para la teoría macroeconómica moderna existe un vínculo entre la inflación futura y el valor pronosticado por los agentes. Es por esto que la información acerca de las expectativas de

inflación es uno de los insumos más importantes de la política monetaria; en particular, para conocer si los agentes del mercado tienen sus expectativas ancladas en los valores deseados por el Banco Central.

Las encuestas se realizan habitualmente a expertos, empresas y consumidores y se utilizan medidas de tendencia central - media, mediana y moda - como valor representativo de las expectativas. De la misma forma, la varianza muestral se utiliza como medida de la incertidumbre de la estimación. En este capítulo se discutirá la idoneidad de este enfoque, basado en la discusión de los posibles modelos generativos de este fenómeno y la evidencia para diferentes países.

El argumento principal es que existe evidencia para el caso de Uruguay, que la distribución agregada de las expectativas de inflación es diferente a las distribuciones esperadas por los modelos tradicionales. Una consecuencia es que los momentos muestrales pueden ser, en teoría, no finitos. Un corolario de este proceso es que la media muestral converge lentamente al valor real esperado por los agentes. Otra consecuencia es el aumento de la incertidumbre de las estimaciones. Finalmente, estos resultados proporcionan evidencia en favor de la existencia de una estructura en los datos.

En primer lugar, en la sección 2.2 se propone un modelo macroeconómico básico con expectativas de inflación. Luego, se desarrolla qué consecuencias tiene este modelado en la distribución de expectativas. Se mostrará que el tipo de vínculos entre los agentes del modelo influye en la distribución teórica de expectativas. En la sección 2.3 se presentan los antecedentes y en la sección 2.4 se hace una reseña de la fuente de datos utilizada. Luego, en la sección 2.5 se estudiará la distribución empírica de las expectativas de inflación de las empresas para una muestra de empresas en Uruguay entre 2012-2017. Este capítulo concluye en la sección 2.6 con un análisis de los posibles modelos generativos de distribuciones como las halladas.

2.2. Modelos de expectativas de inflación

El proyección de las variables económicas es fundamental ya que nos permiten estimar los comportamientos futuros de los individuos. En particular, las expectativas de inflación influyen en las decisiones de consumo y ahorro de los hogares y las empresas.

Las expectativas de inflación han sido muy estudiadas en la teoría económica; no fue hasta Cagan (1956) que se introdujo una dinámica endógena de expectativas sobre precios futuros. Muth (1961) afirma que los individuos del modelo utilizan toda la información disponible para generar expectativas. Las hipótesis de expectativas adaptativas y racionales surgen entonces como diferentes respuestas a las formas de endogeneizar las expectativas de variaciones de precios.

Un aspecto a destacar es que el modelo propuesto debe admitir la heterogeneidad de expectativas entre los agentes. Es decir, el valor esperado del aumento de precios por parte

de los agentes de la economía puede diferir. Las primeras explicaciones sobre este hecho fueron vincularlo a un problema informativo, tanto de la frecuencia de las actualizaciones de información (Mankiw and Reis, 2002) como sobre las restricciones de los agentes para el procesamiento de la información (Sims, 2003; Woodford, 2003a). Bajo la presencia de costos de información, se demuestra en Brock and Hommes (1997, 1998) que la elección racional de los individuos puede ser la no utilización de expectativas racionales. La incertidumbre sobre el futuro generada a partir de la heterogeneidad de los agentes puede generar, como afirma London and Tohmé (2019), cambios endógenos e impredecibles en el sistema económico.

Estudios empíricos muestran evidencia a favor de las expectativas adaptativas, tanto a corto como a largo plazo. El análisis de Branch (2007) o en Dräger and Lamla (2012) con datos de la *Michigan Household Consumer Sentiment survey*¹ muestran este hecho para las encuestas de expectativas de los consumidores. Al respecto, se aprecia que al comparar el desempeño de las expectativas de inflación señaladas por los expertos con las expectativas de inflación de los consumidores, estas últimas logran un mejor ajuste. Esto sucede a pesar del mayor conocimiento del mercado y el estatus de conocedores del modelo subyacente en la economía que suelen tener los expertos².

El modelo básico admite otras ampliaciones, centradas principalmente en los modelos donde el proceso de actualización de expectativas se vincula con el aprendizaje de estrategias desde el entorno económico. En este sentido, se distinguen Brock and Durlauf (2003); Kirman (2005); Assenza et al. (2013).

2.2.1. Modelo básico con expectativas

Para caracterizar el problema económico básico, se presenta el modelo desarrollado en Svensson (1997), siguiendo la notación de Galí (2018). Se puede hacer el mismo razonamiento para las diferentes formulaciones de la curva de Phillips descritas en (Coibion et al., 2018, pp. 1466).

$$\tilde{y}_t = E_t\{\tilde{y}_{t+1}\} - \sigma^{-1}(i_t - E_t\{\pi_{t+1}\} - r_t^n) \quad (2.1)$$

$$\pi_t = \beta E_t\{\pi_{t+1}\} + \kappa(\tilde{y}_t) \quad (2.2)$$

$$i_t = \phi_\pi \pi_t + \phi_y \tilde{y}_t + v_t \quad (2.3)$$

La Ecuación (2.1) es una versión dinámica de la curva IS, la cual establece que la brecha de producto (\tilde{y}_t) es igual a la diferencia entre la brecha de producto esperada un período en el futuro ($E_t\{\tilde{y}_{t+1}\}$) y un valor proporcional a la diferencia entre la tasa de interés real ($i_t - E_t\{\pi_{t+1}\}$) y la tasa de interés natural (r_t^n). La ecuación (2.2) es la llamada curva

¹Disponible en <http://www.sca.isr.umich.edu/>.

²Hay evidencia para países con una historia de inflación baja y alta. Para los países de la OCDE, ver Curtin (2009); Coibion and Gorodnichenko (2015); Chen (2019). Para Uruguay, este hecho se analiza en Frache and Lluberas (2019).

de Phillips, que depende de la inflación esperada ($E_t\{\pi_{t+1}\}$) y la brecha de producto. La Ecuación (2.3) es una regla sobre tasas de interés, que describe la forma de determinación de la tasa de interés en el modelo. En este caso, la determinación de la tasa de interés depende de la inflación actual y de la brecha de producto, además de shocks de política monetaria v_t .

Las ecuaciones (2.1) y (2.2) tienen una fuerte tradición en los modelos económicos, mientras que las reglas sobre la tasa de interés (Ecuación 2.3) han surgido en las últimas décadas; ver Taylor (1993). En esta economía hay n individuos, donde cada uno forma sus expectativas ($E_t\{\pi_{i,t+1}\}$) a partir de la historia previa de expectativas y de la información públicamente disponible:

$$E_t\{\pi_{i,t+1}\} = f(\pi_t, E_{t-1}\{\pi_{i,t}\}) + \varepsilon_{i,t} \quad (2.4)$$

Con $\varepsilon_{i,t} \sim N(0, \sigma_\varepsilon)$, por lo cual, $E_t\{\pi_{i,t+1}\} \sim N(\mu_i, \sigma_\varepsilon)$. Si las expectativas son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (IID), el teorema central del límite establece que cuando $n \rightarrow \infty$, la media de la muestra $\overline{E_t\{\pi_{i,t+1}\}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_t\{\pi_{i,t+1}\}$ se distribuye:

$$\frac{\overline{E_t\{\pi_{i,t+1}\}} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \xrightarrow{d} Z \sim N(0, 1) \quad (2.5)$$

Siguiendo este enfoque, en este capítulo se examina uno de los supuestos básicos: la independencia en la toma de decisiones de los agentes económicos. Este supuesto está vinculado no solo a las distribuciones subyacentes de las expectativas, sino también a las ontologías establecidas.

2.2.2. Independencia: distribuciones estables

Si se asume que la muestra se genera a partir de observaciones de variables IID, entonces las distribuciones son estables (Nolan, 1999). Se define una variable X como estable si y solo si para $n > 1$ se cumple la Ecuación (2.6), donde X_1 a X_n son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas.

$$X_1 + \dots + X_n \xrightarrow{d} c_n X + d_n \quad (2.6)$$

Esta familia de distribuciones, que incluye distribuciones gaussianas, es una forma de describir sistemas que son sumas de términos IID, pero se observa empíricamente que su distribución puede no ser simétrica. Hay ejemplos en Economía de Mandelbrot (1963); Fama (1965) para el análisis de variaciones de precios de mercado. La forma de describir todas las posibles distribuciones estables es mediante la transformación de Fourier³.

Estas distribuciones se pueden definir a partir del conjunto $S = (\alpha, \beta, \gamma, \delta)$. En este caso, α ofrece información sobre la estabilidad del modelo ($0 \leq \alpha \leq 2$), β se refiere al sesgo,

³Además de la distribución Normal, la distribución de Cauchy y la distribución de Lévy, no existen otras expresiones de distribuciones estables con función de densidad conocida. En cualquier caso, utilizando métodos numéricos, se pueden obtener los valores de interés.

γ a la escala y δ a la localización. Cuando $\alpha = 2$, la distribución estable asociada es la distribución Normal.

Cuando $\alpha \neq 2$, Lévy (1925) muestra que las colas de la distribución en estos casos siguen asintóticamente una ley de potencia, con un valor del parámetro igual a α .

2.2.3. Dependencia y efecto contagio

Desde este punto de vista, las expectativas no se generan de forma independiente sino a partir de la coordinación y el contagio entre agentes. Los fenómenos causales pueden ser el aprendizaje, la retroalimentación entre individuos o el contagio siguiendo una distribución de Boltzmann.

Los resultados agregados no son simplemente la suma de sus componentes, sino una serie de patrones emergentes. En particular, se supone que las variables $E_t\{\pi_{i,t+1}\}$ y $\bar{E}_t\{\pi_{i,t+1}\}$ no son isomorfas, a la vez que tienen componentes cualitativamente diferentes. El sistema así definido está autoorganizado; el sistema se organizará en torno a un punto crítico.

En Economía, hay muchas formas de caracterizar la interacción entre individuos. Se pueden ver formas de interacción en los modelos con elección de respuesta de (McKelvey and Palfrey, 1995), como *exploración y explotación* (Phan et al., 2004) o *equidad y altruismo* (Fehr and Schmidt, 2006). Es importante señalar que las interacciones entre individuos son una característica inherente de los sistemas económicos.

Es importante considerar cuáles deberían ser los instrumentos analíticos adecuados para estudiar este tipo de problemas. La economía de la complejidad permite examinar los resultados agregados que surgen de los microcomportamientos y las interacciones entre individuos, permitiendo la autoorganización.

2.3. Antecedentes

Desde los primeros esfuerzos por estudiar las expectativas sobre los precios futuros - las encuestas del *Institute for Survey Research* de la Universidad de Michigan surgen a mediados del siglo XX - se ha analizado la distribución de las respuestas, en particular su sesgo. Theil (1958) afirma que, si bien se espera encontrar una distribución insesgada, dados los aumentos sostenidos de los precios, su distribución puede estar sesgada hacia la derecha. En su análisis de los diferentes momentos de la distribución de las encuestas de expectativas de inflación, Carlson (1975) muestra que existe un sesgo hacia la derecha durante los períodos de alta inflación; a su vez, encuentra una mayor curtosis que bajo una distribución Normal. A partir de estos resultados y sus artículos posteriores, Smith and McAleer (1995) sostiene que los fenómenos inflacionarios pueden estar sesgados hacia la izquierda o hacia la derecha, por lo que la imposición de una distribución Normal restringe el análisis posterior. Berk (2001) explica que reducir la distribución de expectativas a una

distribución Normal simplifica los cálculos ya que la distribución se puede especificar desde (μ, σ) .

A partir de los antecedentes presentados, existe evidencia para afirmar que la distribución de las expectativas de inflación no es del tipo gaussiano, sino que puede encontrarse sesgada y con cola a la derecha.

2.4. Metodología y datos

2.4.1. Datos

Se utilizan datos de la Encuesta de Expectativas de Inflación de las empresas, realizada por el Banco Central de Uruguay (BCU) y el Instituto Nacional de Estadística (INE). En la Tabla 2.1 se muestra información más detallada sobre los datos de la encuesta.

Variable	Expectativas de empresas
Datos	Mensuales
Período	2012.06 to 2017.12
Encuestados	Gerentes financieros de Empresas
Observaciones	522 empresas
Expectativas de inflación	Año corriente 12 meses 18 meses 24 meses

Tabla 2.1: Información obtenida de la Encuesta de Expectativas de Empresas. Fuente: BCU-INE, Uruguay. Se preguntó a las empresas sobre sus expectativas de inflación a 18 meses a partir de julio de 2013, y sobre sus expectativas de inflación a 24 meses a partir de julio de 2013. Esta modificación se relaciona con el cambio en el horizonte de política monetaria del Banco Central de Uruguay.

2.4.2. Leyes de potencia

Las leyes de potencia o leyes de escala son analizadas por primera vez en Economía por Vilfredo Pareto (Pareto, 1896), a partir de las regularidades observadas en la distribución del ingreso. Una de sus particularidades es que la probabilidad de observar sucesos extremadamente grandes respecto a la media no es insignificante, al contrario que bajo una distribución gaussiana. Las distribuciones que siguen una ley de potencia, como se muestra en Sornette (2014) pueden incluso no tener una varianza o una media definidas, lo que da cuenta del tipo de eventos extremos que allí ocurren.

Las leyes de potencia son propiedades que según [Gabaix \(2016\)](#) cumplen con dos atributos: son no triviales y existe numerosa evidencia empírica a favor de su existencia. Según este autor son causadas principalmente por dos mecanismos ([Gabaix, 2009](#)): modelos con crecimiento aleatorio ([Simon, 1955b](#)) o el uso de una variable con esta distribución como insumo de otra variable. Los modelos con crecimiento aleatorio implican que partiendo desde una distribución inicial, los elementos del sistema tienen shocks aleatorios independientes entre sí. Bajo ciertas restricciones este modelo da lugar a una ley de potencia, como por ejemplo si se establece un valor mínimo a la variable que ajustan los elementos del sistema. Ejemplos de estas fricciones se pueden observar en el tamaño de las firmas, el tamaño de las ciudades o en el ingreso mínimo de los individuos, lo que tiene como consecuencia la aparición de leyes de escala en el tamaño de las firmas o de las ciudades y en la distribución del ingreso. Se puede suponer que este comportamiento también ocurre con los precios de una economía, ya que los distintos productos pueden encontrarse sometidos a shocks aleatorios independientes y además se pueden encontrar fricciones a la baja de precios en el corto plazo.

Para los datos utilizados, en primer lugar se analiza si para el número de observaciones de cada mes, la distribución de las expectativas de inflación se ajusta a una distribución Normal ([Shapiro and Wilk, 1965](#)). En caso de rechazo (para un p -valor < 0.05), se estudia si la distribución se puede ajustar a una distribución de ley de potencia, siguiendo el procedimiento descrito por ([Newman, 2005](#); [Clauset et al., 2009](#)). Es decir, se analiza si para todo el conjunto de datos y para cada mes la distribución se ajusta a la Ecuación (2.7).

$$P(X > x) = a \cdot x^{1-\alpha} \quad (2.7)$$

El coeficiente α se estima mediante máxima verosimilitud y el p -valor del estadístico para cada mes se calcula mediante bootstrap, utilizando el paquete *powerLaw* ([Gillespie, 2015](#)) del software R. En el Anexo A.1 se muestran los resultados de los coeficientes α , β , γ y δ calculados a partir del supuesto de distribuciones estables, siguiendo el procedimiento establecido por [Mandelbrot \(1963\)](#).

2.5. Resultados

A partir de lo observado en la Figura 2.1, donde se muestra el gráfico log-log de la inflación anual esperada para toda la muestra y cada mes de 2017, a partir de un umbral determinado - con valores entre 5 % y 10 %- la cola de la distribución se comporta siguiendo una ley de potencia.

La muestra de observaciones tiene para cada período un conjunto de datos de corte transversal X_t , compuesto por las respuestas a la encuesta en el período t . Se plantean las

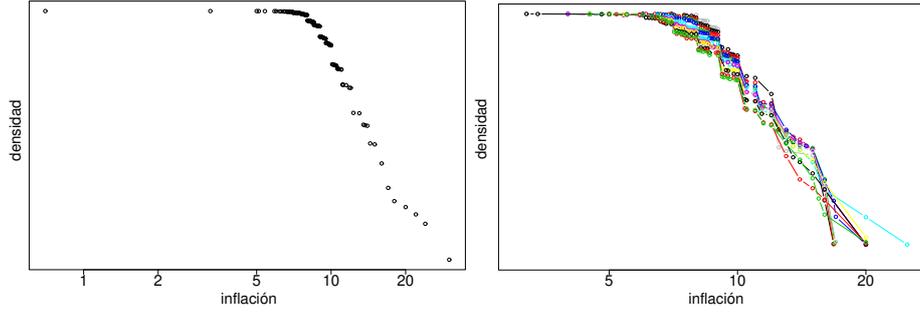


Figura 2.1: Respuestas a la Encuesta de Expectativas de Empresas, proyecciones a 12 meses, gráficos en escala log-log. Izquierda: Expectativas de inflación anual, proyección a 12 meses. Derecha: Expectativas de inflación anual, proyección a 12 meses, enero a diciembre 2017. Fuente: BCU, INE.

	12 meses	18 a 24 meses
(a) PL: p-valor < 0.05	0 %	1.5 %
(b) Normal: p-valor < 0.05	100 %	100 %

Tabla 2.2: Proporción de meses en los que se rechaza la hipótesis nula. p -valores obtenidos por bootstrap en (a) y por la prueba de Shapiro-Wilk en (b). Fuente: elaboración propia en base a BCU, INE.

siguientes pruebas de hipótesis:

$$\begin{aligned}
 (a) \quad H_0 &: X_t \sim PL(\alpha, x_{min}) \\
 H_1 &: X_t \not\sim PL(\alpha, x_{min}) \\
 (b) \quad H_0 &: X_t \sim N(\mu, \sigma) \\
 H_1 &: X_t \not\sim N(\mu, \sigma)
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

En la Ecuación (2.8) se plantean las pruebas de hipótesis a evaluar, dada la hipótesis nula de las distribuciones de ley de potencia y Normal, respectivamente. Rechazaremos durante un mes determinado si su p -valor es inferior al 5 %.

Analizamos en la Tabla 2.2 los resultados de estas pruebas, donde se reporta la proporción de períodos en los que se rechaza H_0 . Los resultados obtenidos indican que (a) no se rechaza a un nivel de significación del 95 % que el proceso de generación de datos en el lapso de tiempo evaluado sea una ley de potencia; (b) se rechaza en todos los períodos analizados la hipótesis de distribución normal de expectativas, para las diferentes frecuencias temporales estudiadas.

Como se muestra en la Tabla 2.3 (a), los valores de α encontrados son más altos a los encontrados habitualmente en las series financieras (ver Mandelbrot (1963), entre otros). Este primer resultado indica que la volatilidad asociada a las expectativas es menor que la volatilidad asociada a las variaciones de precios en el mercado (ver Capítulo 3). Esto implica analizar la estructura subyacente de vínculos entre variaciones de precios y expectativas de variaciones de precios, además de los vínculos entre empresas que generan estos patrones a

Variable	Expectativas	2.5 %	25 %	50 %	75 %	97.5 %
(a) α	12 meses	6.43	7.74	8.46	9.66	17.38
	18-24 meses	5.55	6.53	7.49	8.46	10.65
(b) x_{min}	12 meses	8	10	10	10	14
	18-24 meses	8	10	10	11	14.35
(c) p-valor	12 meses	0.3067	0.6908	0.9483	0.9999	1.0000
	18-24 meses	0.1123	0.6304	0.9497	0.9997	1.0000

Tabla 2.3: Análisis de sensibilidad de las variables analizadas, en base a los cálculos realizados por bootstrap. Fuente: elaboración propia en base a BCU, INE.

nivel agregado. Una posible explicación de este fenómeno es la coexistencia de diferentes tipos de empresas en el mercado, con diferencias en el procesamiento de la información y el tipo de información empleada.

Luego, en la Tabla 2.3 (b) se observa que el valor de las expectativas a partir de las cuales se cumple la ley de potencia es del 10%. En un país con una inflación anual promedio del 8% en el período analizado y un historial de inflación más elevada, se puede suponer que existen procesos de largo plazo en este sistema que no se ajustan a la tendencia de los últimos años⁴. Los resultados obtenidos por Gagnon (1996); Rinke et al. (2017) muestran que las expectativas de inflación apenas se modifican por la inflación actual. De forma complementaria, Evans et al. (2019) muestran en experimentos de laboratorio que los individuos utilizan expectativas a largo plazo, una estrategia exitosa para los agentes ya que los protege de coordinarse a precios alejados de la tendencia de largo plazo. Estas estrategias están asociadas con una mayor heterogeneidad y se encuentran alejadas de las hipótesis de expectativas racionales.

Finalmente, la Tabla 2.3 (c) complementa la información de la Tabla 2.2 (a): la hipótesis nula de una distribución de ley de potencia no se rechaza tanto en 12 meses como de 18 a 24 meses. Por ejemplo, solo menos del 2,5% de los periodos analizados con expectativas a 12 meses tienen un p-valor inferior al 30,6%. Es razonable suponer que no se rechaza H_0 para p-valores razonables.

2.6. Conclusiones

A partir de estos resultados, no se rechaza la hipótesis que la distribución de las expectativas de inflación se distribuye como una ley de potencia, mientras que se rechaza que sigan una distribución Normal. Esto motiva un análisis más profundo para determinar la naturaleza de este fenómeno.

Este resultado proporciona evidencia para entender el proceso de formación de expectativas como una red de vínculos entre agentes. Las expectativas no se expresarían como una decisión individual, sino que surgen de la búsqueda de información y enlaces a nivel local,

⁴Puede observarse la variación mensual y anual de precios en el Capítulo 3, Figura 3.3.

con el fin de obtener un beneficio de esta información. En este contexto, las empresas obtienen información sobre su entorno económico buscando obtener una mejor previsión; las expectativas agregadas son cualitativamente diferentes de las individuales, por lo que deben estudiarse de manera diferente. Evidencia empírica reciente tanto para Estados Unidos (Cornea-Madeira et al., 2019) como para países latinoamericanos (Fasolo and Portugal, 2004) están a favor de entender la evolución de las expectativas como un mecanismo evolutivo, por lo que este fenómeno es inherente al proceso de formación de expectativas.

La persistencia de la inflación a nivel agregado es otro problema que surge como consecuencia del proceso de formación de expectativas. Desde un punto de vista econométrico, sólo recientemente se han analizado procesos de memoria larga y se han distinguido procesos espurios. Se puede encontrar una revisión detallada con resultados de países europeos y Estados Unidos en Rinke et al. (2017). Se hallan conclusiones similares en Tohmé et al. (2005), donde hay evidencia para los países latinoamericanos en el sentido que los procesos inflacionarios funcionan como ruidos brownianos fraccionarios.

Por otra parte, bajo el supuesto que las expectativas individuales y agregadas se distribuyen de la misma manera, implicaría que el término de error de la Ecuación (2.4) $\varepsilon_{i,t}$ se encuentra sesgado y sigue la misma distribución que $\overline{E}_t\{\pi_{i,t+1}\}$. Este hecho tiene dos consecuencias fundamentales, una teórica y otra empírica. Desde el punto de vista teórico, para mantener la independencia en las observaciones se debe explicar el origen de la distribución sesgada de los errores; desde el punto de vista empírico, genera problemas para analizar los coeficientes asociados a las expectativas de inflación por métodos econométricos, debido al sesgo.

Otro aspecto es la incertidumbre asociada a las estimaciones. Dependiendo de la distribución de expectativas elegida, habrá diferencias en la incertidumbre. En el presente análisis no se rechaza una distribución de ley de potencia, pero al mismo tiempo, hay evidencia importante a favor de asumir que los primeros momentos de la distribución son finitos. Sin embargo, asumir que la distribución subyacente no es Normal implica una mayor incertidumbre sobre el futuro y los diferentes momentos de la distribución dan cuenta de la importancia relativa del promedio - o la mediana - de las expectativas como la única variable de política relevante. Analizar la heterogeneidad y las redes de transmisión de información en la Economía resulta entonces fundamental para un buen desempeño de las variables macroeconómicas.

Para finalizar, en este capítulo se ha revisado la vinculación entre la naturaleza de los procesos económicos, los supuestos de la teoría, las estrategias empíricas utilizadas para capturar estos fenómenos y las recomendaciones de política derivadas del análisis. Un posible enfoque, mencionado por Leijonhufvud (2011), indica que los métodos utilizados deben adaptarse a la naturaleza de los fenómenos económicos. Otro enfoque más radical es la observación de Cardoso and Palma (2009): la separación entre la economía como disciplina y los fenómenos económicos. Según este autor esto lleva a que los métodos, en forma de maximización restringida, definan la disciplina económica. De esta manera, el problema actual de la disciplina económica radica en la imposición de modelos preconcebidos a la

realidad, lo que impide su plena comprensión. En este contexto, avanzar en un correcto diagnóstico de los fenómenos económicos generará las condiciones para el uso de técnicas adecuadas y se brindarán recomendaciones de política más útiles. A partir de los resultados encontrados en este capítulo, las acciones de política deben tomar en cuenta la red de transmisión de información en la economía. La estructura puede amplificar los shocks negativos, pero de la misma forma puede utilizarse para generar shocks de política que actúen sobre los nodos más conectados o más pesimistas y así se genere una mayor influencia en toda la red.

Capítulo 3

Autoorganización y multifractalidad en los sistemas de formación de precios

El análisis de los sistemas de precios como sistemas complejos es de suma importancia para comprender la asignación de recursos en la economía a partir de las interacciones entre agentes. En este capítulo se analiza el sistema de precios de la economía uruguaya utilizando el índice de precios al consumidor desagregado a nivel de producto y el índice general como insumos. A partir del análisis de la distribución de las variaciones de precios en cada período y de la variación general de precios y realizando un análisis multifractal, se obtienen resultados robustos y consistentes en el sentido de entender las variaciones de precios como provenientes de sistemas complejos. Los principales resultados indican que no se rechaza la hipótesis de una ley de potencia, así como el comportamiento persistente de las variaciones de precios se ve modificado por grandes fluctuaciones en el sistema.

3.1. Introducción

La Economía es un sistema abierto que está formado por un gran número de agentes económicos y el medio ambiente. Los individuos reaccionan a estímulos externos (del entorno y de otros individuos) y estímulos internos de forma autoorganizada ([Mantegna and Stanley, 1999](#)). La criticidad autoorganizada (SOC) ([Bak et al., 1988](#); [Bak and Chen, 1991](#)) supone que los sistemas abiertos con elementos que interactúan entre sí, se organizan en el entorno de un estado crítico “estacionario”, sin otras escalas que las impuestas por el tamaño del sistema. Estos estados críticos se caracterizan por leyes de potencia temporales y espaciales. Como se menciona en la Ecuación (2.7), la función de densidad de una ley de potencia se puede definir de la siguiente manera:

$$f(x) = Cx^{-\alpha} ; \text{ con } \{\alpha, C\} > 0 \quad (3.1)$$

y sus k momentos como:

$$\langle x^k \rangle = \int_{x_{min}}^{\infty} x^k f(x) dx ; \text{ con } \alpha > k + 1 \quad (3.2)$$

Una vez que se puede establecer si los datos se distribuyen como una ley de potencia, utilizando la fórmula anterior, se pueden calcular los primeros $(\alpha - 1)$ momentos. Por otra parte, los k momentos mayores a $(\alpha - 1)$ toman valores infinitos. Existen ejemplos en Economía donde la varianza ($k = 2$) es asintóticamente infinita, como la ley de Zipf con $\alpha \simeq 2$ (Axtell, 2001) o la distribución del ingreso con $2 < \alpha < 3$ (Gabaix, 1999; Drăgulescu and Yakovenko, 2001; Clementi and Gallegati, 2005).

Un tipo de fenómeno económico que podría caracterizarse de esta manera son las variaciones de precios en diferentes mercados. Estas variaciones de precios se reflejan en la inflación, que se mide a través de Índices de Precios al Consumidor (IPC), que pueden heredar muchas de las características de los procesos subyacentes. Una de las formas en que estas características pueden manifestarse es a través de un proceso de memoria larga con shocks no acotados. Por un lado, hay evidencia para diferentes economías que establece que la distribución de la variación de precios a nivel de producto está sesgada (Bryan and Cecchetti, 1999; Kearns, 1998; Scharnagl and Stapf, 2014). Otros autores, como Tohmé et al. (2005), concluyen que para algunos países de América Latina, la distribución de la variación de precios sigue una ley de potencia. Otros, como Boubaker et al. (2017) o Fernandes et al. (2020), analizan los parámetros de persistencia de los procesos inflacionarios basados en el exponente de Hurst. Como mencionan Fernandes et al. (2020), los procesos de memoria larga están asociados con una historia de indexación en países con un historial de alta inflación.

En este capítulo se brinda evidencia y se discute si la evolución de los precios en la economía se puede considerar solo a partir de la media y la varianza del índice de precios, con base en el ejemplo con datos de Uruguay. Por tanto, se presentan tres objetivos complementarios. En la primera parte se analiza la distribución de las variaciones de precios de los productos que pertenecen al IPC, con el fin de conocer para cada unidad de tiempo cómo se puede representar este proceso aleatorio. A continuación se estudia cómo se distribuyen a lo largo del tiempo las variaciones del índice general de precios. Se puede analizar de manera similar a otros activos financieros, aunque por otro lado, los índices de precios al consumidor son un insumo importante para el funcionamiento de la economía, especialmente en el caso de economías con alto grado de indexación. Finalmente, se analiza si estas series presentan shocks persistentes o si, por el contrario, los shocks tienden a revertirse en el tiempo. Para ello se controla la persistencia según el tamaño del shock y la ventana de tiempo considerada, mediante análisis multifractal. Los resultados empíricos muestran que al igual que en el caso del capítulo anterior, la hipótesis de una ley de potencia no se rechaza para la serie analizada, mientras que este análisis permite rechazar otras hipótesis sobre la distribución subyacente en la serie de precios. Este resultado tiene implicaciones

en la forma en que los investigadores hacen suposiciones sobre la volatilidad de las series de precios. Otro resultado importante es que la persistencia de las variaciones de precios no es constante, sino que depende del tamaño de las fluctuaciones del sistema. Este capítulo continúa de la siguiente manera. La sección 3.2 detalla la metodología y los datos utilizados. En la sección 3.3 se presentan y analizan los resultados más importantes de este estudio y en la sección 3.4 se discuten las conclusiones.

3.2. Metodología

En este capítulo se analiza la distribución empírica de las variaciones de precios a lo largo del tiempo y de un grupo de precios en cada momento. En particular, se busca conocer si las distribuciones empíricas encontradas pueden representarse a partir de una ley de potencia. A continuación, se analiza la dimensión multifractal de la serie del IPC agregada.

El exponente de Hurst h (Hurst, 1951) permite estimar el grado de dependencia temporal de la serie. Cuanto mayor sea el valor de este exponente, el comportamiento de la serie es más regular y menos errático que con valores más bajos. Los valores superiores a 0,5 para este exponente implican una alta dependencia temporal, también llamados como procesos persistentes o de “memoria a largo plazo”, mientras que los valores inferiores a 0,5 son procesos anti-persistentes o “ruido rosa”. El caso especial de $h = 0,5$ corresponde a la ausencia de autocorrelación, también llamado “ruido blanco”.

El exponente de Hurst generalizado (Barabási and Vicsek, 1991), que en la literatura se presenta como $h(q)$ o $h(q, s)$ es una extensión del exponente de Hurst, cuyo parámetro q se refiere a los momentos q de la distribución. A diferencia de h , en $h(q)$ los diferentes momentos tienen diferentes escalas. Con q reescalado, q depende del tamaño del shock, con $q < 0$ ante fluctuaciones pequeñas y $q > 0$ ante fluctuaciones relativamente grandes. El parámetro s tiene en cuenta la escala temporal. El grado de persistencia de la serie no es invariante en el tiempo sino que puede depender de la escala de tiempo utilizada.

Se utiliza la serie del Índice de Precios al Consumidor (IPC) generada por el Instituto Nacional de Estadística de Uruguay, con datos agregados y desagregados. La serie de datos agregados corresponde al IPC general, para el cual existe información de julio de 1937 a diciembre de 2020. Para conocer el comportamiento de la distribución de precios dentro de cada mes, en este capítulo este indicador se encuentra desagregado a nivel de producto. Con base en el año 2010, se dispone de 374 productos desde diciembre de 2010 a diciembre de 2020. Se aplican primeras diferencias a la serie original, tanto a los datos agregados como desagregados.

3.3. Resultados

3.3.1. Distribución de la variación de precios a nivel de producto a un mes

En primer lugar, se estudia la distribución de los cambios de precios mensuales de cada producto. Para la base de datos de 374 productos, analizamos la distribución dentro de cada mes y dentro de cada año. Para analizar las distribuciones empíricas que resultan de una ley de potencia, la distribución acumulada de una ley de potencia es:

$$F(x) = P(X > x) = a.x^{(1-\alpha)} \quad (3.3)$$

La Figura 3.1 muestra que dentro de cada año y cada mes, en escala log-log se puede observar una tendencia decreciente aproximada a una recta, lo cual es consistente con una distribución de ley de potencia.

El coeficiente α y el p -valor del estadístico se estiman por máxima verosimilitud para cada mes y cada año. Como resultado principal, podemos decir que la hipótesis de una ley de potencia no se rechaza en el proceso de generación de datos.

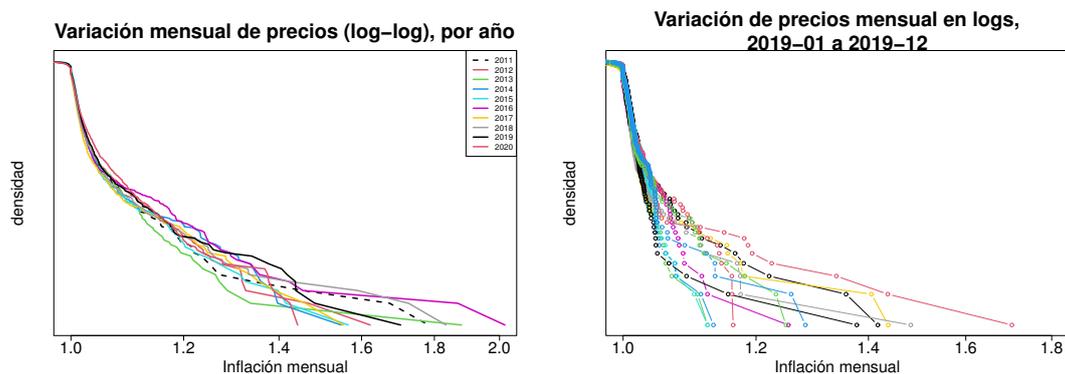


Figura 3.1: Izquierda: Distribución de la variación de precios a nivel de productos del IPC, datos de 2011 a 2020. Derecha: Distribución de la variación de precios a nivel de productos IPC, enero a diciembre de 2019. Fuente: elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

Se encuentra que para un nivel de significación del 5% no se rechaza la hipótesis nula de una ley de potencia en el 98% de los meses analizados (Figura 3.1, derecha), mientras que esta hipótesis no se rechaza para los años 2011 a 2020 (Figura 3.1, izquierda)¹.

Un aspecto importante de estos resultados, además del no rechazo de una distribución de ley de potencia, es el valor encontrado para el parámetro α . Como se muestra en la Figura 3.2, $2 < \alpha < 3$ y además el valor de α disminuye en el período de tiempo analizado. Según estos resultados, el primer momento de la distribución empírica es finito mientras que el

¹Como excepciones en esta década de datos, solo se encuentran agosto de 2013 y mayo de 2019. Otras distribuciones, como normal, log-normal o exponencial, se rechazan para todos los períodos analizados.

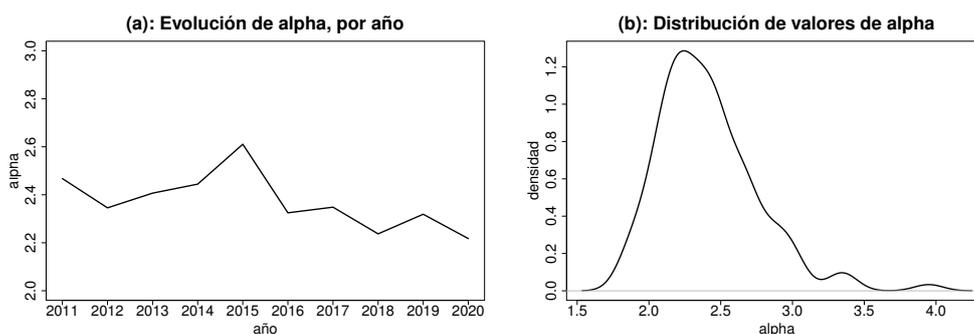


Figura 3.2: (a): Parámetro α , de 2011 a 2020; (b): Distribución de α de enero de 2011 a diciembre de 2020. Fuente: elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

segundo momento de la distribución es (asintóticamente) infinito. Estos valores indican que los momentos de la distribución no son estables, donde un shock puede generar desviaciones no acotadas. Una interpretación de este resultado es que esta técnica percibe una alta volatilidad en la variación de los precios de los productos. Los cambios en los precios relativos asociados con esta volatilidad no son capturados por las variaciones en el índice general, aunque tienen impactos severos en los diferentes mercados. El comportamiento asintóticamente infinito del segundo momento de la distribución de variaciones de precios tiene otra consecuencia importante: la volatilidad del índice aumenta con el número de productos en el índice. Este resultado, aunque parece contradictorio, se deriva del resultado anterior ($\alpha < 3$). Esto se explica porque a mayor número de productos, aumentan las posibilidades de capturar grandes desviaciones en algunos de los productos pertenecientes al índice. Por otro lado, se puede ver que el valor de α ha disminuido en los últimos 10 años. Este fenómeno explica una mayor volatilidad de los precios relativos en la economía y, lo que es más importante, aumenta la exposición a shocks significativos en el índice de precios.

3.3.2. Distribución de la serie del IPC general

En este apartado se analiza la distribución de la serie de las primeras diferencias del índice de precios agregado. Este índice, debido a la naturaleza altamente indexada de la economía uruguaya, se utiliza para actualizar salarios, pasividades, pensiones y contratos financieros. Por tanto, es importante saber cómo los shocks pueden afectar el nivel de precios de la economía o algunos de estos precios.

La dinámica del índice de precios en Uruguay ha transcurrido por diferentes fases (ver Figura 3.3 (a)), que corresponden a los diferentes períodos de estabilización. A su vez, como se puede observar en la Figura 3.3 (b), en términos de variaciones mensuales esta serie se encuentra influenciada por un importante componente estacional.

Para países de América Latina existe evidencia que la distribución de la variación de precios en una economía se puede formular a partir de una ley de potencia (Caraballo and Dabus,

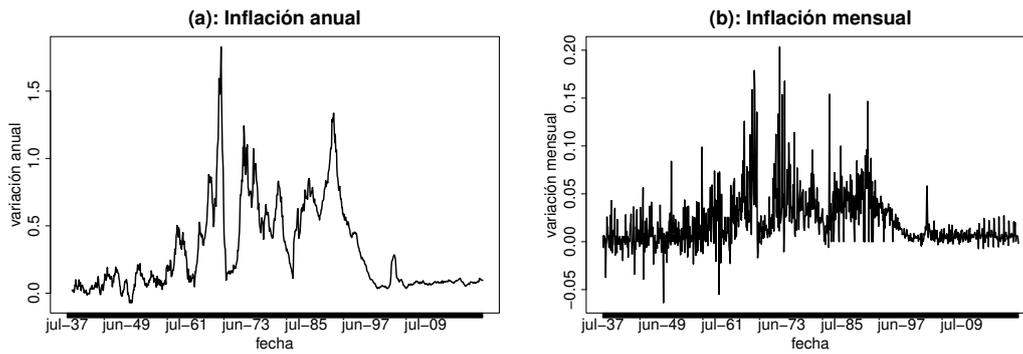


Figura 3.3: Datos del IPC en primeras diferencias, julio de 1937 a diciembre de 2020. (a): inflación anual; (b): inflación mensual. Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

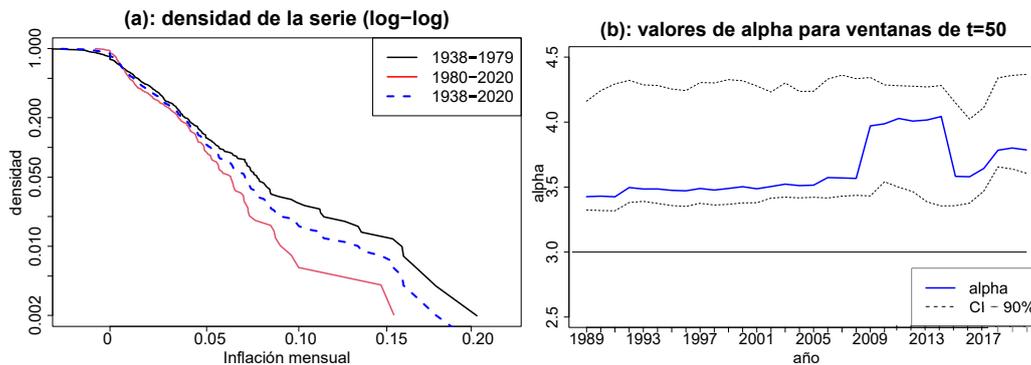


Figura 3.4: (a): densidad de las series del IPC en primeras diferencias, en escala logarítmica; (b): valor del parámetro α utilizando ventanas de tiempo de 50 años. Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

2005), mientras que existe evidencia para Brasil (Fernandes et al., 2020) que muestra que el índice de precios se puede representar a partir de su dimensión fractal.

Al analizar la distribución de esta serie en primeras diferencias, comprobamos que no rechazamos la hipótesis nula de una ley de potencia, tanto para la serie completa, para diferentes intervalos de tiempo como para diferentes ventanas de tiempo.

En la Figura 3.4 (a) se puede observar que en una escala logarítmica, tanto la serie completa como en sub-períodos de 40 años tienen un comportamiento similar al esperado bajo un proceso de ley de potencia. El valor de α para toda la muestra es de 3,47, con un p-valor de 0,52². También se observa que en los últimos 40 años se asigna una menor probabilidad a mayores variaciones mensuales, lo que corresponde a una menor volatilidad y un mayor valor del parámetro α . Se observa en la Figura 3.4 (b) que en ventanas de tiempo de 50 años este parámetro aumenta, tomando valores mayores a 3. Lo que se observa en la Figura 3.4 es consistente con la moderación de las tendencias inflacionarias de las últimas décadas.

Este resultado del parámetro α indica que el índice de precios general es menos volátil que los productos que lo componen. Este resultado tiene al menos dos explicaciones: por un lado, el índice agregado compensa las variaciones de precios a nivel micro, por lo

²Estimado por máxima verosimilitud, siguiendo el mismo procedimiento que en las secciones 2.5 y 3.3.1.

que la volatilidad es menor. Sin embargo, como se observó anteriormente, la volatilidad intrínseca de los datos mensuales hace que exista un mayor grado de incertidumbre en la serie agregada. Por otro lado, y a diferencia de los precios de los productos, la inflación general es un objetivo de política monetaria. Los Bancos Centrales buscan intervenir en los diferentes mercados para reducir tanto la variación como la volatilidad del índice, pero esto no parece afectar la volatilidad de las variaciones mensuales de precios de los productos.

La volatilidad del índice es menor que la calculada para las series financieras (ver [Mandelbrot and Taylor \(1967\)](#)), aunque una comparación entre las series financieras y los promedios ponderados de las series de precios debe tomarse con cautela.

La menor volatilidad del IPC se puede entender por su condición de instrumento y objetivo de las políticas económicas. Por un lado, la inflación baja y estable es el objetivo de las políticas del Banco Central; este índice es también el punto focal de muchas políticas y las expectativas de muchos agentes económicos están ligadas a la variación de este índice. Como resultado, distintas políticas antiinflacionarias buscan incidir en el comportamiento del índice, ya sea monetario, fiscal o restringiendo tanto precios como cantidades.

3.3.3. Exponente de Hurst para los productos de la canasta del IPC

En esta sección se examina la serie de precios mediante análisis fractal y multifractal. Considerando el exponente unidimensional de Hurst para la serie de los productos del IPC, se observa que no todas las series de precios muestran el mismo comportamiento.

A partir de la Figura 3.5 se concluye que la distribución del valor de h es bimodal, donde también se puede observar que el 33 % de los productos tienen un valor de $h < 0,5$, mientras que el 67 % restante tiene un $h > 0,5$. Un factor que puede provocar este comportamiento de la serie de precios radica en la posible existencia de grupos de productos con diferentes dinámicas en su proceso de formación de precios, los cuales no son capturados en el índice general. Por tanto, es posible extraer más información del análisis del IPC a partir de subíndices, con mayor homogeneidad intragrupo y mayor heterogeneidad entre grupos. Por ejemplo, en la literatura económica se utiliza la categorización de precios transables y no transables, ya que los primeros dependen en mayor medida de lo que sucede en el resto del mundo, mientras que los segundos están más relacionados con eventos de la economía nacional. En este sentido, existe evidencia importante a nivel internacional (ver [De Gregorio et al. \(1994\)](#)), que surge de los modelos de [Balassa \(1964\)](#) y [Samuelson \(1964\)](#). Existen algunos enfoques empíricos para este tipo de categorización para el caso de Uruguay, que se desarrollan en el Capítulo 4.

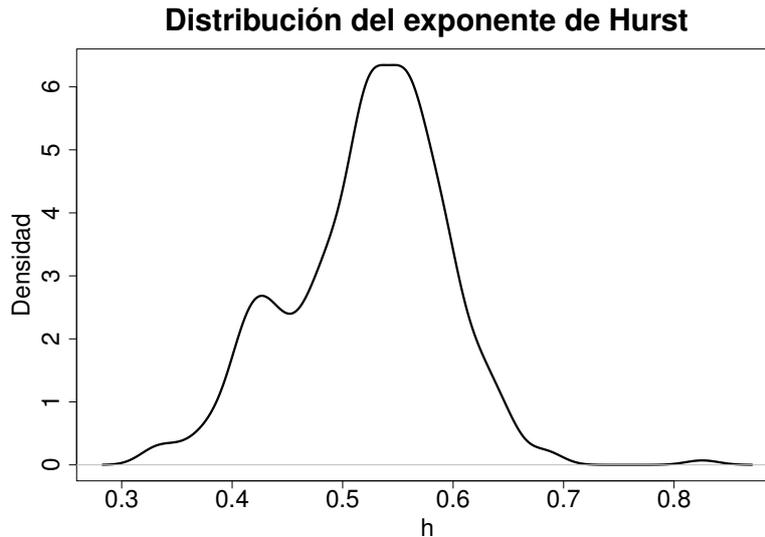


Figura 3.5: Distribución del exponente de Hurst para los productos del IPC. Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

3.3.4. Exponente de Hurst generalizado para la serie del IPC en primeras diferencias

La Figura 3.6 representa los valores del exponente de Hurst generalizado durante los últimos 50 años de datos, a partir del IPC general. Se observa que esta función es decreciente en q : implica que en caso de desviaciones menores la serie es persistente, mientras que ante desviaciones grandes la serie tiende a revertir a la media. De la misma forma, podemos ver que no depende del parámetro s , que refiere a la escala temporal. Como puede verse en la Figura 3.6, el comportamiento de esta serie es similar en diferentes escalas de tiempo.

Con base en el resultado de la Figura 3.6 se puede reescribir el exponente de Hurst como $h = h(q)$, es decir, el valor del exponente depende del tamaño del shock. Sin embargo, los valores de este exponente pueden estar sesgados por la estacionalidad y autocorrelaciones de la serie original.

Para eliminar esta posible fuente de error, se siguen dos procedimientos. Por un lado, al igual que Fernandes et al. (2020), se realiza el mismo cálculo con la serie ordenada de forma aleatoria con el fin de eliminar la autocorrelación de la serie. Por otro lado, el programa de ajuste estacional X-13 ARIMA-SEATS³ se utiliza como filtro para el ajuste estacional. Los resultados de $h(q)$ para estas series se muestran en la Figura 3.7. En esta Figura se puede apreciar que la serie ordenada aleatoriamente o la serie ajustada estacionalmente $h(q)$ se comportan de manera similar a la serie original, aunque con una diferencia menor en $h(q)$ ante diferencias en el tamaño de las desviaciones q . En el caso de desviaciones pequeñas o medianas ($q < 5$ aprox), en todos los casos analizados el sistema se comporta de manera persistente, mientras que solo ante grandes desviaciones el sistema tiende a revertir a la media.

³<https://www.census.gov/data/software/x13as.html>

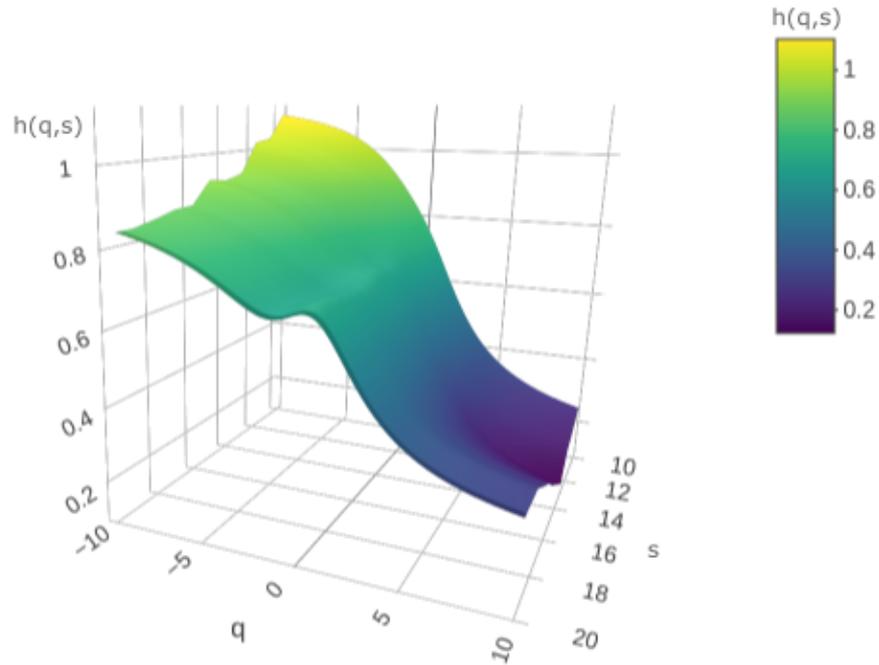


Figura 3.6: Gráfico de $h(q,s)$ con datos de inflación mensual, de enero de 1970 a diciembre de 2020. Fuente: elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

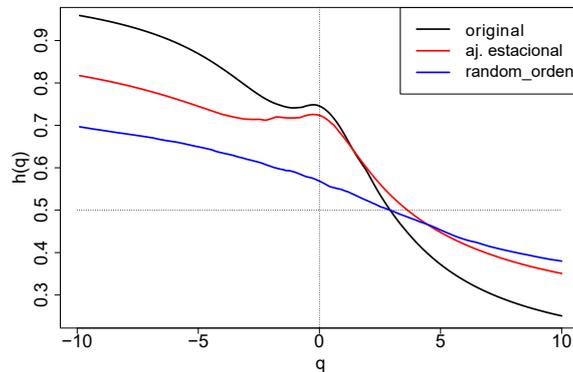


Figura 3.7: $H(q)$ de la serie original, desestacionalizada y ordenada aleatoriamente. Datos de enero de 1970 a diciembre de 2020. Fuente: elaboración propia en base a datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

3.4. Conclusiones

En este capítulo se ha analizado la distribución de la serie de precios del IPC de Uruguay utilizando diferentes técnicas, para la serie vista tanto en forma agregada como desagregada. La primera conclusión que ofrece este capítulo es que para las diferentes escalas y períodos analizados, no podemos rechazar la hipótesis de una ley de potencia como distribución de la serie analizada, mientras que este análisis permite rechazar otras hipótesis sobre la distribución subyacente en la serie de precios.

La distribución de ley de potencia encontrada tiene importantes consecuencias desde el punto de vista económico y de predicción, en particular en el análisis de la volatilidad de la serie. La volatilidad de la variación del precio de los productos intra-mes tiene consecuencias sobre el grado de incertidumbre de la estimación puntual del indicador agregado, así como la posibilidad de grandes fluctuaciones en los precios relativos de la economía. El proceso inflacionario en Uruguay ha tenido períodos de inflación relativamente alta y alta volatilidad; este análisis muestra que existe una probabilidad positiva de grandes fluctuaciones en las variaciones de precios de la economía. Estas fluctuaciones no son ruido blanco, sino que su comportamiento (persistente o revertiendo a la media) depende de la entidad del shock. Este resultado también puede generarse a partir de las interacciones entre agentes y sus intervenciones en el entorno para influir en el comportamiento del índice, como se desarrolla en el Capítulo 8.

Por otro lado, la información que brinda la distribución de $h(q)$ es análoga a la distribución de las primeras diferencias del IPC, lo que le brinda robustez a los resultados. Al mismo tiempo, ambos análisis aportan información complementaria: por un lado, podemos estimar la probabilidad de que ocurra un evento; por otro lado, podemos analizar si este evento será persistente en el tiempo o si el sistema volverá a los parámetros previos al shock. Estos resultados son robustos ya que ofrecen evidencia adicional para [Fernandes et al. \(2020\)](#) en el caso de países en desarrollo con indexación significativa.

Este estudio puede extenderse en otras direcciones. Por ejemplo, este análisis se puede realizar para otras series económicas en Uruguay relacionadas con procesos inflacionarios (valor de otras monedas, términos de intercambio, variables reales). Finalmente, puede ser relevante establecer relaciones entre el comportamiento de las expectativas de inflación de los agentes y el proceso de formación de precios en la economía, partiendo del supuesto que ambos están en un SOC.

Capítulo 4

Dinámica de la estructura de precios en Uruguay

Entender y predecir el fenómeno inflacionario es un problema central para los economistas y agentes tomadores de decisiones. Tradicionalmente se han utilizado técnicas econométricas de series de tiempo para estudiar este fenómeno; pero, ¿puede la economía de la complejidad aportar una visión complementaria a los estudios anteriores? Este capítulo busca estudiar la dinámica de la estructura de precios de la economía uruguaya desde la perspectiva de la economía de la complejidad, utilizando técnicas de análisis de redes que permitan conocer la relación entre los bienes y servicios que componen el IPC.

En el presente capítulo se estudian los agrupamientos de bienes y servicios a partir del comportamiento dinámico de las series temporales de precios, detectando a su vez variaciones de precios relevantes en esta red. Los resultados muestran que los precios relevantes no están asociados a las divisiones de bienes del IPC y que los agrupamientos son consistentes con estudios anteriores para Uruguay.

4.1. Introducción

A lo largo de la historia uruguaya, la inflación se ha caracterizado por ser un fenómeno inestable, como lo muestra el hecho de que entre julio de 1938 y diciembre de 2019 estuvo por debajo del 10 % aproximadamente un 40 % del tiempo (ver Figura 4.1). Desde el 2003 en adelante la inflación se ha estabilizado por debajo del 10 %, aunque en la comparación con el resto del mundo Uruguay no se encuentra entre los países con baja inflación. Por esto, es trascendental comprender de qué manera fluctúan los precios, si la forma en la que estos varían evoluciona a lo largo del tiempo y si es posible identificar grupos de precios con una dinámica similar.

La inflación es un fenómeno que no se puede observar de manera tangible, puesto que no es posible conocer cuánto varía cada uno de los bienes y servicios consumidos y su

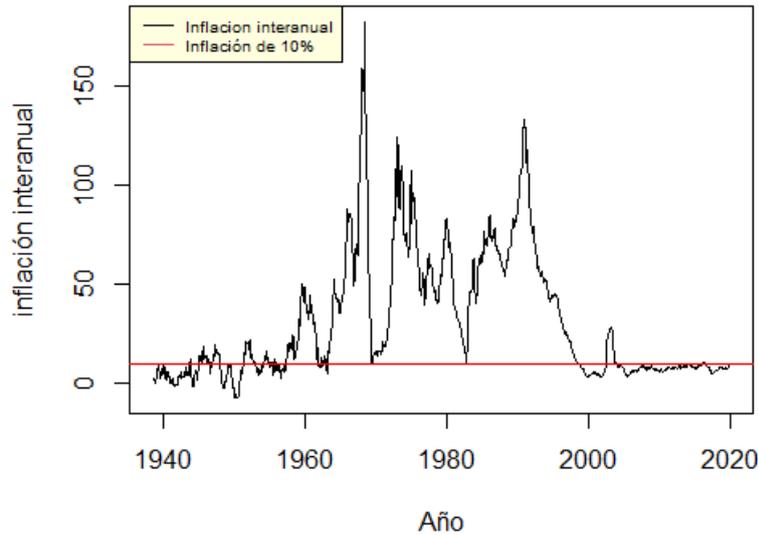


Figura 4.1: Evolución histórica de la inflación en Uruguay, Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Uruguay (INE), elaboración propia.

ponderación en la economía; por lo cual debe procederse a estimarlo. La forma más usual es utilizando el Índice de Precios del Consumo (IPC), el cual busca medir la evolución de los precios de una canasta típica de consumo familiar. Es preciso entender que el IPC no es la inflación en sí, sino que es una estimación puntual de la misma a partir de la agregación de precios de bienes y servicios y como tal trae asociado un margen de error y puede presentar sesgos.

Este índice está compuesto por bienes y servicios de diversos tipos y es razonable suponer que existen sub-grupos de bienes y servicios que tengan patrones de comportamientos homogéneos intra-grupos y diferentes entre sí. En la literatura económica es sumamente utilizada la categorización de precios transables y no transables, ya que los primeros dependen en mayor medida de lo que sucede en el resto del mundo mientras que los segundos se encuentran más relacionados con los sucesos de la economía doméstica. A este respecto, existe una importante evidencia a nivel internacional surgida a partir de los modelos de [Balassa \(1964\)](#) y [Samuelson \(1964\)](#).

Sin embargo, es posible que estos agrupamientos no sean rígidos sino que bienes y servicios de distintos sub-grupos podrían estar relacionados entre sí y que a la vez estos vínculos evolucionen en el tiempo. Se utilizará como insumo la potencial interrelación entre los distintos bienes y servicios para extraer información sobre su comportamiento dinámico en relación con el resto de los precios que conforman la canasta. No se supone que todos los precios se encuentran interrelacionados entre sí, ni tampoco esta metodología impone una estructura de relaciones iniciales entre ellos. En este estudio se ha realizado un trabajo exploratorio donde se busca determinar la estructura subyacente, la cual se encuentra sujeta a los datos y la metodología utilizada.

Una estructura como la planteada anteriormente puede ser vista desde la perspectiva de la economía de la complejidad ([Arthur, 1999](#)). Analizar el sistema de precios como un sistema

complejo implica asumir que éste tiene capacidad evolutiva, siendo el tiempo una de las variables fundamentales de este sistema. Los sistemas complejos presentan gran cantidad de entidades (bienes y servicios, representados a partir de sus precios) que al interactuar entre sí logran resultados que no pueden ser explicados mirando cada objeto por separado, lo que deja abierta la posibilidad de existencia de procesos de retroalimentación o de respuesta no lineal a *shocks*.

De acuerdo al marco teórico planteado se estudia la formación de comunidades de precios que se comporten de manera similar. Se analizará si estas comunidades son constantes a lo largo del tiempo y si guardan relación con caracterizaciones propuestas en literatura anterior. A su vez, se detectan nodos centrales dentro de esta estructura, los cuales podrían ser influyentes en la transmisión de la inflación.

El resto del capítulo se encuentra organizado de la siguiente manera. En la sección 4.2 se presentan los antecedentes y el marco conceptual empleado. En la sección 4.3 se introduce la metodología utilizada en este trabajo. En la sección 4.4 se exponen los resultados del análisis y en la sección 4.5 se realiza una discusión de los resultados y se presentan las conclusiones, limitaciones de este trabajo y futuras extensiones.

4.2. Antecedentes

Para el análisis empírico de la inflación tradicionalmente se han utilizado técnicas econométricas. Estas técnicas tienen como base el trabajo seminal de [Box and Jenkins \(1970\)](#) utilizando modelos autorregresivos de media móvil (ARMA), autorregresivos integrados de media móvil (ARIMA) y función de transferencia. A estas técnicas se han incorporado modelos multivariados de series temporales tales como los vectores autoregresivos (VAR) ([Sims, 1980](#)) o los modelos autorregresivos con heterocedasticidad condicional (ARCH) y autorregresivos generalizados con heterocedasticidad condicional (GARCH) ([Engle, 1982](#)) que permiten sobreponerse a algunas de las limitaciones presentes en modelos univariados. Para que estos modelos puedan utilizarse se requiere el cumplimiento de ciertos supuestos y la estabilidad de los parámetros, pero de acuerdo a las ya mencionadas características del fenómeno inflacionario en Uruguay, esto podría no cumplirse en ciertos períodos de estudio.

Sin embargo, existen trabajos que han utilizado otras metodologías que no exigen tales condiciones para poder extraer información relevante: este es el caso de la metodología de análisis de redes. Esta técnica puede ser utilizada con diversos fines, pero para el caso de la Economía y otras Ciencias Sociales un resumen adecuado se encuentra en [Jackson \(2010\)](#). Para el estudio de la inflación existen algunos antecedentes que han aplicado esta metodología. Utilizando datos sobre índices de precios específicos de 2003–2011 de China, en [Gao et al. \(2013\)](#) se construye una red compleja tomando como nodos a los bienes y servicios que componen distintos índices de precios (no solo el IPC) y como aristas el coeficiente de correlación lineal de Pearson entre los distintos nodos, filtrando las correlaciones menores a un umbral u . Asimismo, [Sun et al. \(2018\)](#) proponen la construcción de una red no

ponderada y dirigida construida a partir de pruebas de causalidad de Granger. Aplican la metodología para datos de series temporales de 6 tipos de índices de precios de China y analizan ciertas características topológicas de la red y la presencia de índices relevantes para la transmisión de precios. Uno de los resultados principales de este trabajo consiste en que las comunidades encontradas no coinciden con las establecidas para cada precio, es decir, que los patrones de comportamiento de los precios no se encuentran asociados a las categorías propuestas anteriormente.

El antecedente principal al presente capítulo es [Sarantitis et al. \(2018\)](#). Estos autores construyen una red de vínculos entre bienes y servicios utilizando la misma metodología que [Gao et al. \(2013\)](#), aunque en este caso el procedimiento se repite para cada año obteniéndose una red por año. Este trabajo modela el Índice de Precios al Consumidor del Reino Unido como una red compleja y estudia la evolución temporal de diferentes métricas de la red y su asociación con la inflación, concluyendo que la relación no es significativa. Mediante técnicas de agrupamiento y optimización obtienen las comunidades año a año para estudiar la evolución de la red a través del tiempo, observando que éstas presentan una dinámica no trivial y muestran que las categorías de bienes propuestas por el Banco Central no se corresponden con las comunidades halladas. Finalmente, utilizando la metodología T-MDS (mínimo conjunto dominante restringido a un umbral) buscan obtener un conjunto de clases que puedan representar adecuadamente a todo el conjunto del IPC y así obtener una medida del núcleo inflacionario. En el Capítulo 5 se construye un índice a partir de un T-MDS dinámico para Uruguay y se brinda una interpretación diferente de este índice.

A partir de una revisión de la literatura existente, para el caso del estudio de la inflación en Uruguay únicamente se han utilizado técnicas econométricas de series temporales.¹ Uno de los primeros trabajos con el fin de entender y predecir el proceso inflacionario en Uruguay puede encontrarse en [Cancelo et al. \(1994\)](#). Se realiza una estimación indirecta, desagregando el IPC en dos grupos: bienes transables y bienes no transables. Se estiman modelos del tipo ARIMA para bienes transables y no transables por separado con el fin de mejorar la capacidad predictiva del modelo. Por su parte, [Bergara et al. \(1995\)](#) expanden esta clasificación, realizando un modelo basado en 3 bienes: transables internacionalmente, transables regionalmente y no transables.

Como una continuación de los modelos precedentes, [Garda et al. \(2004\)](#) proponen una desagregación más amplia del IPC, obteniendo 7 grupos distintos de acuerdo con las características económicas de los bienes. Al momento de hacer análisis econométrico, se utilizan modelos de función de transferencia y del tipo GARCH, realizando una regresión para cada uno de los 7 grupos por separado con el fin de poder obtener una estimación más precisa de la evolución del IPC. Los errores de predicción obtenidos para el IPC superan en el corto plazo y mediano plazo a la mediana de las expectativas de inflación y al paseo aleatorio. En el caso del IPCX² la mejora de resultados usando esta metodología

¹Es de señalar que todos los trabajos reseñados para el caso de Uruguay son documentos de trabajo o presentaciones en congresos que no han sido publicados en revistas arbitradas.

²Estimador de la inflación subyacente de una economía.

con respecto al paseo aleatorio es más importante aún que para el IPC, obteniéndose mejores resultados incluso en períodos más largos (hasta 12 meses). Más recientemente, [Brum et al. \(2012\)](#) proponen utilizar modelos de función de transferencia multivariados como complemento a los modelos univariados con el fin de mejorar la capacidad predictiva. Se parte de la misma clasificación de bienes propuesta en [Cuitiño et al. \(2010\)](#), pero se desagrega aún más a ciertos componentes con el fin de tener una idea más precisa del origen de las presiones inflacionarias asociadas a cada uno de los grupos.

Como hemos visto, para explicar y predecir la inflación en Uruguay se han utilizado esencialmente técnicas econométricas basadas en supuestos de la teoría económica. Este tipo de modelización estadística es eficiente en situaciones donde se asumen relaciones lineales y relativa estabilidad en los parámetros, lo cual no siempre parece cumplirse, particularmente para el caso de Uruguay.

Uruguay es una economía que tradicionalmente ha presentado indexación salarial, lo cual puede generar una inercia inflacionaria difícil de modificar. A su vez, al ser una economía pequeña, abierta y bimonetaria el margen de acción del Banco Central se ve limitado, ya que los precios dependen fuertemente de shocks externos (ver [Nasir and Vo \(2020\)](#)).

Por todo lo ya explicado, es plausible considerar a la estructura de precios de la economía uruguaya como un sistema complejo. Se parte de la base que existe una gran cantidad de individuos que interactúan entre sí en diversos mercados siguiendo ciertos patrones de comportamiento. Estas interacciones ocurren período tras período y resultan en cantidades y precios transados para cada bien. Los precios obtenidos están interrelacionados entre sí, por lo que movimientos en un precio pueden generar movimientos en otros precios. Asimismo, éstos pueden generar fluctuaciones en otros y así sucesivamente. Esto implica que pequeños cambios en algunos precios pueden generar un efecto significativo en los demás, influyendo en el nivel general de precios.

Un supuesto importante es que todos los precios potencialmente podrían llegar a estar relacionados con los demás, aunque no es una condición necesaria. Es decir, un precio puede estar relacionado con todos los otros precios de manera directa, solamente con algunos de los otros precios que presenten patrones de comportamiento similares y estar potencialmente conectado con los demás de manera indirecta a través de aquellos precios que tenga relación, o estar completamente aislado de la estructura de precios de la economía.

La conexión entre índices de precios se asocia a dinámicas similares de los diferentes precios. La posibilidad de que exista heterogeneidad en las dinámicas de precios permitirá que dos precios no estén vinculados entre sí, lo que da lugar a grupos de precios que presenten una dinámica similar.

La estructura mencionada anteriormente justifica la utilización de la metodología de análisis de redes, tomando como nodos a los distintos índices de precios y utilizando medidas que permitan cuantificar la relación entre distintos índices como los vínculos entre distintos nodos.

4.3. Metodología

4.3.1. Datos

Los datos a utilizar fueron extraídos del IPC³ y corresponden al período de diciembre de 2010 a diciembre de 2019. Dicho período tiene la característica de ser un período de estabilidad macroeconómica para Uruguay, además en 2010 se realizó un cambio de base en el IPC por lo cual los bienes y servicios que lo componen se modificaron en dicho año. En Uruguay, el IPC se actualiza mensualmente y está compuesto por 374 bienes y servicios de todo el territorio nacional, los cuales están agrupados en 88 clases y 12 divisiones. Para este trabajo se utiliza el nivel de desagregación correspondiente a las clases, por lo que se tienen 88 series temporales donde cada una corresponde a una clase de productos del IPC. Se trabaja con la variación porcentual mensual, para la cual se rechaza la existencia de una raíz unitaria según los test de Dickey-Fuller.

4.3.2. Construcción de la red

La metodología a utilizar es la correspondiente a análisis de redes, donde se construyó una red no dirigida para cada año de estudio $t = \{2011, 2012, \dots, 2019\}$, por lo que se tienen 9 redes de precios distintas. En este trabajo se tomará a cada una de las clases del IPC como nodos de la red, siendo $N = \{P_1, P_2, \dots, P_{88}\}$. El conjunto de aristas indica la existencia o no de un vínculo entre dos precios y en caso de existir, la intensidad de éste. Dicho conjunto presenta variaciones en el tiempo, ya que dos precios pueden estar vinculados en ciertos años mientras que en otros no, por lo que el conjunto de aristas será distinto para todos los años. Por lo tanto, $E_t = \{e_{t,(1,1)}, e_{t,(1,2)}, \dots, e_{t,(88,87)}, e_{t,(88,88)}\}$ representa al conjunto de aristas en un año en particular.

Las aristas estarán representadas por una medida que permita cuantificar la intensidad del vínculo entre distintos nodos de la red; dicha medida será el coeficiente de correlación lineal de Pearson definido de la siguiente manera (Wooldridge, 2015):

$$r_{t,(i,j)} = \frac{\sum_{m=1}^{12} (x_{i,m,t} - \bar{x}_{i,t})(x_{j,m,t} - \bar{x}_{j,t})}{\sqrt{\sum_{m=1}^{12} (x_{i,m,t} - \bar{x}_{i,t})^2} \sqrt{\sum_{m=1}^{12} (x_{j,m,t} - \bar{x}_{j,t})^2}}, \quad (4.1)$$

$\forall i, j \in \{1, \dots, 88\}; \forall t \in \{2011, \dots, 2019\}$

Donde $x_{i,m,t}$ representa la realización de la serie i en el mes m del año t y $\bar{x}_{i,t}$ el promedio de las realizaciones para un año t . Por lo tanto, a partir de estos coeficientes se obtienen todas las aristas posibles entre los distintos nodos de la red. Nótese que se trata de una red no dirigida, lo cual implica que la matriz de adyacencia es simétrica. Esta matriz de

³Datos disponibles en: <http://www3.ine.gub.uy/web/guest/ipc-indice-de-precios-del-consumo>

adyacencia (A_t) indica la existencia o no de una arista entre dos nodos, y en caso de existir, muestra la intensidad de tal relación. Por lo tanto, el elemento $A_{t,(i,j)}$ representa el enlace que va desde el nodo i hacia el nodo j en el año t . La forma de la matriz de adyacencia es la siguiente:

$$A_t = \begin{pmatrix} 0 & r_{t,(1,2)} & \cdots & r_{t,(1,88)} \\ r_{t,(2,1)} & 0 & \cdots & r_{t,(2,88)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{t,(88,1)} & r_{t,(88,2)} & \cdots & 0 \end{pmatrix}, \quad \forall t \in \{2011, \dots, 2019\} \quad (4.2)$$

4.3.3. Selección del umbral

Un problema de utilizar el coeficiente de correlación lineal de manera directa es que habilita la existencia de correlaciones cercanas a cero que no aportan casi información y que en todo caso, no permiten centrarse en las relaciones relevantes. Es por esto que, siguiendo a [Sarantitis et al. \(2018\)](#), se procederá a filtrar correlaciones que están por debajo en términos absolutos de un umbral u :

$$\begin{cases} e_{t,(i,j)} = 0 & \text{si } r_{t,(i,j)} < u \\ e_{t,(i,j)} = r_{t,(i,j)} & \text{si } r_{t,(i,j)} \geq u \end{cases} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, 88\}; \quad \forall t \in \{2011, \dots, 2019\} \quad (4.3)$$

La selección de dicho umbral no es trivial ya que puede afectar los resultados del análisis. Valores altos de u permitirán abstraerse de las relaciones de poca trascendencia pero con el costo de dejar información potencialmente relevante por fuera. En cambio, valores bajos de u incorporan una gran cantidad de información, pero se corre el riesgo de que gran parte de ella sea poco relevante o engañosa. Es por esto que se debe buscar una situación donde se pueda abstraer la mayor información relevante posible sin modificar mayormente la topología de la red⁴. En este caso, la selección de u se realizó mediante la simulación de un rango de valores posibles y la evaluación de un conjunto de criterios para cada uno, concluyéndose que $u = 0.36$ era el mejor valor⁵. Si bien este valor difiere con el de otros trabajos similares, hay que tener en cuenta que el fenómeno inflacionario en Uruguay parte de valores más altos e inestables en comparación con Reino Unido o China (ver Figura 4.2) y que esto podría llevar a patrones de comportamiento distintos en los precios. Además, [Gao et al. \(2013\)](#) no es totalmente comparable ya que incorpora otros índices de precios además del IPC.

⁴Para este problema en particular, los antecedentes previos sugerían utilizar $u = 0.82$ como en [Gao et al. \(2013\)](#) o $u = 0.5$ como [Sarantitis et al. \(2018\)](#).

⁵En el Anexo B.1 se muestra la derivación de estos resultados.

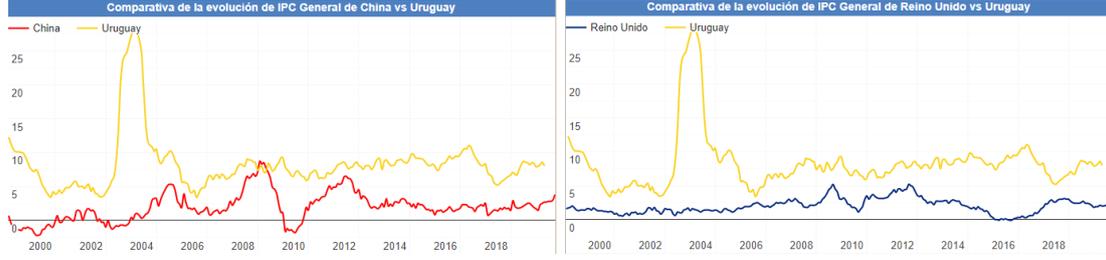


Figura 4.2: Inflación de Uruguay respecto a la de China (a) y Reino Unido (b). Fuente: datosmacro.expansion.com

Una vez filtradas las correlaciones bajas se tiene para cada año de estudio la matriz de adyacencia correspondiente, actualizando la matriz A_t con la Ecuación (4.3). Con esta información, obtenemos el grafo a analizar.

4.3.4. Dinámica de comunidades

Detectar comunidades dentro de una red no es una tarea sencilla, ya que no existe una única manera de lograrlo que implique un tiempo de resolución razonable. Para este trabajo, se utiliza el algoritmo de *Louvain* (Blondel et al., 2008). El mismo busca maximizar la modularidad (definida en la Ecuación (4.4)) que no es más que la diferencia entre los enlaces observados y los esperados bajo el supuesto de que la estructura de comunidades es independiente de la formación de enlaces, dividido entre el total de enlaces. Toma valores entre -1 y 1, donde 0 indica que las comunidades son independientes de la cantidad de enlaces que se forman dentro de ellas, 1 implica que solo se forman enlaces dentro de las comunidades y -1 que los enlaces se dan solo fuera de las comunidades.

$$Q = \frac{Obs - Esp}{Total} = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[A_{t,(i,j)} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(c_i, c_j) \quad (4.4)$$

La Ecuación 4.4 define a la modularidad Q , donde n es la cantidad de nodos en la red, $A_{t,(i,j)}$ representa el elemento i,j de la matriz de adyacencia A_t , $k_i = \sum_{j=1}^n A_{t,(i,j)}$ la suma de las aristas relacionadas al nodo i , $m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{t,(i,j)}$, c_i la comunidad a la cual pertenece el nodo i y $\delta(c_i, c_j)$ la delta de Kronecker la cual vale 1 si $c_i = c_j$ y 0 en caso contrario.

El algoritmo comienza asignando a cada nodo una comunidad c_i , teniéndose n comunidades iniciales. Luego, se mueven los nodos a comunidades vecinas siempre y cuando la ganancia en términos de modularidad sea positiva. Cuando ya no se pueden lograr ganancias de modularidad, se tiene una primera estructura de comunidades. Posteriormente, se toman como nodos a estas comunidades y como enlaces a la suma de enlaces entre dichas comunidades (hay *loops*) y se repite el paso anterior. Este procedimiento se repite hasta que mover nodos entre comunidades no mejore la modularidad.

En primera instancia, se buscará estudiar si las comunidades halladas para cada año son constantes o presentan un patrón de evolución dinámico en cuanto a la cantidad de comunidades y la composición de las mismas. En caso de hallar que las comunidades son constantes, podría concluirse que la dinámica no es relevante para el agrupamiento de precios y que siguen el mismo patrón de agrupamiento estable.

Para analizar estos resultados se aplicará este algoritmo a las redes obtenidas cada año y se comparará la cantidad de comunidades obtenidas, la modularidad para cada año de estudio y también se cuantificará cuantas veces dos nodos coincidieron en la misma comunidad a lo largo de los años de estudio. Se asigna un valor igual a 1 por cada año que los precios estuvieron en la misma comunidad y 0 en caso contrario, pudiendo obtener un máximo de 9 en caso de que coincidan todos los años en la misma comunidad y 0 en caso de que nunca hayan coincidido. En caso de obtenerse únicamente valores iguales a 0 y 9 estaría indicando que cada nodo se mantiene en la misma comunidad a lo largo del periodo de estudio, una situación en la cual el agrupamiento de precios es estático. En cambio, situaciones en las cuales se hallen valores intermedios son indicadores de una dinámica en la formación de comunidades.

De acuerdo a la teoría económica existen diferentes grupos de precios que siguen diferentes patrones de comportamiento según las características de cada bien. El INE agrupa las clases de precios en 12 divisiones distintas y uno de los objetivos de este trabajo es analizar si las categorías propuestas se corresponden con las halladas mediante esta metodología. A su vez, como ya se mencionó en los antecedentes, gran parte de la literatura previa tiende a desagregar los bienes del IPC en transables y no transables para realizar estimaciones; sin embargo, muchas veces no se expone un sustento estadístico que justifique esta decisión sino que se toman como base las características económicas de los bienes, por lo que buscaremos analizar si las comunidades halladas dan sustento estadístico a esta decisión.

Con estos fines, se utilizará como medida de resumen de todos los años de análisis una nueva matriz de adyacencia C donde el elemento i, j de dicha matriz indica la cantidad de años en los cuales los elementos i y j estuvieron conectados, con la salvedad de la diagonal que se supondrá nula.

$$C = \begin{pmatrix} 0 & \sum_t I_{1,2}^t & \cdots & \sum_t I_{1,88}^t \\ \sum_t I_{2,1}^t & 0 & \cdots & \sum_t I_{2,88}^t \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \sum_t I_{88,1}^t & \sum_t I_{88,2}^t & \cdots & 0 \end{pmatrix}, \quad \forall t \in \{2011, \dots, 2019\} \quad (4.5)$$

$$\text{Siendo: } \begin{cases} I_{i,j}^t = 0 & \text{si } A_{t,(i,j)} = 0 \\ I_{i,j}^t = 1 & \text{si } A_{t,(i,j)} > 0 \end{cases}$$

A la red derivada de esta matriz de adyacencia se le aplicará el algoritmo de *Louvain* y se obtendrán las comunidades correspondientes. Luego, mediante las pruebas no paramétricas

de Chi-cuadrado y la prueba exacta de Fisher se contrastará la existencia o no de una asociación entre las comunidades obtenidas y las utilizadas por el INE y también las ya mencionadas categorías de bienes transables y no transables.

4.3.5. Análisis dinámico de métricas de la red

Uno de los objetivos de este trabajo es analizar la dinámica de las redes y su relación con el proceso inflacionario y verificar si ésta es relevante para el modelo. Para verificarlo, bien podría verse si las redes son exactamente iguales o si en cambio varían con el tiempo e intentar cuantificar esa diferencia⁶. En cambio, existen métricas de resumen que permiten ver diferentes aspectos relevantes de la red de manera simplificada. Se utilizarán las métricas definidas en la Sección 4.3.4, Ecuación (4.4) para la evolución de comunidades (cantidad de comunidades y modularidad) complementadas por la densidad de la red, la correlación media, la distancia promedio y la transitividad. Seguidamente, se realiza una breve descripción de dichas métricas, aunque una mirada más profunda sobre este tema puede ser encontrada en Newman (2010).

4.3.5.1. Densidad de la red

Busca cuantificar la cantidad de aristas existentes con respecto a las aristas posibles, cuanto más próximo a 1 sea este valor, más densa será la red y cuanto más próximo a 0 sucederá lo contrario. Para el caso de una red no dirigida y sin *loops* la cantidad de aristas posibles es de $\frac{n \cdot (n-1)}{2}$, siendo n la cantidad de nodos de la red.

$$DR = \frac{\text{cantidad de aristas}}{\text{total de aristas posibles}} \quad (4.6)$$

4.3.5.2. Transitividad

Es una medida que cuantifica la tendencia que tienen los nodos de una red de formar grupos cerrados. Dados 3 nodos i , j y k donde i y j están conectados (es decir, $e_{i,j} \in E$) y j y k también están conectados, la transitividad de la red se interpreta como la probabilidad, desde un enfoque frecuentista, de que i y k estén conectados condicional a lo anterior.

$$T = P(e_{i,k} \in E \mid e_{i,j}, e_{j,k} \in E) \quad \forall i, j, k \in \{1, \dots, 88\} \quad (4.7)$$

⁶El problema es que, a pesar de que la red solamente contiene 88 nodos, la cantidad posible de redes distintas que podrían formarse es la suma de todas las redes que se pueden formar tomando todas las combinaciones posibles para cada cantidad de aristas posibles, esto si solamente se consideran la existencia o no de aristas. Si además se considera la intensidad del vínculo existen infinitas redes posibles ya que cada arista puede tomar un valor cualquiera en el conjunto $[-1, -u] \cup [u, 1]$ por lo que un análisis *directo* no sería posible.

4.3.5.3. Distancia promedio

Es una medida que cuantifica la eficiencia con la cual la información fluye dentro de la red. Se calcula como el promedio de todos los caminos más cortos entre dos nodos distintos y no tiene en cuenta el peso de los aristas para su cálculo (si existe una arista considera que vale 1).

$$\bar{d} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_i \sum_j d_{i,j} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, 88\} \quad (4.8)$$

Donde $d_{i,j}$ representa la cantidad de pasos necesarios para llegar al nodo i desde el nodo j .

4.3.5.4. Correlación media

El cálculo de esta métrica se realiza antes de filtrar las correlaciones cercanas a cero y tiene la siguiente fórmula:

$$CorMedia = \frac{1}{n(n-1)} \sum_i \sum_{j \neq i} r_{i,j} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, 88\} \quad (4.9)$$

4.3.6. Precios relevantes

Resulta trascendente poder identificar cuáles de estas clases de precios son relevantes en la formación y difusión de precios. Identificar precios que tengan influencia en la difusión permite saber dónde hay que *atacar* en caso de querer reprimir una presión inflacionaria. Con este fin, se utilizarán la centralidad de intermediación y la centralidad del vector propio para poder detectar en los distintos años de estudio a los nodos que tuvieron mayor relevancia.

4.3.6.1. Centralidad de intermediación

La centralidad de intermediación del nodo i cuantifica la cantidad de caminos más cortos que unen dos nodos de la red que pasan por el nodo i . Esta medida busca captar la influencia que tiene el nodo i en la difusión de precios y su capacidad de intermediar entre distintos precios.

$$B_i = \sum_{j \neq i} \sum_{k \neq i} \frac{\sigma_{i,j,k}}{\sigma_{j,k}} \quad \forall i, j, k \in \{1, \dots, 88\} \quad (4.10)$$

Donde $\sigma_{j,k}$ representa la cantidad de caminos más cortos entre j y k , mientras que $\sigma_{i,j,k}$ representa la cantidad de caminos más cortos entre j y k que pasan por el nodo i .

4.3.6.2. Centralidad del vector propio

Es una medida que busca captar la centralidad de un nodo en una red. Esta medida pondera por la cantidad de relaciones que un nodo tiene, la intensidad de dichas relaciones y la influencia que tienen los nodos con los cual están relacionados. La forma de cálculo es la siguiente:

$$X_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^{88} A_{i,j} X_j \quad \forall i \in \{1, \dots, 88\} \quad (4.11)$$

Donde $A_{i,j}$ representa el elemento i,j de la matriz de adyacencia en un momento t determinado (se omite la notación por simplicidad), λ es el mayor de los valores propios de la matriz A y X_j la centralidad del vector propio del elemento j .

4.4. Resultados

4.4.1. Dinámica de comunidades

La Figura 4.3 muestra la evolución de la cantidad de comunidades halladas y el valor de la modularidad para el período de estudio. Puede observarse que ninguno de los dos indicadores se comporta de manera estable, lo que implica que tanto la cantidad como el tamaño de las comunidades varía así como también la calidad (modularidad) de las mismas. Asimismo, la Tabla 4.1 muestra que, con respecto a la cantidad de veces que dos nodos coinciden en una comunidad en distintos años, se obtuvieron resultados que parecen acompañar la hipótesis de dinámica en la formación de comunidades, ya que solamente un 24,55 % de los valores se corresponden con la situación de comunidades estáticas. Es importante destacar que de ese 24,55 % la gran mayoría se corresponde con situaciones donde los nodos no se encuentran nunca en la misma comunidad (0). Esto puede indicar que existe una gran cantidad de clases de precios cuyas dinámicas no parecerían estar relacionadas según esta técnica en el período de estudio; de la misma manera, existen muy pocos casos (1,04 %) donde dos clases de precios pertenecen a la misma comunidad durante todo el período estudiado.

En cuanto a la detección de un conjunto de comunidades como medida de resumen de todos los años se obtuvieron 3 comunidades distintas (ver Anexo B.2), representadas en el grafo presentado en la Figura 4.4. La comunidad 1 está compuesta típicamente por bienes no transables aunque presenta ciertas excepciones. En cuanto a las comunidades 2 y 3, están compuestas principalmente por bienes transables aunque en una proporción menor. Esta información se presenta en la Tabla 4.2. Para poder contrastar si la categorización de bienes transables y no transables está asociada con las comunidades halladas se realizó la prueba Chi-cuadrado la cual compara la frecuencia obtenida contra la frecuencia esperada bajo el supuesto de no asociación (H_0), es decir, que las categorías transables y no transables no

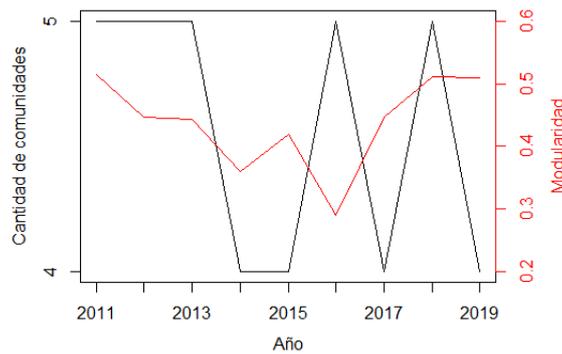


Figura 4.3: Cantidad de comunidades y modularidad en el período de estudio.

Tabla 4.1: Frecuencia de valores para el testeo de la hipótesis de estabilidad de las comunidades.

Valores	Frecuencia	Frecuencia relativa
0	900	23,51 %
1	1198	31,3 %
2	868	22,68 %
3	430	11,23 %
4	218	5,69 %
5	83	2,17 %
6	49	1,28 %
7	24	0,63 %
8	18	0,47 %
9	40	1,04 %

son relevantes a la hora de la formación de comunidades. Se obtuvo un $p - valor < 0.01$ por lo que se rechaza la hipótesis de independencia. Esto nos permite concluir que la categorización entre bienes transables y no transables es relevante en la formación de comunidades.

Con respecto a las divisiones propuestas por el INE, se buscó contrastar si se encuentran asociadas con las comunidades halladas mediante esta metodología. Se debe tener en cuenta que al tener 3 comunidades y 12 divisiones hay 36 categorías posibles para 88 observaciones (precios), por lo cual se utilizó la prueba exacta de Fisher ya que ésta ofrece mejores resultados que la prueba de Chi-cuadrado si se dispone de pocas observaciones. El p-valor obtenido fue de 0,006 por lo que con un nivel de confianza del 95 % se rechaza la hipótesis de independencia. Sin embargo, si se considera la gran cantidad de categorías posibles y la poca cantidad de observaciones parecería razonable tomar estos resultados como algo meramente indicativo.

4.4.2. Métricas de la red

Para cada métrica se tiene una observación por año de estudio, es decir, 9 observaciones. Se calcula el coeficiente de correlación entre diferentes métricas (ver Tabla 4.3) y se agrega

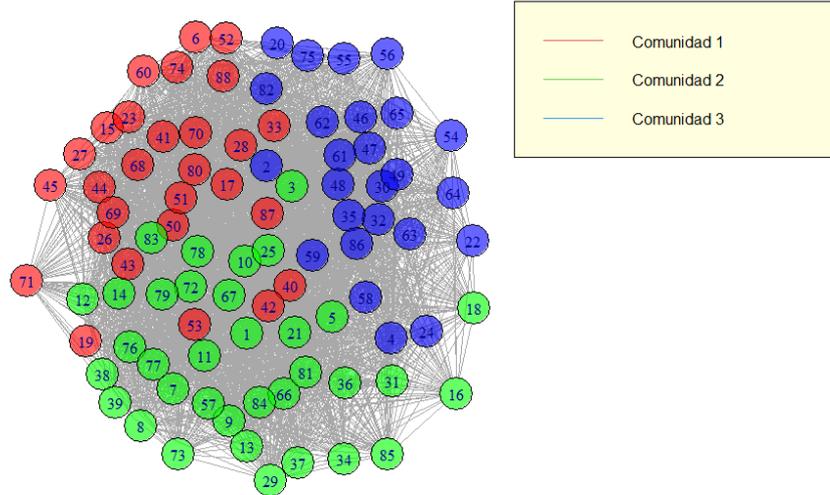


Figura 4.4: Comunidades de bienes: Resumen de todos los años

Tabla 4.2: Bienes y servicios clasificados por transabilidad según comunidades

Comunidad	Transables	No transables	Total
1	4	24	28
2	25	10	35
3	18	7	25
Total	47	41	88

la inflación anual con el fin de analizar si presenta asociación con alguna de las métricas propuestas. El estudio de estas correlaciones permite ver el grado de asociación lineal entre la dinámica del sistema (vista a través de la inflación anual) y lo que ocurre a nivel de las redes de precios. Asimismo, también permite estudiar relaciones entre las métricas y ver si éstas tienen un comportamiento razonable.

Tabla 4.3: Correlación lineal entre diferentes métricas

	Distancia promedio	Densidad de la red	Transit.	Cantidad comunidades	Modul.	Correlación media	inflación anual
Distancia promedio	1.00	-0.93	-0.27	-0.29	0.92	-0.95	0.13
Densidad de la red	-0.93	1.00	0.53	0.30	-0.82	0.98	-0.25
Transitividad	-0.27	0.53	1.00	0.29	-0.16	0.51	-0.41
Cdad. comunidades	-0.29	0.30	0.29	1.00	0.05	0.31	-0.08
Modularidad	0.92	-0.82	-0.16	0.05	1.00	-0.86	0.04
Correlación media	-0.95	0.98	0.51	0.31	-0.86	1.00	-0.20
Inflación anual	0.13	-0.25	-0.41	-0.08	0.04	-0.20	1.00

Si bien solamente 9 observaciones es una cantidad pequeña para derivar conclusiones, se puede observar que la inflación anual no parece tener una asociación demasiado fuerte con ninguna de las métricas. Las correlaciones más fuertes, aunque igualmente bajas en valores absolutos, son las que tiene con la transitividad y la densidad de la red. En el primer caso, puede interpretarse que una mayor formación de conjuntos de precios que forman grupos cerrados estaría negativamente asociado con la inflación. En el segundo caso, puede interpretarse que hay una asociación débil y negativa entre el nivel inflacionario y la cantidad de enlaces que hay en la red. En cuanto a la asociación con la correlación media

de la red se obtuvo un resultado similar al encontrado por Sarantitis et al. (2018), quienes obtuvieron una correlación de -0.08.

A su vez, puede verse que hay una relación negativa entre la calidad de las comunidades formadas (modularidad) y la densidad de la red, lo que podría indicar que en este caso redes menos densas forman comunidades más cohesivas. Como era de esperar, una red muy densa facilita el contacto entre dos precios distintos, por lo que la relación fuerte y negativa entre la densidad de la red y la distancia promedio entre dos nodos cualesquiera es un resultado esperable.

En la Figura 4.5 se presentan estandarizadas la evolución de la inflación anual junto a ciertas métricas de relevancia. Estas métricas presentan un patrón dinámico relevante y año a año parecen estar modificando su comportamiento, por lo que suponer que la estructura subyacente en la formación de precios de la economía uruguaya es estática no es un supuesto razonable.

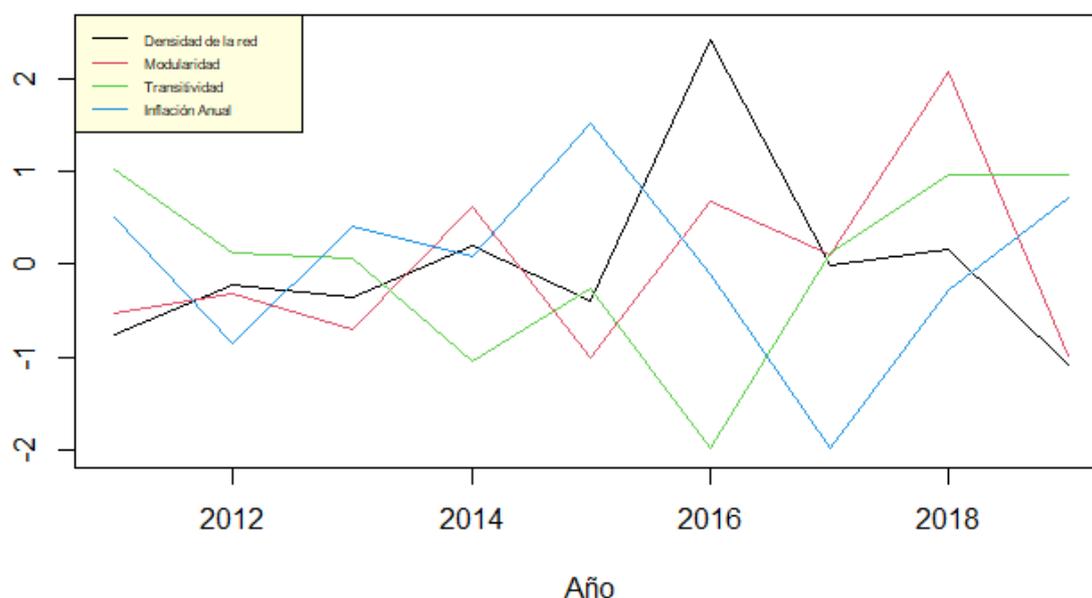


Figura 4.5: Evolución de métricas estandarizadas para el período 2011-2019. Fuente: INE. Elaboración propia.

Estos resultados dan evidencia a favor de una evolución de la estructura de precios en la economía, ya que su representación mediante redes presenta cambios a lo largo del período de estudio, indicando que las redes obtenidas evolucionan en el tiempo.

4.4.3. Precios relevantes

En las siguientes tablas se presentan los precios de mayor relevancia por año de acuerdo a los criterios de centralidad de vector propio y centralidad de intermediación definidos previamente:

Tabla 4.4: Nodos con mayor centralidad del vector propio por año

Año	Nombre	División
2011	Electricidad	Vivienda
2012	Equipo para la recepción, grabación y reproducción de sonidos e imágenes	Recreación y Cultura
2013	Piezas de repuesto y accesorios para equipo de transporte personal	Transporte
2014	Artefactos para el hogar grandes, eléctricos o no	Muebles y Artículos Para el Hogar
2015	Seguro relacionado con el transporte	Bienes y Servicios Diversos
2016	Herramientas y equipo grandes	Muebles y Artículos Para el Hogar
2017	Servicios de recreación y deportivos	Recreación y Cultura
2018	Artefactos para el hogar grandes, eléctricos o no	Muebles y Artículos Para el Hogar
2019	Servicios telefónicos y de facsímil	Comunicaciones

Tabla 4.5: Nodos con mayor centralidad de intermediación por año

Año	Nombre	División
2011	Animales domésticos y productos conexos	Recreación y Cultura
2012	Aceites y grasas	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
2013	Servicios médicos	Salud
2014	Materiales para la conservación y la reparación de la vivienda	Vivienda
2015	Conservación y reparación de equipo de transporte personal	Transporte
2016	Transporte combinado de pasajeros	Transporte
2017	Servicios culturales	Recreación y Cultura
2018	Pan y cereales	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
2019	Conservación y reparación de equipo de transporte personal	Transporte

Puede notarse que los criterios arrojan resultados diferentes en términos de centralidad, lo cual es algo esperable ya que buscan captar distintos aspectos de la centralidad de cada nodo. Asimismo, en ninguno de los dos criterios utilizados parece destacarse un mismo bien en todos los años o alguna de las divisiones en especial. Estos resultados van en línea con la hipótesis de evolución dentro de las redes, ya que parecería que los nodos de mayor importancia son inestables y no logran repetirse. De haberse encontrado una situación donde los nodos centrales fueran recurrentes, esto permitiría dar una idea de qué precios son influyentes siempre en la inflación, pero estos resultados permiten ver que no hay ningún precio que se destaque, lo que implicaría que contener presiones inflacionarias no sería tan sencillo como reprimir el aumento de algún precio en particular.

4.5. Conclusiones

En este capítulo se ha realizado un análisis empírico del Índice de Precios al Consumidor del Uruguay en el contexto del análisis de redes. En particular, se introducen distintas métricas de redes y métodos de agrupamiento para realizar un análisis multinivel de la red de 88 clases de IPC y detectar cuales son los precios relevantes y las conexiones principales de la red. Se ha incorporado una metodología novedosa para analizar el fenómeno inflacionario que permite ver aspectos no considerados en la modelización econométrica tradicional.

Se ha mostrado que la estructura subyacente del sistema de precios uruguayo presenta un patrón evolutivo y los precios parecen agruparse y comportarse de manera distinta cada año. Esto tiene implicaciones en cuanto a las limitaciones de las estimaciones econométricas

a mediano y largo plazo ya que en general es necesario suponer cierta estabilidad en el modelo y los parámetros, lo cual no parece cumplirse. Por otra parte, limita severamente las acciones tendientes a influir sobre la inflación a partir de medidas gubernamentales de control de precios con información sobre el pasado.

Desafortunadamente, no existen estudios similares para países con características semejantes a las de Uruguay, lo que limita la posibilidad de hacer comparaciones que permitirían hacer aún más enriquecedor el análisis. En economías con historial de moderada y alta inflación, la situación es cualitativamente diferente a los países con baja inflación, ya que cambian los horizontes temporales de decisión, la eficiencia económica y las condiciones sociales y políticas ([Heymann and Leijonhufvud, 1995](#)).

Esta investigación puede continuarse en el futuro mediante la utilización de ventanas temporales más cortas, mensuales o trimestrales, que permitan captar mejor la dinámica de las redes y así poder observar la evolución de manera más detallada. A su vez, esta red puede estudiarse con un mayor nivel de desagregación, analizando la dinámica de los precios a nivel de productos. Asimismo, podría ser útil realizar estudios similares para países de la región para permitir una mejor interpretación de estos resultados en términos comparativos y permitir identificar patrones en común. Igualmente, extender el tipo de relaciones entre las variables relevantes a vínculos no lineales permitirá analizar comunidades generadas a partir de relaciones no lineales ni contemporáneas entre los precios.

Capítulo 5

Dinámica de los precios relativos y la relación con la inflación: un enfoque empírico a partir de un análisis de redes

En este capítulo se presenta la conformación de un set de precios dominantes para representar la estructura y evolución de los precios relativos en la economía. Debido a la naturaleza dinámica de los vínculos entre precios, también se propone la construcción de un índice sintético dinámico, y se estudian sus propiedades y sus componentes.

Los resultados empíricos permiten identificar los nodos más importantes de la red de precios de la economía uruguaya. Con este conjunto de precios se generó un índice sintético que permite realizar proyecciones más correlacionadas con el índice original y con menor error que índices del mismo tamaño utilizados como benchmarks. Se discute el alcance de estas mejoras en las proyecciones en el contexto de redes complejas y sus consecuencias en el diseño de políticas anti-inflacionarias. Los precios de los alimentos son particularmente relevantes en este índice sintético establecido; este resultado se analiza en el contexto de las economías en desarrollo y las industrias globalizadas.

5.1. Introducción

Los procesos inflacionarios pueden entenderse a partir de la interacción de diferentes actores en el sistema de precios. El resultado es la variación del nivel general de precios, que surge de una acumulación de decisiones individuales e interdependientes.

La interdependencia de diferentes sectores, productos y precios en la economía proporciona resultados no triviales. La teoría económica durante muchos años basó su análisis en el

equilibrio parcial, ya que se suponía que las interacciones entre los componentes no eran determinantes en el análisis. De [Goodwin \(1947\)](#) y [Simon and Ando \(1961\)](#) se conoce la importancia de tomar en consideración la interdependencia entre sectores para analizar los resultados globales. [Goodwin \(1947\)](#) desarrolla su teoría para dos sectores acoplados cuyos ciclos no son necesariamente iguales. El autor explica la complejidad implícita de este proceso, ya que concluye sobre el resultado agregado que

“...Even more remarkable is the fact that it is no longer simply periodic; it does not repeat itself, even with no outside disturbance or natural damping”.

La inflación se define como el aumento generalizado y sostenido del nivel general de precios. Aunque es imposible conocer exactamente “el nivel general de precios”, se mide a partir de los Índices de Precios generados por los Institutos de Estadística de los diferentes países. En Uruguay este fenómeno se aproxima a partir del Índice de Precios al Consumidor (IPC). Este índice surge como el promedio ponderado de los diferentes precios que componen la canasta estándar de consumo de una familia en Montevideo o el interior urbano de Uruguay y tiene como período base diciembre de 2010. Analíticamente, el IPC en el momento t puede expresarse como :

$$CPI_t = \sum_{i=1}^n w_i PI_{t,i} \quad (5.1)$$

donde w_i representa el peso del índice i sobre la canasta de consumo que compone el IPC, $PI_{t,i}$ representa el índice de precios con base 100 en diciembre de 2010 del índice i y n el número de los subíndices de precios utilizados para la construcción del IPC. Hay que tomar en cuenta que, dado que es un índice de Laspeyres¹, los pesos w_i son fijos.

Una vez que se dispone de una estimación del nivel general de precios, es posible calcular sus variaciones en diferentes términos como estimadores de la inflación. Es de particular interés para los actores públicos y privados obtener estimaciones del nivel agregado o inflación subyacente de la economía; con base en esta información se ajustan y renegocian los salarios y contratos, se calculan las tasas de interés reales y se estiman los retornos. Para los gobiernos también es un insumo importante, ya que brinda información sobre los próximos movimientos en los precios indexados, el impuesto inflacionario y el grado de cumplimiento de las metas de inflación.

La teoría de redes se utiliza para estudiar el desempeño de sistemas económicos basados en la interacción entre sus partes o las relaciones entre individuos y estructuras sociales (ver [Birke \(2009\)](#) y [Goyal \(2011\)](#) para conocer revisiones acerca del nacimiento y desarrollo de redes en economía). Conociendo la estructura de la red, es posible encontrar nodos a través de los cuales se transmite más información, nodos que conectan diferentes grupos dentro de la red y en un contexto dinámico, nodos que influyen en el comportamiento de los demás.

¹En [International Labour Organisation et al. \(2004\)](#) se define como un índice de precios cuyos ponderadores son los correspondientes al período base.

Para controlar y detectar el comportamiento de los nodos más relevantes en una red de manera eficiente, se calcula su conjunto dominante (DS). Podemos definir un subconjunto de nodos dentro de una red como un DS si todos los nodos de la red que no pertenecen a este conjunto son adyacentes al menos a uno de los miembros del conjunto dominante. Hay ejemplos del uso de estas técnicas en las ciencias sociales: se observan ejemplos de DS en redes sociales (Kelleher and Cozzens, 1988; Wang et al., 2011) y en economía (Papadimitriou et al., 2013; Gogas et al., 2016; Sarantitis et al., 2018), entre otras.

El mínimo conjunto dominante (MDS) se define como el DS con el número mínimo de componentes. Esta definición sigue un criterio de eficiencia. Para saber qué tan eficiente es el uso de la MDS, se ha estudiado el tamaño relativo de la MDS con respecto a la red para diferentes topologías de red. Para redes sin escala, el tamaño de la MDS crece linealmente con respecto al número de nodos en la red (ver Molnár et al. (2013) para diferentes tipos de redes).

Las redes sociales pueden volverse muy densas, por lo que en redes completas o casi completas los algoritmos para calcular MDS no encuentran conjuntos representativos de la red. Por tanto, surge un refinamiento de esta técnica que consiste en encontrar el conjunto mínimo dominante, teniendo en cuenta para el cálculo todos los enlaces que se encuentran por encima de un determinado umbral. Esta técnica se denomina Mínimo Conjunto dominante con umbral (T-MDS): Se pueden encontrar ejemplos de T-MDS para redes densas en Papadimitriou et al. (2014); Sarantitis et al. (2018).

El objetivo general de este trabajo es generar un índice de precios reducido a partir del T-MDS obtenido del índice general de precios, utilizando información del índice desagregado a nivel de clase de producto. Luego se analizan las propiedades generales de este índice reducido. En particular, se identifican los bienes más frecuentes en el T-MDS y se compara el desempeño de este índice reducido con respecto al índice original (en términos de su correlación, volatilidad y medidas de error) con otros conjuntos de precios elegidos aleatoriamente.

Los resultados indican que el T-MDS varía con el tiempo y revela que los productos alimenticios son de especial relevancia en su composición. En el corto plazo, el índice reducido está altamente correlacionado con la variación del nivel general de precios. La ventana de tiempo en la que T-MDS es más eficiente que un conjunto aleatorio es de menos de 6 meses, lo que resalta la naturaleza dinámica de las relaciones de interdependencia entre productos en el sistema de precios.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera: la sección 5.2 analiza la metodología de investigación y explica de dónde proviene la base de datos, la sección 5.3 presenta los diferentes resultados obtenidos en el artículo y finalmente la sección 5.4 presenta las principales conclusiones y discute algunas limitaciones y extensiones de este trabajo.

5.2. Metodología

5.2.1. Datos

Los datos primarios utilizados fueron extraídos de la base de datos del IPC, la cual es elaborada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) con frecuencia mensual². Se recolectaron datos para el período diciembre de 2010 - diciembre de 2020. Como se explicó anteriormente, el IPC se construye como un promedio ponderado de los precios de ciertos bienes y servicios que componen la canasta de consumo estándar de una familia en Montevideo o el interior urbano de Uruguay (ver Ecuación (5.1)). En este caso, se utilizan 374 bienes y servicios para calcular el IPC, que puede agruparse en 88 clases (conjuntos de bienes y servicios con características similares) o 12 divisiones principales.

Los datos a utilizar en este capítulo, al igual que en el Capítulo 4, se derivan de la serie temporal correspondiente a las 88 clases que componen el IPC para el período diciembre 2010 - diciembre 2020. Se realizará la siguiente transformación para trabajar con variaciones y no con números índice:

$$X_{i,t} = \frac{PI_{i,t} - PI_{i,t-1}}{PI_{i,t-1}} \quad (5.2)$$

5.2.2. Construcción de la red

Una red o gráfico $G(N, E)$ se define como un conjunto de nodos ($N = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$) relacionados entre sí por las aristas ($E = \{e_{1,1}, e_{1,2}, \dots, e_{n,n}\}$). En este caso, cada nodo de la red corresponde a una clase diferente de bienes y servicios del IPC y las aristas están determinadas por una medida de similitud entre dos clases de precios; en este caso se utiliza el coeficiente de correlación lineal de Pearson. Esta medida representa la similitud lineal en la dinámica de un par de series de tiempo, donde los valores más cercanos a 1 representan una relación positiva y lineal, los valores más cercanos a -1 indican una relación negativa y lineal y los valores más cercanos a 0 indican ausencia de relación lineal. Para el cálculo de los coeficientes de correlación se tomaron periodos correspondientes a un año, moviéndose en ventanas de tiempo de un mes para poder construir la mayor cantidad de redes posibles.

Sin embargo, usar el coeficiente de correlación lineal de Pearson sin ningún tipo de intervención daría como resultado una red completamente densa (es muy difícil obtener una correlación empírica exactamente igual a 0), lo cual no es deseable. Por lo tanto, siguiendo la metodología utilizada en el capítulo anterior se filtran todas las correlaciones por debajo de 0.36, es decir, si dos clases tienen una correlación menor de 0.36 en el período en el que se construyó la red, entonces las clases no están vinculadas ($e_{i,j} \notin EP$)

Estas redes se pueden representar a partir de una matriz de adyacencia $A_{n \times n}$ (ver Ecuación (5.3)), donde n representa el número de nodos en la red, y $A_{i,j}$ representa el enlace desde

²Datos disponibles en: <http://www.ine.gub.uy/web/guest/ipc-indice-de-precios-del-consumo>

el nodo i al nodo j . En caso de que no haya un vínculo entre los nodos i y j , se representa con un 0 en la matriz de adyacencia. Las redes serán simétricas porque el coeficiente de correlación también es simétrico ($r_{i,j} = r_{j,i} \Rightarrow A_{i,j} = A_{j,i}$) y omiten la existencia de auto-bucles (es decir, $A_{i,i} = 0; \forall i$).

$$A = \begin{pmatrix} 0 & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & 0 & \cdots & r_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1} & r_{n,2} & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

Para este trabajo se construyeron 86 redes con datos anuales (últimas 12 variaciones mensuales) con un retraso de un mes entre una ventana y la siguiente. En particular, la primera red se construyó con datos de enero de 2011 a diciembre de 2011, la segunda con datos de febrero de 2011 a enero de 2012, y así sucesivamente. De esta forma, es posible capturar cambios en las redes de precios en periodos de un mes y realizar un análisis de sensibilidad de los resultados.

5.2.3. T-MDS

En este apartado se analizan las propiedades de los índices de precios reducidos para representar la dinámica del conjunto de bienes y servicios que componen el IPC. Para ello, mediante la metodología T-MDS se busca un subconjunto de clases que puedan representar adecuadamente al resto.

Como fuera mencionado anteriormente, se dice que un subconjunto de nodos forma un DS sobre una red $G = (N, E)$ si y solo si cada nodo de la red tiene dos posibilidades: pertenece al conjunto o pertenece al menos uno de sus vecinos. Formalmente:

$$N_i \begin{cases} \in DS \\ \notin DS \Leftrightarrow N_j \in DS \text{ and } e_{i,j} \in E \end{cases}$$

Un conjunto mínimo dominante es el que tiene el cardinal más bajo de los anteriores. Es importante aclarar que los nodos que estaban aislados en la red no se incluyeron en el conjunto dominante. Nótese que esta forma de encontrar clases de bienes y servicios que puedan representar adecuadamente a sus vecinos no asegura tener un tamaño fijo de nodos que componen el set dominante para cada período. De hecho, se observa que este tamaño cambia con el tiempo.

Dado que tanto el tamaño como los componentes de este conjunto varían en el tiempo, es necesario profundizar en las características de las clases de bienes y servicios que componen

este conjunto. Primero, se estudia hasta qué punto este conjunto evoluciona de un momento a otro. En otras palabras, ¿qué tan estable es este conjunto cuando el período considerado para la construcción de la red se modifica en un mes? Para responder a esta pregunta, se construyó un índice de persistencia (Ω) para reflejar la persistencia de las clases dentro del T-MDS.

$$\Omega_t = \frac{TMDSt_{t-1} \cap TMDSt_t}{\max\{|TMDSt_{t-1}|, |TMDSt_t|\}} \quad (5.4)$$

Este índice Ω No es más que el cociente entre el número de clases que se repiten en el conjunto dominante en dos períodos consecutivos dividido por el cardinal del conjunto dominante más grande de ambos períodos. Como se mencionó anteriormente, no hay garantía de que el tamaño del conjunto dominante permanezca constante en dos períodos consecutivos, por lo que la proporción de clases mantenidas no se puede calcular de manera normal. En este caso, se optó por incluir en el denominador el máximo entre los números cardinales de ambos conjuntos dominantes, por lo cual este índice tendrá un sesgo a la baja respecto a una proporción normal.

Además, es importante saber si existen clases de bienes y servicios que son parte del T-MDS de forma persistente y si estos corresponden a alguna división de bienes y servicios del IPC. Asimismo, también es relevante comprender la distribución de probabilidad de una clase particular que aparece en este conjunto a lo largo del tiempo.

Asimismo, también se estudió la representatividad de estas clases de bienes y servicios en el IPC en su conjunto. Se puede construir un índice de inflación interanual (YYTMDS) a partir del T-MDS y compararlo con la inflación interanual (YY) calculada por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Recordando la ecuación del IPC, se sabe que el IPC es un promedio ponderado de los índices de precios de ciertos bienes y servicios que componen una canasta estándar de consumo. Entonces, para cualquier período de tiempo t :

$$CPI_t = \sum_{i=1}^{88} w_i PI_{t,i} \quad (5.5)$$

Al construir un índice reducido a partir del IPC tomando solo las clases que aparecen en el T-MDS, lo que cambia es la estructura de ponderación utilizada. Cada w'_i nuevo vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$\begin{cases} w'_i = \frac{w_i}{\sum_{i \in \text{T-MDS}} w_i} & \text{if } i \in \text{T-MDS} \\ w'_i = 0 & \text{if } i \notin \text{T-MDS} \end{cases} \quad (5.6)$$

Por tanto, el índice de precios correspondiente al T-MDS con base 100 a diciembre de 2010 se calcula de la siguiente manera:

$$PITMDS_t = \sum_{i \in T\text{-MDS}} w'_i PI_{t,i} \quad (5.7)$$

Una vez obtenido este nuevo índice, es posible obtener una estimación alternativa de la inflación interanual y realizar una comparación con el índice original. Para realizar esta comparación, se introducen los siguientes cálculos:

- Correlación entre ambos índices
- Volatilidad del nuevo índice
- Error absoluto medio (MAE)
- Error medio cuadrático (MCE)

Para calcular estas métricas, se siguió el procedimiento:

1. Las diferentes redes se obtienen de las correlaciones entre las diferentes clases en ventanas móviles de 1 año.
2. Una vez obtenida cada red, se obtiene el T-MDS asociado a ella.
3. Se construye el IPTMDS.
4. Para períodos entre 1 mes y 12 meses después de la construcción de las redes, se comparan las series anuales de YY, YYTMDS. Por ejemplo, si la red se construyó con datos de enero de 2013 a diciembre de 2013, las 4 métricas se evalúan para los períodos: enero de 2014 a diciembre de 2014, febrero de 2014 a enero de 2015 y luego sucesivamente a diciembre de 2014 - noviembre de 2015 ($k = 1, 2, \dots, 12$ veces).
5. La mediana se obtiene para cada una de las 4 métricas y se toma como un valor representativo.

Estos resultados son comparados con un *benchmark* consistente en la construcción de 500 índices más a partir de una muestra aleatoria con el mismo tamaño de muestra que el cardinal del conjunto dominante. De esta forma, se dispone de una gran cantidad de índices reducidos para comparar el rendimiento del YYTMDS.

5.3. Resultados

5.3.1. Composición del T-MDS

A partir de los datos, fue posible construir 86 redes diferentes y evaluar el desempeño de los índices de precios reducidos obtenidos mediante la metodología T-MDS. Como

primera caracterización, se puede observar que el tamaño promedio de este conjunto es de 9 clases de bienes y servicios, donde “servicios postales”, “educación preescolar o primaria” y “educación secundaria” nunca pertenecieron a este grupo. Además, el conjunto más pequeño estaba compuesto por solo 7 clases, mientras que el más grande era de 12 clases. Al mismo tiempo, cabe señalar que el conjunto de T-MDS obtenidos muestra cierto grado de estabilidad.

Con el fin de obtener una mejor medida de la estabilidad de este conjunto, se realizaron algunas operaciones. Suponiendo que cada año el tamaño del conjunto es 9, si la pertenencia o no al conjunto es independiente de lo ocurrido en la instancia anterior (es decir, que el conjunto no es estable) tenemos que la probabilidad de repetición de X bienes en el conjunto dominante tiene la siguiente función de cuantía:

$$P(x \text{ clases están repetidas en el T-MDS}) = P(X = x) = \frac{C_x^9 C_{9-x}^{79}}{C_9^{88}} \quad (5.8)$$

Medido en términos de la proporción de bienes que se repiten (Y), es fácil deducir que $Y = \frac{X}{9} \Rightarrow X = 9Y$. Por lo tanto, los datos del índice obtenidos de la Ecuación (5.4) pueden llevarse a una función cuantílica empírica y compararse, como se muestra en la Figura 5.1. Allí, se puede notar una clara diferencia entre las dos funciones cuantílicas; si se asumiera que el conjunto es completamente inestable (línea azul) y que varía independientemente del pasado (es decir, que la composición del conjunto en el momento $t + 1$ es independiente de la composición en el momento t), se debería haber obtenido muchos más casos en los que solo se repite 1 clase o ninguna, lo que no parece coincidir con la evidencia empírica. Además, dado que se utilizó en el denominador el máximo tamaño entre los conjuntos en los momentos t y $t + 1$ para aproximar los datos empíricos, es lógico suponer que estos resultados tienen un sesgo a la baja, lo que hace que la diferencia real sea aún mayor. Asimismo, no existen períodos en los que el conjunto sea sucesivamente persistente ni períodos de inestabilidad, sino que éstos no parecen seguir una tendencia clara (ver Anexo C.1).

Por otra parte, se puede observar que el número de veces que las diferentes clases pertenecen al conjunto dominante no se distribuyen de manera uniforme o normal. La Figura 5.2 muestra el histograma del número de veces que cada clase pertenece al conjunto dominante, donde el máximo posible fue 86. Se puede observar que la distribución está lejos de ser normal o uniforme, pero parece seguir una ley de potencia. Al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov (ver Clauset et al. (2009)), se obtiene un p -valor de 0,82, por lo que no es posible rechazar la hipótesis que la distribución sigue una ley de potencia. Este es un resultado interesante debido a que las leyes de potencia tienden a aparecer con frecuencia en sistemas complejos, como suponemos que es el sistema de precios de la economía uruguaya. También observamos que ciertas clases de bienes y servicios tienden a aparecer de manera persistente en este conjunto, mientras que otras tienden a estar subrepresentadas.

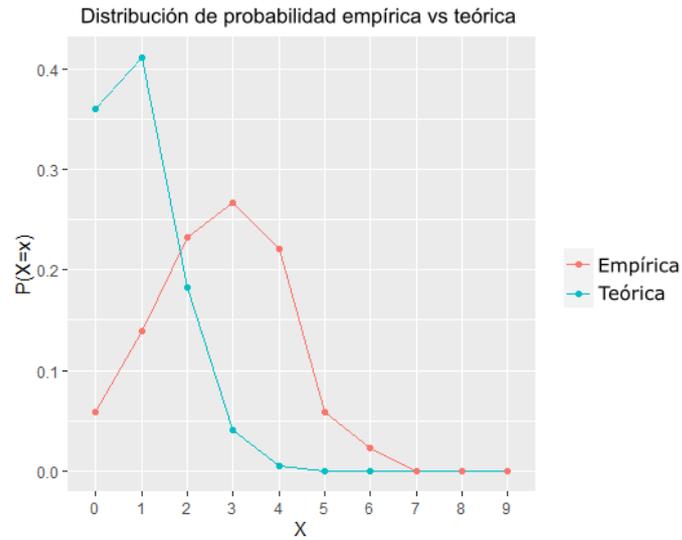


Figura 5.1: Distribuciones de probabilidad teóricas y empíricas de la persistencia de clases en el set dominante. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

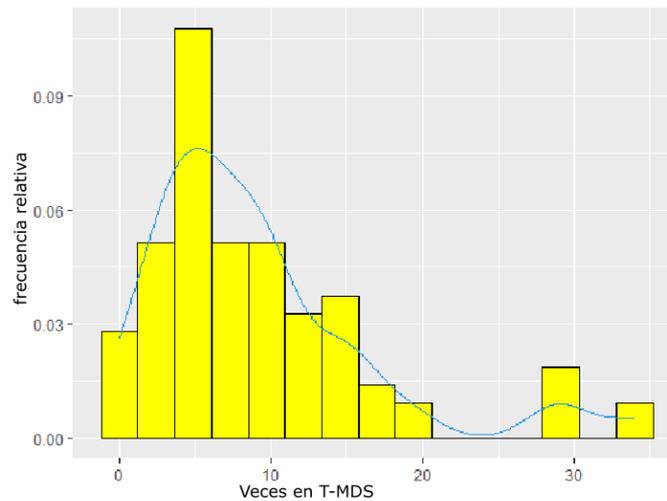


Figura 5.2: Histograma de distribución de apariciones en el set dominante y densidad empírica. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

Asimismo, es de especial interés conocer qué clases de bienes y servicios son los que aparecen con mayor frecuencia y si están asociados a alguna división del IPC en particular. Esta información está disponible en el Apéndice C.2, donde se observa un claro predominio de la división “Alimentos y Bebidas No Alcohólicas”. De hecho, se observa que 9 de las 11 clases pertenecientes a esta división se encuentran entre las 15 que aparecen con mayor frecuencia en el set dominante.

Al mismo tiempo, se sabe que esta división representa el 26 % de la composición total del IPC, por lo que es de esperar que tenga una dinámica relacionada con lo que ocurre con el Índice. Sin embargo, si comparamos la dinámica de la serie de la división “Alimentos y Bebidas No Alcohólicas” con la del IPC y el resto de bienes y servicios que la componen

(el 74 % restante) obtenemos un resultado relevante: la división “Alimentos y Bebidas No Alcohólicas” se encuentra más correlacionada con la dinámica de la inflación que el resto de las divisiones de la serie.

La Figura 5.3 muestra la evolución en el período de estudio de la inflación interanual general, la inflación interanual de los bienes y servicios que componen la división de Alimentos y Bebidas No Alcohólicas y la Inflación anual del resto de divisiones que componen el IPC. Se puede observar que la división en cuestión sigue mejor la dinámica del IPC en su conjunto, aunque dadas las características de los precios de los alimentos presenta mayor volatilidad que el índice general. A lo largo del período tiene una correlación de 0,82 con la inflación interanual mientras que el resto de bienes y servicios tiene una correlación de 0,72 con la inflación interanual.



Figura 5.3: Variación interanual del IPC, división Alimentos y Bebidas No Alcohólicas e IPC excluidos Alimentos y Bebidas No Alcohólicas. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

Estos resultados indican que la dinámica de la división de Alimentos y Bebidas no Alcohólicas parece ser central para explicar los movimientos del IPC. Este resultado refleja la importancia de los alimentos en la formación de precios del resto de sectores de la economía, que analizaremos con más detalle en el apartado de conclusiones.

5.3.2. Capacidad de representación

Una vez caracterizados los T-MDS obtenidos, es posible estudiar su desempeño en la representación del total de clases que componen el IPC. Para realizar este análisis, los resultados obtenidos de los sets dominantes se compararon con un índice alternativo del mismo tamaño que el conjunto dominante, pero cuyos elementos se eligieron aleatoriamente (muestreo aleatorio simple sin reemplazo). Los resultados sobre la evolución de las 4 métricas a estudiar están disponibles en la Figura 5.4. En rojo están los resultados del índice propuesto en comparación con la mediana de las simulaciones obtenidas de un

conjunto aleatorio (verde). La evaluación de las métricas se realizó en ventanas de tiempo de un año donde el eje de abscisas muestra la cantidad de meses desde la construcción de la red ($k = 1, 2, \dots, 12$).

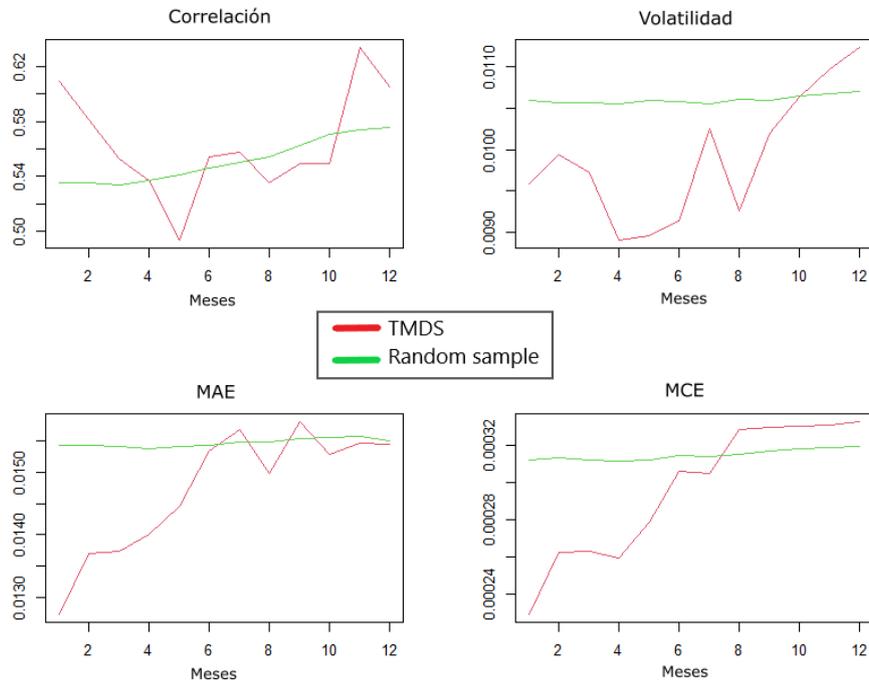


Figura 5.4: Desempeño del set dominante en las diferentes métricas propuestas. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

En primer lugar, se puede observar que el índice construido con la metodología T-MDS parece mostrar, en general, una mayor correlación en comparación con un índice formado por elementos aleatorios. Esto parece ser particularmente cierto en períodos cercanos a la construcción del índice.

Si miramos las diferencias (ya sea en términos absolutos o cuadráticos) en los valores predichos con respecto al índice, observamos que en los primeros meses posteriores a la construcción del índice, éste muestra un desempeño mucho mejor que el caso del set aleatorio. Si bien este efecto tiende a desaparecer a los 6 meses, en períodos posteriores los resultados parecerían indicar un desempeño similar al del índice de referencia.

Así, se podría pensar que se pueden obtener mejores estimaciones de inflación interanual con un número menor de bienes y servicios, si éstos se eligen estratégicamente. Además, durante los primeros meses se observa que la serie generada tiene una baja volatilidad con respecto al caso aleatorio. Sin embargo, estos resultados están limitados por el período de tiempo en el que se cumplen estas propiedades, lo que implica que el índice debe actualizarse con frecuencia.

5.4. Conclusiones

En este trabajo se ha generado el T-MDS a partir de los datos del IPC uruguayo, continuando y ampliando el análisis de las redes de precios en la economía uruguaya visto en el capítulo anterior. Esta herramienta se presenta para comprender los procesos subyacentes a fenómenos inflacionarios aplicados para analizar el caso de una economía en desarrollo. Los resultados empíricos muestran que los procesos de formación de precios en la economía no son el resultado de una serie de shocks aleatorios en diferentes sectores de la economía. El estudio muestra evidencias de diferentes procesos de contagio que se pueden esperar para este tipo de economía. En particular, se observa que los precios de los alimentos juegan un papel fundamental en la transmisión de información dentro de la red: de las 88 clases de productos en total, 9 de las 11 clases pertenecientes a la categoría de “alimentos y bebidas no alcohólicas” se encuentran entre los 15 más comunes en el conjunto dominante.

Comparando estos resultados con los obtenidos por [Sarantitis et al. \(2018\)](#), vale la pena hacer algunas puntualizaciones. En primer lugar, ese artículo encuentra un T-MDS para Reino Unido donde los precios de los alimentos no juegan un papel fundamental: solo uno de los 14 precios -“frutas” - es de la categoría de alimentos, mientras que en el análisis con datos desde Uruguay los resultados son diferentes. Luego, en [Sarantitis et al. \(2018\)](#) se propone utilizar este T-MDS para realizar proyecciones, pero mostramos mediante ventanas de tiempo y simulaciones que los T-MDS de Uruguay son dinámicos y que su utilidad para realizar proyecciones se cumple a muy corto plazo.

Este resultado tiene varias interpretaciones y consecuencias importantes. En primer lugar, los efectos de una variación en los precios de los alimentos podrían tener efectos sobre el IPC a través de un efecto de contagio. Esto significa que, además del efecto esperado sobre el nivel general de precios por el hecho de que el IPC es un promedio ponderado, también encontramos efectos de variaciones en el resto de precios de la economía. A su vez, puede deberse a la importancia de las redes insumo-producto en las economías (ver [Auer et al. \(2019\)](#)), es decir, el resultado en el nivel de precios surge de las diferentes cadenas productivas de la economía. Estos autores muestran que las variaciones y fluctuaciones de precios se pueden explicar a partir de la red de interacciones en la economía; luego, las variaciones de precios y la dirección en la que fluye la información son consecuencia de las modificaciones en las variables reales de la economía. Para cuantificar la transmisión de información se puede utilizar el concepto de entropía de Shannon, lo cual podría ser una futura extensión a lo propuesto en este capítulo.

Otra característica de los precios de los alimentos en las últimas décadas es la globalización, la internacionalización de sus cadenas de suministro y la interdependencia en la formación de precios (ver [Álvarez González et al. \(2019\)](#); [Forbes \(2019\)](#); [Obstfeld \(2019\)](#)). Este hecho provoca que diferentes sectores del mercado interno y externo participen en la formación de precios, sean estos mercados tanto de exportación como de importación. El impacto ha sido especialmente notable en la primera década de este siglo en los países exportadores de productos alimenticios.

Otra posible explicación es que los individuos de la economía pueden percibir fácilmente los precios de los alimentos y su variación. Estas modificaciones pueden actuar como una señal temprana de cambios en los precios relativos y el nivel general de precios, por lo que el resto de los sectores buscan no perder poder adquisitivo ajustando los precios. Esta dinámica puede entenderse a partir de presiones redistributivas o espirales de precios y salarios, especialmente en economías altamente indexadas.

Anteriormente, existía un consenso en que la respuesta política óptima debería centrarse en la inflación subyacente (véase [Goodfriend \(2007\)](#)). Sin embargo, la evidencia empírica muestra la importancia de los precios de los alimentos en las economías en desarrollo ([De Gregorio, 2012](#)) y la teoría económica más reciente muestra que las respuestas óptimas de política económica deben ser diferentes. [Anand et al. \(2015\)](#) y [Ginn and Pourroy \(2020\)](#) muestran que las políticas basadas en el control de la inflación subyacente no son efectivas para controlar la inflación en el corto plazo y es beneficioso en términos de bienestar llevar a cabo políticas basadas en la inflación general. En [Ginn and Pourroy \(2020\)](#), se recomiendan políticas de tasas de interés basadas en la inflación general, ya que las políticas basadas en la inflación subyacente no evitan los efectos secundarios de los precios de los alimentos a otros precios. La evidencia empírica también muestra que los países que han adoptado políticas de metas de inflación se han basado principalmente en la inflación general ([Hammond, 2012](#)).

A continuación este capítulo ha abordado, a partir de un ejemplo con el IPC uruguayo, las posibilidades que ofrece la técnica T-MDS para extraer información sobre el comportamiento futuro de las variables de interés a partir de información pasada. Las ganancias en cuanto a predicción dependerán del tipo de redes analizadas, pero se observa que al utilizar un índice reducido del T-MDS podemos hacer predicciones con menos errores en el corto plazo que con un conjunto de precios tomados al azar. Este resultado nos permite afirmar que, a muy corto plazo, este instrumento puede ser de utilidad tanto para los formadores de políticas como para los formadores de precios. Es importante enfatizar nuevamente el carácter dinámico y evolutivo de esta red: las predicciones basadas en el set dominante pierden valor en el corto plazo.

Estos resultados pueden sugerir que la formación de precios no es el resultado de algún proceso aleatorio, sino más bien coordinado o emergente del proceso de interacción. Sin embargo, se deben realizar más investigaciones para abordar correctamente esta hipótesis. Además, la incorporación de precios del Índice de Precios al Productor (IPP) podría permitirnos comprender mejor la interacción entre el costo de producción y el precio final pagado por los consumidores. Por lo tanto, el análisis futuro puede implicar la construcción de una red en la que también se encuentren los precios de IPP o analizar la interdependencia entre ambas redes a través de una red multinivel.

Otra conclusión relevante se enmarca dentro de la literatura sobre la variabilidad relativa de los precios y la inflación (ver, por ejemplo, [Dabús \(1993\)](#)). Los cambios en el índice de precios no son neutrales en precios relativos, aunque se encuentra que en el muy corto

plazo las relaciones entre precios son persistentes, a más largo plazo estas relaciones se modifican. Este hecho trae una consecuencia imprevista para las políticas antiinflacionarias basadas en el control de precios: estas políticas pueden ser útiles en plazos muy cortos; por otro lado, esta metodología nos permite conocer la estructura subyacente de formación y contagio de precios, lo que permite acciones directas y con menos efectos adversos.

A pesar de las innovaciones discutidas en este capítulo, existen algunas limitaciones importantes. Por un lado, al utilizar índices de precios de Laspeyres no capturamos las variaciones de precios provocadas por cambios en las cantidades producidas. Si asumimos que existe una determinación conjunta de precios y cantidades, esta dimensión debe incluirse al analizar los cambios de precios en la economía. Por otro lado, en el índice derivado de T-MDS las ponderaciones se calculan a partir del índice original, sin tener en cuenta cambios en la estructura de la red. Una futura ampliación de este capítulo plantea la posibilidad de utilizar la información de la estructura de la red para calcular los pesos dentro del T-MDS.

Otras posibles extensiones son realizar este análisis para otras series de precios. En particular, por lo expresado en párrafos anteriores, es de interés saber si se verifican comportamientos similares a los encontrados para Uruguay en otros países en desarrollo, mientras que es relevante saber si a través de esta metodología podemos encontrar diferencias en la proceso de formación de precios o incluso transmisión de precios entre países con diferentes grados de desarrollo. También es relevante analizar si estos comportamientos se verifican para otras series de precios con mayor desagregación -a nivel de producto- o con datos de variaciones de precios de mayor frecuencia -diaria, semanal, quincenal- ya que permite que sea un insumo para la previsión a corto plazo.

La investigación futura también puede incluir el análisis del papel de las monedas extranjeras, en el contexto de las economías bi-monetarias y el análisis T-MDS. En este caso, se propone analizar la relevancia de diferentes monedas en la estructura de transmisión de información de precios.

Parte III

Análisis a partir de Modelos Basados en Agentes

Capítulo 6

Un análisis bibliométrico sobre documentación de ABM en Economía

“Models’ are formal but partial representations of theories. A model never encompasses the entire theory to which it refers.” (Leijonhufvud, 1997, p. 193)

Desde los primeros modelos basados en agentes (ABM) la comunidad científica se ha interesado en hacer comprensibles no solo los resultados de los modelos computacionales sino también la descripción del modelado, con la finalidad de facilitar su replicación. Una de las formas que se han adoptado en mayor medida ha sido el protocolo ODD (Overview, Design concept & Details), que proporciona una estructura genérica para su documentación. Este protocolo proporciona una forma de explicar claramente los procedimientos y las interacciones de los sistemas complejos a analizar, con aplicaciones que se han extendido a través de diferentes disciplinas. Este capítulo presenta un análisis bibliométrico utilizando la base de datos Scopus de los artículos surgidos de la primera publicación de este protocolo en 2006.

Los resultados muestran que el uso de esta forma de documentación ha crecido en Economía, pero su participación se mantiene estable en términos relativos. Los resultados también muestran que la revista líder tanto en número de artículos como en impacto es JASSS, pero no se observa que haya una mayor difusión hacia revistas específicas de Economía o que este protocolo se utilice para un mayor número de temas. Finalmente, se encuentra que existe un núcleo común en la literatura de modelos basados en agentes en Economía, con un sesgo hacia los artículos metodológicos en los artículos que siguen el protocolo ODD mientras que existe un sesgo hacia los artículos sobre modelos económicos en aquellos que no siguen este protocolo.

6.1. Introducción: documentación de ABM en Ciencias Sociales

En las últimas décadas, la caja de herramientas de los investigadores en ciencias sociales se ha enriquecido con la posibilidad de simular fenómenos con Modelos Basados en Agentes (ABM). Es claro que, como lo menciona Gilbert¹ existe consenso en cuanto a lo que permite la simulación social: la posibilidad de observar los procesos macroscópicos como un proceso emergente que surge de las interacciones entre agentes “simples”. Por esta razón, en el contexto de la comprensión de los fenómenos sociales como resultado de una compleja red de interacciones, un número creciente de artículos intenta conceptualizar estos temas a través de ABM.

En este sentido, Squazzoni (2010) afirma que el uso de ABM permite trabajar tanto en problemas bien establecidos como también en otros temas que solo son analizables a través de un enfoque multidisciplinario. Por lo tanto, los ABM tienen un impacto no solo en disciplinas bien establecidas, sino que también fomenta la creación de nuevos temas multidisciplinarios. Como menciona Squazzoni et al. (2014), existen algunos aspectos diferenciales de los ABM en las ciencias sociales, incluyendo la heterogeneidad de comportamientos (que incluye el análisis de la toma de decisiones) y el análisis de la dinámica social. Otro aspecto relevante es la importancia de las revistas para la difusión de estos conceptos, enfoque seguido por Squazzoni and Casnici (2013); Hauke et al. (2017), quienes analizan los artículos publicados en el Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS). Como afirma Gear et al. (2018), el uso de la teoría y su articulación con el diseño de la investigación es un tema fundamental en el proceso de investigación. La formalización de estas ideas a través de modelos nos permite replicar los resultados y avanzar en el grado de comprensión de los fenómenos. Sin embargo, la generación de modelos como representaciones del problema a analizar implica una dificultad adicional en estos casos, ya que los sistemas están en interacción con otros sistemas y al mismo tiempo ocurren diferentes procesos a diferentes escalas. Es importante señalar aquí que varios autores muestran algunos problemas que surgen de los modelos cada vez más “complicados” que se introducen para analizar sistemas complejos con un mayor grado de definición Chen and Wang (2011). Es necesario encontrar un idioma común Squazzoni (2010), una *lingua franca*, en términos de Garibay et al. (2019). Este estándar debe comunicar las diferentes etapas del proceso de modelado: construcción, descripción, análisis, evaluación y reproducción de ABM. Este estándar tiene que ser flexible pero sin caer en la anarquía, como afirma Richiardi et al. (2006).

Por estas razones es necesario documentar todos los aspectos de los modelos, ya que no son simplemente modelos descritos mediante ecuaciones, que es una tradición fuertemente establecida en las ciencias sociales. Los ABM involucran una gran cantidad de ecuaciones y relaciones entre objetos, los cuales sólo pueden ser estudiados mediante simulaciones

¹“...computer programs offer the possibility of creating ‘artificial’ societies in which individuals and collective actors such as organisations could be directly represented and the effect of their interactions observed.” (Gilbert, 2004).

por computador. A efectos de hacerlos comprensibles para el resto de la comunidad científica no alcanza sólo con definir las ecuaciones, sino que es necesario comunicar muchos otros aspectos. La intención es hacerlos accesibles y completos, permitiendo su posterior replicación. [Banks et al. \(2002\)](#) argumenta que los ABM no podrán realizar más mejoras en nuestra comprensión de los fenómenos sociales sin innovaciones en la forma en que se representan los modelos.

Desde 2006, se ha comenzado a promover un protocolo para la documentación ABM, que se ha convertido en uno de los más utilizados en las ciencias sociales: el protocolo *Overview, Design concepts and Details* (en adelante ODD) ([Grimm et al., 2006](#)). Entonces, ODD es un acrónimo de las fases del proceso de documentación del modelo, como se muestra en la [Figura 6.1](#). En la primera instancia se encuentra *Overview*, donde se detallan la estructura y los procesos del modelo. Entonces, no solo se presenta el modelo sino también su racionalidad implícita y sus principios de diseño (*Design*), por ejemplo, si ciertos aspectos emergen del sistema (endógenos) o si son parámetros del modelo (exógenos). Los *Details* incluyen toda la información necesaria para que el modelo sea replicado. Es un protocolo que no surge de las ciencias sociales² pero ha evolucionado a partir de varias revisiones ([Grimm et al., 2010, 2020](#)) y extensiones ([Müller et al., 2013](#)).

Este protocolo busca dar respuesta a las fallas en la comunicación del modelo, buscando facilitar su comprensión y replicación, al mismo tiempo que busca asegurar que los modelos estén adecuadamente descritos. Un aspecto relevante de este protocolo: aunque se sugiere que es apto para la documentación y comunicación de ABM e incluso puede generalizarse a todo tipo de modelos, como lo menciona [Grimm et al. \(2020\)](#), es indiferente al tema a analizar. Si bien comenzó a usarse en Ecología, nada impide que un modelo que trabaja sobre temas relacionados con la economía se pueda comunicar de esta manera.

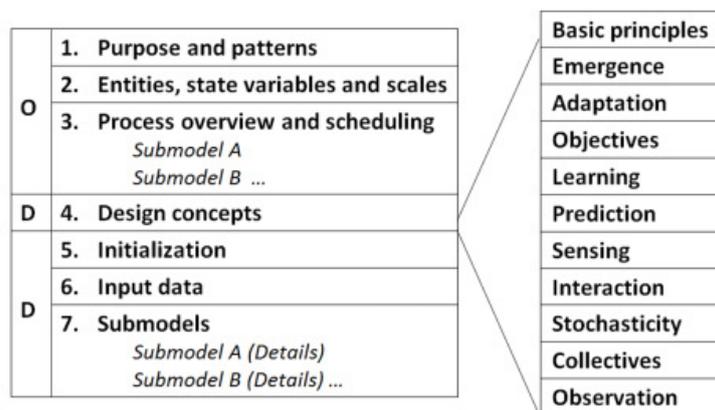


Figura 6.1: Estructura del modelo, siguiendo el protocolo ODD. Fuente: [Grimm et al. \(2020\)](#).

En Ciencias Sociales -y en particular, en Economía- se hace un uso extensivo de la formalización matemática, es decir, la representación de las relaciones entre las principales

²Surge de la Ecología, que tiene una tradición más extensa en el uso de ABM. En [Grimm et al. \(2010\)](#) se menciona este problema y se muestra el grado de penetración de este modelado en diferentes disciplinas.

variables y parámetros del problema a estudiar a través de modelos matemáticos en forma de ecuaciones. [Blaug \(2003\)](#) encuentra que en Economía existió una “revolución formalista” en la década de 1950, que resultó en una preferencia en la forma de expresar los modelos más que en su contenido; esto también lo observa [Arthur \(2013\)](#), al afirmar que los supuestos utilizados en Economía están determinados por la necesidad de resolución analítica del problema, o al elegir el rigor analítico sobre la relevancia del modelo analizado ([Blaug, 2009](#)). En [Boland \(2014\)](#) se hace referencia a este mismo fenómeno a partir de 1980, donde la “revolución formalista” ya se convirtió en dominante. El problema con la formalización excesiva es que, en términos de [Cartwright \(2007\)](#), la validez interna de los modelos se logra a costa de su validez externa.

La Economía es una disciplina que, por sus objetos de estudio, puede beneficiarse del modelado a través de ABM ([Arthur, 2013; Davis, 2018](#)). Sin embargo, desde una perspectiva histórica, la tradición de formalización axiomática de los modelos - y el paradigma del equilibrio, ver [Blaug \(2003\)](#) - hacen que este enfoque esté lejos del núcleo de la disciplina ([Elsner, 2017](#)). Esto tiene dos interpretaciones: por un lado, otras formas de representación y documentación de los modelos serán difíciles de adoptar y por otro lado, relaciona los ABM con programas de investigación en Economía no ortodoxos.

Este capítulo tiene como objetivos: i) describir el estado del arte de la documentación de los ABM en Economía, utilizando técnicas de análisis bibliométrico; ii) detectar qué temas son los más utilizados, iii) definir líneas de investigación bien establecidas, y iv) mostrar las principales artículos dentro de cada área.

En particular, en este capítulo se busca analizar si existen diferencias entre las investigaciones en Economía que siguen el protocolo ODD y las que no siguen este protocolo. Para futuros desarrollos, se busca proporcionar una descripción detallada e información útil sobre el uso de ABM en economía y las formas en que los modelos se representan y explican. Para este capítulo, así como para el siguiente, se hace un uso intensivo de técnicas bibliométricas. Estas técnicas nos permiten analizar las diferentes formas en que se vincula la vasta literatura sobre el tema y extraer información del texto y metadatos. Este análisis no solo permite cuantificar autores, artículos, revistas y centros de investigación, sino que también permite relacionar la aparición de diferentes líneas de investigación a lo largo del tiempo.

El capítulo está estructurado de la siguiente manera. La sección [6.2](#) presenta la metodología y los datos utilizados. La sección [6.3](#) describe los resultados del análisis bibliométrico y la sección [6.4](#) muestra una discusión adicional, proporciona las conclusiones, establece las limitaciones de nuestro estudio y propone investigaciones futuras.

6.2. Datos y metodología

En esta sección se enumeran las fuentes de datos utilizadas en este estudio, así como una descripción de las metodologías aplicadas.

Los datos para realizar el análisis bibliométrico se obtuvieron de la base de datos Scopus. Es una de las bases de datos más importantes de la literatura científica, basada en la literatura revisada por pares. Actualmente ³ tiene en sus registros aproximadamente 80 millones de artículos, más de 27000 revistas científicas, más de 1500 libros y más de 700 actas de congresos en diferentes disciplinas. Al mismo tiempo, proporciona metadatos fiables y coherentes, con información relevante sobre las publicaciones, así como sobre los autores y referencias de los artículos. Para justificar la elección de Scopus, [Ahmad et al. \(2020\)](#) propone algunas ventajas de utilizar Scopus en comparación con otras bases de datos. En particular, los autores afirman que Scopus tiene una cobertura muy amplia de revistas académicas, sostienen que la cobertura de citas también es muy amplia.

Se utilizó la base de datos CoMSES Catalog ⁴ ([Janssen et al., 2020](#)) para complementar la información obtenida de Scopus. Esta base de datos contiene metadatos sobre 7500 artículos de 1500 fuentes diferentes sobre ABM. Estos metadatos contienen información sobre el proceso de descripción del modelo, el uso de herramientas visuales para mostrar las relaciones entre los objetos y cómo se formalizan los conceptos en el modelo.

Para realizar el análisis bibliométrico, se seleccionaron artículos relacionados con el protocolo ODD de la base de datos de Scopus⁵. El criterio fue buscar los artículos dentro de la base de datos Scopus en los temas de simulación y ABM en la literatura económica, con citas a [Grimm et al. \(2006\)](#) o [Grimm et al. \(2010\)](#).

El proceso de recolección de datos consistió en una búsqueda sistemática dentro de la base de datos de Scopus, incluyendo los conceptos de “agent-based”, “model” y “economics”. De este conjunto de trabajos, consideramos únicamente aquellos relacionados con las disciplinas de Economía, Ciencias Sociales, Negocios y Administración y Ciencias de la Decisión. Luego, el proceso de búsqueda se limitó a esas categorías, siguiendo la consulta:

TITLE-ABS-KEY (“agent-based” OR “individual-based” OR “multi-agent” OR “multiagent” OR “abm” AND “model*” OR “simulat*” AND “econom*”) (LIMIT-TO (SUBJAREA , “ECON”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “SOCI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “BUSI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “DECI”)) .*

El asterisco (*) se utiliza para que la búsqueda encuentre palabras con la misma raíz pero con una terminación diferente. Por ejemplo, “model*” encuentra resultados donde se utilizan las palabras *model*, *models*, *modeling*, *modelling* entre otras. Eso es especialmente importante debido a las diferencias geográficas en el uso de las palabras “*modeling*” y “*modelling*” para referirse al mismo concepto. Eso permite que la búsqueda sea más sencilla y comprensible, así como su posterior análisis y replicación. En total, la búsqueda permitió trabajar con un conjunto de datos de 2276 artículos⁶.

³Fecha de acceso: 18 de abril de 2021.

⁴<https://catalog.comses.net/>

⁵Consultado el 18 de abril de 2021.

⁶Consultado el 18 de abril de 2021. Base de datos Scopus.

Posteriormente, para determinar los artículos que muestran un vínculo con los sistemas de documentación y en particular el protocolo ODD, se filtraron de esta base de datos los documentos que citan a [Grimm et al. \(2006\)](#) o [Grimm et al. \(2010\)](#). Para ello, en los filtros de búsqueda agregamos:

AND (REFTITLE("A standard protocol") OR REFTITLE("ODD*")).*

Así, tenemos dos subconjuntos: por un lado, los 2.159 documentos que no hacen referencia al protocolo ODD desde las citas a los artículos principales; por otro lado, 117 documentos que sí citan a alguno de estos artículos.

Los datos recolectados de la base de datos Scopus fueron autores, título, resumen, palabras clave, filiación, país, año y referencias. El análisis de datos se realizó en **R** ([R Core Team, 2020](#)), usando el paquete *bibliometrix* ([Aria and Cuccurullo, 2017](#)). La ventaja de utilizar esta metodología es la existencia de algoritmos estadísticos eficientes, la posibilidad de acceder a diferentes rutinas numéricas de calidad y diversas herramientas de visualización y mapeo de datos. Además, este software es libre y de código abierto.

Se utilizan técnicas bibliométricas para acceder a información cuantitativa sobre la producción científica expresada a través de publicaciones escritas. El análisis de la información bibliográfica de los artículos publicados en revistas se inició en la década de 1960 con el estudio seminal de [de Solla \(1965\)](#), y -como lo afirma [Ellegaard and Wallin \(2015\)](#) - los "métodos bibliométricos o 'análisis' son ahora firmemente establecidos como especialidades científicas y son una parte integral de la metodología de evaluación de la investigación, especialmente en los campos científico y aplicado".

Existen diferentes tipos de análisis bibliométricos a realizar, basados en los vínculos entre objetos: análisis de acoplamiento bibliográfico, análisis de co-citación, análisis de coautores y análisis de co-ocurrencias de palabras clave.

El análisis de co-citación establece que el vínculo entre dos artículos depende del número de ocasiones en que se citan a la vez [Small \(1973\)](#). El análisis de coautores tiene en cuenta el número de conexiones que los autores tienen dentro de la estructura de la red [White and McCain \(1998\)](#) mientras que el análisis de co-ocurrencias de palabras clave permite estudiar la estructura cognitiva de la red, como se establece en [Callon et al. \(1983\)](#), a partir de las conexiones entre los conceptos de las palabras clave de los artículos. Como afirma [Wei \(2019\)](#), no solo se pueden capturar las investigaciones más importantes, sino que también es útil conocer las relaciones entre conceptos e ideas en la ciencia.

6.3. Resultados

Los resultados presentados en esta sección tienen como objetivo comparar, dentro de la literatura sobre ABM en Economía, aquellos que siguen o mencionan el protocolo ODD

con aquellos que no lo hacen. En primer lugar cuantificaremos el uso de estas técnicas de documentación en relación con otras, comparando nuestra base de datos con otras que contienen información no incluida en los metadatos de Scopus. A continuación, analizamos las revistas en las que se publican artículos para ambos grupos de documentos y se realizará un análisis exhaustivo a partir de las palabras clave. Finalmente, analizaremos el corpus de conocimiento en el que se basa cada uno de los grupos de artículos y buscaremos puntos en común utilizando el análisis de co-citaciones.

6.3.1. Comparación de ODD con otros procedimientos de documentación

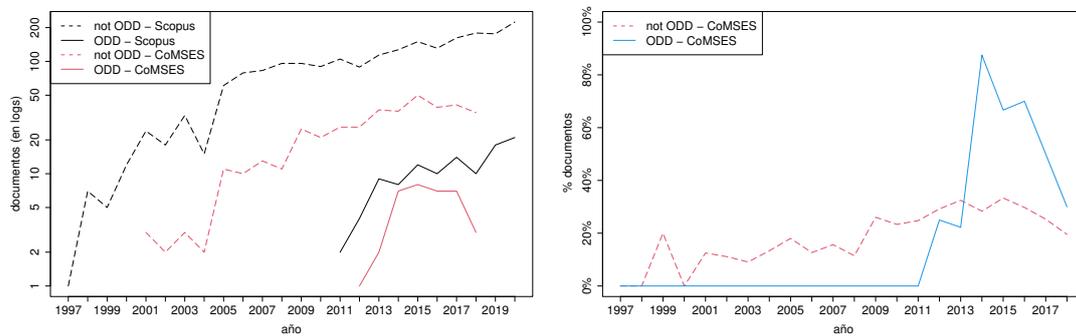


Figura 6.2: Izquierda: Evolución de la cantidad de documentos que citan artículos de *Grimm et al.* (ODD, línea continua) y aquellos que no citan *Grimm et al.* (No ODD, línea punteada). También se destaca la evolución de la intersección entre los datos de Scopus y los de [Janssen et al. \(2020\)](#), en rojo. La evolución se muestra en escala logarítmica. Derecha: Porcentaje del total de artículos que aparecen en CoMSES. Fuente: elaboración propia, a partir de datos de la base de datos Scopus y la base de datos CoMSES.

Primero, a partir en los datos, puede observarse por qué se elige tomar el protocolo ODD como referencia para la documentación de ABM en Economía. Para esta misma base de datos se buscó información sobre otros protocolos de documentación a través de diagramas, como Unified Modeling Language (UML)⁷. Se encontraron 18 resultados.

La base de datos del Catálogo CoMSES ([Janssen et al., 2020](#)), permite observar más información de los documentos recuperados ya que desde esta base de datos existe información acerca de cómo se documentan y comunican los ABM en Economía. Estos resultados se obtienen de la intersección de datos entre las bases de datos del catálogo Scopus y CoMSES.

En la Figura 6.2 (izquierda) se encuentran en términos logarítmicos el número de documentos pertenecientes a las categorías “not_ODD” y “ODD”. Como se puede apreciar en esta Figura así como en el Anexo D.1, los documentos pertenecientes a la primera de estas categorías comenzaron hace varias décadas, pero es a finales de los 90 cuando tienen un

⁷Usando la búsqueda: *TITLE-ABS-KEY (“agent-based” OR “individual-based” OR “multi-agent” OR “multiagent” OR “abm*” AND “model*” OR “simulat*” AND “econom*”) AND (REFTITLE(“UML*”) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “ECON”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “SOCI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “BUSI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “DECI”))*

crecimiento exponencial, duplicando el número de documentos nuevos cada 7 años. Los documentos de la categoría “ODD” son una proporción menor del total y aparecen mucho más tarde; es una literatura que en Economía tiene unos 10 años aproximadamente. De las principales referencias de esta literatura se puede decir que ODD surge en ese momento porque tiene una raíz en [Polhill \(2010\)](#) y [Grimm et al. \(2010\)](#), los cuales fueron publicados en 2010. Estos dos artículos son importantes porque son la primera etapa de la actualización del protocolo; también son importantes porque permiten la publicación de este protocolo en JASSS, revista relacionada con las ciencias sociales. Puede observarse que la tasa de crecimiento de este grupo de artículos es similar al grupo “not_ODD” por lo que si bien esta metodología se ha extendido en la disciplina, la proporción de artículos que la siguen se mantiene relativamente constante. Dentro de esta Figura, también observamos los artículos que aparecen tanto en la base de datos de Scopus como en la base de datos CoMSES. El número de artículos está aumentando hasta 2018, donde cae el número de artículos nuevos. Podemos ver que la tasa de crecimiento de estos documentos es superior a los anteriores, por lo cual en la Figura 6.2 (derecha) aumenta el porcentaje de documentos en la base de datos de Scopus con información en CoMSES. En el caso de la literatura “not_ODD”, encontramos información para el 12,5 % de los documentos del año 2001, mientras que accedimos a información para el 29,7 % de los artículos de 2016. La proporción de artículos pertenecientes a la categoría “ODD” que se encuentran en la base de datos de CoMSES es mucho mayor, alcanzando niveles superiores al 80 %. Por tanto, la base de datos CoMSES tiene información más completa sobre los documentos y modelos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#).

	Info	ODD	not_ODD	total
(a)	Base de datos Scopus	117	2159	2276
(b)	Base de datos Scopus (hasta 2018)	69	1677	1746
(c)	Base de datos Janssen et al. (2020) (hasta 2018)	35	392	427
(d)	% Janssen et al. (2020) en el total	50.7 %	23.4 %	24.5 %
(e)	Código del modelo disponible	25,7 %	9,7 %	11,0 %
(f)	Documentación (Diagramas de flujo)	71,4 %	31,1 %	34,4 %
(g)	Documentación (Descripción matemática)	54,3 %	64,0 %	63,2 %
(h)	Documentación (ODD)	71,4 %	2,3 %	8,0 %
(i)	Documentación (otros, mediante narrativas)	28,6 %	98,2 %	92,5 %
(j)	Documentación (Pseudocódigo)	11,4 %	14,0 %	13,8 %
(k)	Documentación (UML)	8,6 %	1,8 %	2,3 %

Tabla 6.1: Resumen de los resultados obtenidos en la intersección de la base de datos obtenida de Scopus y el Catálogo CoMSES ([Janssen et al., 2020](#)). Los resultados se dividen entre los artículos que citan [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) y los que no. Desde el punto (e) en adelante, porcentajes en relación al valor del punto (c). Fuente: elaboración propia, en base a datos de las bases de datos de Scopus y CoMSES.

A los efectos de observar las dos bases de datos, se comparan el número de documentos en la base de datos Scopus hasta 2018, ya que la base de datos de CoMSES tiene muchos menos elementos después de ese año. Se puede ver un resumen de la información extraída de esta comparación en la Tabla 6.1.

En primera instancia, solo el 24,5% de los artículos de la base de datos obtenida se encuentran en la base de datos de CoMSES. Se puede afirmar que por la naturaleza de esta organización, es razonable asumir que existe un sesgo en CoMSES por tener modelos más documentados en su base de datos: 50,7% de los artículos que citan [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) (“ODD” en la Tabla) se encuentran en CoMSES, mientras que solo el 23,4% de los artículos que no citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) (“not_ODD” en la Tabla) se encuentran en la base de CoMSES. Cabe aclarar aquí que debido a la forma en que se han filtrado los documentos en Scopus, no conocemos a priori la forma de documentación de los modelos utilizados. Encontramos que el 2,3% de los documentos que no citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) declaran que utilizan este protocolo para documentar sus modelos, mientras que se eleva al 71,4% entre los documentos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#).

En general, la comparación entre “ODD” y “not_ODD” muestra resultados similares a [Janssen et al. \(2020\)](#). Los documentos catalogados como literatura ODD tienen más probabilidades de presentar el código fuente (25,7% vs 9,7%), así como un mayor uso de diagramas de flujo (71,4% vs 31,1%) y diagramas UML (8,6% vs 1,8%). Aunque estos diagramas se recomiendan en [Grimm et al. \(2006\)](#), ya no se recomiendan en [Grimm et al. \(2010\)](#), ya que como se indica en [Grimm et al. \(2013\)](#), estos diagramas no ofrecen descripciones de las variables y también están orientados a Diseño Orientado a Objetos (OOD), mientras que muchos lenguajes de programación en ciencias sociales son declarativos. A diferencia de [Janssen et al. \(2020\)](#), se encuentra que los documentos catalogados como “not_ODD” publican más el pseudocódigo, pero esto se compensa con una menor publicación del código fuente.

Es importante saber a partir de estos datos, de qué manera se documentan los ABM en economía que no siguen el protocolo ODD. De los datos se desprende que el 64% de los documentos utiliza descripciones matemáticas (ecuaciones) y el 98,2% utiliza descripciones basadas en texto.

En resumen, según las búsquedas de Scopus y la intersección con el catálogo CoMSES, el protocolo ODD es el más utilizado entre los métodos de documentación sistemática de ABM. De la evidencia anterior se puede apreciar que el uso de este protocolo va acompañado de otras prácticas que permiten una mejor comunicación de los modelos, como la disponibilidad del código fuente o el uso de diagramas de flujo y diagramas UML.

6.3.2. Análisis de las revistas académicas en Economía

Un aspecto relevante para analizar la difusión del conocimiento es su distribución dentro de las publicaciones científicas. Esto permitirá saber si existen revistas especializadas en el tema, si estos desarrollos se concentran solo en revistas especializadas en unos pocos temas o si, por el contrario, las revistas donde se publican contribuyen a la difusión. De la Tabla [6.2](#) se desprende que JASSS es la revista con más publicaciones dentro de los criterios de búsqueda - considerando las 77 fuentes revisadas, ver Anexo [D.1](#) -, aún teniendo en cuenta

que ninguno de estos artículos de *Grimm et al.* fue publicado en esta revista⁸. Dentro de las diez revistas con más publicaciones, existen revistas académicas relacionadas con simulaciones o temas relacionados con el análisis ecológico o ambiental.

Bradford (1934) ha investigado las fuentes de los artículos publicados en el campo de la geofísica y ha categorizado las revistas en tres Zonas, organizando revistas en orden descendente: cada zona tiene una cantidad casi igual de documentos. La ley de Bradford establece que la relación sigue una progresión geométrica: n, n^2, n^3 , donde n es el número de revistas académicas en la Zona 1. Bradford llamó a la primera zona el “núcleo” de revistas dedicadas al tema. Esta métrica es utilizada para reconocer las principales fuentes dentro de cada uno de los grupos de artículos, ver las diferencias entre quienes siguen el Protocolo ODD y quienes no, y discutir las características de las revistas académicas que forman parte del núcleo. Con base en los resultados, se discute sobre la relevancia de estas revistas dentro de la literatura económica, así como la difusión del conocimiento en diferentes revistas académicas.

En la base de datos de artículos que citan a *Grimm et al.* (2006, 2010), el “núcleo” del tema consta de 7 revistas, la zona 2 consta de 32 revistas y la zona 3 consta de 38 revistas (ver Anexo D.2). Se puede observar que en la Zona 1, el 9% de las revistas concentra un tercio de los artículos y el 31,78% de las citas. La zona 2 contiene el 41,56% de las revistas y el 40,32% de las citas. Finalmente, la Zona 3 contiene el 49,35% de las revistas y el 27,9% de las citas. Como se puede ver en la Tabla 6.2, 19 artículos fueron publicados en JASSS (16% de los artículos seleccionados), así como estos artículos recibieron 108 (10,2%) del total de 1054 citas recibidas.

	Revistas académicas	Arts.	Cit.	Bradford
1	JASSS	19	108	Zone 1
2	Ecological Economics	6	83	Zone 1
3	Computational and Mathematical Organization Theory	3	22	Zone 1
4	Computers, Environment and Urban Systems	3	58	Zone 1
5	Journal of Land Use Science	3	30	Zone 1
6	Proceedings - MODSIM 2013	3	2	Zone 1
7	Resources, Conservation and Recycling	3	32	Zone 1
8	Sustainability	3	6	Zone 2
9	European Journal of Operational Research	2	49	Zone 2
10	Forest Policy and Economics	2	26	Zone 2

Tabla 6.2: Fuentes más relevantes para la base de datos ODD, medidas por el número de artículos publicados, número total de citas y clasificación de Bradford. En negrita, fuentes que también se encuentran entre las más importantes en la base de datos not_ODD.

Debe tomarse en cuenta que en la base de datos de artículos que no citan a *Grimm et al.* (2006, 2010) (ver Anexo D.2), encontramos que 3,28% de las 885 fuentes contienen un tercio de los artículos y el 43,82% de las citas. Como podemos ver en la Tabla 6.3 y como en el caso anterior, JASSS es la revista con mayor número de artículos (86, 3,98% del total) y recibió 1975 citas (5,93% de la total). Considerando sólo los artículos seleccionados, Journal of Economic Dynamics and Control es la revista con más citas.

⁸Ambos artículos fueron publicados en *Ecological Modeling*.

Otra diferencia que se puede observar está en la dispersión de los documentos entre distintas fuentes: los artículos que citan el Protocolo ODD son 117 en 77 fuentes, mientras que los que no citan el Protocolo ODD son 2.159 artículos en 885 fuentes. Por lo que observamos dos fenómenos. Por un lado, la literatura que cita el protocolo ODD en Economía no se concentra en unas pocas revistas: su núcleo contiene el 9 % de las revistas -vs 3,28 % - y en promedio, hay 1,5 artículos por revista -vs 2,4 -. Por otro lado, una revista (JASSS) concentra el 16 % de los artículos que citan el protocolo ODD, mientras que casi el 4 % de los artículos que no siguen este protocolo de documentación se publican allí. Por lo tanto, con la excepción de JASSS, los artículos que siguen el Protocolo ODD están relativamente más dispersos.

En este apartado, se resaltan las diferencias entre las revistas de la Tabla 6.2 y la Tabla 6.3. En negrita, se destacan aquellas revistas que aparecen en el top 10 de ambas listas. En los tres casos, son revistas multidisciplinares, de mayor alcance. Sin embargo, en la lista de la Tabla 6.3 se observan revistas más específicas sobre Economía que en la Tabla 6.2. Este hecho permite comprobar que los artículos que citan a Grimm et al. (2006, 2010) se publican mayoritariamente en revistas más alejadas del núcleo de la Economía, con un enfoque multidisciplinario.

	Revistas académicas	Arts.	Cit.	Bradford
1	JASSS	86	1975	Zone 1
2	Computational Economics	66	1048	Zone 1
3	Journal of Economic Dynamics and Control	45	2046	Zone 1
4	Journal of Economic Interaction and Coordination	45	277	Zone 1
5	Journal of Cleaner Production	39	461	Zone 1
6	Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems	39	103	Zone 1
7	Journal of Evolutionary Economics	38	661	Zone 1
8	Journal of Economic Behavior and Organization	35	758	Zone 1
9	Ecological Economics	31	1152	Zone 1
10	Sustainability	29	291	Zone 1

Tabla 6.3: Fuentes más relevantes para los artículos de ABM en Economía que no citan a Grimm et al. (2006, 2010), medido por el número de artículos publicados, el número total de citas y la clasificación de Bradford. En negrita, fuentes que también se encuentran entre las más importantes en la base de datos ODD.

6.3.3. Análisis de palabras clave

En esta sección se analizan los temas más utilizados y cómo se relacionan entre sí. Dentro de las palabras clave, Scopus tiene dos series de datos: las palabras clave seleccionadas por los autores (palabras clave del autor o *Author keywords*) y las palabras clave asignadas por las editoriales (*Indexed keywords*). En esta sección se introducen las estadísticas descriptivas de las palabras clave utilizadas por los autores y los vínculos entre las palabras clave mediante el análisis de co-ocurrencias.

De los resultados de la Tabla 6.4 se encuentra que, en general, los conceptos principales se repiten en ambos grupos de artículos (los conceptos repetidos ese encuentran en negrita). Conceptos como *modelo basado en agentes*, *simulación* o *economía computacional* se

determinaron a partir de la búsqueda bibliométrica, pero otros resultados como *racionalidad*, *toma de decisiones* o *cambio climático* aunque no se encuentran en los criterios de búsqueda, figuran en ambas listas. Estos resultados permiten suponer que el tratamiento de los problemas relacionados con el cambio climático, así como el comportamiento de los individuos, se encuentra de forma generalizada en la literatura de ABM en economía.

Por otro lado, existen diferencias entre ambos grupos de palabras clave. Entre los artículos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#), contienen, entre otras, las palabras clave *uso del suelo*, *validación* y *análisis de escenarios*. La primera de estas palabras clave está vinculada a uno de los primeros temas de Economía donde se comenzó a utilizar el Protocolo ODD ([Polhill et al., 2008](#)), mientras que las otras están vinculadas al análisis empírico de los ABM. Por lo tanto, para estos artículos existe una mayor vocación por documentar la parte empírica de la investigación, buscando su replicación. Las palabras clave que solo aparecen en artículos que no citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) se vinculan con algunos de los temas más estudiados por los ABM de Economía, como *economía evolutiva* o *innovación*. Las técnicas de *análisis de redes* se utilizan partiendo del supuesto de que la economía se puede representar como una red. De ambos conjuntos de palabras clave se concluye que algunos de los temas más estudiados por las corrientes dominantes en economía, como *política monetaria*, *desigualdad*, *finanzas* o *deficits*, no se encuentran entre los temas más importantes de ABM de Economía. En cambio, temas como *uso del suelo*, *innovación* o *cambio climático* se estudian más en esta literatura.

	Author Keywords (ODD)	Arts.	Author Keywords (not_ODD)	Arts.
1	agent-based model	67	agent-based model	611
2	simulation	15	simulation	204
3	computational economics	10	multi-agent system	119
4	rationality / decision making	6	computational economics	74
5	land use change	6	complex systems	59
6	validation / scenario analysis	6	learning / evolutionary economics	53
7	climate change / emissions	6	climate change / sustainability	51
8	market simulation	4	rationality / decision making	45
9	heterogeneity	4	innovation	42
10	multi-agent systems	3	network analysis	41

Tabla 6.4: Palabras clave de los autores (*Author keywords*) más relevantes. A la izquierda, las palabras clave más utilizadas por los documentos que citan [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#). A la derecha, las palabras clave asociadas a los documentos que no citan estos artículos. En negrita, palabras clave que se repiten en ambas bases de datos.

Finalmente, se introduce un análisis de co-ocurrencia de palabras clave: dos palabras clave estarán más cerca cuantas más veces aparezcan juntas en los documentos seleccionados. Los clústeres se calcularon a partir del algoritmo de Louvain ([Blondel et al., 2008](#)). Para este análisis, la Figura 6.3 (derecha) muestra la red formada a partir del grupo de documentos que no citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#). Se observan dos grupos: por un lado el grupo principal en azul, que contiene los conceptos básicos en ABM y Economía; por otro lado, en rojo se encuentran algunas herramientas cercanas a ABM como *modelos matemáticos* o *teoría de juegos* y conceptos como *costos*, *economía industrial* y *inteligencia*.

En cambio, en la red de co-ocurrencias de palabras clave de los artículos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) - Figura 6.3 (izquierda) -, se observa que hay tres grupos definidos a partir del algoritmo de Louvain, donde el grupo en rojo se relaciona con la política económica, el grupo en azul se relaciona con resultados empíricos y el grupo verde se refiere a la sostenibilidad y también tiene varios conceptos relacionados con el individualismo y la simulación en este tipo de modelos.

Luego de estimar estas redes, se pueden discutir algunas de sus características. En particular, si las palabras clave tienen conexiones con palabras clave de otros grupos o, por el contrario, se pueden encontrar agrupaciones de palabras clave estrechamente vinculadas entre sí y con pocos enlaces al resto de palabras clave. En este último caso, se puede suponer que existen grupos de artículos que hacen referencia a los mismos temas y separados del resto de tópicos estudiados por los demás artículos. Este fenómeno se puede medir a través de la modularidad de la red, que en [Newman \(2006\)](#) se define como una medida que considera el número de conexiones dentro de un grupo, penalizadas por las conexiones entre grupos. Es una medida entre -1 y 1, donde valores más altos implican grupos mejor definidos y un valor igual a cero implica que no existen diferencias con respecto a una red aleatoria.

Para la red completa de palabras clave extraídas de artículos que no citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#), la modularidad es 0,442, mientras que en el caso de los artículos que citan esta literatura, la modularidad es 0,574. Esta diferencia también se observa cuando se mide para redes con el mismo número de componentes - por ejemplo, en el caso de Figuras 6.3 (izquierda) y (derecha) con 30 nodos, la modularidad es 0,144 y 0,014 respectivamente -. Por lo tanto, no solo se observan más grupos, sino que estos grupos están mejor definidos en los artículos que citan el Protocolo ODD. Esto significa que los tres grupos encontrados en la red de ODD hacen referencia a tres tipos de artículos que, por sus características, tienen pocas conexiones entre ellos: hay una presencia significativa de artículos metodológicos en esta literatura que no están vinculados a aplicaciones económicas, mientras que hay escasos vínculos entre aplicaciones de política económica y énfasis en el tratamiento del individualismo metodológico. Por otro lado, en los artículos que no siguen este protocolo, a partir de los datos se puede establecer que la separación entre grupos es más difusa.

Otra forma de comparar ambas redes es a través de la densidad de la red. Esto se encuentra relacionado con lo anterior ya que se observa el número de conexiones que tiene cada palabra clave en la red. En la red de palabras clave “not_ODD” presentada en la Figura 6.3 (derecha) la densidad es 91,9%, mientras que para la red de palabras clave “ODD” en la Figura 6.3 (izquierda) la densidad es 56,3%. Esto significa que si se observa solo el subconjunto de las 30 palabras clave más utilizadas, para los artículos “not_ODD” se encuentran las palabras clave que son los conceptos fundamentales, utilizados de forma transversal en toda la disciplina, a diferencia de los artículos “ODD” que contienen palabras clave específicas para ciertas subdisciplinas. Los resultados cambian al considerar la red completa: la densidad de la red de palabras clave que surge de los artículos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) es de 3,6% mientras que la red “not_ODD” tiene una densidad de 0,5%.

Ambos grupos	Grupo ODD	Grupo non-ODD
Axelrod (1997)	An (2012)	Arthur (1989)
Bonabeau (2002)	Berger (2001)	Axelrod (1984)
Epstein and Axtell (1996)	Delli Gatti et al. (2011)	Cincotti et al. (2010)
Farmer and Foley (2009)	Gilbert (2008)	Dosi et al. (2010)
Kirman (1992)	Grimm et al. (2006)	Dosi et al. (2013)
Tesfatsion (2006)	Grimm et al. (2010)	Dosi et al. (2015)
Tesfatsion and Judd (2006)	Holland and Miller (1991)	Fagiolo and Roventini (2017)
	Matthews et al. (2007)	Keynes (1936)
	Mitchell (2009)	LeBaron and Tesfatsion (2008)
	Parker et al. (2003)	Nelson and Winter (1982)
	Schelling (1971)	Schelling (1978)
	Wilensky (1999)	Simon (1955a)
	Windrum et al. (2007)	Tesfatsion (2002)

Tabla 6.5: Los 20 artículos más importantes, extraídos de redes de co-citación. Aquí se observan los grupos de artículos que aparecen en ambas redes y aquellos artículos que aparecen solo en una de las redes de co-citación. Fuente: elaboración propia, a partir de la base de datos Scopus.

Relacionado con estas métricas está el coeficiente de agrupamiento o transitividad de la red, que evalúa la probabilidad de que dos objetos adyacentes a un nodo estén conectados. Se encuentra que para diferentes tamaños de redes, la transitividad de la red es relativamente alta en comparación con una red aleatoria (en el caso de la red completa, es 0,36 para la red de artículos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) mientras que es 0,12 para aquellos que no siguen esta literatura). El caso de la literatura que sigue el protocolo ODD tiene resultados alineados con los anteriores, ya que para diferentes tamaños de red, ésta se encuentra altamente clusterizada.

6.3.4. Análisis de co-citación: referencias relevantes en ambas literaturas

En la Figura 6.4, el análisis de co-citación se realiza para ambos grupos de artículos, donde dos artículos tienen un vínculo más fuerte si son citados al mismo tiempo por muchos otros artículos. Se utilizó el algoritmo de agrupación en clústeres de Girvan-Newman ([Girvan and Newman, 2002](#)) para calcular los clústeres. Este algoritmo es especialmente útil porque elimina iterativamente los caminos más cortos en la red, lo que permite la agrupación relacionada con la transmisión de información en la red.

Después de realizar la red de co-citaciones para los dos grupos de artículos y teniendo en cuenta los 20 artículos más importantes, se observa que solo se repiten 7 artículos en ambos grupos⁹, como se puede ver en la Tabla 6.5. Estos artículos forman una base histórica y metodológica para los desarrollos en ABM en Economía y Economía de la Complejidad.

Por otra parte, pueden apreciarse diferencias entre ambos grupos de artículos. El grupo de artículos que citan a los precursores del protocolo ODD tiene referencias a desarrollos

⁹La lista de los 20 artículos más influyentes y las métricas utilizadas se encuentran en el Anexo D.3.

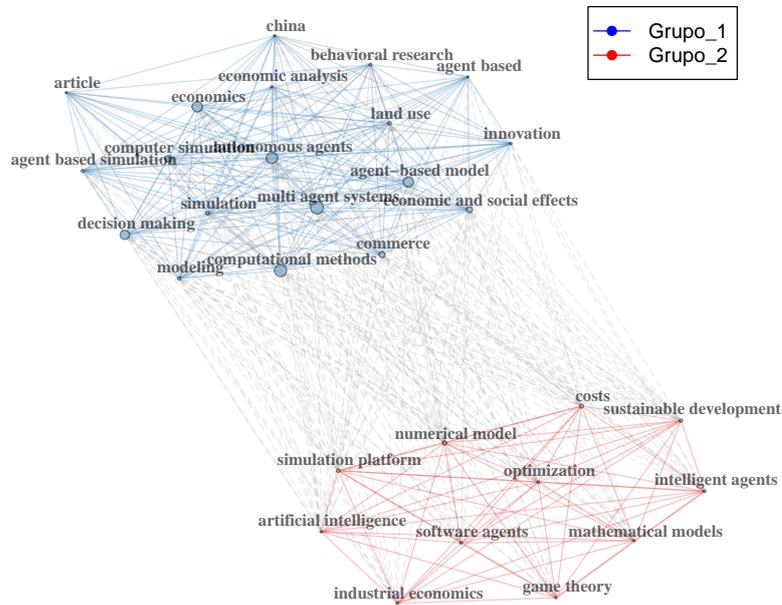
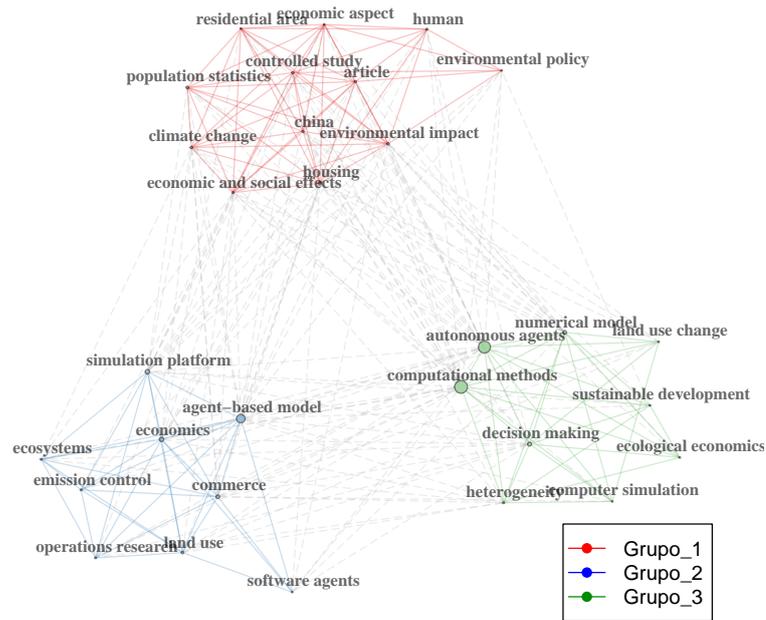


Figura 6.3: Co-ocurrencia de palabras clave, con las 30 palabras clave más utilizadas. Los clústeres se calcularon a partir del algoritmo de Louvain (Blondel et al., 2008). Arriba: Red de palabras de los artículos que citan a Grimm et al. (2006, 2010). Abajo: Red generada a partir de artículos que no citan a Grimm et al. (2006, 2010). Fuente: elaboración propia, a partir de la base de datos de Scopus.

empíricos y metodologías para analizar series de datos, como [Windrum et al. \(2007\)](#). Asimismo, uno de los artículos más citados es una referencia a un lenguaje y entorno de programación como Netlogo ([Wilensky, 1999](#)). [Delli Gatti et al. \(2011\)](#) es el único artículo de macroeconomía en esta lista, a diferencia del otro grupo.

El grupo que no cita a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) muestra que los artículos más relevantes son desarrollos teóricos y modelos importantes dentro del ABM macroeconómico¹⁰, como “modelo K + S” ([Dosi et al., 2010](#)) y “modelo EURACE” ([Cincotti et al., 2010](#)). Estos desarrollos están fuertemente relacionados con las teorías keynesiana y evolutiva, como puede verse en las referencias a [Keynes \(1936\)](#) y [Nelson and Winter \(1982\)](#) respectivamente. Una de las premisas en las que se basa este enfoque es la racionalidad acotada de los individuos, que aparece en esta red a partir del trabajo pionero de [Simon \(1955a\)](#).

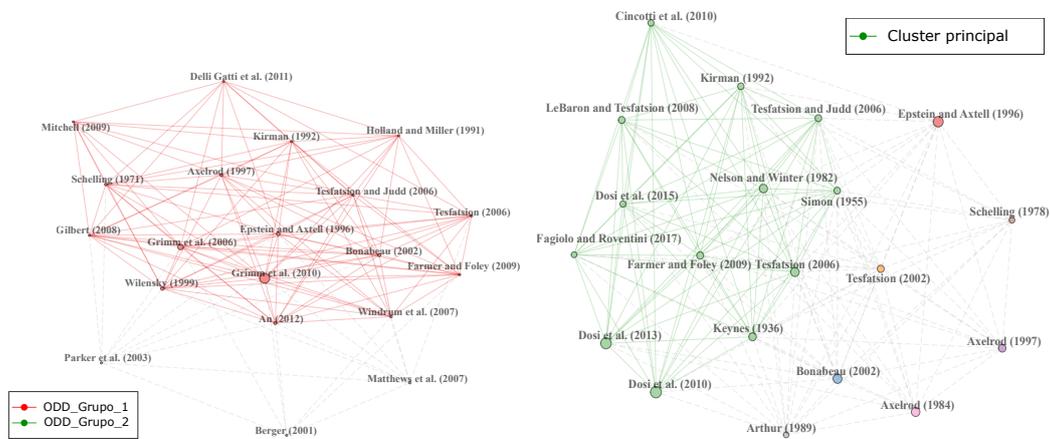


Figura 6.4: Redes de co-citaciones a partir de búsquedas bibliométricas. Los clústeres se calcularon a partir del algoritmo de Louvain ([Blondel et al., 2008](#)). Izquierda: Red de co-citaciones (ODD). Derecha: Red de co-citaciones (not_ODD)

Analizando la red de co-citación formada a partir de los artículos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) (Figura 6.4, izquierda), se pueden observar dos grupos. Por una parte, hay un grupo que contiene los artículos más importantes y generales - en rojo -, mientras que el otro grupo hace referencia a los modelos relacionados con el uso del suelo y la agricultura - en verde -. Al observar la red de co-citaciones formada a partir de los artículos que no citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) (Figura 6.4, derecha), es importante notar que además de las diferencias en los artículos, la estructura de la red de co-citaciones es diferente. Se encuentra que el grupo principal -en verde- está formado por artículos específicos de Economía, mientras que fuera del grupo principal hay una serie de artículos no específicos de Economía pero que enmarcan esta disciplina dentro del análisis de las interacciones sociales. Estos nodos están a una distancia entre sí que no forman un solo grupo, sino que están separados.

¹⁰En el Capítulo 7 se realiza una revisión de ABM en macroeconomía, profundizando en los tópicos abordados por esta literatura.

Si se tienen en cuenta las métricas de red, se observa que en ambos casos son redes muy densas - en ambos casos, superiores al 70 % - pero la modularidad de ambas redes con 20 nodos es cercana a cero (0,0097 y 0,014 respectivamente) . Esto ocurre porque, en general, los 20 artículos más citados dentro de los dos grupos de artículos no son específicos de una sub-disciplina (excepto [Parker et al. \(2003\)](#); [Berger \(2001\)](#); [Matthews et al. \(2007\)](#) que tienen pocos vínculos con el resto de la disciplina). Esto hace que las divisiones entre grupos sean más difusas.

Por otro lado, al calcular la modularidad para redes con mayor número de artículos (ver Tabla 6.6), se observa que la modularidad aumenta a 0.298 para la red formada a partir de los artículos que citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) y toma un valor de 0,07 al tomar en cuenta al resto de artículos.

Esto significa que las líneas de investigación que utilizan el Protocolo ODD tienen menos puntos de contacto con otras pero tienen un mayor número de conexiones con artículos que siguen las mismas líneas de investigación, lo que también se observa si tenemos en cuenta la transitividad de las redes -que fluctúa entre 0,63 y 0,85, lo que implica una probabilidad muy alta de formar tríadas, incluso cuando la densidad de la red disminuye a medida que aumenta el número de nodos (ver Tabla 6.6). Por un lado, esta mayor transitividad explica la diversidad de temas en los que se utiliza el Protocolo ODD. Por otro lado, estas sub-disciplinas no tienen muchas referencias en común, pero dentro de cada sub-disciplina, las referencias básicas están claramente definidas, en mayor medida que en la red formada por artículos que no utilizan el protocolo ODD.

nodos	Modularidad		Densidad		Transitividad	
	ODD	not_ODD	ODD	not_ODD	ODD	not_ODD
10	0.00	0.00	0.84	0.87	0.85	0.87
20	0.01	0.01	0.70	0.84	0.75	0.87
30	0.02	0.00	0.61	0.80	0.69	0.83
40	0.09	0.03	0.54	0.78	0.66	0.82
50	0.10	0.04	0.48	0.72	0.65	0.78
60	0.17	0.03	0.45	0.67	0.63	0.74
70	0.26	0.01	0.42	0.64	0.66	0.72
80	0.34	0.06	0.42	0.62	0.73	0.71
90	0.33	0.06	0.43	0.61	0.80	0.71
100	0.30	0.07	0.45	0.59	0.85	0.70

Tabla 6.6: Medidas de centralidad de redes de co-citación *ODD* y *not_ODD* generadas a partir de diferente número de nodos, entre 20 y 100. Fuente: elaboración propia, a partir de base de datos Scopus.

6.4. Conclusiones

A partir de esta revisión, se ha estudiado la situación actual sobre la documentación de ABM en Economía. Este capítulo ofrece una visión innovadora del vínculo entre los ABM en Economía y las formas de documentación de modelos, combinando una de las bases de datos

bibliográficas más importantes con la base de datos sobre ABM más extensa. Del análisis realizado con información de diferentes fuentes se obtienen conclusiones importantes. En resumen, el desarrollo del protocolo ODD en ABM en Economía tiene tres características: crecimiento lento en los últimos 10 años, uso en programas de investigación heterodoxos y mejor difusión intragrupo.

En primer lugar, a partir de trabajos previos y las múltiples fuentes de información consultadas, se observa que no existe una forma estándar de procesar y presentar la información en los modelos basados en agentes. El protocolo ODD, que es impulsado por varios grupos¹¹ es una de las herramientas específicas para ABM más utilizadas para documentar modelos. Se utilizan otros instrumentos, como diagramas de flujo o ecuaciones, pero la documentación a través de ODD permite ordenar la información de forma clara y precisa. Sin embargo, encontramos que solo el 8% de los artículos siguen este protocolo, mientras que el porcentaje que comparte el pseudocódigo o el código fuente o presenta diagramas de flujo es mayor. También se encuentra que en comparación con otras metodologías, como UML, la adopción de ODD ha sido mayor. Cabe destacar que si bien la adopción de esta técnica de documentación está creciendo, su participación dentro del total de artículos con ABM en Economía se ha mantenido estable.

Entonces se puede argumentar si este problema ocurre solo en Economía o es un problema general en el uso de ABM. Como mencionan [Collins et al. \(2015\)](#), parte del problema de la falta de un estándar en el modelado puede deberse al hecho de la falta de una definición común de ABM y su confusión con otros conceptos como la simulación de eventos discretos, el modelado multi-agentes o simulación. [Janssen et al. \(2020\)](#) también presenta algunos problemas en la documentación del modelo, que asumen que se originan por la falta de hábitos a favor del intercambio de información entre investigadores. Por tanto, existen dos posibles problemas para la aplicación de un estándar: por un lado, no hay acuerdo sobre la naturaleza diferencial de los ABM, por lo que no se considera necesaria una nueva forma de representación del modelo; por otro lado, no existe una cultura ni incentivos a favor de compartir una mayor cantidad de información sobre los ABM.

Por estos motivos, es importante conocer las implicaciones de los ABM en términos de comportamiento agregado y los procesos emergentes resultantes, además de conocer los modelos en función de las características de los agentes individuales. La documentación debe tener en cuenta este detalle; una documentación que solo integra las descripciones a nivel de los individuos y sus interacciones necesitará más información para poder ser replicada, como lo observa [Hauke et al. \(2020\)](#).

En cuanto a las revistas académicas donde se publican estos artículos, se destaca que tanto en número de artículos como en su impacto, JASSS es la revista con mayor presencia en el tema. Luego, las revistas que se encuentran en ambos grupos de artículos tienen un alcance multidisciplinario y aparecen temas que están vinculados a la problemática ambiental. Sin embargo, existen diferencias importantes: nuestros resultados indican que los autores que

¹¹Por ejemplo, <https://www.comses.net/resources/standards/>

citan el protocolo ODD no publican en otras revistas importantes específicas de Economía. De este análisis se advierte que estas formas de documentación de modelos no han sido suficientemente difundidas dentro de la disciplina.

En nuestro estudio de palabras clave observamos que en general los temas principales coinciden, aunque existen ciertas distinciones entre los dos grupos de documentos. Estas diferencias existen porque el protocolo ODD solo se ha difundido en algunas áreas de la disciplina, particularmente en uso del suelo y temas ecológicos / medioambientales, por lo que están sobrerrepresentados en estos temas. Esto, relacionado con las principales revistas, permite verificar que, más allá de las diferencias en la forma en que se documentan los ABM, existen importantes diferencias entre quienes citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#) y quienes no lo hacen.

Con base en estos resultados, se encuentra que la adopción del protocolo descrito no ha aumentado significativamente en los últimos años. Sin embargo, se debe considerar si es aplicable una forma de documentación que proviene de otras disciplinas o si, en cambio, la economía debe tener sus formas de documentación. Las ciencias sociales y en particular las ciencias económicas, pueden entenderse a partir de su desarrollo histórico, los avances en técnicas y metodologías y las diferentes crisis económicas que han determinado cambios en las disciplinas (ver [Kirman \(2010\)](#); [Colander et al. \(2010\)](#)). Los cambios en esta disciplina en relación con otras pueden ocurrir de diferentes maneras, como relaciones interdisciplinarias o multidisciplinarias, como se define en [Davis \(2019\)](#). Por lo tanto, la adopción de formas de documentación específicas de ABM y que surgen en otras disciplinas puede tener dos alternativas: que se produzca mediante la importación de técnicas de otras ciencias, una forma de “imperialismo económico” como lo menciona [Lazear \(2000\)](#). - o en cambio, del surgimiento de programas de investigación multidisciplinarios con retroalimentación de diferentes ciencias. En este sentido, se observa que la “introducción” del Protocolo ODD en Economía no ha ocurrido a través de un intercambio interdisciplinario, sino que se ha establecido en los límites de la economía con fuertes vínculos multidisciplinarios.

A partir de estos resultados y situando el análisis en términos de las relaciones entre los diferentes campos del conocimiento, puede responderse a la pregunta planteada en el párrafo anterior. Los diferentes programas de investigación que surgen de la interacción entre la economía y otras ciencias adquieren formas específicas de documentación, para una comunicación más eficiente. Este desarrollo explica la participación relativamente baja de otras formas de documentación aplicada en otras ciencias y también explica la razón de su uso en ciertas sub-disciplinas.

Como corolario de estos resultados, se puede observar que la descripción de los ABM en Economía se acompaña mayoritariamente de narrativas y ecuaciones, es decir, sin mayores modificaciones con respecto a generaciones anteriores de modelos, también denominados modelos basados en ecuaciones. Sin embargo, como mencionan [Parunak et al. \(1998\)](#) y [Cecconi et al. \(2010\)](#), existen importantes diferencias entre los dos tipos de modelos, tanto en el tipo de relaciones entre entidades como en el nivel en el que se modelan estas relaciones.

[Bankes et al. \(2002\)](#), a su vez, destaca las propiedades de los modelos y simulaciones basados en agentes para extraer información dinámica sobre el conjunto de conceptos y suposiciones dentro de los modelos.

Entonces, el número de sistemas e individuos que interactúan en ABM hace que otras técnicas sean necesarias para su mejor comprensión; el siguiente paso consiste en el uso de procesos que permitan una adecuada documentación de los individuos, sus procesos individuales y grupales y los procesos emergentes del sistema.

Capítulo 7

Revisión de tópicos de ABM en macroeconomía

En estas últimas décadas se ha intensificado el análisis de los problemas económicos y de los diferentes sectores de la economía a través de modelos basados en agentes (ABM). Esto es especialmente relevante para la macroeconomía, ya que estas metodologías permiten analizar los fenómenos macroeconómicos a partir de las acciones y la interacción entre individuos. En este capítulo se muestra un análisis bibliométrico de los ABM en macroeconomía (en adelante, MABM) a partir de la información recabada en las bases de datos de Web of Science (WoS) y Scopus.

Los resultados principales de este análisis bibliométrico muestran que los MABM han analizado un amplio espectro de los temas más relevantes en economía. Existe un énfasis mayor en créditos, crisis e inestabilidad financiera, explicado por las posibilidades de este tipo de implementación para simular efectos de red. En los últimos años la agenda de temas a abordar ha crecido, así como también la multidisciplinaria.

7.1. Introducción

En Economía, como reseña [Fagiolo et al. \(2019\)](#), modelizar las economías como sistemas abiertos y complejos es un enfoque relativamente reciente. Este cambio en la modelización ocurre en las últimas décadas y como mencionan [Fontana \(2010\)](#) y [Schinckus \(2021\)](#) tiene sus inicios en los desarrollos del Instituto Santa Fe. Según [Dawid and Delli Gatti \(2018\)](#) estos inicios pueden hallarse más atrás aún, en los avances de una agenda de investigación propuestos por [Simon \(1959\)](#) o en los primeros modelos basados en simulaciones, tales como [Bergmann \(1974\)](#); [Nelson and Winter \(1974\)](#).

Las características de este tipo de modelos (heterogeneidad, no-equilibrio, dinámicas no lineales) los hacen más deseables para ser utilizados en la descripción y en los análisis de políticas. De acuerdo a [Fagiolo and Roventini \(2017\)](#), estos modelos son más apropiados para

la macroeconomía debido a la flexibilidad en el modelado, las posibilidades de validación empírica y experimentación así como también la posibilidad de generar modelos más realistas para el análisis de políticas.

Sin embargo, las corrientes dominantes en macroeconomía hacen un uso extensivo de los modelos dinámicos -estocásticos- de equilibrio general (DSGE), los cuales pueden no ser los más adecuados para comprender el comportamiento agregado de los agentes (Kirman, 1992). La atención reciente hacia este tipo de modelos, según reseñan Cincotti et al. (2010); Dawid and Delli Gatti (2018); Dilaver et al. (2018) creció luego de la Gran Recesión en Estados Unidos y Europa, ya que los modelos DSGE no lograban captar las grandes fluctuaciones ni los cambios de régimen que aparecen habitualmente en las crisis, ni tampoco captan las formas de coordinación y difusión del conocimiento en la economía. Estas diferencias entre los DSGE y los MABM pueden resumirse, siguiendo a Dilaver et al. (2018) en las dicotomías entre equilibrio general y desequilibrio, shocks exógenos y dinámicas complejas y finalmente, expectativas racionales y racionalidad limitada.

Dentro de esta literatura se mencionan algunos modelos básicos, tales como son el modelo Keynes & Schumpeter (K+S) (Dosi et al., 2006, 2010), el modelo CATS (Delli Gatti et al., 2005, 2011) y el modelo EURACE (Cincotti et al., 2010; Dawid and Neugart, 2011). Estos modelos discuten tópicos vinculados con el *core* de la macroeconomía moderna, tales como políticas monetarias con regla de Taylor (Delli Gatti et al., 2005; Raberto et al., 2008; Salle et al., 2013), experimentos con políticas monetarias alternativas (Cincotti et al., 2010) y políticas fiscales (Russo et al., 2007; Caiani et al., 2018, 2019).

El objetivo de este capítulo consiste en identificar, organizar y analizar los tópicos más estudiados en MABM. En particular, es de interés conocer cuáles son los temas más analizados en esta literatura, comparando estos tópicos con los que aparecen en la macroeconomía tradicional. Por otra parte, se busca analizar si existe un vínculo entre la localización de los centros de investigación donde se genera el conocimiento y los tópicos analizados, así como también conocer si existe una evolución en los tópicos analizados y en qué dirección.

El resto del capítulo se organiza de la siguiente manera. En la sección 7.2, se mencionan las técnicas aplicadas y las fuentes de datos utilizadas en este estudio. En la sección 7.3 se exponen los principales resultados y en la sección 7.4 se presentan las conclusiones y se proponen posibles extensiones.

7.2. Metodología

El procedimiento de recolección de datos para este trabajo consistió en la búsqueda de documentos correspondientes a MABM en las bases de datos de *Scopus*¹ y *Web of Science Core Collection*². Para ambas bases de datos, se utilizaron los mismos criterios de búsqueda:

¹<https://www.scopus.com/>

²<https://www.webofscience.com/wos/>



Figura 7.1: Izquierda: diagrama de Venn con la distribución de los 309 documentos entre las bases de datos analizadas; Derecha: diagrama de Venn con la distribución de las fuentes de información entre las bases analizadas.

(“agent-based” OR “individual-based” OR “multi-agent” OR “multiagent” OR “abm”) AND (“model*” OR “simulat*”) AND (“econom”) AND (“macroec*”)*

donde se encontraron 258 documentos en Scopus y 216 en WoS³. Posteriormente se asociaron ambas bases para trabajar con el conjunto de documentos obtenidos tanto en Scopus como en WoS. Se obtuvieron 309 documentos, de los cuales 165 se encuentran en ambas bases de datos y 144 se encuentran en solo una de ellas (ver Figura 7.1, izquierda). Esto refleja la importancia de considerar múltiples fuentes de datos para realizar un análisis bibliométrico integral. Luego de una revisión exhaustiva, no se encontraron otros estudios que utilicen este conjunto de información para estudiar los diferentes temas analizados en MABM.

Como se observa en la Figura 7.1, tanto en los documentos como en las fuentes de información, la base de datos de Scopus es más extensa que la base de datos de WoS en este tema. Sin embargo, muchos documentos y fuentes no figuran en Scopus, pero sí en WoS Core Collection. En la Tabla 7.1 se desarrolla la cantidad y los tipos de documentos que figuran en cada una de las bases de datos.

En la Figura 7.2 se observa la evolución en el número de documentos. La base de datos se inició en 2000 y la tendencia va en aumento. La tasa de crecimiento anual es del 14%, por lo que el número de artículos se duplica cada 5 años aproximadamente. Esta tendencia se observa tanto para la base de datos combinada como para cada una de las bases de datos analizadas por separado, por lo cual no parecen existir sesgos en este sentido.

³Acceso: 8 de marzo de 2021.

	BD conjunta	Scopus	WoS
Artículos	206	172	159
Libro	9	9	
Capítulo de libro	19	16	5
Proc. & conference paper	56	43	46
Proc. & conference review	4	4	
Editorial	1		1
Erratum	2	2	
Cartas al editor	1	1	
Revisión	10	10	5
Cuestionario	1	1	
DOCUMENTOS	309	258	216
FUENTES	160	135	109

Tabla 7.1: Comparación de la cantidad y tipos de documentos que figuran en cada base de datos, de acuerdo a la búsqueda realizada.

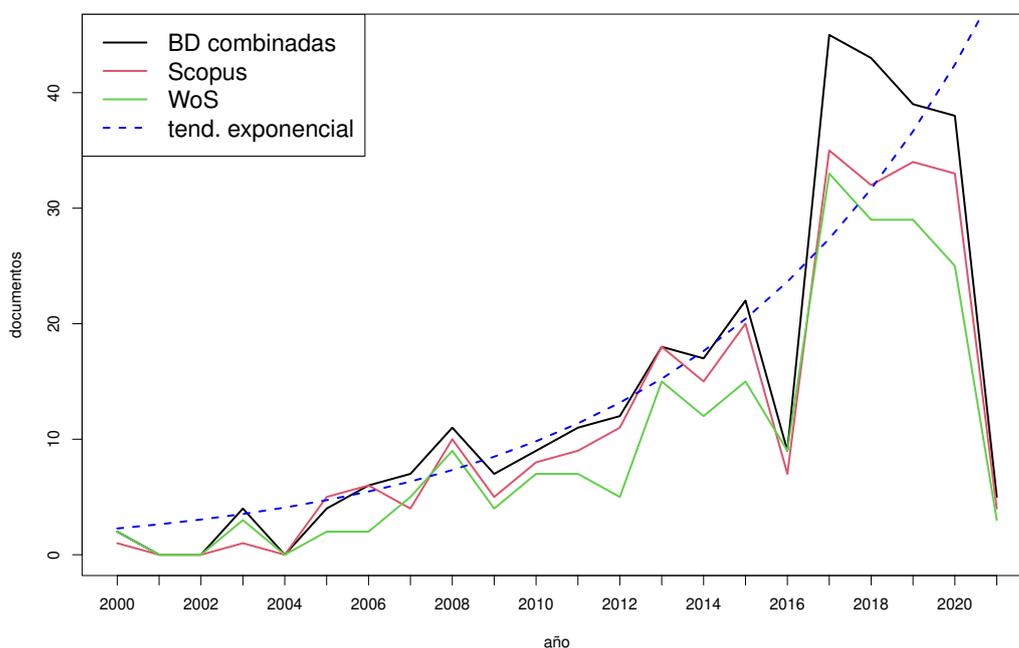


Figura 7.2: Evolución temporal de la cantidad de publicaciones.

7.3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados principales de este capítulo. Primeramente, se realiza un estudio de los tópicos más frecuentes, analizando su vínculo con otros tópicos y su evolución temporal; luego, se observa la red de colaboraciones en MABM, de la cual se extraerá información acerca de los centros de investigación más productivos, sus relaciones con el resto del sistema y una discusión respecto a la localización.

7.3.1. Análisis de palabras clave

A partir de técnicas de clustering observamos cómo se agrupan las palabras clave en los documentos recopilados. Al agrupar utilizando el algoritmo de Louvain ([Blondel et al.](#),

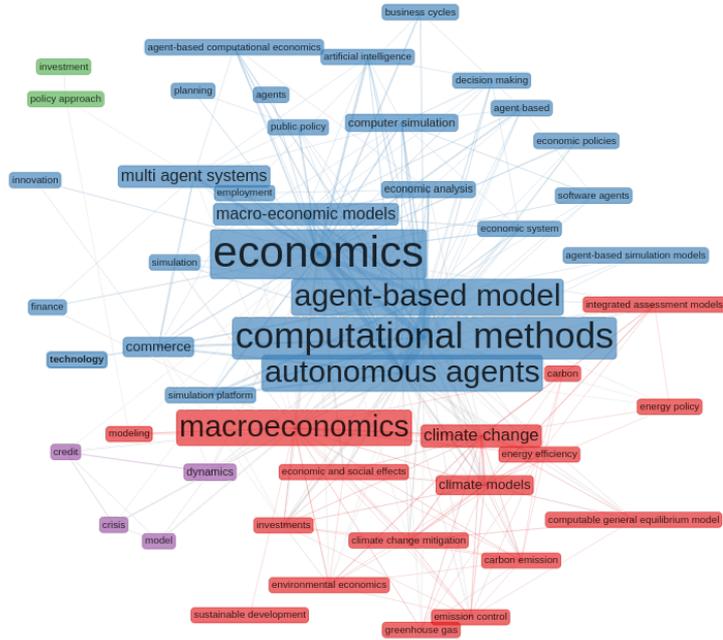


Figura 7.3: Análisis de co-ocurrencias de palabras clave, con agrupamientos a partir del algoritmo de Louvain (Blondel et al., 2008).

2008) en una red de co-ocurrencias de palabras clave (ver Figura 7.3), se aprecian grupos bien diferenciados.

Se observan algunas peculiaridades de esta red: en verde, se encuentra que las inversiones están ligadas a las políticas públicas, a la vez que está vinculado al grupo rojo únicamente a partir de la palabra clave *modeling* y está fuertemente vinculado al grupo azul. En azul se encuentran algunas de las palabras clave típicas de ABM en economía, tales como *agent-based model*, *computational methods*, así como algunos de los tópicos fundamentales, tales como *innovation*, *technology* o *finance*. En rojo hay una referencia a los artículos que vinculan la macroeconomía con temas ambientales, con tópicos tales como *climate change*, *environmental economics* o *energy policy*. En violeta, encontramos un clúster relacionado con crisis crediticias.

Si se observan los agrupamientos en un dendrograma generado a partir de un análisis de correspondencias múltiples (Le Roux and Rouanet, 2004), los resultados son similares y se exponen en la Figura 7.4. El grupo de color verde se relaciona con economía y ambiente, en azul figuran tópicos relacionados con macroeconomía (*business cycles*, *dynamics*, *credit*) y el grupo en rojo muestra palabras clave relacionadas con ABM. En las Figuras 7.3 y 7.4 se observa que la palabra “crisis” se encuentra fuertemente vinculada a “credit”, lo cual nos permite conocer cuál es el tipo de crisis que se ha analizado fundamentalmente en esta literatura.

A partir de un análisis descriptivo de las palabras clave que figuran en las bases de datos utilizadas, se muestran los resultados en la Tablas 7.2 y 7.3. En estas Tablas se

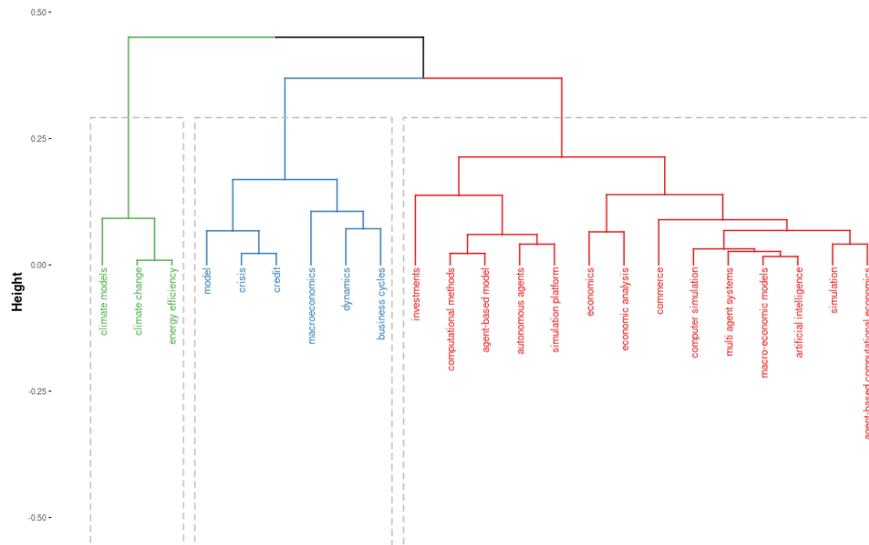


Figura 7.4: Dendrograma utilizando Análisis de Correspondencias Múltiples (Le Roux and Rouanet, 2004)

muestra la cantidad de veces que se utilizaron las palabras clave en las bases de datos de Scopus y WoS. Estas bases de datos ofrecen dos tipos de palabras clave: las palabras clave seleccionadas por los autores (*Author Keywords*, Tabla 7.2) y palabras clave ofrecidas por WoS y Scopus (*Keywords-Plus*⁴ e *Indexed keywords*⁵ de WoS y Scopus respectivamente, en Tabla 7.3). Como se analiza en Zhang et al. (2016), es indiferente utilizar una u otra base de palabras clave para conocer la estructura del conocimiento científico en diferentes disciplinas, mientras que las palabras clave seleccionadas por los autores dan más información sobre el contenido de los artículos.

Es esperable entonces que si se analizan las palabras clave de los autores en ambas bases de datos, los resultados van a ser similares. En los resultados de la Tabla 7.2 se observa que en las 15 palabras clave más utilizadas no hay grandes diferencias. Hay un predominio de la expresión *agent-based* y de la palabra clave *macroeconomics*, consistente con la búsqueda realizada. En el resto de las palabras clave tampoco hay grandes diferencias y se pueden observar los desarrollos más importantes de MABM. Estos desarrollos se encuentran en los modelos de ciclos económicos, crisis y análisis de políticas, por una parte, mientras que también son importantes la heterogeneidad, la innovación y el aprendizaje.

Dentro de las críticas a otros tipos de modelos reseñadas anteriormente, se encuentra que las generaciones anteriores de modelos no permiten la aparición endógena de crisis, efectos no lineales y cambios de régimen. Esta literatura busca investigar sobre este tipo de fenómenos, por lo cual tienen una mayor importancia dentro de los tópicos analizados.

⁴Estas palabras clave son asociadas por un algoritmo de *Clarivate Analytics* a partir de los títulos de los documentos citados por el artículo a indexar y no a partir del título del artículo a indexar. Información disponible en https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/KeyWords-Plus-generation-creation-and-changes?language=en_US.

⁵Estas palabras clave son generadas por las editoriales y se encuentran estandarizadas, basadas en diccionarios públicos. Más información en https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/21730/supporthub/scopus/.

Otras de las características de este tipo de modelos es la *heterogeneidad* de los agentes, así como la posibilidad de *interacción*, *aprendizaje* y los procesos creativos heredados de los modelos *evolutivos*.

	Author Keywords (Scopus)	Artículos	Author Keywords (WoS)	Artículos
1	agent-based model	37	agent-based model	33
2	agent-based models	22	agent-based models	21
3	macroeconomics	22	macroeconomics	20
4	agent-based modeling	18	agent-based modeling	15
5	agent-based comput. econ.	17	agent-based macroeconomics	14
6	agent-based macroeconomics	17	agent-based comput. econ.	13
7	business cycle	10	monetary policy	12
8	crisis	10	business cycle	9
9	heterogeneity	10	agent-based modelling	8
10	climate change	9	climate change	8
11	monetary policy	9	crisis	8
12	economic policy	8	economics	8
13	agent-based modelling	7	heterogeneity	7
14	agent based model	6	innovation	7
15	business fluctuations	6	learning	7

Tabla 7.2: Palabras clave seleccionadas por los autores (*Author Keywords*) más utilizadas en la literatura de referencia.

Si en cambio se observan las palabras clave *Keywords-Plus* e *Indexed keywords* de WoS y Scopus en la Tabla 7.3, pueden apreciarse diferencias sustanciales entre ambas bases de datos. En negrita, se resalta que *macroeconomics* es el único término que se repite en ambas bases de datos. Debido a la naturaleza diferente de ambas fuentes de información, estos resultados contrastan con los hallados en la Tabla 7.2. Al observar la lista con las 15 palabras clave más utilizadas se obtienen otros conceptos diferentes, que se encuentran también relacionados con los problemas macroeconómicos analizados. Algunos conceptos están vinculados a la inestabilidad y las crisis financieras, así como a problemas microeconómicos dado el carácter *mesoeconómico* del enfoque aplicado en muchos modelos (ver un desarrollo de esta idea en Foster and Potts (2009)) y las posibilidades de analizar dinámicas de red.

Un tópico que figura tanto en las palabras clave definidas por los autores (Tabla 7.2) como en las *Indexed keywords* de Scopus (Tabla 7.3, izquierda) es el cambio climático, junto con la economía ambiental y políticas energéticas. Este tópico, aunque no es central a la macroeconomía, se observa que ha sido estudiado en esta literatura.

Un punto importante consiste en determinar la evolución temporal de estos términos. Conocer esta información permitirá saber las nuevas tendencias en investigación en MABM, así como también conocer las áreas que se mantienen estables y también aquellas que han sufrido un declive relativo. En la Figura 7.5 se observa, para una muestra más grande de términos que los empleados en la Tabla 7.3, la evolución temporal de las palabras clave. Para simplificar el análisis, se agruparon algunos conceptos relacionados (por ejemplo, clima y medio ambiente) para estudiar su evolución en el tiempo. En el eje vertical se encuentran los conceptos y en el horizontal observamos la evolución temporal. Cuanto mayor sea el número de veces que aparece este concepto durante un año, mayor será

	Indexed keywords (Scopus)	Artículos	Keywords-Plus (WoS)	Artículos
1	economics	42	credit	40
2	computational methods	35	dynamics	32
3	macroeconomics	30	model	31
4	agent-based model	28	growth	26
5	autonomous agents	27	macroeconomics	24
6	macro-economic models	16	policy	22
7	climate change	14	economics	19
8	multi agent systems	12	expectations	16
9	commerce	11	market	16
10	economic analysis	11	models	16
11	computer simulation	9	monetary-policy	15
12	artificial intelligence	8	risk	13
13	climate models	8	money	12
14	agent-based comput. econ.	7	crisis	11
15	energy efficiency	7	firms	11

Tabla 7.3: Palabras clave de las bases *Indexed Keywords* y *Keywords-Plus* más utilizadas en la literatura de referencia. En negrita, las palabras clave que se repiten en ambos listados.

el tamaño del círculo correspondiente. Lo que se observa aquí es que hay una serie de conceptos que son centrales en esta literatura, asociadas a los criterios de búsqueda, tales como “(macro)economía”, “modelos basados en agentes”, “simulación / computacional” y “dinámica”. Estos conceptos aparecen durante todo el período analizado.

También hay algunos conceptos que se acercan más a MABM que a la macroeconomía tradicional, como los procesos de innovación o de toma de decisiones. Este tipo de modelado es especialmente útil para incluir este tipo de procesos, ya que permiten analizar de forma natural los procesos de innovación e integrar aspectos de comportamiento.

Luego, puede observarse cómo surgen los modelos sobre los mercados financieros antes de la gran crisis. Después de la crisis, aparecieron los temas “riesgo”, “crisis”, “crédito”, “crecimiento económico”, “(des) empleo” o “desigualdad”. Finalmente, nuevos temas multidisciplinares han ingresado en la agenda en los últimos 5 años, tales como “cambio climático”, “política energética”, “política medioambiental” o “sostenibilidad”.

7.3.2. Red de colaboración y tópicos analizados

En este apartado se representan las redes mundiales de colaboración en MABM. Este tipo de redes, como se menciona en Newman (2001), tienen propiedades de “mundo pequeño”. Entre otros aspectos, implica una distancia media relativamente pequeña, lo cual es importante para la difusión del conocimiento en las comunidades científicas.

A partir de los resultados expuestos en la Figura 7.6, se observa que los grupos de investigación y autores de mayor impacto se concentran en unos pocos países europeos, que son los nodos principales de las redes de colaboración. Italia y el Reino Unido son los nodos centrales, seguidos por España, Alemania, Rusia y Francia; para conocer la centralidad se analizó la centralidad de intermediación (Freeman, 1977), la centralidad

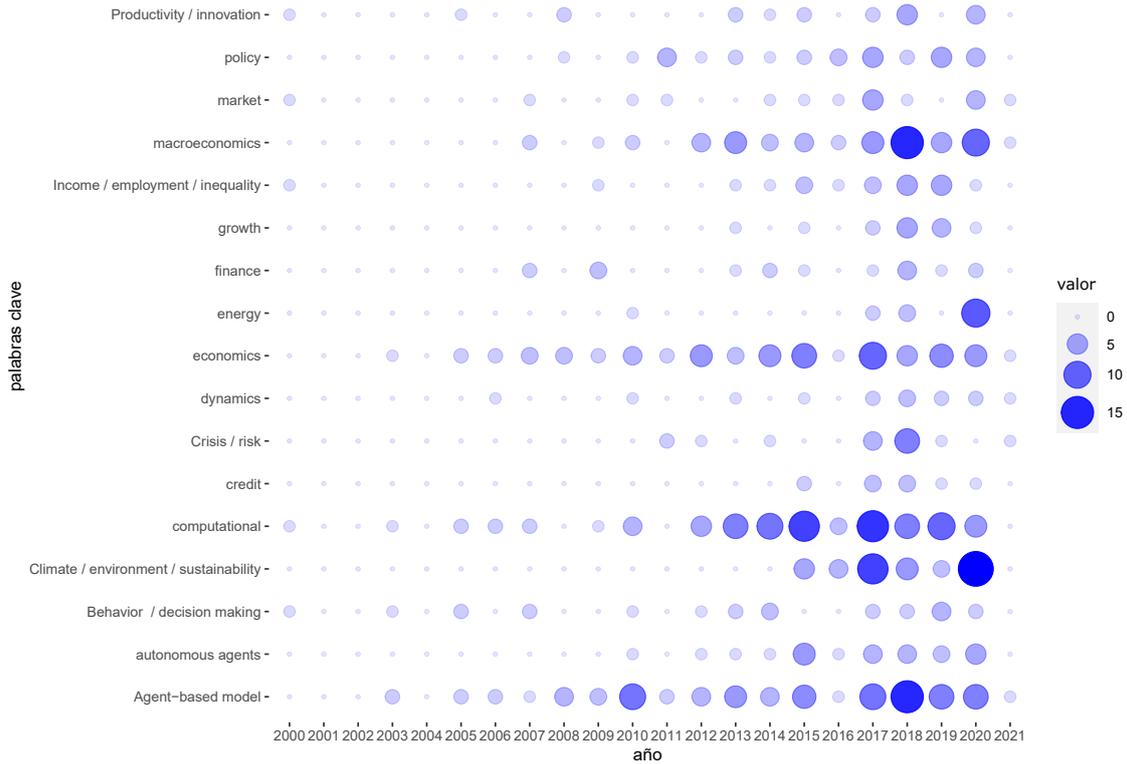


Figura 7.5: Dinámica de tópicos en MABM.

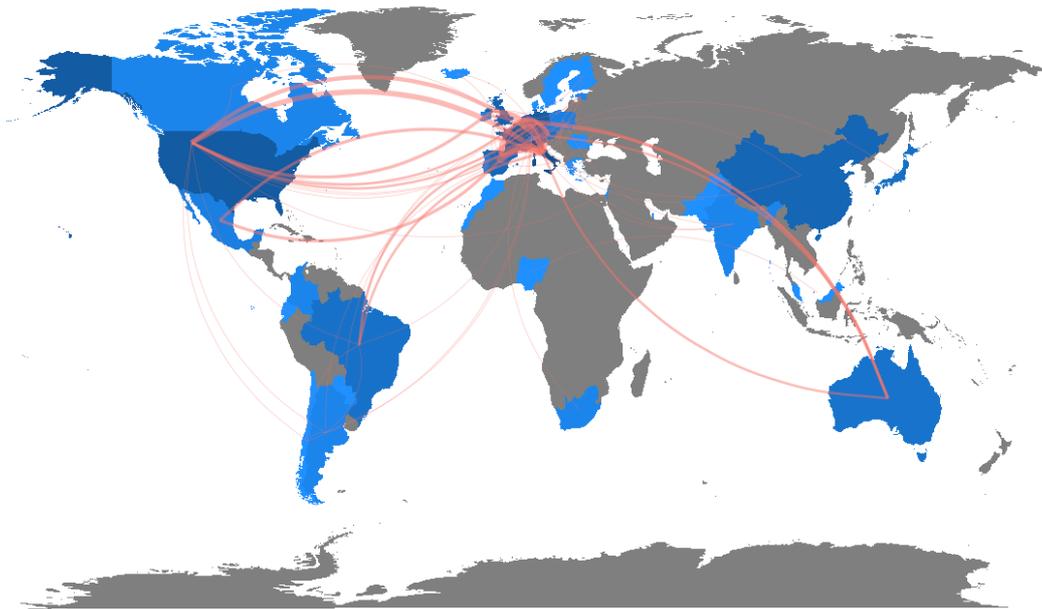


Figura 7.6: Red mundial de colaboraciones en MABM. El color en cada país denota el grado de participación dentro del total, mientras que las líneas rojas representan a los vínculos mediante colaboraciones internacionales.

por cercanía (Bavelas, 1950) y el algoritmo de Pagerank (Brin and Page, 1998). En la red de colaboración entre países intervienen sólo 36 países y la distancia media (la distancia promedio a cualquier otro país tomado de forma aleatoria) es de 2,18.

En los últimos 10 años, conceptos tales como “fragilidad financiera”, “crédito”, “crisis”

y “riesgo” comenzaron a aparecer en los modelos macroeconómicos basados en agentes, reseñados en la introducción a este capítulo; luego del 2016 existe una nueva oleada de modelos macroeconómicos. Aunque por una parte este enfoque gana visibilidad al criticar a los modelos del tipo DGSE, debemos resaltar que los avances en MABM se encuentran relacionados con las agendas de investigación de los países donde están localizados estos investigadores. Otro ejemplo ocurre con la modelización de políticas medioambientales, que en estos últimos 5 años han tenido un gran desarrollo. Como contrapartida, hacen falta modelos que analicen regímenes de alta inflación, economías bimonetarias, crisis cambiarias o políticas monetarias basadas en el control de agregados monetarios M_0 , M_1 , etc, propias de otros países.

7.4. Conclusiones

En este capítulo, se ha realizado una reseña de los principales tópicos analizados en la literatura de MABM. Se han utilizado para su realización datos de las dos bases bibliométricas más importantes y las conclusiones de este trabajo permiten conocer el grado de desarrollo de esta disciplina y sus diferencias con la macroeconomía tradicional.

En primer lugar, se muestra el crecimiento en la implementación de ABM para analizar problemas macroeconómicos. Luego, se muestra el uso de ABM en un amplio espectro de los temas más importantes en macroeconomía. Existe un mayor énfasis en la crisis crediticias y la inestabilidad financiera, así como en tópicos multidisciplinares.

Estos trabajos se concentran en unos pocos grupos de investigación, principalmente en Europa. Los artículos más relevantes, tanto en relación al número de citas como a su influencia en la literatura posterior, se concentran en estos grupos de investigación.

Finalmente, se observa que los tópicos analizados están relacionados con la situación macroeconómica de los países donde se encuentran estos grupos de investigación. Muchos de los problemas de las economías en desarrollo, tales como crecimiento débil, informalidad, desempleo, baja productividad, instituciones débiles o alta inflación no se encuentran presentes o no forman parte del *core* de MABM. Las crisis recurrentes y la inestabilidad macroeconómica de muchos de estos países pueden modelizarse a partir de este set de herramientas, bajo supuestos menos restrictivos que la macroeconomía tradicional. Una reflexión que puede extraerse es la necesidad de incrementar y mejorar la literatura en MABM, a partir de la incorporación de tópicos vinculados con problemáticas de países en desarrollo. Esto se vincula también a una participación más activa de los investigadores de esas regiones en las redes de investigación, para lo cual deben generarse las condiciones adecuadas desde la Academia tales como adecuación de la formación a las nuevas tecnologías y paradigmas y cambios en la agenda de investigación.

Capítulo 8

Credibilidad de las metas de inflación con agentes heterogéneos

Las políticas de metas de inflación se han convertido en una de las herramientas más utilizadas por los Bancos Centrales para controlar los fenómenos inflacionarios. En este contexto, las expectativas de inflación - y su distancia de la inflación efectiva - son una medida de la credibilidad del Banco Central.

En este capítulo se introduce un modelo macroeconómico basado en agentes (MABM) con múltiples agentes heterogéneos. En este modelo, los individuos se caracterizan por su proceso de formación de expectativas al elegir el grado de credibilidad del Banco Central, quien anuncia la meta de inflación y utiliza políticas monetarias basadas en la tasa de interés. La credibilidad depende de factores externos -distancia entre la inflación objetiva y efectiva en cada momento- y también de la tolerancia de los individuos con respecto a las desviaciones del objetivo. Esta formulación permite estudiar los fenómenos de crisis de confianza en un marco dinámico.

A partir de los resultados, se argumenta que la estabilidad macroeconómica depende del grado de tolerancia de los individuos a las desviaciones en la inflación objetivo. A su vez, el error de pronóstico y su heterogeneidad aumentan cuando los individuos tienen mayor tolerancia ante desvíos del Banco Central. Además, se muestra que los cambios en la credibilidad son asimétricos: los shocks generan una disminución generalizada de la confianza, mientras que la recuperación de la confianza es un proceso mucho más lento, determinado por la relación entre la inflación y sus expectativas.

8.1. Introducción

La gestión de las expectativas de inflación ha sido particularmente importante para el éxito de las políticas monetarias (Woodford, 2003b). La literatura económica reconoce que las expectativas de inflación no ancladas a las metas de los Bancos Centrales provocan una

alta inflación y las consiguientes dificultades para reducirla (Solow, 1979). El mecanismo de comunicación de las políticas monetarias impulsadas por los Bancos Centrales (BC) en las últimas tres décadas es a través de una meta explícita de inflación (Coibion and Gorodnichenko, 2015). Este objetivo sirve de referencia a los hogares y empresas, además de servir como un instrumento de política monetaria para modificar la tasa de interés real (Kumar et al., 2015).

El vínculo entre la inflación y las expectativas se conoce desde hace mucho tiempo¹. Existe una retroalimentación entre inflación y expectativas, que puede generar efectos no lineales debido a cambios en las condiciones del modelo. En cualquier caso, el efecto de las expectativas de inflación se produce a partir de una medida de tendencia central de las expectativas².

En este contexto, es importante analizar si los mecanismos a través de los cuales se generan las expectativas pueden generar una mayor incertidumbre en el sistema. Si las medidas de tendencia central no son ampliamente representativas de las expectativas, una perturbación puede amplificar los shocks, lo contrario de lo que se espera de una política del Banco Central. Si las expectativas de inflación no son independientes entre individuos, el teorema central del límite (en su formulación estricta) no se cumple. La consecuencia es que la velocidad de convergencia al valor medio es menor, lo que implica que las medidas “agregadas” son menos precisas. El análisis de las políticas monetarias a partir de modelos basados en agentes (ABM) es un área de desarrollo emergente. Se pueden encontrar ejemplos de análisis de políticas en Dosi et al. (2015); Schasfoort et al. (2017); Krug (2018); Dawid et al. (2018); Takahashi and Okada (2020), en particular los efectos de las políticas monetarias basadas en la regla de Taylor sobre las tasas de interés. Si bien diferentes autores coinciden en que los efectos de las políticas son similares a los que se encuentran en los modelos DGSE, Gualdi et al. (2017) muestran que las recomendaciones de políticas con respecto a la intensidad del ajuste son contrarias a los resultados de los modelos DGSE (ver por ejemplo, Galí (2015)).

Este capítulo estudia la dinámica de las expectativas de inflación y la inestabilidad macroeconómica, con base en un MABM. En este modelo, el Banco Central utiliza la tasa de interés nominal de la economía como un instrumento de política monetaria a través del mecanismo de la regla de Taylor, introducido en la literatura por Taylor (1993) (ver también Woodford (2001, 2003b)).

El modelo supone que los agentes tienen una racionalidad limitada para adaptar sus estrategias a lo largo del tiempo y tienen dificultades para percibir las señales del BC. Luego, el BC intenta alcanzar la inflación objetivo estableciendo una tasa de inflación. La autoridad monetaria está comprometida con un cierto nivel al que se dirige con los instrumentos de política monetaria. Para lograr este objetivo, es fundamental que las

¹“Why is our money ever less valuable? Perhaps it is simply that we have inflation because we expect inflation, and we expect inflation because we’ve had it.” (Solow, 1979).

²Muchos bancos centrales de todo el mundo utilizan la inflación esperada promedio o la mediana de la inflación esperada como meta para sus políticas monetarias (ver Lamla and Vinogradov (2019)).

expectativas del sector privado estén alineadas con el objetivo propuesto por el BC. El BC usa una regla de Taylor para determinar la tasa de interés.

La política monetaria solo tendrá éxito si la política del BC es coherente a lo largo del tiempo. Es decir, la percepción de los individuos sobre la credibilidad de los BC depende de la distancia entre la meta de inflación y la inflación efectiva en cada período. Si bien se puede argumentar que diferentes agentes observan diferentes medidas de aumentos de precios (en particular, hay diferentes medidas de inflación subyacente), la inflación efectiva es una información fácilmente disponible para todos los agentes de la economía. Esta información es de conocimiento común en países con un historial de inflación moderada y alta (Heymann and Leijonhufvud, 1995).

Se utiliza un modelo *New Keynesian* (NK) con rigidez nominal y agentes adaptativos para estudiar las alternativas del BC con el fin de lograr sus objetivos. Los resultados muestran que un alto nivel de credibilidad de la autoridad monetaria es necesario para el éxito de las políticas impulsadas por el BC.

El documento está organizado de la siguiente manera. La sección 8.2 presenta el modelo, describiendo las relaciones entre las variables y explicando los mecanismos de los mercados en el modelo. La sección 8.3 explica el diseño de la investigación y describe las simulaciones y los parámetros del modelo. La sección 8.4 describe los resultados empíricos, exponiendo y discutiendo las simulaciones. Finalmente, la Sección 8.5 exhibe las conclusiones, limitaciones del presente estudio y futuras investigaciones.

8.2. Modelo

La economía se modela como un sistema adaptativo, donde los consumidores y las empresas siguen heurísticas bajo un aprendizaje constante. Este marco permite estudiar la interacción entre los consumidores y el comportamiento agregado resultante de esta interacción. Partiendo de un modelo NK (Woodford, 2003b) y siguiendo a Salle et al. (2013) y Salle et al. (2019), se examina el comportamiento de los agentes y el grado de ajuste de la inflación al objetivo propuesto por el BC³. En los párrafos siguientes se hace una breve descripción de los aspectos más importantes del modelo; una descripción completa se encuentra en el Anexo E.1, donde se documenta el modelo mediante el Protocolo ODD (Grimm et al., 2006, 2010).

Los hogares ajustan sus salarios de reserva con la inflación esperada. Para calcularlo, utilizan la información de precios disponible en el mercado y las señales enviadas por el BC (en forma de ajustes a la tasa de interés de mercado, único instrumento de política monetaria en esta economía). Sin embargo, estas señales se perciben con cierto ruido, como en (Agliari et al., 2017; Salle et al., 2013, 2019). Además de los problemas en la percepción

³El modelo está escrito en C++, mientras que el análisis de las simulaciones se realizó en R. El código del modelo, junto con los archivos necesarios para la replicación de sus resultados pueden encontrarse en https://drive.google.com/drive/folders/1tz9JMifN_L6mCpeNyrdtSaq7iFVsowo6?usp=sharing

de objetivos y políticas, los hogares ajustan dinámicamente su percepción de la credibilidad del BC, en función de su percepción del cumplimiento de los objetivos de política monetaria por parte del BC. Como la credibilidad del BC no es perfecta, los individuos dependen tanto de las señales del BC como de la inflación actual y la inflación pasada (Salle, 2015). Por tanto, el salario de reserva se define de la siguiente manera:

$$w_{i,t} = w_{i,t-1}(1 + \gamma_{i,t}^w \pi_{i,t+1}^e), \quad (8.1)$$

donde $\pi_{i,t+1}^e$ es la inflación esperada para el período siguiente para cada hogar i , con heterogeneidad de expectativas⁴.

Seguendo a Salle et al. (2013), la función de costo de las empresas depende tanto del capital físico como del capital humano, a partir del cual eligen un margen μ sobre el costo promedio para elegir el precio de mercado.

El salario, los ingresos generados por las firmas y los ahorros conforman los ingresos de los hogares en cada período. El ingreso permanente es la variable que observan los hogares cuando deciden las proporciones de consumo y ahorro. A partir del consumo, los hogares obtienen una mayor utilidad. Por lo tanto, es muy importante su decisión respecto del salario de reserva y la proporción del ingreso permanente dedicado al consumo del bien, ya que estas decisiones influyen en la cantidad consumida por las familias. Las estrategias más exitosas serán imitadas con una probabilidad mayor y las menos exitosas (en términos de utilidad) serán menos imitadas, siguiendo una distribución de Boltzmann. A partir del proceso de interacción e imitación, es que se logra el consumo deseado y los salarios de reserva. Son procesos emergentes de este sistema la tasa de desempleo, los salarios, el consumo efectivo y los precios de mercado.

La imitación y el aprendizaje en el modelo surgen de una serie de heurísticas del modelo. En el caso del BC, al momento de fijar la tasa de interés nominal (utilizando una Regla de Taylor). Los hogares, como se mencionó anteriormente, utilizan una heurística para ajustar sus salarios de reserva, lo cual tiene consecuencias en las rigideces nominales y la inflación inercial. Las firmas modifican su capital de acuerdo a la evolución de sus beneficios en el tiempo.

Entonces, es importante establecer si la credibilidad del BC es endógena a su desempeño. Como menciona Blinder (2000), el cumplimiento del objetivo en el pasado es importante para la credibilidad. Además, es esperable encontrar efectos sistémicos: una fase de transición entre la confianza y la pérdida de confianza.

La credibilidad del Banco Central (χ_{it} , Ecuación (8.2)) determina si los agentes en el próximo período se basarán principalmente en la inflación objetivo o en la tendencia, como se menciona en la Ecuación (8.3). La credibilidad se mide cada período. Asumimos $\chi_{it}^{min} = 0.1$ y $\chi_{it}^{max} = 0.9$, con Δ_i como tolerancia ante desvíos del Banco Central.

⁴Desde el punto de vista empírico, Carroll (2003); Hommes (2011) han mostrado a través de encuestas y experimentos la heterogeneidad de las expectativas de inflación. Se puede encontrar una descripción más detallada de la heterogeneidad de las expectativas y una discusión de su distribución en el Capítulo 2.

$$\chi_{it} = 1 - \frac{|\pi_t^T - \pi_t|}{\Delta_i}, \text{ with } \Delta_i \sim U[0, \delta] \quad (8.2)$$

Notar aquí que a diferencia de [Salle et al. \(2013\)](#), la credibilidad depende de su trayectoria previa; esto implica que la credibilidad de los BC surge a partir de su desempeño. Debe apreciarse la diferencia respecto a otros planteos ([Bouchaud et al., 2018](#)), donde la credibilidad se genera a partir de las señales del Banco Central y no de los resultados de su política.

El parámetro Δ_i , definido como la tolerancia individual a la política del BC, es una medida indirecta de la desviación máxima del objetivo a partir del cual éste ya no sea creíble. Se espera que este valor dependa de diferentes factores intrínsecos a los individuos, así como también será diferente según los países y la tradición de cumplimiento de las metas de los BC.

$$\pi_{i,t+1}^e = \pi_{it}^T \chi_{it} + \pi_{it}^{trend} (1 - \chi_{it}) \quad (8.3)$$

$$\pi_t^{trend} = (1 - \rho)\pi_{t-1} + \rho\pi_{t-1}^{trend} \quad (8.4)$$

La inflación esperada para el próximo período (Ecuación (8.3)) es un promedio ponderado de la inflación pasada y el objetivo de política monetaria. A diferencia de [Bouchaud et al. \(2018\)](#) -como $0.1 < \chi_{it} < 0.9$ - ante inflaciones altas, la inflación esperada no va a ser mayor que la tendencia. Si bien se verifica un aumento sistemático en las expectativas, éstas por sí solas no exacerban el proceso inflacionario; los procesos hiperinflacionarios que se observan surgen a partir de la dinámica de la interacción entre las expectativas con el resto de los mercados.

La inflación tendencial (Ecuación (8.4)) es un promedio ponderado de la serie temporal de la inflación. Se entiende que los individuos no sólo miran el último dato - el cual puede estar sujeto a variaciones de corto plazo - sino que toman en cuenta la trayectoria previa de la variable. Juega un rol fundamental ρ , ya que es el parámetro de preferencia temporal: un valor de ρ cercano a uno muestra poca variabilidad de la tendencia respecto de variaciones de corto plazo; un ρ cercano a cero, en cambio, hace la tendencia muy sensible a shocks de corto plazo. Como shocks en la inflación tendencial provocan cambios en las expectativas, es importante tomar en cuenta los resultados del modelo ante cambios en ρ .

8.3. Metodología

Este modelo se desarrolla como un ABM, con el fin de simular las interacciones que tienen lugar entre los individuos y con el resto de la economía y observar los resultados globales.

Parámetro	Nombre	Valor
π_T	objetivo de inflación	5 %
ϕ_π	BC: parámetro de ajuste π	U[1; 3]
ϕ_u	BC: parámetro de ajuste desempleo	U[0,5; 1,5]
δ	Tolerancia de los hogares	U[0; 0,2]
ρ	Preferencia temporal	U[0; 1]
P_{imit}	Probabilidad de imitación	U[0,1; 0,5]
P_{mut}	Probabilidad de mutación	U[0,1; 0,5]
ϵ	Parámetro de la estrategia de la firma	1 %

Tabla 8.1: Parámetros importantes del modelo. Una descripción completa de los parámetros del modelo se encuentra en el Anexo E.1.

A partir de las ecuaciones y relaciones de comportamiento descritas en la sección anterior, se sigue la secuencia de acciones de [Salle et al. \(2013\)](#); [Salle \(2015\)](#).

Los parámetros utilizados en este modelo se presentan en el Anexo E.1. Los valores de los parámetros utilizados son razonables para este modelo, siguiendo también los trabajos anteriores de [Salle et al. \(2013\)](#); [Gualdi et al. \(2017\)](#). Los parámetros que varían en cada simulación y que están sujetos a análisis de sensibilidad en la siguiente sección se muestran en la [Tabla 8.1](#).

8.4. Resultados

8.4.1. Estabilidad del modelo ante decisiones de los hogares

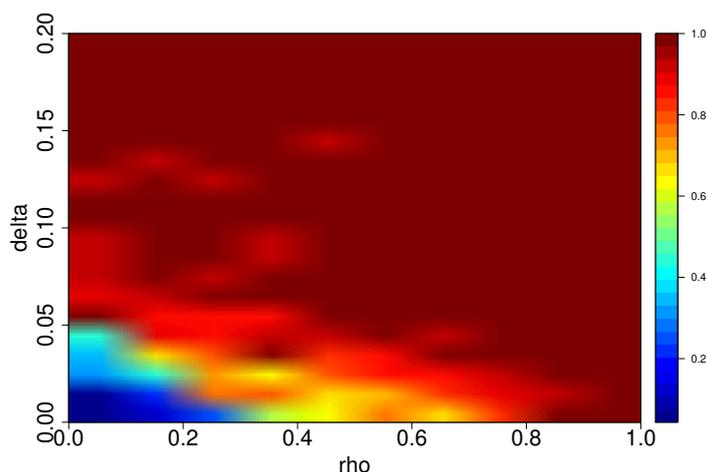


Figura 8.1: Proporción de resultados estables, según (ρ, δ) .

Primeramente, se analiza si el sistema es estable o propenso a crisis hiperinflacionarias a partir de la estructura y del valor de los parámetros del modelo. En particular, se estudian los canales a partir de los cuales las expectativas de inflación difieren significativamente

de los objetivos y para qué valores de los parámetros individuales las políticas monetarias fallan en controlar el fenómeno. Se hace un énfasis en los parámetros ρ y δ ya que son intrínsecos a los individuos, es decir que no hay políticas que en el corto plazo modifiquen sus valores. Por esto, pueden observarse políticas que en algunos casos pueden dar excelentes resultados, mientras que en otros no alcanzan los objetivos. El parámetro ρ afecta a la inflación esperada a partir de la relación entre la inflación tendencial y la inflación presente -Ecuación (8.4)-, mientras que el parámetro δ afecta a la inflación esperada a partir de la credibilidad de la política monetaria -Ecuación (8.2)-.

En la Figura 8.1 se observa la proporción de simulaciones con resultados estables - no hiperinflacionarios -. Lo que se puede advertir es que el sistema es más estable cuando existe una mayor tolerancia de los hogares a los desvíos del Banco Central en el control de la inflación (mayor δ) y cuando los hogares toman más en cuenta la inflación tendencial que la inflación presente (mayor ρ). Estos resultados muestran que las fluctuaciones en la inflación, incluso de corto plazo, pueden generar crisis en el sistema. Más importante aún, un mismo shock no tiene efectos en el sistema si los hogares tienen una alta tolerancia al Banco Central o si la inflación actual tiene poca importancia comparada con la inflación tendencial.

Como cada uno de estos parámetros se encuentra correlacionado positivamente con la estabilidad del modelo, su análisis conjunto permite establecer zonas en el espacio (ρ, δ) donde el sistema es estable. El análisis conjunto de estas variables es mucho más claro en la ecuación de la inflación esperada -Ecuación (8.3)-. Con ρ cercano a cero, π_{it}^{trend} depende en mayor cuantía de los shocks de corto plazo, como se aprecia en la Ecuación (8.4). Por otra parte, un menor δ (tolerancia global) implica menores Δ_i (tolerancia individual), por la manera en que se define el modelo. *Ceteris paribus*, un menor δ genera una menor credibilidad del BC -Ecuación (8.2)-. Finalmente, una menor credibilidad del BC junto con una mayor preponderancia de los shocks de corto plazo generan condiciones de mayor inestabilidad en la economía.

8.4.2. Preferencia intertemporal

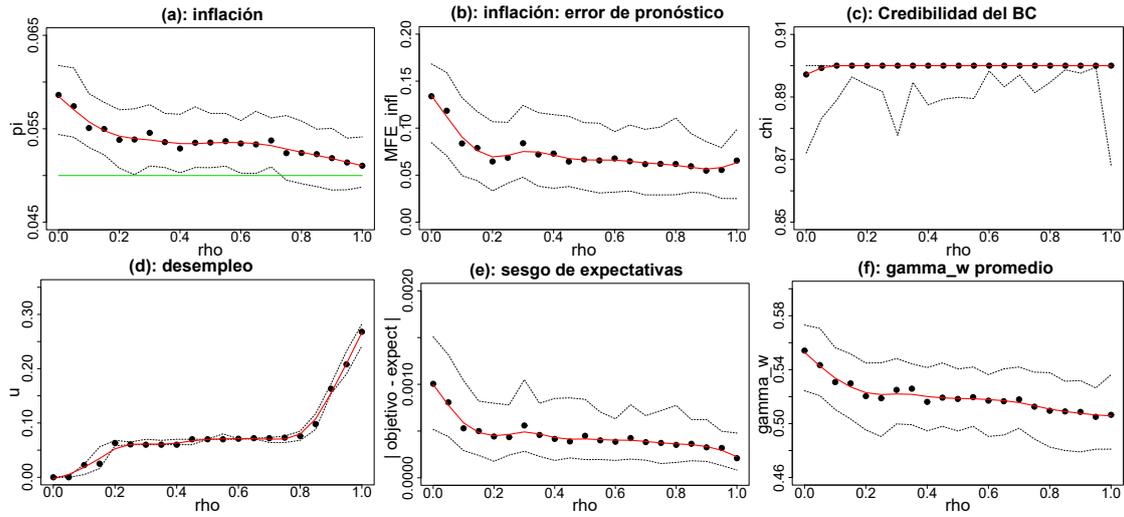


Figura 8.2: Medidas de tendencia central -con intervalos de confianza- según diferentes valores de ρ (ρ). (a): inflación, (b): error de pronóstico medio de inflación, (c): credibilidad del BC - χ -, (d): tasa de desempleo, (e): sesgo de expectativas de la meta de política monetaria, (f): promedio de γ^w de los individuos.

La preferencia intertemporal de los agentes -variable ρ , Ecuación (8.4)- toma valores en el intervalo $[0,1]$. Como puede verse en la Figura 8.2, distintos grados de preferencia intertemporal tienen influencia en los resultados del modelo. Por una parte, en la Ecuación (8.4) se observa que para menores valores de ρ el ajuste de la inflación tendencial es más rápido ante shocks en la inflación, lo cual repercute en la inflación esperada -Ecuación (8.3)-.

Puede inferirse que para menores valores de ρ , es más difícil para los BC que los hogares vean el objetivo a mayor plazo, ya que los hogares le dan mayor importancia a los desvíos de corto plazo. Esto se manifiesta en los resultados de la Figura 8.2 (a), ya que a medida que aumenta ρ , la inflación se encuentra más cercana al objetivo - 5 % -. Es de esperar entonces que ante individuos con acceso a mayor información y más sensibles a nueva información, la inflación va a alejarse más del equilibrio deseado por el BC.

Por otra parte, el error de estimación de los individuos -Figura 8.2 (b)- es mayor con individuos más sensibles a nueva información. Esto resulta paradójico; sin embargo, como se aprecia en Frache and Lluberas (2019), los analistas profesionales -más sofisticados- tienen un error de estimación mayor que las empresas.

La credibilidad de los BC (parámetro χ , Figura 8.2 (c)), en promedio no varía significativamente a medida que cambia ρ . Esta variable no influye directamente en el cumplimiento de los objetivos; sí en el ajuste, es por esto que no se encuentran diferencias entre los distintos niveles. Esto también se observa en la Figura 8.2 (e), debido a que los desvíos respecto del objetivo no son superiores a 0.15 %.

Es importante destacar que valores de ρ cercanos a 1 implican que los individuos tienen una mayor inercia en sus expectativas de inflación, ya que no tienen tanto peso los shocks de corto plazo. De aquí puede observarse un aspecto negativo: la política de tasas de interés necesaria en este caso debe ser mucho más agresiva, a efectos de conseguir en el corto plazo los efectos deseados. Esta política de tasas de interés más agresiva repercute en el empleo -Figura 8.2 (d)-.

Para finalizar, los efectos de un ρ cercano a 0 en la inflación llevan a una mayor indexación salarial. En promedio, los agentes decidirán establecer una indexación mayor de sus salarios -Figura 8.2 (f)- en este caso, se observa de qué forma las preferencias individuales afectan a los mecanismos de coordinación del modelo.

8.4.3. Comportamiento del Banco Central ante decisiones de los hogares

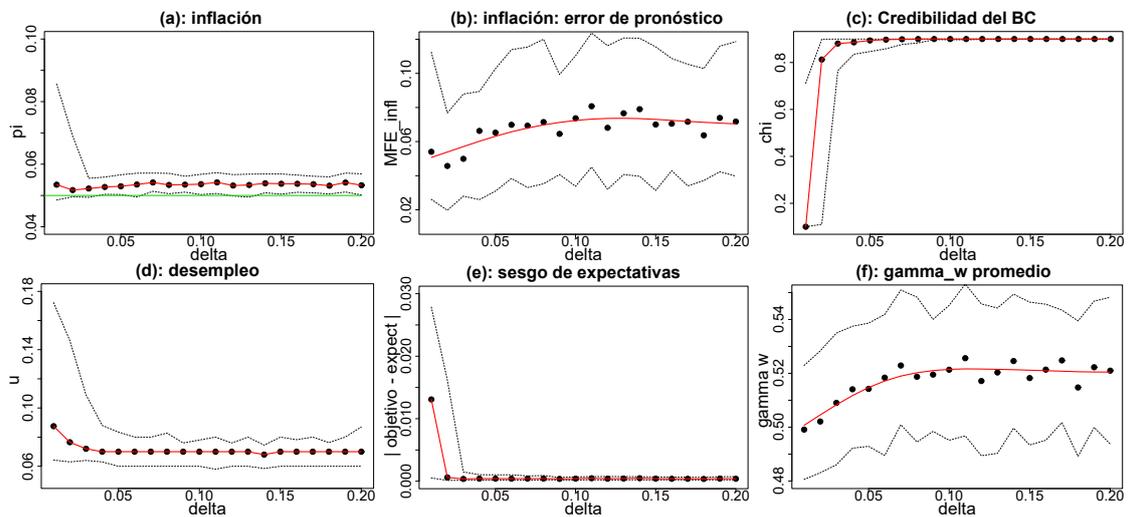


Figura 8.3: Medidas de tendencia central -con intervalos de confianza- según diferentes valores de δ . (a): inflación, (b): error de pronóstico medio de inflación, (c): credibilidad del BC - χ -, (d): tasa de desempleo, (e): sesgo de expectativas de la meta de política monetaria, (f): promedio de γ^w del individuo.

El parámetro δ aquí estudiado, representa la sensibilidad de los individuos al desvío de la inflación respecto a los objetivos del BC. Valores cercanos a 0 implican una sensibilidad muy alta, por lo tanto debe esperarse que ante este escenario las simulaciones muestren una mayor inestabilidad del sistema.

En primera instancia, se aprecia en la Figura 8.3 (a) que en promedio, la inflación no tiene diferencias significativas para distintos valores de δ . Sin embargo, la incertidumbre sobre π aumenta al disminuir δ . El corolario de esto es la mayor probabilidad de ocurrencia de crisis hiperinflacionarias para valores de δ muy cercanos a 0 -Figura 8.1-.

El mecanismo a través del cual actúa δ es a través de χ_i , como se expresa en la Ecuación (8.2). Una mayor sensibilidad de los individuos a los desvíos se corresponde con una caída en la credibilidad de los BC, *ceteris paribus*. Esta relación puede observarse en la Figura 8.3

(c), donde para valores de δ cercanos a 0, la credibilidad del BC es mínima y se procesan, a partir de la Ecuación (8.4), expectativas de inflación alejadas de los objetivos de política monetaria.

La mayor incertidumbre se traslada a las variables reales; como se aprecia en la Figura 8.3 (d), aumenta la dispersión de la tasa de desempleo para valores de δ cercanos a cero. Esto se encuentra relacionado con una mayor inflación, ya que el mecanismo de política monetaria -aumento de tasas de interés- es recesivo en este modelo.

El desacople de las expectativas respecto al objetivo de política monetaria se observa claramente en la Figura 8.3 (e). Para valores de δ cercanos a cero, las expectativas se alejan del objetivo de política monetaria. Si bien no es claramente significativa, esto tiene cierta influencia en los errores de predicción de los agentes -Figura 8.3 (b)-: para valores de δ cercanos a cero, los errores de estimación en promedio son menores que para valores altos de δ . Esto puede explicarse de otra forma: para valores altos de δ los agentes basan su predicción en el objetivo del BC, prestando poca importancia a la inflación tendencial. Por esto, incluso con un fenómeno de inflación alejada de los objetivos, los agentes le dan una mayor ponderación al objetivo de política monetaria, lo cual los induce al error.

Finalmente, cuál será la estrategia de indexación de los salarios $-\gamma_w-$ de los individuos, para valores de δ cercanos a cero? Por una parte, una mayor inflación los puede conducir a aumentar γ_w , para no perder poder de compra; por otra parte, existe un alto desempleo, lo cual puede inducir a que la estrategia sea disminuir γ_w , a efectos de no perder ingresos. Lo que se observa en las simulaciones es una disminución de γ_w para valores de δ cercanos a cero, por lo cual el efecto del potencial desempleo es mayor que el de la pérdida de poder adquisitivo.

8.4.4. Leyes de escala en precios

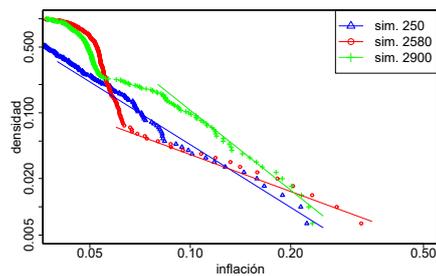


Figura 8.4: Distribución de frecuencias de la inflación efectiva, para las simulaciones 250, 2580 y 2900.

simulación	250	2580	2900
parámetro α	3.39	2.62	3.65
x_min	0.03	0.06	0.10
p_valor	0.99	0.99	0.93

Tabla 8.2: Para las simulaciones de la Figura 8.4, se estima por bootstrap los parámetros y el p -valor bajo la hipótesis nula de un proceso de ley de potencia.

En este apartado se analiza si en este modelo se cumplen algunos de los resultados vistos en capítulos previos. En la Figura 8.4 se observa la distribución de la variación de precios en esta economía para tres simulaciones diferentes, de forma análoga al análisis realizado en el Capítulo 3.3.2. Lo que se observa es que aún para simulaciones donde no se obtienen resultados hiperinflacionarios, la cola de la distribución se comporta de forma similar a

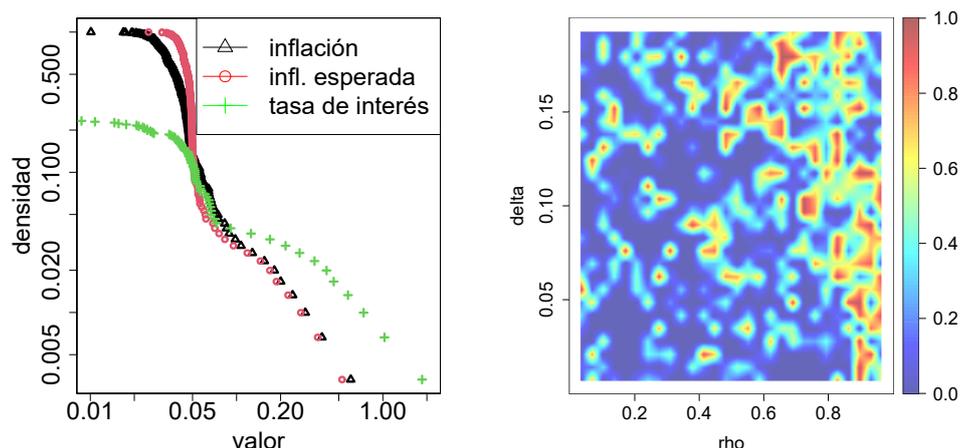


Figura 8.5: Izquierda: Distribución de frecuencias (en log-log) de la mediana de la inflación efectiva, mediana de la inflación esperada y tasa de interés para la simulación 2500. Derecha: Proporción de simulaciones donde se rechaza la hipótesis nula de una distribución de ley de potencia para la inflación, respecto de los parámetros ρ y δ .

una ley de potencia. Para este ejemplo, se observa que no se rechaza la hipótesis nula de una distribución de ley de potencia en ninguno de los tres casos (ver Tabla 8.2).

De la misma forma, este fenómeno se encuentra en variables muy vinculadas a la inflación, tales como la inflación esperada y la tasa de interés de mercado. En la Figura 8.5 (Izquierda) se muestra este resultado para una simulación específica. En este caso, las leyes de potencia para la inflación esperada y la tasa de interés se pueden explicar a partir de las ecuaciones del modelo. En particular, la dinámica de la inflación esperada se encuentra fuertemente relacionada a la dinámica de la inflación a partir de las Ecuaciones 8.3 y 8.4, mientras que el proceso de ajuste de la tasa de interés ante variaciones de precios ocurre a partir de la regla de Taylor llevada adelante por el Banco Central.

Si se observa para el total de las simulaciones, en el 76.6 % de los casos no se rechaza que la variación de precios se distribuye como una ley de potencia. Esta propiedad es sensible a los valores de los parámetros, como puede observarse en la Figura 8.5 (Derecha) y en la Figura 8.6.

Dentro de estas simulaciones, se encuentra que la mediana del valor de α es 3,68, así como el valor de la inflación a partir del cual la cola de la distribución se distribuye como una ley de potencia (x_{min}) es de 10,65 % (ver Tabla 8.3). La proporción de simulaciones donde el resultado a lo largo de los 300 períodos es hiperinflacionario es del 19,82 %, a diferencia de las simulaciones donde se rechaza la hipótesis nula de ley de potencia para la distribución de π , dado que en esos casos el valor es 8,03 %. Como es esperable, existen diferencias significativas entre las distribuciones empíricas de los resultados de α según el grado de estabilidad macroeconómica. En la Tabla 8.3, (iii) y (iv) se observa que el valor del parámetro en ambos casos es diferente, lo cual se contrasta en la Tabla 8.3 (v) con una

	Cuartil		
	25 %	50 %	75 %
(i) α	2.12	3.68	4.97
(ii) $x_{min}(\pi)$	0.0479	0.1065	0.1911
(iii) $\alpha/\text{hiper}=1$	1.41	1.46	1.58
(iv) $\alpha/\text{hiper}=0$	3.19	4.02	5.42
	prueba	estad. de prueba	p-valor
(v) (iii) & (iv)	KS	0.806	0
(vi) ρ	KS	0.246	0
(vii) δ	KS	0.077	0
(viii) ϕ_π	KS	0.034	0.23
(ix) ϕ_u	KS	0.023	0.70

Tabla 8.3: (i) a (v): Estadísticas a partir de los resultados donde no se rechaza h_0 de presencia de ley de potencia en la distribución. (vi) a (ix): test de diferencias en la distribución empírica de la variable, comparando resultados según si la inflación se distribuye como una ley de potencia.

prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov⁵. Esta diferencia entre distribuciones se observa en la Figura 8.6 (a).

Por lo visto en capítulos previos, si $\alpha < 2$ entonces el primer momento de la distribución -su media- tiende asintóticamente a infinito. Este es un estado proclive a la aparición de procesos inflacionarios explosivos, por lo cual es esperable que los procesos hiperinflacionarios se manifiesten para este rango de valores de α , como se observa en la Figura 8.6 (a).

Es importante observar si las distribuciones halladas dependen de los valores de los parámetros. En la Figura 8.5 (Derecha) se aprecia que para valores de ρ cercanos a 1 y para valores de δ cercanos a 0,20, se rechaza de forma más frecuente esta hipótesis. Estos resultados se aprecian para los histogramas de la Figura 8.6, (b) y (c). En ambos casos se aprecia que proporcionalmente aparecen valores más altos de ρ y δ en las simulaciones donde se rechaza la hipótesis nula de distribución de ley de potencia para la inflación, lo cual se complementa con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov presentadas en la Tabla 8.3, (vi) y (vii). Esta información sobre ρ y δ indica que las leyes de escala se cumplen de manera menos frecuente ante valores altos de estos parámetros. Este resultado puede compararse con los obtenidos para los parámetros de política del BC, para los cuales su modificación no cambia significativamente el grado de estabilidad del modelo (ver Tabla 8.3, (viii) y (ix)). Para los valores de los parámetros analizados, se concluye que no cambia significativamente el grado de estabilidad del sistema ante cambios en los parámetros de política, mientras que el sistema cambia su comportamiento ante cambios en los valores de los parámetros intrínsecos a los individuos.

⁵Se utiliza el test de Kolmogorov-Smirnov, cuya hipótesis nula consiste en que ambas distribuciones empíricas provienen del mismo proceso generador de datos (Massey Jr, 1951).

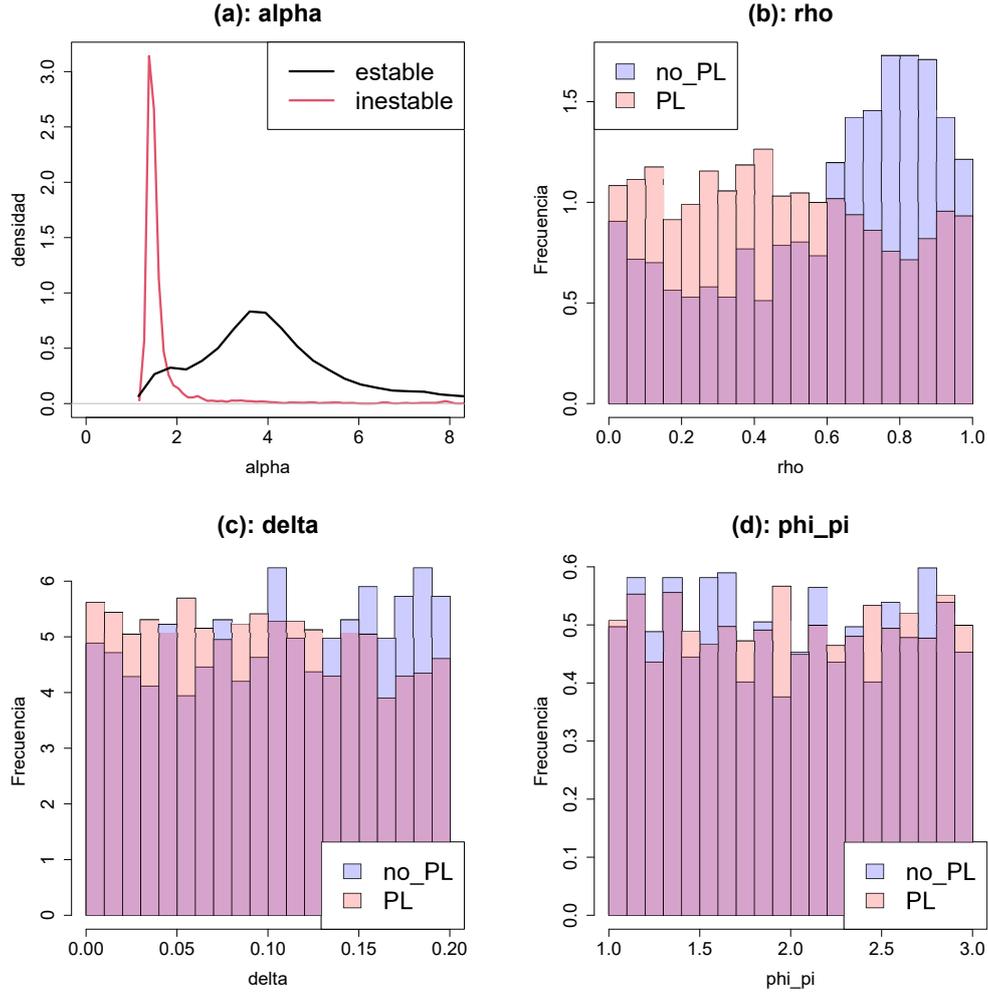


Figura 8.6: Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo ante distribución de ley de potencia (PL) o rechazo de esta hipótesis (no_{PL}) para la inflación. (a): Distribución de frecuencias del parámetro α de la distribución de la inflación, según el grado de estabilidad del sistema. (b): Parámetro ρ . (c): Parámetro δ . (d): Parámetro ϕ_π .

8.5. Conclusiones

Este trabajo propone un enfoque *bottom-up* para estudiar la heterogeneidad de las expectativas de inflación, con implicaciones para las políticas a adoptar.

En primer lugar, las diferencias de expectativas formadas por los agentes no solo se explican por diferencias de información o rezagos en el momento de tomar la decisión sino por una evolución de las estrategias de los agentes y la heterogeneidad implícita en ellas. Incluso con información perfecta, las diferencias en la credibilidad del BC generan consecuencias en las expectativas.

Las diferencias en la exposición de los trabajadores a los precios provocan distorsiones en las estrategias que maximizan su utilidad. Esto genera cambios en las decisiones de consumo y ahorro en toda la economía, con efectos que se amplifican y pueden hacer inviable una regla monetaria a la Taylor. En economías sujetas a shocks de precios, es

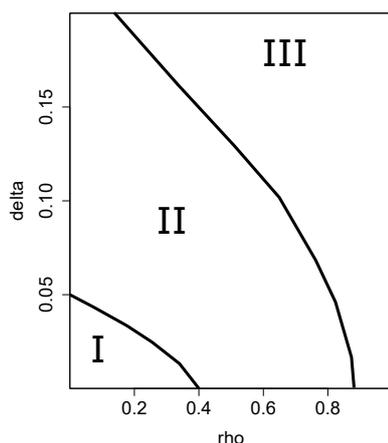


Figura 8.7: Clasificación de los resultados en Zona I, Zona II y Zona III.

importante considerar esta fuente de inestabilidad al momento de establecer planes de estabilización.

Otro aspecto que se discute en este modelo es la relación entre la velocidad de los procesos que ocurren en el mercado laboral y las variaciones en los precios internos. Un mercado laboral muy sensible a las variaciones de los beneficios empresariales provoca mayores fluctuaciones en la demanda y los precios. Finalmente, afecta las expectativas de los agentes y perjudica la estabilización llevada a cabo por el BC.

Los resultados muestran que el sistema se vuelve inestable con hogares menos tolerantes a los desvíos del BC, así como también con hogares más sensibles a las fluctuaciones a corto plazo. Los errores de estimación, su heterogeneidad entre hogares y la credibilidad del BC están vinculados a δ . Al mismo tiempo, existe un dilema para los BC: decidir un rango aceptable de sus políticas, que puede ser un ancla para las expectativas de inflación y también un ancla para la tolerancia de los agentes a las desviaciones.

Otro de los resultados importantes de este modelo es que logra replicar el comportamiento dinámico de los precios. Los experimentos realizados permiten observar cómo los resultados empíricos del Capítulo 3 pueden surgir a partir de procesos de interacción entre agentes en diferentes mercados. En particular, se observa que los resultados de Uruguay son consistentes con los resultados de las simulaciones donde se verifica que las variaciones de precios se rigen por leyes de escala pero donde no han ocurrido procesos hiperinflacionarios. En términos de este modelo, el sistema es sensible a variaciones en los parámetros intrínsecos a los individuos; esto afecta tanto a la estabilidad del modelo como a las posibilidades de describir las variaciones de precios a partir de leyes de escala. En la Figura 8.7 se clasifican los resultados a partir de la información contenida en las Figuras 8.1 y 8.5 (Derecha). En la Zona I, encontramos resultados que pueden describirse a partir de leyes de escala y son proclives a procesos hiperinflacionarios. En la Zona II se encuentran las simulaciones cuyas variaciones de precios se describen a partir de leyes de potencia y es poco probable que sufran procesos hiperinflacionarios. Por último, en la Zona III se

hallan simulaciones cuyas combinaciones de parámetros hacen que sean poco propensas a inestabilidad macroeconómica pero a la vez, se rechaza poder describir el proceso a través de leyes de potencia.

Una posible extensión consiste en estudiar empíricamente este modelo de decisión. Varios trabajos han demostrado que se rechaza la hipótesis de expectativas racionales con información completa. En la literatura económica, este tema se explica como un problema de información asimétrica. Una línea de investigación a seguir es analizar si el sesgo en las expectativas está relacionado con características intrínsecas de los individuos más que con la información públicamente disponible.

Parte IV

Consideraciones finales

Capítulo 9

Conclusiones

9.1. Reflexiones a partir de los objetivos de la investigación

Como se mencionó en el Capítulo 1, el objetivo principal de este trabajo consiste en analizar la existencia de procesos auto-organizados en la estructura de precios de la economía uruguaya. A su vez, se trazaron una serie de objetivos específicos con la finalidad de responder a la pregunta principal de este trabajo.

Para el objetivo específico 1, en el Capítulo 2 se analizaron las distribuciones de las expectativas de inflación de agentes económicos relevantes, a partir de una encuesta realizada por el Banco Central del Uruguay (BCU) y el Instituto Nacional de Estadística del Uruguay (INE). El resultado principal en este Capítulo es el hallazgo de expectativas agregadas cuya distribución es sesgada, donde se rechaza la hipótesis de distribución normal mientras que no se rechaza la hipótesis de leyes de potencia en la cola de la distribución. En el Capítulo 3 se analizó la distribución de variaciones de precios y del cambio en los precios relativos de la economía, a partir del objetivo específico 2, encontrándose este mismo resultado.

Una primera conclusión a partir de los resultados del Capítulo 2 es que los primeros momentos de la distribución de expectativas de inflación sí son finitos, en caso que el BCU utilice la encuesta de expectativas de empresas como insumo de su política monetaria. Sin embargo, conocer la distribución de expectativas y no solo sus primeros momentos permite comprender otras características de este fenómeno. En particular, la heterogeneidad de expectativas y el sesgo de su distribución, además del valor umbral a partir del cual la cola de la distribución tiene el comportamiento descripto. Al igual que como se observa en el Capítulo 3, existe evidencia que el proceso inflacionario es persistente en el tiempo. Es necesario, por lo tanto, ahondar en la investigación de las expectativas de inflación en los casos de países con inflación persistentemente por encima de las metas de los Bancos Centrales. En este capítulo se muestran expectativas de inflación a 12 meses no alineadas con los objetivos de política monetaria, en un período donde la inflación estuvo la mayor parte del tiempo por encima de la meta pautada. En estos casos y bajo políticas de metas

explícitas de inflación, es relevante conocer las posibles consecuencias de la pérdida de credibilidad de los Bancos Centrales; en el Capítulo 8 se analizó un modelo con estas características.

En el Capítulo 3 se analizan distintos tipos de variaciones de precios. Se incluyen tanto el índice de precios general (IPC), los índices de precios de los productos incluidos en el IPC así como también la distribución de variaciones de precios dentro de un mismo mes o dentro de un mismo año. El enfoque en este capítulo consistió en analizar las distribuciones asintóticas de las variables observadas así como también estudiar la persistencia de las series temporales. Los resultados son consistentes entre sí; la aparición de leyes de potencia no es rechazado, mientras que sí se rechazan otros supuestos más tradicionales en los modelos económicos, tales como una distribución Normal.

Los resultados de este Capítulo dependen de los valores del parámetro α , relacionado con el peso que tiene la cola de la distribución; cuanto menor es el valor de α , mayor es la probabilidad de desvíos no acotados. Un aspecto relevante es si las distribuciones y los valores de los parámetros hallados son relevantes para la política económica.

Como fuera reseñado anteriormente, un valor de α menor a 3 implica que la varianza asintótica no está acotada superiormente: la varianza crece con el número de observaciones. Este resultado es hallado para la distribución de variaciones de precios dentro de cada mes, por lo cual se encuentra que la volatilidad del índice de precios dentro de cada mes depende de la cantidad de productos utilizados para la confección del índice. Como $\alpha > 2$, podemos decir que la media converge al verdadero valor, aunque lentamente. Estos resultados son relevantes para comprender los procesos inflacionarios, las medidas de incertidumbre para la estimación puntual y la utilización de índices reducidos con menor varianza que el índice original. Por una parte, este valor de α no permite comparar medidas de incertidumbre en los índices de precios si se están comparando índices con diferente cantidad de productos. Por otra parte, hace que las medidas de dispersión de los índices reducidos deban ser comparadas con los valores de índices con la misma cantidad de productos. Esta crítica es válida para las medidas de dispersión de la inflación subyacente, que habitualmente son comparadas con el índice original; en el Capítulo 5 se comparan a los índices reducidos utilizando un benchmark con la misma cantidad de productos que el índice reducido. Otro aspecto relevante aunque no analizado en profundidad en este capítulo es el de los precios relativos, el que discutimos en el Capítulo 4.

Al analizar a los índices de precios como series temporales, se encuentra que la tasa general de aumento de precios es persistente en el tiempo. Este resultado se halla para diferentes especificaciones, mientras que no todos los productos muestran persistencia en el período analizado. A su vez, la persistencia en el índice general depende del tamaño del shock: sólo luego de grandes shocks el sistema de precios muestra reversión a la media. Estos resultados plantean la necesidad de estudiar la vinculación de la indexación de la economía con la elevada persistencia observada. Al mismo tiempo, es importante conocer la entidad del

tamaño del shock que provoca una reversión a la media. No menos importante, conocer si este fenómeno de reversión a la media se encuentra relacionado con las acciones de política.

Una pregunta importante es: ¿Cuál es el ámbito de acción de la política monetaria en este sistema? Los agentes económicos con sus decisiones y sus percepciones pueden producir cambios en los resultados del proceso, lo cual a su vez cambia sus percepciones y acciones. Se manifiesta entonces a partir de los cambios provocados en las acciones de política económica, en el comportamiento de los agentes económicos y en el desempeño de las variables económicas.

Los sesgos y la aparición de leyes de escala en las distribuciones de las variables estudiadas, vinculado con la revisión de literatura empírica realizada en esos capítulos, permite entender que estos resultados no son una anomalía sino que son una manifestación de procesos emergentes en la formación de precios en la economía. Estos hallazgos motivan a los capítulos siguientes de la tesis, relacionados a la búsqueda de una estructura en la distribución de variaciones de precios (Capítulos 4 y 5) y en su posterior modelización (Capítulos 6 al 8).

Las conclusiones de los capítulos 2 y 3 son consistentes con la hipótesis de este trabajo, ya que procesos auto-organizados en los sistemas de precios de la economía deberían manifestarse a través de leyes de escala en sus distintas fases. La reflexividad cobra mayor importancia en el vínculo entre las expectativas de inflación y su realización posterior en la forma de aumentos de precios, por lo cual deben verse ambos procesos como interdependientes.

El objetivo específico 3 es una consecuencia de los resultados anteriores: se estudia la red de vínculos en las variaciones de precios, bajo el supuesto de la existencia de una estructura de relaciones entre los precios de la economía. El proceso de auto-organización se manifiesta a través de una estructura de relaciones entre variaciones de precios, que se estudia en los Capítulos 4 y 5 mediante el análisis de redes.

En el Capítulo 4 se genera la red de vínculos entre productos. Es importante destacar que el vínculo dentro de la red se determina a través de las correlaciones entre las variaciones de precios, por lo cual los vínculos que se mantienen en cada red son aquellos donde los precios relativos se mantienen relativamente estables.

Un resultado a destacar del Capítulo 4 es que las relaciones entre precios son dinámicas: la red presenta patrones evolutivos por lo cual la estructura de conexiones en la red cambia levemente en cada período considerado. Como fuera comentado anteriormente, una implicación de este resultado es que las políticas basadas en influir en los productos centrales del sistema podrían no ser eficaces. Por una parte, la información pasada sobre los vínculos entre precios podría carecer de utilidad, ya que la red es dinámica; por otra parte, las intervenciones en el sistema pueden provocar distorsiones en los precios relativos y en las cantidades transadas que no son captadas.

Un análisis de los vínculos más frecuentes durante el período de estudio muestra que los agrupamientos obtenidos son consistentes con la teoría económica y con la evidencia previa para Uruguay. Por la manera en que se encuentra construida la red, se concluye que los

agrupamientos se relacionan al grado de influencia de los precios internacionales. Si bien no se encuentra representado en las redes, el tipo de cambio es un actor muy relevante en la dinámica del sistema. Este resultado es importante, ya que la evolución del tipo de cambio modifica la dinámica de una proporción importante de productos, aunque al mismo tiempo el *pass-through* no es inmediato.

Sin embargo, este enfoque tiene algunas críticas. Si se supone que existen rigideces en la fijación de precios o en la cantidad de productos a ofrecer, cambios no previstos en los stocks pueden generar modificaciones aun mayores en los precios relativos, no relacionados con las condiciones de arbitraje internacional. Dichos cambios provocan modificaciones en los vínculos de la red, por lo cual la estructura de la red se encuentra modificada tanto por shocks en los precios como en las cantidades. A este respecto, cabe señalar que la utilización del índice de Laspeyres supone cambios exclusivamente en los precios, mientras que es razonable suponer que los cambios en los precios se encuentran acompañados por cambios en las cantidades transadas.

En el Capítulo 5 se explota el conocimiento sobre la estructura de la red para elaborar índices sintéticos. Para su confección es necesaria muy poca información, a la vez que tienen características deseables respecto del índice general. Se utiliza la metodología T-MDS y a diferencia de la literatura previa, se asume que es una red dinámica. Levantar el supuesto de vínculos fijos entre productos permitió observar uno de los resultados principales de este capítulo: algunas clases de productos se encuentran sobrerrepresentadas mientras que otras se encuentran subrepresentadas en el índice. Se encuentra que el set de precios es más persistente que bajo el supuesto de distribución uniforme, hallando además que los productos alimenticios son fundamentales para la transmisión de información en el sistema de precios. Este resultado es relevante, en el sentido que es consistente con la evidencia empírica relevada en las conclusiones del Capítulo 5. Comparado con el antecedente de la investigación en base a datos del Reino Unido, los resultados de este capítulo se enmarcan dentro del tipo de relaciones económicas existentes en los países en desarrollo.

En base a esta información, ¿es posible realizar políticas anti-inflacionarias a partir del control de precios? Como se observó previamente, las redes generadas se van modificando constantemente; sin embargo, algunos de sus productos mantienen una posición central en la red. En particular, el rubro alimenticio se encuentra fuertemente vinculado a los demás sectores a través de los precios. Explotar esta información y conocer los nodos más importantes de esta red permitirá llevar adelante acciones de política, en cuanto se asume que a través de estas redes se transmite información acerca del comportamiento futuro del sistema.

Otro aspecto importante de política implica la posibilidad de efectuar predicciones sobre la evolución del índice general a partir de conocer el índice sintético. Los índices sintéticos generados por la metodología T-MDS tienen algunas propiedades deseables, pero sus potenciales beneficios se reducen en el muy corto plazo. Como ya se señaló, se compararon los índices sintéticos con índices generados a partir de seleccionar productos aleatoriamente;

se encuentra que luego de 6 meses no hay diferencias significativas con las predicciones tomadas de un set de productos al azar. Retomaremos este asunto en la sección siguiente.

El objetivo específico 4 consistía en examinar el desarrollo de los modelos basados en agentes y su adecuada comunicación en economía. Este objetivo fue motivado por la constatación (discutida en el Capítulo 6, a partir de diferentes fuentes de información) que la manera de presentar y comunicar los modelos al momento de ser publicados en revistas académicas dista de ser uniforme. Estos datos están vinculados con una discusión metodológica importante: acerca de si la matemática es un lenguaje, si es suficiente para explicar los procesos sociales o incluso si es necesaria para explicarlos. Por una parte, [Leijonhufvud \(1997\)](#) plantea una contraposición con el postulado “Mathematics is a language”, planteado por J. W. Gibbs¹. En [Leijonhufvud \(1997\)](#) se plantea que los aspectos más relevantes de los programas de investigación no son publicados en la forma de artículos o documentos de trabajo; el autor menciona que es a través del diálogo que se comunican los aspectos relevantes de las teorías. La frase de Gibbs se vincula también a los esfuerzos por utilizar las matemáticas para exponer los conceptos económicos, provenientes de autores tales como Jevons² o Walras³. Por su parte, en [Boland \(2012\)](#) se afirma que la elección de la matemática como la *lingua franca* no es neutral, ya que condiciona a la forma de presentar las ideas en economía. Por este motivo, [Leijonhufvud \(1997\)](#) distingue entre modelos y teorías, las cuales no llegan a ser captadas enteramente por los modelos -entendidos como formalizaciones matemáticas-⁴.

En este contexto, en el Capítulo 6 se analiza la utilización de formas de documentación y comunicación de los ABM en Economía. En comparación con modelos más “simples”, la asunción de un sistema complejo implica no-ergodicidad, transiciones de fase, propiedades emergentes y universalidad ([Arthur, 1999](#)). Para comunicar y comprender los detalles de modelos con estas características es que se busca la adopción de un protocolo común ([Richiardi et al., 2006](#)). En [Grimm et al. \(2006\)](#) se afirma que las descripciones narradas son necesarias y complementan a la descripción de las relaciones mediante ecuaciones.

Se encuentra que el Protocolo ODD es el más utilizado dentro de las formas de comunicación específicas para ABM existentes en la actualidad. Sin embargo, su adopción en términos relativos no ha crecido en los últimos años y ha ocurrido fundamentalmente a partir de vínculos multidisciplinares. En el texto se mencionan dos posibles causas para este fenómeno. Por una parte, no se observan como necesarias otras formas de comunicar los modelos; por otra parte, no se ha desarrollado una cultura colaborativa que genere la necesidad de una mejor difusión de los diferentes aspectos de los modelos.

¹Esta frase se retoma en la portada de ([Samuelson, 1948](#)).

²“*The symbols of mathematical books are not different in nature from language; they form a perfect system of language, adapted to the notions and relations which we need to express. They do not constitute the mode of reasoning they embody; they merely facilitate its exhibition and comprehension.*” ([Jevons, 1879](#), p. 5)

³“*Mathematics would be the special language for discussing quantitative facts and it should go without saying that economics is a mathematical science on a par with mechanics and astronomy.*” ([Mirowski and Cook, 1990](#), p. 213)

⁴Este concepto es manejado de forma brillante en [Leijonhufvud \(1973\)](#).

Finalmente, el objetivo específico 5 trata acerca de la representación de los procesos de auto-organización en los sistemas de formación de precios. A partir de los capítulos anteriores se justifica la introducción de un MABM para estudiar estos procesos, lo cual se realiza en el Capítulo 8. Previamente, en el Capítulo 7 se realiza una revisión bibliométrica acerca de los tópicos aplicados en MABM. Esta revisión logra unir las bases de datos de Scopus y la Web of Science para un análisis exhaustivo de las manifestaciones utilizadas en MABM.

Esta revisión es importante por dos motivos: por una parte, integra información de las dos bases de datos bibliométricas más prestigiosas y completas; por otra parte, permite apreciar las innovaciones y los aspectos donde la modelización aún no ha avanzado. Se encuentra que varios de los postulados planteados como diferenciales de las economías con alta inflación (Heymann and Leijonhufvud, 1995) no se presentan en la literatura actual representada a través de MABM.

Este resultado se retoma en el capítulo 8, ya que se propone el planteamiento de un modelo que toma en consideración algunos aspectos relevantes de las economías en desarrollo: expectativas de inflación no necesariamente ancladas con el objetivo del Banco Central, la progresiva pérdida de control de la inflación por parte del Banco Central y expectativas de inflación altamente indexadas. También se observa la importancia de los factores internos en las decisiones y la aparición de inestabilidad macroeconómica de forma endógena.

Los principales resultados del Capítulo 8 muestran a los fenómenos macroeconómicos definidos como en (Arthur, 1999). Los resultados permiten comprender que este modelo tiene un enfoque *bottom-up*: el análisis de sensibilidad muestra que cambios en los factores intrínsecos a los individuos y en la dinámica de interacciones generan cambios macroscópicos en el sistema. Se encuentra además que las leyes de escala aplican para describir la variación de precios en el tiempo para un amplio rango de valores de los parámetros. A partir de los análisis empíricos de los capítulos anteriores y la descripción de la Figura 8.7, se pueden inferir las regiones donde se encuentran tanto el parámetro ρ de tolerancia ante desvíos del BC como el parámetro δ de preferencia temporal, en caso que no puedan estimarse.

La aparición de leyes de escala, signo de la posible ocurrencia de procesos auto-organizados, se explica en este modelo a partir de las relaciones entre la inflación esperada y su realización. El proceso evolutivo de estimación de los salarios de reserva de los trabajadores y su traspaso a los precios -en la función de producción de la firma- provoca la emergencia de estos resultados en la distribución de variaciones de precios. Esta es sólo una de las posibles especificaciones del modelo que pueden dar lugar a procesos auto-organizados.

9.2. Sobre las recomendaciones de política

“...my concern is that, before one starts making policy recommendations to governments, the realism of one’s model must be addressed and that widely used unrealistic assumptions must be rejected regardless of their mathematical elegance.” (Boland, 2014)

Esta tesis analiza procesos auto-organizados en los sistemas de formación de precios y estudia diferentes aspectos característicos de estos procesos. Durante los diferentes capítulos se han brindado una serie de acciones y recomendaciones de política, que se recapitulan a continuación. Sin embargo, es necesario analizar si es posible realizar recomendaciones de políticas y bajo cuáles condiciones.

Un primer comentario se encuentra relacionado con la validez externa de los experimentos realizados. La validez externa se define en [McDermott \(2011\)](#) como la posibilidad de generalizar los resultados de un estudio a otras poblaciones o contextos. Es claro que, siguiendo a [Boland \(2014\)](#), se restringen las clases de modelos posibles de brindar recomendaciones de política. La simplicidad y la parsimonia se encuentran en conflicto con la necesidad de generar modelos que representen las dinámicas de los sistemas. [Rodrik \(2015\)](#) plantea que son necesarios los modelos simples, ya que modelos más complicados⁵ impiden comprender el funcionamiento de los fenómenos económicos. Como contraposición a estos planteos, desde la economía de la complejidad existen dos respuestas posibles: KISS⁶ ([Axelrod, 1997](#)) y KIDS⁷ ([Edmonds and Moss, 2004](#)). La diferencia entre ambos enfoques radica en que en el segundo caso se busca una descripción detallada de los aspectos más importantes del modelo. De todas formas, como se menciona en [Sun \(2006\)](#), la realidad que es objeto de estudio es mucho más compleja que los modelos utilizados.

La validez externa, por lo tanto, depende del contexto: cuáles son los supuestos relevantes y cuales son accesorios al experimento y a la realidad estudiada. En este sentido, en esta tesis se ha avanzado en dos direcciones: por una parte, a partir de supuestos menos restrictivos tanto en el apartado empírico como en la modelización; por otra parte, planteando supuestos más relacionados con la economía estudiada y con la evidencia empírica para los países en desarrollo. Por todo lo expuesto, las recomendaciones deben tomarse con precaución: una sugerencia importante que subyace a la tesis es la importancia de un buen diagnóstico de los fenómenos económicos y el uso de técnicas acordes a los problemas planteados. Para el estudio de la inflación este aspecto cobra especial relevancia, porque como se afirma en [Heymann and Leijonhufvud \(1995\)](#), los países con diferente historial en el manejo de la inflación tienen horizontes de decisión y condiciones políticas y sociales cualitativamente diferentes.

Un comentario aparte merecen los intentos de hacer predicciones a partir de estos resultados. Conceptualmente, el enfoque de los sistemas complejos es muy crítico con las posibilidades de realizar predicciones a partir de estos modelos, por lo cual raramente se utiliza con este fin ([Edmonds et al., 2019](#)). En [Polhill et al. \(2021\)](#) se plantea que sería posible a priori simular todas las posibles historias, pero aún en este caso es una tarea inextricable y que puede no prever la aparición de eventos no explicables a partir de la historia previa al experimento.

⁵En ([Rodrik, 2015](#), p. 44) se afirma que “*Relevance does not require complexity, and complexity may impede relevance.*”. En el contexto de esta tesis, es razonable plantear el antagonismo entre las palabras “simple” y “complicado”.

⁶Acrónimo de “*Keep It Simple, Stupid*”

⁷Acrónimo de “*Keep It Descriptive, Stupid*”

Una primera observación sobre los resultados refiere a la aparición de leyes de escala en los procesos agregados de formación de precios. Conocer este comportamiento agregado y asumir la existencia de una estructura en la formación de precios permitirá realizar políticas sobre los nodos relevantes. Las acciones no sólo deben ser de políticas monetarias: a través de las redes planteadas se transmite información, por lo cual una comprensión de los canales de difusión radicarán en políticas más eficientes. Este resultado aplica tanto para los formadores de expectativas como a los formadores de precios y debería contemplarse un sistema con interacciones entre la red de nodos de formadores de expectativas y la red de productos. Analizar las interacciones entre ambas redes permitirá tomar cuenta de las interacciones y la retroalimentación del sistema. Este objetivo escapa al presente trabajo y se plantea como una posible extensión.

Por otra parte, se encuentra en el Capítulo 3 que la tasa de variación de los precios es persistente en el tiempo, excepto ante grandes shocks. Ante este resultado, se plantean dos observaciones: por una parte, la persistencia puede ser explicada por tratarse de una economía altamente indexada, como plantea [Fernandes et al. \(2020\)](#); por otra parte, ante grandes shocks tiene una reversión a la media. Este comportamiento anti-persistente puede tener dos fuentes: generado endógenamente -por ejemplo, ver el *efecto sobrerreacción* de [Dornbusch \(1976\)](#)- o a partir de políticas exógenas. Para el caso de Uruguay, se pueden identificar fácilmente cuatro planes de estabilización ([Banda, 1994](#)); en la Figura 4.1 se pueden observar los efectos de la Reforma Monetaria y Cambiaria de 1959, del plan de congelación de precios y salarios del año 1968, del Plan de Estabilización de 1978 y el plan de 1990, basado en un crawling-peg asociado a una banda de flotación del dólar.

Respecto al índice que las autoridades deben tomar como objetivo de las políticas, se presenta en el Capítulo 5 importante evidencia a favor de trabajar a partir de la información brindada por el índice general y no mediante índices que miden la inflación subyacente de la economía.

Finalmente, pueden realizarse algunas apreciaciones respecto del modelo presentado en el Capítulo 8. El modelo presenta patrones evolutivos y es altamente sensible a cambios en los valores de los parámetros individuales -ver Figura 8.1 - mientras que la estabilidad del modelo y la aparición de leyes de escala no se ven modificadas ante cambios en los parámetros de política monetaria -ver Tabla 8.3-, lo cual requiere futuras extensiones para conocer los mecanismos a través de los cuales interactúan las políticas con las decisiones. Por último, cabe suponer que las metas de inflación y la formalización de un rango aceptable por parte de los Bancos Centrales puede inducir un efecto anclaje ([Tversky and Kahneman, 1974](#)) en los agentes económicos. El objetivo de estas metas consiste en “alinearse” expectativas; sin embargo, a partir de los resultados del modelo, el no cumplimiento de los objetivos puede tener efectos adversos en la estabilidad del sistema.

Bibliografía

- Agliari, A., Massaro, D., Pecora, N., and Spelta, A. (2017). Inflation targeting, recursive inattentiveness, and heterogeneous beliefs. *Journal of Money, Credit and Banking*, 49(7):1587–1619.
- Ahmad, N., Menegaki, A. N., and Al-Muharrami, S. (2020). Systematic literature review of tourism growth nexus: an overview of the literature and a content analysis of 100 most influential papers. *Journal of Economic Surveys*, 34(5):1068–1110.
- Alvarez, E., Brida, J., and London, S. (2021a). ABM documentation and ODD Protocol in Economics: a bibliometric analysis. *Advances in Complex Systems*, 24(03n04):2140003.
- Alvarez, E., Brida, J. G., and Dueñas, M. (2020). Inflation expectations in a small open economy. In *Advances in Social Simulation*, pages 27–32. Springer. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34127-5_3.
- Alvarez, E., Brida, J. G., and Mones, P. (2021b). Dinámica de la estructura de precios en Uruguay. *Rect@*, in press.
- Alvarez, E. and London, S. (2020). Emerging patterns in inflation expectations with multiple agents. *Journal of Dynamics & Games*, 7(3): 175–184. Disponible en: <http://aimsciences.org//article/id/1679a8a3-7825-42ee-942f-2d3349f2ee9c>.
- Álvarez González, L. J., Gadea Rivas, M. D., and Gómez Loscos, A. (2019). Inflation interdependence in advanced economies. *Documentos de trabajo/Banco de España, 1920*.
- An, L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models. *Ecological Modelling*, 229:25–36.
- Anand, R., Prasad, E. S., and Zhang, B. (2015). What measure of inflation should a developing country Central Bank target? *Journal of Monetary Economics*, 74:102–116.
- Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4):959–975.
- Arthur, W. B. (1989). Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*, 99(394):116–131.
- Arthur, W. B. (1999). Complexity and the economy. *Science*, 284(5411):107–109.

- Arthur, W. B. (2013). Complexity economics. *Complexity and the Economy*.
- Assenza, T., Heemeijer, P., Hommes, C. H., and Massaro, D. (2013). Individual expectations and aggregate macro behavior. *Tinbergen Institute discussion paper 13-016/II*.
- Assenza, T., Heemeijer, P., Hommes, C. H., and Massaro, D. (2021). Managing self-organization of expectations through monetary policy: A macro experiment. *Journal of Monetary Economics*, 117:170–186.
- Auer, R. A., Levchenko, A. A., and Sauré, P. (2019). International inflation spillovers through input linkages. *Review of Economics and Statistics*, 101(3):507–521.
- Axelrod, R. (1984). *The Evolution of Cooperation*. Basic Books.
- Axelrod, R. (1997). *The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration*, volume 3. Princeton University Press.
- Axtell, R. L. (2001). Zipf distribution of US firm sizes. *Science*, 293(5536):1818–1820.
- Bak, P. and Chen, K. (1991). Self-organized criticality. *Scientific American*, 264(1):46–53.
- Bak, P., Chen, K., Scheinkman, J. A., and Woodford, M. (1992). Self organized criticality and fluctuations in economics. *SFI Working Paper 1992-04-018*.
- Bak, P., Tang, C., and Wiesenfeld, K. (1988). Self-organized criticality. *Physical review A*, 38(1):364.
- Balassa, B. (1964). The purchasing-power parity doctrine: a reappraisal. *Journal of Political Economy*, 72(6):584–596.
- Banda, A. (1994). El fin de cuatro planes de estabilización. *Ponencia presentada en las IX Jornadas Anuales de Economía del Banco Central del Uruguay, Montevideo*.
- Bankes, S., Lempert, R., and Popper, S. (2002). Making computational social science effective: Epistemology, methodology, and technology. *Social Science Computer Review*, 20(4):377–388.
- Barabási, A.-L. (2007). The architecture of complexity. *IEEE Control Systems Magazine*, 27(4):33–42.
- Barabási, A.-L. and Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439):509–512.
- Barabási, A.-L. and Vicsek, T. (1991). Multifractality of self-affine fractals. *Physical Review A*, 44(4):2730.
- Bavelas, A. (1950). Communication patterns in task-oriented groups. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6):725–730.
- Bergara, M., Dominioni, D., and Licandro, J. A. (1995). Un modelo para comprender la “enfermedad uruguaya”. *Revista de Economía*, 2(2):39–76.

- Berger, T. (2001). Agent-based spatial models applied to agriculture: a simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. *Agricultural Economics*, 25(2-3):245–260.
- Bergmann, B. R. (1974). A microsimulation of the macroeconomy with explicitly represented money flows. In *Annals of Economic and Social Measurement, Volume 3, number 3*, pages 475–489. NBER.
- Berk, J. M. (2001). *The preparation of monetary policy: essays on a multi-model approach*. Springer Science & Business Media.
- Birke, D. (2009). The economics of networks: A survey of the empirical literature. *Journal of Economic Surveys*, 23(4):762–793.
- Blanchard, O. J. (2014). Where danger lurks: The recent financial crisis has taught us to pay attention to dark corners, where the economy can malfunction badly. *Finance & Development*, 51(003).
- Blaug, M. (2003). The formalist revolution of the 1950s. *Journal of the History of Economic Thought*, 25(2):145–156.
- Blaug, M. (2009). The trade-off between rigor and relevance: Sraffian economics as a case in point. *History of Political Economy*, 41(2):219–247.
- Blinder, A. S. (2000). Central bank credibility: why do we care? how do we build it? *American Economic Review*, 90(5):1421–1431.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., and Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10):P10008.
- Boland, L. A. (2012). Realism in economic model building. *Medema, Steven G./Samuels, Warren J.(Hg.), Foundations of Research in Economics: How Do Economists Do Economics*.
- Boland, L. A. (2014). *Model Building in Economics: its purposes and limitations*. Cambridge University Press.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(3):7280–7287.
- Bookstaber, R. and Kirman, A. (2018). Modeling a heterogeneous world. In *Handbook of Computational Economics*, volume 4, pages 769–795. Elsevier.
- Boubaker, H., Canarella, G., Gupta, R., and Miller, S. M. (2017). Time-varying persistence of inflation: evidence from a wavelet-based approach. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, 21(4):20160130.
- Bouchaud, J.-P., Gualdi, S., Tarzia, M., and Zamponi, F. (2018). Optimal inflation target: insights from an agent-based model. *Economics*, 12(1):20180015.

- Box, G. E. (1976). Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71(356):791–799.
- Box, G. E. and Jenkins, G. M. (1970). Time series analysis: Forecasting and control. *Holden-Day, San Francisco*.
- Bradford, S. C. (1934). Sources of information on specific subjects. *Engineering*, 137:85–86.
- Branch, W. A. (2007). Sticky information and model uncertainty in survey data on inflation expectations. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 31(1):245–276.
- Brin, S. and Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1-7):107–117.
- Brock, W. A. and Durlauf, S. N. (2003). Multinomial choice with social interactions. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- Brock, W. A. and Hommes, C. H. (1997). A rational route to randomness. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 1059–1095.
- Brock, W. A. and Hommes, C. H. (1998). Heterogeneous beliefs and routes to chaos in a simple asset pricing model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 22(8-9):1235–1274.
- Brum, C., Cuitiño, F., Mourelle, J., and Vicente, L. (2012). Modelos multivariados para predecir la inflación en Uruguay. *Documentos de Trabajo del Banco Central del Uruguay*.
- Bryan, M. F. and Cecchetti, S. G. (1999). Inflation and the distribution of price changes. *Review of Economics and Statistics*, 81(2):188–196.
- Cagan, P. (1956). The monetary dynamics of hyperinflation. In *Studies in the Quantity Theory of Money*, pages 25–117. University of Chicago Press.
- Caiani, A., Catullo, E., and Gallegati, M. (2018). The effects of fiscal targets in a monetary union: a multi-country agent-based stock flow consistent model. *Industrial and Corporate Change*, 27(6):1123–1154.
- Caiani, A., Russo, A., and Gallegati, M. (2019). Does inequality hamper innovation and growth? An AB-SFC analysis. *Journal of Evolutionary Economics*, 29(1):177–228.
- Callon, M., Courtial, J.-P., Turner, W. A., and Bauin, S. (1983). From translations to problematic networks: An introduction to co-word analysis. *Information (International Social Science Council)*, 22(2):191–235.
- Cancelo, J. R., Fernández, A., Grosskoff, R., Selves, R., and Villamonte, G. (1994). Precios de transables y no transables: Un enfoque ARIMA-IA. *IX Jornadas de Economía del Banco Central del Uruguay, Montevideo, Uruguay*.
- Caraballo, M. and Dabus, C. (2005). Nominal rigidities, relative prices and skewness. *Centro de Estudios Andaluces, Working Paper series*.

- Cardoso, J. L. and Palma, N. (2009). The science of things generally? In *Lionel Robbins's Essay on the Nature and Significance of Economic Science—75th Anniversary Conference Proceedings, Londres, London School of Economics, STICERD*, pages 387–402.
- Carlson, J. A. (1975). Are price expectations normally distributed? *Journal of the American Statistical Association*, 70(352):749–754.
- Carroll, C. D. (2003). Macroeconomic expectations of households and professional forecasters. *the Quarterly Journal of Economics*, 118(1):269–298.
- Cartwright, N. (2007). The vanity of rigour in economics: theoretical models and galilean experiments. In *Hunting Causes and Using Them: Approaches in Philosophy and Economics*, page 217–235. Cambridge University Press.
- Cecconi, F., Campenni, M., Andrighetto, G., and Conte, R. (2010). What do agent-based and equation-based modelling tell us about social conventions: the clash between ABM and EBM in a congestion game framework. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13(1):6.
- Chen, S.-H. and Wang, S. G. (2011). Emergent complexity in agent-based computational economics. *Journal of Economic Surveys*, 25(3):527–546.
- Chen, Y. G. (2019). Inflation, inflation expectations, and the Phillips curve. Technical report, CBO Working Paper 2019-07. Washington DC: CBO.
- Cincotti, S., Raberto, M., and Teglio, A. (2010). Credit money and macroeconomic instability in the agent-based model and simulator Eurace. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 4.
- Clauset, A., Shalizi, C. R., and Newman, M. E. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM review*, 51(4):661–703.
- Clementi, F. and Gallegati, M. (2005). Pareto's law of income distribution: Evidence for Germany, the United Kingdom, and the United States. In *Econophysics of Wealth Distributions*, pages 3–14. Springer.
- Coibion, O. and Gorodnichenko, Y. (2015). Is the Phillips curve alive and well after all? Inflation expectations and the missing disinflation. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 7(1):197–232.
- Coibion, O., Gorodnichenko, Y., and Kamdar, R. (2018). The formation of expectations, inflation, and the Phillips curve. *Journal of Economic Literature*, 56(4):1447–91.
- Colander, D., Föllmer, H., Haas, A., Goldberg, M., Juselius, K., Kirman, A., Lux, T., and Sloth, B. (2010). The financial crisis and the systemic failure of academic economics. In *Lessons from the Financial Crisis*, pages 427–436. John Wiley and Sons.
- Collins, A., Petty, M., Vernon-Bido, D., and Sherfey, S. (2015). A call to arms: standards for agent-based modeling and simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18(3):12.

- Cornea-Madeira, A., Hommes, C., and Massaro, D. (2019). Behavioral heterogeneity in US inflation dynamics. *Journal of Business & Economic Statistics*, 37(2):288–300.
- Cuitiño, F., Ganón, E., Tiscordio, I., and Vicente, L. (2010). Modelos univariados de series de tiempo para predecir la inflación de corto plazo. *XXV Jornadas de Economía del Banco Central del Uruguay*.
- Curtin, R. (2009). Inflation expectations and empirical tests: Theoretical models and empirical tests. In *Inflation Expectations*, pages 52–79. Routledge.
- Dabús, C. A. (1993). Precios relativos y no neutralidad de la inflación: el caso argentino. *Estudios Económicos*, 9(21-22):1–21.
- Davis, J. B. (2018). Agent-based modeling’s open methodology approach: Simulation, reflexivity, and abduction. *Æconomia. History, Methodology, Philosophy*, (8-4):509–529.
- Davis, J. B. (2019). Specialization, fragmentation, and pluralism in economics. *The European Journal of the History of Economic Thought*, 26(2):271–293.
- Dawid, H. and Delli Gatti, D. (2018). Agent-based macroeconomics. In Hommes, C. and LeBaron, B., editors, *Handbook of Computational Economics*, volume 4, pages 63–156. Elsevier.
- Dawid, H., Harting, P., and Neugart, M. (2018). Cohesion policy and inequality dynamics: Insights from a heterogeneous agents macroeconomic model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 150:220–255.
- Dawid, H. and Neugart, M. (2011). Agent-based models for economic policy design. *Eastern Economic Journal*, 37(1):44–50.
- De Gregorio, J. (2012). Commodity prices, monetary policy, and inflation. *IMF Economic Review*, 60(4):600–633.
- De Gregorio, J., Giovannini, A., and Wolf, H. C. (1994). International evidence on tradables and nontradables inflation. *European Economic Review*, 38(6):1225–1244.
- de Solla, P. D. J. (1965). Networks of scientific papers. *Science*, 149(3683):510–515.
- Delli Gatti, D., Desiderio, S., Gaffeo, E., Cirillo, P., and Gallegati, M. (2011). *Macroeconomics from the Bottom-up*, volume 1. Springer Science & Business Media.
- Delli Gatti, D., Di Guilmi, C., Gaffeo, E., Giulioni, G., Gallegati, M., and Palestrini, A. (2005). A new approach to business fluctuations: heterogeneous interacting agents, scaling laws and financial fragility. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 56(4):489–512.
- Dilaver, Ö., Calvert Jump, R., and Levine, P. (2018). Agent-Based Macroeconomics and Dynamic Stochastic General Equilibrium Models: Where do we go from here? *Journal of Economic Surveys*, 32(4):1134–1159.

- Dornbusch, R. (1976). Expectations and exchange rate dynamics. *Journal of political Economy*, 84(6):1161–1176.
- Dosi, G., Fagiolo, G., Napoletano, M., and Roventini, A. (2013). Income distribution, credit and fiscal policies in an agent-based Keynesian model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37(8):1598–1625.
- Dosi, G., Fagiolo, G., Napoletano, M., Roventini, A., and Treibich, T. (2015). Fiscal and monetary policies in complex evolving economies. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 52:166–189.
- Dosi, G., Fagiolo, G., and Roventini, A. (2006). An evolutionary model of endogenous business cycles. *Computational Economics*, 27(1):3–34.
- Dosi, G., Fagiolo, G., and Roventini, A. (2010). Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 34(9):1748–1767.
- Dräger, L. and Lamla, M. J. (2012). Updating inflation expectations: Evidence from micro-data. *Economics Letters*, 117(3):807–810.
- Drăgulescu, A. and Yakovenko, V. M. (2001). Exponential and power-law probability distributions of wealth and income in the United Kingdom and the United States. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 299(1-2):213–221.
- Edmonds, B., Le Page, C., Bithell, M., Chattoe-Brown, E., Grimm, V., Meyer, R., Montaña Sales, C., Ormerod, P., Root, H., and Squazzoni, F. (2019). Different modelling purposes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 22(3):6.
- Edmonds, B. and Moss, S. (2004). From KISS to KIDS—an ‘anti-simplistic’ modelling approach. In *International workshop on multi-agent systems and agent-based simulation*, pages 130–144. Springer.
- Ellegaard, O. and Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? *Scientometrics*, 105(3):1809–1831.
- Elsner, W. (2017). Complexity economics as heterodoxy: Theory and policy. *Journal of Economic Issues*, 51(4):939–978.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 50(4):987–1007.
- Epstein, J. M. and Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Brookings Institution Press.
- Erdos, P. and Renyi, A. (1960). On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, 5:17–61.

- Evans, G. W., Hommes, C. H., McGough, B., and Salle, I. (2019). Are long-horizon expectations (de-) stabilizing? theory and experiments. Technical report, Bank of Canada Staff Working Paper.
- Fagiolo, G., Guerini, M., Lamperti, F., Moneta, A., and Roventini, A. (2019). Validation of agent-based models in economics and finance. In *Computer Simulation Validation*, pages 763–787. Springer.
- Fagiolo, G. and Roventini, A. (2017). Macroeconomic policy in DSGE and Agent-Based Models redux: New developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(1).
- Fama, E. F. (1965). The behavior of stock-market prices. *The Journal of Business*, 38(1):34–105.
- Farmer, J. D. and Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature*, 460(7256):685–686.
- Fasolo, A. M. and Portugal, M. S. (2004). Imperfect rationality and inflationary inertia: a new estimation of the Phillips curve for Brazil. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, 34(4):725–776.
- Fehr, E. and Schmidt, K. M. (2006). The economics of fairness, reciprocity and altruism—experimental evidence and new theories. *Handbook of the Economics of Giving, Altruism and Reciprocity*, 1:615–691.
- Fernandes, L. H., Araújo, F. H., Silva, I. E., Leite, U. P., de Lima, N. F., Stosic, T., and Ferreira, T. A. (2020). Multifractal behavior in the dynamics of brazilian inflation indices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, page 124158.
- Fontana, M. (2010). The Santa Fe perspective on Economics: emerging patterns in the science of complexity. *History of Economic Ideas*, 18(2):167–196.
- Forbes, K. J. (2019). Has globalization changed the inflation process? *BIS working paper N° 791*.
- Foster, J. and Potts, J. (2009). A micro-meso-macro perspective on the methodology of evolutionary economics: integrating history, simulation and econometrics. In *Schumpeterian perspectives on innovation, competition and growth*, pages 53–68. Springer.
- Frache, S. and Lluberas, R. (2019). New information and inflation expectations among firms. *BIS Working Paper N° 781*.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, pages 35–41.
- Gabaix, X. (1999). Zipf’s law for cities: An explanation. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(3):739–767.

- Gabaix, X. (2009). Power laws in economics and finance. *Annual Review of Economics*, 1(1):255–294.
- Gabaix, X. (2016). Power laws in economics: An introduction. *Journal of Economic Perspectives*, 30(1):185–206.
- Gagnon, J. E. (1996). *Long memory in inflation expectations: Evidence from international financial markets*, volume 538. Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Galí, J. (2015). *Monetary policy, inflation, and the business cycle: an introduction to the new Keynesian framework and its applications*. Princeton University Press.
- Galí, J. (2018). The state of new keynesian economics: a partial assessment. *Journal of Economic Perspectives*, 32(3):87–112.
- Gao, X., An, H., and Zhong, W. (2013). Features of the correlation structure of price indices. *PLoS One*, 8(4):1–9.
- Garda, P., Lanzilotta, B., and Lorenzo, F. (2004). Descripción y evaluación de un esquema metodológico para el diagnóstico y predicción de la inflación en Uruguay. *XIX Jornadas de Economía del Banco Central del Uruguay*.
- Garibay, I., Gunaratne, C., Yousefi, N., and Scheinert, S. (2019). The agent-based model canvas: A modeling lingua franca for computational social science. *Social-Behavioral Modeling for Complex Systems*, pages 521–544.
- Gear, C., Eppel, E., and Koziol-McLain, J. (2018). Advancing complexity theory as a qualitative research methodology. *International Journal of Qualitative Methods*, 17(1):1609406918782557.
- Gilbert, N. (2004). Agent-based social simulation: dealing with complexity. *The Complex Systems Network of Excellence*, 9(25):1–14.
- Gilbert, N. (2008). *Agent-based models*, volume 153. Sage Publications.
- Gillespie, C. S. (2015). Fitting heavy tailed distributions: The poweRlaw package. *Journal of Statistical Software*, 64(2):1–16.
- Ginn, W. and Pourroy, M. (2020). Should a Central Bank react to food inflation? Evidence from an estimated model for Chile. *Economic Modelling*, 90:221–234.
- Girvan, M. and Newman, M. E. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12):7821–7826.
- Gogas, P., Papadimitriou, T., and Matthaïou, M.-A. (2016). Bank supervision using the threshold-minimum dominating set. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 451:23–35.
- Goodfriend, M. (2007). How the world achieved consensus on monetary policy. *Journal of Economic Perspectives*, 21(4):47–68.

- Goodwin, R. M. (1947). Dynamical coupling with especial reference to markets having production lags. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, pages 181–204.
- Goyal, S. (2011). Social networks in economics. *The SAGE Handbook of Social Network Analysis*, pages 67–79.
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S. K., Huse, G., et al. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198(1-2):115–126.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., and Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: a review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23):2760–2768.
- Grimm, V., Polhill, G., and Touza, J. (2013). Documenting social simulation models: the ODD protocol as a standard. In *Simulating social complexity*, pages 349–365. Springer.
- Grimm, V., Railsback, S. F., Vincenot, C. E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D. L., Edmonds, B., Ge, J., Giske, J., Groeneveld, J., et al. (2020). The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: A second update to improve clarity, replication, and structural realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2).
- Gualdi, S., Tarzia, M., Zamponi, F., and Bouchaud, J.-P. (2017). Monetary policy and dark corners in a stylized agent-based model. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 12(3):507–537.
- Hammond, G. (2012). State of the art of inflation targeting. *Bank of England. CCBS Handbook*.
- Hauke, J., Achter, S., and Meyer, M. (2020). Theory development via replicated simulations and the added value of standards. *The Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(1).
- Hauke, J., Lorscheid, I., and Meyer, M. (2017). Recent development of social simulation as reflected in JASSS between 2008 and 2014: A citation and co-citation analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20(1).
- Heymann, D. and Leijonhufvud, A. (1995). High Inflation: The Arne Ryde Memorial Lectures. *OUP Catalogue*.
- Holland, J. H. and Miller, J. H. (1991). Artificial adaptive agents in economic theory. *The American Economic Review*, 81(2):365–370.
- Hommes, C. (2011). The heterogeneous expectations hypothesis: Some evidence from the lab. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 35(1):1–24.
- Hommes, C., Massaro, D., and Weber, M. (2019). Monetary policy under behavioral expectations: Theory and experiment. *European Economic Review*, 118:193–212.

- Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116(1):770–799.
- International Labour Organisation, Organisation for Economic Cooperation and Development, International Monetary, World Bank, and United Nations (2004). *Producer Price Index Manual: Theory and Practice*. International Monetary Fund.
- Jackson, M. O. (2010). *Social and economic networks*. Princeton University Press.
- Janssen, M. A., Pritchard, C., and Lee, A. (2020). On code sharing and model documentation of published individual and agent-based models. *Environmental Modelling & Software*, 134:104873.
- Jevons, W. S. (1879). *The theory of political economy*. Macmillan and Company.
- Kearns, J. (1998). The distribution and measurement of inflation. *Reserve Bank of Australia Research Discussion Paper 9810*, (September).
- Kelleher, L. L. and Cozzens, M. B. (1988). Dominating sets in social network graphs. *Mathematical Social Sciences*, 16(3):267–279.
- Keynes, J. M. (1936). *The general theory of employment, interest, and money*. Macmillan, London.
- Kirman, A. P. (1992). Whom or what does the representative individual represent? *Journal of Economic Perspectives*, 6(2):117–136.
- Kirman, A. P. (2005). Individual and aggregate behaviour: of ants and men. *Complexity and the Economy: Implications for Economic Policy*, pages 33–53.
- Kirman, A. P. (2010). The economic crisis is a crisis for economic theory. *CESifo Economic Studies*, 56(4):498–535.
- Kirman, A. P. (2016). Ants and nonoptimal self-organization: Lessons for macroeconomics. *Macroeconomic Dynamics*, 20(2):601–621.
- Krug, S. (2018). The interaction between monetary and macroprudential policy: should central banks ‘lean against the wind’ to foster macro-financial stability. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 12(2018-7):1–69.
- Kumar, S., Afrouzi, H., Coibion, O., and Gorodnichenko, Y. (2015). Inflation targeting does not anchor inflation expectations: evidence from firms in New Zealand. *Brookings Papers on Economic Activity*, pages 187–226.
- Lamla, M. J. and Vinogradov, D. V. (2019). Central Bank announcements: Big news for little people? *Journal of Monetary Economics*, 108:21–38.
- Lazear, E. P. (2000). Economic imperialism. *The Quarterly Journal of Economics*, 115(1):99–146.

- Le Roux, B. and Rouanet, H. (2004). *Geometric data analysis: from correspondence analysis to structured data analysis*. Springer Science & Business Media.
- LeBaron, B. and Tesfatsion, L. (2008). Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *American Economic Review*, 98(2):246–50.
- Leijonhufvud, A. (1968). *On Keynesian Economics and the Economics of Keynes: A Study in Monetary Theory*. Oxford University Press.
- Leijonhufvud, A. (1973). Life among the econ. *Economic Inquiry*, 11(3):327–337.
- Leijonhufvud, A. (1997). Models and theories. *Journal of Economic Methodology*, 4(2):193–198.
- Leijonhufvud, A. (2011). La naturaleza de una economía. *Investigación Económica*, 70:15–36.
- Lévy, P. (1925). *Calcul des probabilités*. PCMI collection. Gauthier-Villars.
- London, S. and Tohmé, F. (2019). Economic evolution and uncertainty: Transitions and structural changes. *Journal of Dynamics & Games*, 6(2):149–158.
- Mandelbrot, B. (1963). The variation of certain speculative prices. *The Journal of Business*, 36(4):394–419.
- Mandelbrot, B. and Taylor, H. M. (1967). On the distribution of stock price differences. *Operations Research*, 15(6):1057–1062.
- Mankiw, N. G. and Reis, R. (2002). Sticky information versus sticky prices: a proposal to replace the New Keynesian Phillips curve. *The Quarterly Journal of Economics*, 117(4):1295–1328.
- Mantegna, R. N. and Stanley, H. E. (1999). *Introduction to Econophysics: correlations and complexity in finance*. Cambridge University Press.
- Massey Jr, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46(253):68–78.
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., and Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10):1447–1459.
- McDermott, R. (2011). Internal and external validity. *Cambridge Handbook of Experimental Political Science*, pages 27–40.
- McKelvey, R. D. and Palfrey, T. R. (1995). Quantal response equilibria for normal form games. *Games and Economic Behavior*, 10(1):6–38.
- Mirowski, P. and Cook, P. (1990). Walras’ “Economics and Mechanics”: Translation, commentary, context. In *Economics as Discourse*, pages 189–224. Springer.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press.

- Molnár, F., Sreenivasan, S., Szymanski, B. K., and Korniss, G. (2013). Minimum dominating sets in scale-free network ensembles. *Scientific Reports*, 3(1):1–10.
- Müller, B., Bohn, F., Dreßler, G., Groeneveld, J., Klassert, C., Martin, R., Schlüter, M., Schulze, J., Weise, H., and Schwarz, N. (2013). Describing human decisions in agent-based models—ODD+ D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling & Software*, 48:37–48.
- Muth, J. F. (1961). Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 315–335.
- Nasir, M. A. and Vo, X. V. (2020). A quarter century of inflation targeting & structural change in exchange rate pass-through: Evidence from the first three movers. *Structural Change and Economic Dynamics*, 54:42–61.
- Nelson, R. R. and Winter, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press.
- Nelson, R. R. and Winter, S. G. (1974). Neoclassical vs. evolutionary theories of economic growth: critique and prospectus. *The Economic Journal*, 84(336):886–905.
- Newman, M. E. (2001). The structure of scientific collaboration networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2):404–409.
- Newman, M. E. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf’s law. *Contemporary Physics*, 46(5):323–351.
- Newman, M. E. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(23):8577–8582.
- Newman, M. E. (2010). *Networks: an introduction*. Oxford University Press.
- Nolan, J. P. (1999). Fitting data and assessing goodness-of-fit with stable distributions. *Applications of Heavy Tailed Distributions in Economics, Engineering and Statistics, Washington DC*.
- Obstfeld, M. (2019). Global dimensions of US monetary policy. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- Papadimitriou, T., Gogas, P., Sarantitis, G., and Matthaiou, M. (2014). Analysis of network topology using the threshold-minimum dominating set. *Available at SSRN 2435488*.
- Papadimitriou, T., Gogas, P., and Sarantitis, G. A. (2013). An analysis of the US Gross State Product co-movement using the minimum dominating set. In *2013 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing*, pages 1145–1145. IEEE.
- Pareto, V. (1896). *Cours d’économie politique: professé à l’Université de Lausanne*, volume 1. F. Rouge.

- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., and Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2):314–337.
- Parunak, H. V. D., Savit, R., and Riolo, R. L. (1998). Agent-based modeling vs. equation-based modeling: A case study and users’ guide. In *International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, pages 10–25. Springer.
- Phan, D., Gordon, M. B., and Nadal, J.-P. (2004). Social interactions in economic theory: an insight from statistical mechanics. In *Cognitive Economics*, pages 335–358. Springer.
- Polhill, J. G. (2010). ODD updated. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 13(4):9.
- Polhill, J. G., Hare, M., Bauermann, T., Anzola, D., Palmer, E., Salt, D., and Antosz, P. (2021). Using agent-based models for prediction in complex and wicked systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 24(3).
- Polhill, J. G., Parker, D., Brown, D., and Grimm, V. (2008). Using the ODD protocol for describing three agent-based social simulation models of land-use change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(2):3.
- R Core Team (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raberto, M., Teglio, A., and Cincotti, S. (2008). Integrating real and financial markets in an agent-based economic model: an application to monetary policy design. *Computational Economics*, 32(1-2):147–162.
- Richiardi, M., Leombruni, R., Saam, N. J., and Sonnessa, M. (2006). A common protocol for agent-based social simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 9(1):15.
- Rinke, S., Busch, M., and Leschinski, C. (2017). Long memory, breaks, and trends: on the sources of persistence in inflation rates. Technical report, Hannover Economic Papers (HEP).
- Rodrik, D. (2015). *Economics rules: The rights and wrongs of the dismal science*. WW Norton & Company.
- Rosser, J. B. (2019). Reflections on reflexivity and complexity. In *History, Methodology and Identity for a 21st Century Social Economics*, pages 67–86. Routledge.
- Rosser, J. B. (2021). Logical and philosophical foundations of complexity. In *Foundations and Applications of Complexity Economics*, pages 1–24. Springer.
- Royuela-del Val, J., Simmross-Wattenberg, F., and Alberola-López, C. (2017). libstable: Fast, parallel, and high-precision computation of α -stable distributions in R, C/C++, and MATLAB. *Journal of Statistical Software*, 78(i01).

- Russo, A., Catalano, M., Gaffeo, E., Gallegati, M., and Napoletano, M. (2007). Industrial dynamics, fiscal policy and R&D: Evidence from a computational experiment. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 64(3-4):426–447.
- Salle, I., Sénégas, M.-A., and Yildizoğlu, M. (2019). How transparent about its inflation target should a Central Bank be? *Journal of Evolutionary Economics*, 29(1):391–427.
- Salle, I., Yildizoğlu, M., and Sénégas, M.-A. (2013). Inflation targeting in a learning economy: An ABM perspective. *Economic Modelling*, 34:114–128.
- Salle, I. L. (2015). Modeling expectations in agent-based models—an application to central bank’s communication and monetary policy. *Economic Modelling*, 46:130–141.
- Samuelson, P. A. (1948). Foundations of economic analysis. *Science and Society*, 13(1).
- Samuelson, P. A. (1964). Theoretical notes on trade problems. *The Review of Economics and Statistics*, pages 145–154.
- Sarantitis, G. A., Papadimitriou, T., and Gogas, P. (2018). A network analysis of the United Kingdom’s Consumer Price Index. *Computational Economics*, 51(2):173–193.
- Scharnagl, M. and Stapf, J. (2014). Inflation, deflation, and uncertainty: What drives euro area option-implied inflation expectations and are they still anchored in the sovereign debt crisis? *Bundesbank Discussion Paper*.
- Schasfoort, J., Godin, A., Bezemer, D., Caiani, A., and Kinsella, S. (2017). Monetary policy transmission in a macroeconomic agent-based model. *Advances in Complex Systems*, 20(08).
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2):143–186.
- Schelling, T. C. (1978). *Micromotives and macrobehavior*. WW Norton & Company.
- Schinckus, C. (2021). The Santa Fe Institute and Econophysics: A possible genealogy? *Foundations of Science*, pages 1–21.
- Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4):591–611.
- Simon, H. A. (1955a). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1):99–118.
- Simon, H. A. (1955b). On a class of skew distribution functions. *Biometrika*, 42(3/4):425–440.
- Simon, H. A. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. *The American Economic Review*, 49(3):253–283.
- Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106.

- Simon, H. A. and Ando, A. (1961). Aggregation of variables in dynamic systems. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 111–138.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 48(1):1–48.
- Sims, C. A. (2003). Implications of rational inattention. *Journal of Monetary Economics*, 50(3):665–690.
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science*, 24(4):265–269.
- Smith, J. and McAleer, M. (1995). Alternative procedures for converting qualitative response data to quantitative expectations: an application to australian manufacturing. *Journal of Applied Econometrics*, 10(2):165–185.
- Solow, R. M. (1979). What we know and don't know about inflation. *Technology Review*, 81(3):30–44.
- Sornette, D. (2014). Physics and financial economics (1776–2014): puzzles, Ising and agent-based models. *Reports on progress in physics*, 77(6):062001.
- Squazzoni, F. (2010). The impact of agent-based models in the social sciences after 15 years of incursions. *History of Economic Ideas*, pages 197–233.
- Squazzoni, F. and Casnici, N. (2013). Is social simulation a social science outstation? a bibliometric analysis of the impact of JASSS. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 16(1):10.
- Squazzoni, F., Jager, W., and Edmonds, B. (2014). Social simulation in the social sciences: A brief overview. *Social Science Computer Review*, 32(3):279–294.
- Sun, Q., Gao, X., Wen, S., Chen, Z., and Hao, X. (2018). The transmission of fluctuation among price indices based on Granger causality network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 506:36–49.
- Sun, R. (2006). Prolegomena to integrating cognitive modeling and social simulation. *Cognition and multi-agent interaction: from cognitive modeling to social simulation*, pages 3–26.
- Svensson, L. E. (1997). Inflation forecast targeting: Implementing and monitoring inflation targets. *European Economic Review*, 41(6):1111–1146.
- Takahashi, I. and Okada, I. (2020). An artificial Wicksell-Keynes economy integrating short-run business cycle and long-term cumulative trend. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, pages 1–46.
- Taylor, J. B. (1993). Discretion versus policy rules in practice. In *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, volume 39, pages 195–214. Elsevier.

- Tesfatsion, L. (2002). Agent-based computational economics: Growing economies from the bottom up. *Artificial Life*, 8(1):55–82.
- Tesfatsion, L. (2006). Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. *Handbook of Computational Economics*, 2:831–880.
- Tesfatsion, L. and Judd, K. L. (2006). *Handbook of Computational Economics: Agent-based Computational Economics*. Elsevier.
- Theil, H. (1958). *Economic forecasts and policy*. North-Holland.
- Tohmé, F., Dabús, C., and London, S. (2005). Processes of evolutionary self-organization in high inflation experiences. In *New Tools of Economic Dynamics*, pages 357–371. Springer.
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157):1124–1131.
- Wang, F., Du, H., Camacho, E., Xu, K., Lee, W., Shi, Y., and Shan, S. (2011). On positive influence dominating sets in social networks. *Theoretical Computer Science*, 412(3):265–269.
- Watts, D. J. and Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, 393(6684):440–442.
- Wei, G. (2019). A bibliometric analysis of the top five economics journals during 2012–2016. *Journal of Economic Surveys*, 33(1):25–59.
- White, H. D. and McCain, K. W. (1998). Visualizing a discipline: An author co-citation analysis of information science, 1972–1995. *Journal of the American Society for Information Science*, 49(4):327–355.
- Wilensky, U. (1999). Netlogo. Evanston, IL: Center for connected learning and computer-based modeling, Northwestern University.
- Windrum, P., Fagiolo, G., and Moneta, A. (2007). Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(2):8.
- Woodford, M. (2001). The Taylor rule and optimal monetary policy. *American Economic Review*, 91(2):232–237.
- Woodford, M. (2003a). Imperfect common knowledge and the effects of monetary policy. *Knowledge, Information, and Expectations in Modern Macroeconomics: In Honor of Edmund S. Phelps*, page 25.
- Woodford, M. (2003b). *Interest and prices: Foundations of a theory of monetary policy*. Princeton University Press.

- Wooldridge, J. M. (2015). *Introductory econometrics: A modern approach*. Cengage learning.
- Zahle, J. and Kaidesoja, T. (2019). Emergence in the social sciences. In *The Routledge handbook of emergence*, pages 400–407. Routledge.
- Zhang, J., Yu, Q., Zheng, F., Long, C., Lu, Z., and Duan, Z. (2016). Comparing keywords plus of WOS and author keywords: A case study of patient adherence research. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(4):967–972.

Parte V

Anexos

Anexo A

Anexo del Capítulo 2

A.1. Estimación de parámetros bajo distribuciones estables

En este Anexo se muestran los resultados de la estimación de los parámetros bajo la hipótesis de observaciones IID, bajo generalización a partir de distribuciones estables. Los cálculos se realizaron a través del paquete *libstableR* (Royuela-del Val et al., 2017) del software R.

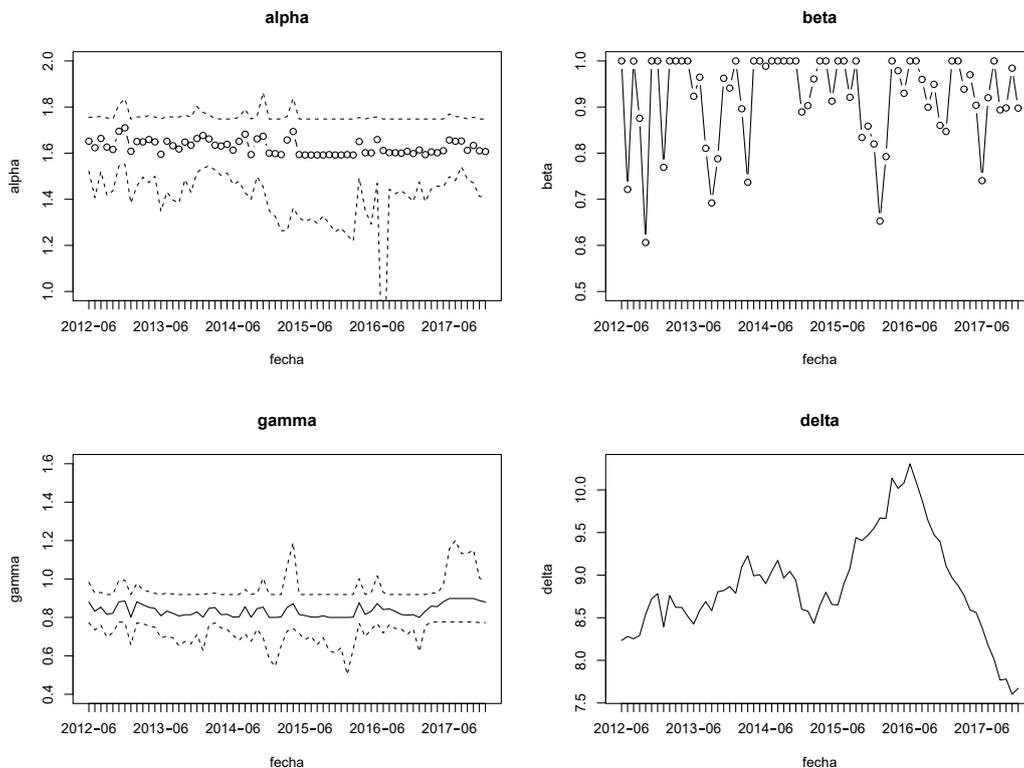


Figura A.1: Estimación de los parámetros α , β , γ y δ . En líneas punteadas, intervalos de confianza del 95%, calculados mediante bootstrap.

Como puede verse, los valores encontrados en la Figura A.1 no son consistentes con una distribución Normal en ninguno de los períodos. Se observa en la gráfica de α que se

alcanzan valores máximos de 1.8, por esta razón rechazamos la hipótesis de que nuestro conjunto de datos se pueda obtener a partir de una distribución Normal durante el período analizado.

El sesgo es otra característica de estas series de datos. Dado que $-1 \leq \beta \leq 1$, donde $\beta > 0$ implica colas gruesas derechas, mientras que $\beta < 0$ implica colas gruesas izquierdas. Se observa que durante el período analizado β se encuentra entre 0.6 y 1, lo que agrega evidencia a favor de un sesgo a la derecha, siguiendo los antecedentes expuestos anteriormente.

El gráfico γ muestra que la incertidumbre en las expectativas (medida a partir del grado de desacuerdo) aumenta al final del período analizado. Esto está vinculado al gráfico δ , un proxy de la distribución promedio, que muestra un aumento en las expectativas en 2015 y una fuerte disminución desde mediados de 2016. Este último gráfico está fuertemente vinculado a la inflación anualizada en cada período.

Anexo B

Anexos del Capítulo 4

B.1. Estimación del umbral u

Para la estimación del umbral u se procedió a simular las distintas redes para los 9 años de estudio en el rango de valores $[0.1; 0.55]$ de este parámetro. Para valores mayores a 0.55, quedaban muchos nodos desconectados de la red. Se calculó un conjunto de métricas y se procedió a seleccionar el valor del umbral buscando que éste cumpliera con dos propiedades:

- (1) Que fuera un punto de inflexión en alguna de las métricas de interés;
- (2) Que este valor no presentara situaciones atípicas o extrañas en las demás métricas.

Con estos fines, se evaluó un conjunto de métricas para las 9 redes obtenidas, y luego se procedió a sintetizar esa información calculando el promedio de dichas métricas en los 9 años para cada valor del umbral. En particular, se puede ver que el valor de $u = 0.36$ parecería ser un punto de inflexión con respecto a la cantidad de comunidades que se halla en promedio para cada año (ver Figura B.1) lo que indicaría que si se aumentara el umbral más allá de este valor, la cantidad de comunidades obtenidas haría más difícil su interpretación.

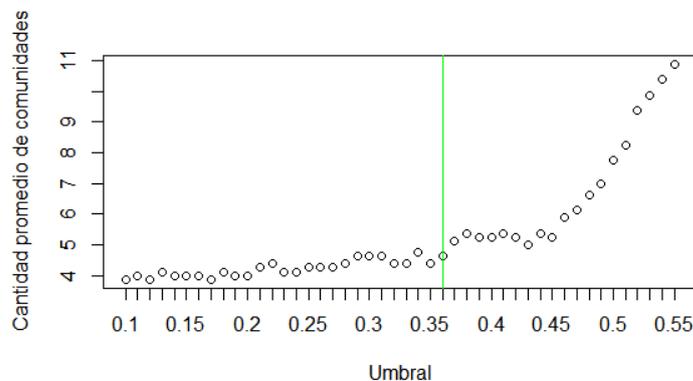


Figura B.1: Cantidad de comunidades promedio para distintos valores de u

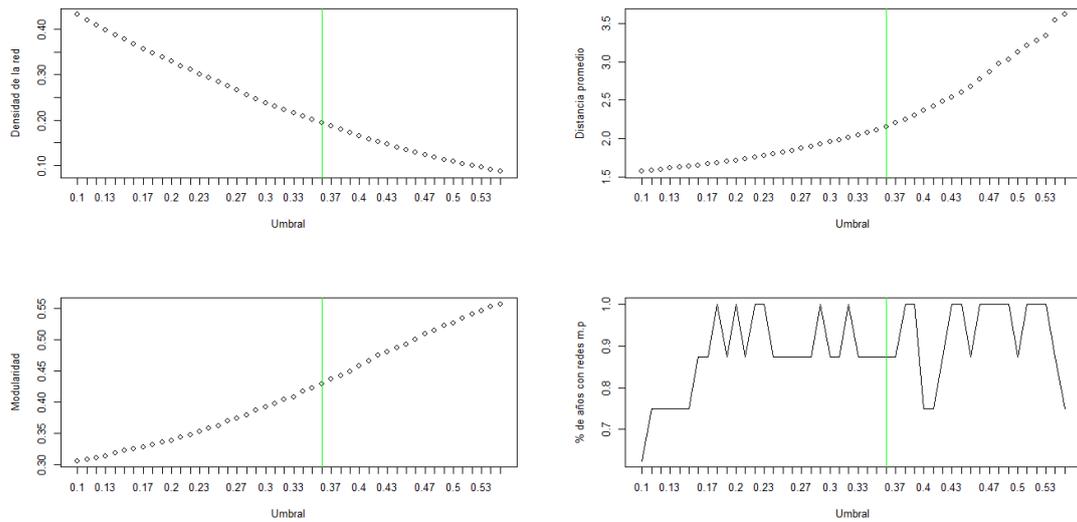


Figura B.2: Evolución promedio de diferentes métricas para distintos valores de u

A su vez, se puede apreciar en la Figura B.2 que el valor seleccionado no parece presentar problemas en las métricas evaluadas. Para el caso de la densidad de la red y la modularidad se ve un crecimiento monótono y sin perturbaciones a medida que se aumenta el valor del umbral, lo mismo pero en sentido contrario sucede con la distancia promedio; por lo que podría concluirse que el valor 0.36 no parece presentar problemas con respecto a estas métricas. Por último, se puede apreciar en la esquina inferior de la Figura B.2 la proporción de años que las redes se comportaron como redes de *mundo pequeño* (Watts and Strogatz, 1998) (m.p), observándose que los resultados parecen ser relativamente estables para el rango de valores simulados.

B.2. Comunidades halladas

Tabla B.1: Comunidades halladas como medida de resumen

	Comunidad 1	Comunidad 2	Comunidad 3
1	Artefactos y equipos terapéuticos	Aceites y grasas	Alquileres efectivos pagados por los inquilinos
2	Combustibles y lubricantes para equipo de transporte personal	Aguas minerales, refrescos, jugos de frutas y de legumbres	Artefactos para el hogar grandes, eléctricos o no
3	Conservación y reparación de equipo de transporte personal	Alcantarillado	Bicicletas
4	Electricidad	Animales domésticos y productos conexos	Carne
5	Frutas	Artículos de vidrio y cristal, vajilla y utensilios para el hogar	Equipo de procesamiento e información
6	Gas	Azúcar, mermelada, miel, chocolate y dulces de azúcar	Equipo fotográfico, cinematográfico e instrumentos ópticos
7	Juegos de azar	Bebidas destiladas	Equipo para la recepción, grabación y reproducción de sonidos e imágenes
8	Limpieza, reparación y alquiler de prendas de vestir	Bienes para el hogar no duraderos	Equipo telefónico y de facsímile
9	Otros servicios n.e.p.	Café, te y cacao	Herramientas y equipo grandes
10	Otros servicios relacionados con la vivienda n.e.p.	Cerveza	Juegos, juguetes y aficiones
11	Otros servicios relativos al equipo de transporte personal	Combustibles sólidos	Leche, queso y huevos
12	Papel y títulos de oficina y materiales de dibujo	Comedores	Medios para grabación
13	Reparación de artefactos para el hogar	Diarios y periódicos	Motocicletas
14	Reparación y alquiler de calzado	Enseñanza no atribuible a ningún nivel	Muebles y accesorios
15	Restaurantes, cafés y establecimientos similares	Enseñanza preescolar o enseñanza primaria	Paquetes turísticos
16	Seguro relacionado con el transporte	Enseñanza secundaria	Piezas de repuesto y accesorios para equipo de transporte personal
17	Servicios culturales	Enseñanza terciaria	Recogida de basuras
18	Servicios de hospital	Herramientas pequeñas y accesorios diversos	Seguro relacionado con la vivienda
19	Servicios de recreación y deportivos	Jardines, plantas y flores	Servicios de alojamiento
20	Servicios de veterinaria y de otro tipo para animales domésticos	Legumbres y Hortalizas	Servicios para la conservación y la reparación de la vivienda
21	Servicios dentales	Libros	Servicios postales
22	Servicios médicos	Materiales para la conservación y la reparación de la vivienda	Transporte combinado de pasajeros
23	Servicios médicos mutuales y colectivos	Otros aparatos, artículos y productos para la atención personal	Transporte de pasajeros por aire
24	Servicios paramédicos	Otros efectos personales	Transporte de pasajeros por mar y cursos de agua interiores
25	Servicios telefónicos y de facsímile	Otros servicios de transporte adquiridos	Vehículos a motor
26	Suministro de agua	Pan y cereales	
27	Tabaco	Pescado	
28	Transporte de pasajeros por carretera	Prendas de vestir	
29		Productos alimenticios n.e.p.	
30		Productos farmacéuticos	
31		Productos textiles para el hogar	
32		Salones de peluquería y establecimientos de cuidados personales	
33		Servicios domésticos y para el hogar	
34		Vino	
35		Zapatos y otros calzados	

Anexo C

Anexos del Capítulo 5

C.1. Índice de Persistencia

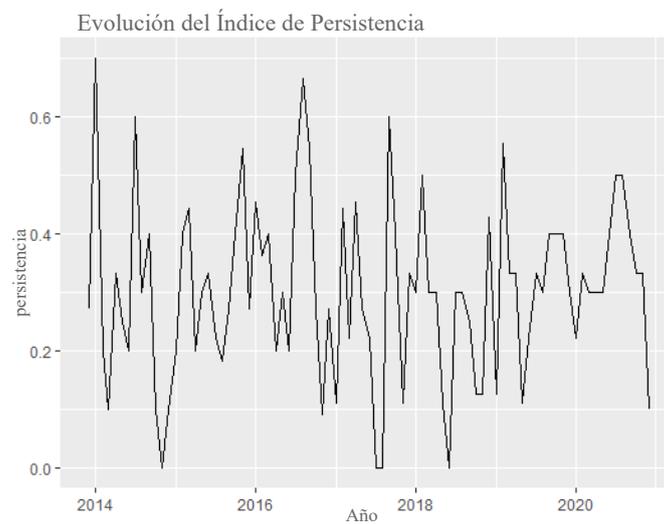


Figura C.1: Evolución del índice de persistencia en el período de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

C.2. Clases con más participaciones en el T-MDS

	Nmombre	Cantidad	División
1	Leche, queso y huevos	34	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
2	Prendas de vestir	34	Vestimenta y Calzado
3	Pan y cereales	30	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
4	Carne	29	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
5	Frutas	29	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
6	Pescado	28	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
7	Recogida de basura	20	Vivienda
8	Aceites y grasas	19	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
9	Bienes para el hogar no duraderos	18	Muebles y artículos para el Hogar
10	Reparación y alquiler de calzado	17	Vestimenta y Calzado
11	Alquileres efectivos pagados por los inquilinos	16	Vivienda
12	Legumbres y hortalizas frescas	15	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
13	Café, té, cacao y yerba mate	15	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
14	Agua mineral, refrescos y jugos de frutas y de legumbres	15	Alimentos y Bebidas No Alcohólicas
15	Bebidas destiladas	15	Bebidas Alcohólicas, Tabaco y Estupefacientes

Tabla C.1: Nodos más frecuentes en el T-MDS. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística de Uruguay.

Anexo D

Anexos del Capítulo 6

D.1. Estadísticas descriptivas del conjunto de datos

Descripción	Resultados	
INFORMACIÓN PRINCIPAL	ODD	not ODD
Período	2011:2021	1980:2021
Fuentes (Revistas, Libros, etc)	77	885
Documentos	117	2159
Años promedio desde la publicación	3.84	7.61
Citas promedio por documento	9.01	15.42
Citas promedio por año por documento	1.948	1.632
Referencias bibliográficas	7346	92314
TIPOS DE DOCUMENTO		
artículos	103	1489
artículos <i>in press</i>		2
libros	2	31
capítulos de libro	2	137
conference paper	10	378
editorial		10
erratum		4
carta al editor		1
nota		2
revisión	2	65
CONTENIDO		
Indexed Keywords (ID)	716	6456
Author's Keywords (DE)	436	5323

AUTORES		
Autores	381	4381
Autores de documentos con un solo autor	12	344
Autores de documentos con más de un autor	369	4037
Documentos con un solo autor	14	458
Documentos por autor	0.307	0.493
Autores por documento	3.26	2.03
Co-autores por documento	3.5	2.78
Índice de colaboración	3.58	2.37

D.2. Criterio de clasificación de Bradford

En esta sección se muestran tablas resumidas de la clasificación de fuentes basada en la ley de Bradford. Cada una de las zonas se muestra según el número de fuentes, artículos y citas. Esta información también se presenta en términos absolutos y en relación con el total.

Zona	Fuentes	Artículos	Citas
Zone 1	7	40	335
Zone 2	32	39	425
Zone 3	38	38	294
Total	77	117	1054
Zona	% Fuentes	% Artículos	% Citas
Zone 1	9.09 %	34.19 %	31.78 %
Zone 2	41.56 %	33.33 %	40.32 %
Zone 3	49.35 %	32.48 %	27.90 %

Tabla D.2: Ley de Bradford de la literatura ABM-ODD. Fuente: elaboración propia, en base a base de datos Scopus.

Zona	Fuentes	Artículos	Citas
Zone 1	29	720	14587
Zone 2	198	728	11721
Zone 3	658	711	6980
Total	885	2159	33288
Zona	% Fuentes	% Artículos	% Citas
Zone 1	3.28 %	33.35 %	43.82 %
Zone 2	22.37 %	33.72 %	35.21 %
Zone 3	74.35 %	32.93 %	20.97 %

Tabla D.3: Ley de Bradford de literatura ABM-no-ODD. Fuente: elaboración propia, en base a base de datos Scopus.

D.3. Resumen de redes de co-citación

Artículo	cluster	betweenness	pagerank
Grimm et al. (2010)	1	7.429	0.066
Grimm et al. (2006)	1	6.047	0.056
Epstein and Axtell (1996)	1	4.033	0.059
Wilensky (1999)	1	4.026	0.059
Bonabeau (2002)	1	2.003	0.052
An (2012)	1	4.642	0.059
Windrum et al. (2007)	1	3.077	0.052
Gilbert (2008)	1	3.095	0.055
Tesfatsion (2006)	1	2.474	0.049
Farmer and Foley (2009)	1	2.827	0.052
Schelling (1971)	1	2.821	0.052
Axelrod (1997)	1	2.107	0.052
Mitchell (2009)	1	0.644	0.039
Tesfatsion and Judd (2006)	1	4.351	0.059
Delli Gatti et al. (2011)	1	0.969	0.039
Holland and Miller (1991)	1	1.7	0.046
Kirman (1992)	1	1.766	0.049
Matthews et al. (2007)	2	1.013	0.036
Berger (2001)	3	0.486	0.03
Parker et al. (2003)	4	1.488	0.04

Tabla D.4: Resumen de la red de co-citación generada a partir de artículos seleccionados que citan a Grimm et al. (2006, 2010). Los clústeres se generan a partir del algoritmo de Girvan-Newman (Girvan and Newman, 2002). Para cada nodo, se calculan su centralidad de intermediación (*betweenness*) y las medidas de centralidad de pagerank (*pagerank*).

Artículo	cluster	betweenness	pagerank
Epstein and Axtell (1996)	1	1.009	0.045
Bonabeau (2002)	2	1.972	0.053
Dosi et al. (2010)	3	0.475	0.047
Dosi et al. (2013)	3	0.912	0.047
Nelson and Winter (1982)	3	3.137	0.059
Tesfatsion (2006)	3	3.137	0.059
Farmer and Foley (2009)	3	1.742	0.053
Kirman (1992)	3	1.742	0.053
Tesfatsion and Judd (2006)	3	3.137	0.059
Simon (1955a)	3	3.137	0.059
Cincotti et al. (2010)	3	0.464	0.042
Dosi et al. (2015)	3	0.475	0.047
Keynes (1936)	3	3.137	0.059
Fagiolo and Roventini (2017)	3	0.475	0.047
LeBaron and Tesfatsion (2008)	3	0.746	0.045
Axelrod (1997)	4	0.174	0.039
Tesfatsion (2002)	5	2.092	0.053
Schelling (1978)	6	0.174	0.039
Axelrod (1984)	7	0.888	0.042
Arthur (1989)	8	1.972	0.053

Tabla D.5: Resumen de la red de co-citación generados a partir de artículos seleccionados que no citan a [Grimm et al. \(2006, 2010\)](#). Los clústeres se generan a partir del algoritmo de Girvan-Newman ([Girvan and Newman, 2002](#)). Para cada nodo, se calculan su centralidad de intermediación (*betweenness*) y las medidas de centralidad de pagerank (*pagerank*).

Anexo E

Anexo del Capítulo 8

E.1. Descripción del modelo, a partir del Protocolo ODD

Resumen

Las políticas de metas de inflación se han convertido en una de las herramientas más utilizadas por los Bancos Centrales para controlar los fenómenos inflacionarios. En este contexto, las expectativas de inflación - y su distancia de la inflación efectiva - son una medida de la credibilidad del Banco Central (BC).

Se introduce un modelo macroeconómico basado en agentes (MABM) con múltiples agentes heterogéneos. En este modelo, los individuos se caracterizan por su proceso de formación de expectativas al elegir el grado de credibilidad del Banco Central, quien anuncia la meta de inflación y utiliza políticas monetarias basadas en la tasa de interés.

La credibilidad depende de factores externos -distancia entre la inflación objetiva y efectiva en cada momento- y también de la tolerancia de los individuos con respecto a las desviaciones del objetivo. Esta formulación permite estudiar los fenómenos de crisis de confianza en un marco dinámico.

A partir de los resultados, se argumenta que la estabilidad macroeconómica depende del grado de tolerancia de los individuos a las desviaciones respecto de la inflación objetivo. A su vez, el error de pronóstico y su heterogeneidad aumentan cuando los individuos tienen mayor tolerancia ante desvíos del BC. Además, se muestra que los cambios en la credibilidad son asimétricos: los shocks generan una disminución generalizada de la confianza, mientras que la recuperación de la confianza es un proceso mucho más lento, determinado por la relación entre la inflación y sus expectativas.

Descripción del modelo

1. Propósito

La idea general de este modelo es analizar el comportamiento de la autoridad monetaria, de los agentes económicos y el desempeño macroeconómico ante modificaciones en el comportamiento de los individuos. Las modificaciones analizadas se originan en factores intrínsecos, relacionados con la tasa de descuento temporal y el grado de tolerancia ante desvíos de la inflación actual respecto del objetivo.

2. Entidades, variables de estado y escalas

- Agentes: hogares, firmas, Banco Central y sistema financiero.
- Variables de estado: los atributos de cada tipo de agente se representan en la Tabla E.1.
- Escalas: El tiempo se representa en períodos discretos, con duración igual a un año. El período de tiempo hace referencia a los plazos de negociación salarial.

Tabla E.1: Variables de estado de cada tipo de agente

agente	Variable	Descripción	Tipo de variable
hogares	h	El trabajador se encuentra empleado?	integer
hogares	w	salario de reserva	float
hogares	π^e	inflación esperada (en $t+1$)	float
hogares	c^d	cantidad demandada	float
hogares	c	cantidad consumida	float
hogares	k	proporción del ingreso destinado a consumo	float
hogares	\tilde{y}	ingreso permanente	float
hogares	y	ingreso nominal	float
hogares	γ^k	estrategia de ajuste del consumo deseado	float
hogares	γ^w	estrategia de ajuste del salario	float
hogares	$\tilde{u}t$	utilidad suavizada	float
hogares	ut	utilidad	float
hogares	ζ	probabilidad de ser imitado	float
hogares	P_{mut}	probabilidad de mutar a (γ^w, γ^k) aleatorio	float
hogares	P_{imit}	probabilidad de imitar otras estrategias	float
hogares	σ_w	desvío estándar del experimento en γ^w	float
hogares	σ_k	desvío estándar del experimento en γ^k	float
hogares	χ	credibilidad del Banco Central	float
hogares	Δ	tolerancia individual a la política del BC	float
firma	Y^s	producción	float
firma	Y	cantidad transada en el mercado	float
firma	H	cantidad de trabajadores contratados	int
firma	H^s	oferta de trabajadores	int
firma	H^d	demanda de trabajadores	int

firma	ϵ	tasa de ajuste de H^d	float
firma	A	factor tecnológico	int
firma	Ψ	función de costos	float
firma	P	precio	float
firma	Π	función de beneficios	float
firma	$\tilde{\Pi}$	beneficios normales	float
BC	r^n	tasa de interés real “natural”	float
BC	i	tasa de interés de la economía	float
BC	π^T	inflación objetivo	float
BC	π	inflación efectiva	float
BC	u^*	tasa natural de desempleo	float
BC	u	tasa de desempleo efectiva	float

3. Resumen y programación del proceso

La secuencia de eventos en la simulación es la siguiente:

- a) Los hogares eligen su salario de reserva y ofrecen mano de obra, al tiempo que la firma decide su demanda de mano de obra.
- b) La firma y los hogares se encuentran en el mercado de trabajo.
- c) La firma produce el bien y decide el precio basado en un mark-up sobre costos. Cada hogar calcula el nivel de consumo deseado a partir de sus ingresos totales, a la vez que el nivel de ahorros o deuda en el sistema financiero.
- d) La firma y los hogares se encuentran en el mercado de bienes.
- e) El BC decide la tasa de interés de referencia, tomando en cuenta tanto la inflación como el nivel de desempleo.
- f) Los agentes actualizan sus estrategias.

4. Conceptos de diseño

- Principios básicos: en este modelo se simula una economía donde los hogares intentan mantener su consumo suavizado en el tiempo. La suavización del consumo se produce a partir de la actualización de estrategias relacionadas con el grado de indexación del salario y la proporción del ingreso utilizada para el consumo.
- Emergencia: Los procesos inflacionarios y la inestabilidad macroeconómica surgen a partir de los procesos de decisión e interacción, sin decisiones centralizadas. El comportamiento adaptativo de los individuos es un proceso emergente del sistema.
- Adaptación: Los hogares utilizan reglas para adaptar su salario de reserva (grado de indexación), la cantidad a consumir y el aumento de precios esperado. La firma utiliza reglas para ajustar la cantidad a producir, relacionado con las ganancias obtenidas en el período anterior. El BC utiliza la regla de Taylor para adaptar la política monetaria a las condiciones del mercado.

- **Objetivos:** Los hogares buscan obtener un mejor consumo, mientras que la firma busca mejorar sus beneficios. El BC busca mantener un bajo desempleo junto con una inflación baja y estable, cercana a su objetivo de política monetaria. El sistema financiero capta depósitos de los hogares.
- **Aprendizaje:** las reglas de comportamiento de los agentes no cambian durante el experimento.
- **Predicción:** La firma predice la cantidad a producir en el próximo período basada en el exceso de oferta o demanda en el período actual. Los hogares buscan predecir el comportamiento futuro del aumento de precios, suponiendo además que van a mantener el consumo suavizado en el largo plazo.
- **Percepción:** La firma observa los salarios de reserva de los hogares y los precios y cantidades transados en el mercado. Los hogares perciben las señales macroeconómicas, los precios y conocen las estrategias tomadas por los demás hogares. El BC percibe la tasa de inflación y la tasa de desempleo en cada período.
- **Interacción:** Los hogares interactúan entre sí mediante las estrategias de imitación y mutación, a la vez que interactúan con la firma en los mercados de bienes y de trabajo y con el sistema financiero cuando calculan el ingreso y el consumo permanente.
- **Aleatoriedad:**
 - se introducen shocks aleatorios en el sistema, donde los hogares pueden mutar sus estrategias con una probabilidad P_{mut} : $\gamma^w \sim N(\bar{\gamma}^w, \sigma_w)$; $\gamma^k \sim N(\bar{\gamma}^k, \sigma_k)$, con $\bar{\gamma}^w$ y $\bar{\gamma}^k$ como la media poblacional de γ^w y γ^k respectivamente.
 - los hogares padecen de errores de percepción de la verdadera inflación objetivo del BC. Por lo tanto, $\pi_i^T = \pi^T + \Xi$, con $\Xi \sim N(0, \xi)$.
 - Con una probabilidad P_{hire} , la firma observa el mercado y decide si modifica la cantidad de trabajadores en la empresa.
- **Colectivos:** en los mercados podemos encontrar colectivos de consumidores, trabajadores y transacciones financieras. También entre los trabajadores podemos encontrar los colectivos de empleados y desempleados.
- **Monitoreo:** Las series de la inflación, inflación esperada, desvío estándar de la inflación esperada por los agentes, error de estimación de los agentes, tasa de interés de mercado, tasa de desempleo y credibilidad del BC son exportadas para su análisis posterior.

5. Inicialización

Los valores de los parámetros con los que se inicia el modelo, representados en la Tabla E.2 son tomados de [Salle et al. \(2013\)](#); [Salle \(2015\)](#). Se modifica la inflación objetivo al 5% y una tasa de desempleo natural del 8%, a efectos de utilizar valores relacionados con la inflación y la tasa de desempleo en Uruguay.

Tabla E.2: Parámetros y condiciones iniciales

Parámetro	Descripción	Valor
n	cantidad de hogares	300
τ	número de períodos	500
i	tasa de interés (en $t=0$)	0.04
r^n	tasa de interés real “natural” (en $t=0$)	0
π	inflación (en $t=0$)	0.06
u^*	tasa de desempleo “natural”	0.04
u	tasa de desempleo (en $t=0$)	0.10
π^T	inflación objetivo	0.05
$\phi(\pi)$	ajuste del BC vinculado a inflación	U[1; 3]
$\phi(u)$	ajuste del BC vinculado al desempleo	U[0,5; 1,5]
χ	nivel de credibilidad del BC (en $t=0$)	0.9
π^{trend}	inflación tendencial	0.1
ρ	preferencia temporal de los agentes	U[0; 1]
P_{imit}	probabilidad de imitar	U[0,1; 0,5]
P_{mut}	probabilidad de mutación	U[0,1; 0,5]
$k_{mín}$	share mínimo consumo / ingresos	0,5
$k_{máx}$	share máximo consumo / ingresos	1,5
Π	beneficios de la firma (en $t=0$)	0
$\tilde{\Pi}$	beneficios normales	0
δ	tolerancia ante desvíos del objetivo del BC	U[0; 0,2]
Y^s	producción (en $t=0$)	280
H^s	oferta de trabajadores	300
A	factor tecnológico	1
α	parámetro de la función de producción	0,25
μ	mark-up de la firma	0,1
H^d	demanda de trabajadores	280
ϵ	ajuste de demanda de trabajadores	0,005
P_{hire}	probabilidad de observar el mercado de trabajo	0,8
w	salario de reserva (en $t=0$)	U[0; 2]
h	el trabajador se encuentra empleado?	{0; 1}
h_i^s	oferta individual de mano de obra	1
π_i^e	inflación esperada (para $t=1$)	U[0,02; 0,08]
c^d	cantidad demandada (en $t=0$)	U[0; 1,5]
k_i	share consumo / ingresos (en $t=0$)	U[0,8; 1,2]
\tilde{y}	ingreso permanente (en $t=0$)	1
γ^k	estrategia de ajuste del consumo deseado	U[0,5; 1,5]
γ^w	estrategia de ajuste del salario	U[0; 2]
$\tilde{u}t$	utilidad suavizada (en $t=0$)	0
σ_w	desvío estándar del experimento en γ^w	0,25
σ_k	desvío estándar del experimento en γ^k	0,1

ξ	desvío estándar de los errores de percepción del objetivo	0,01
-------	---	------

6. Datos utilizados

Los datos utilizados fueron basados en [Salle et al. \(2013\)](#); [Salle \(2015\)](#), no se utilizan datos reales, excepto por la inflación objetivo y la tasa de desempleo natural, donde se utilizan datos de Uruguay.

7. Sub-modelos

▪ Sub-modelo 1: cálculo del salario de reserva

En cada período, los hogares ajustan su salario de reserva. Este modelo es de corte keynesiano, por lo cual los salarios nominales son rígidos a la baja. El salario en cada período será igual al anterior más un ajuste que depende de la estrategia γ_w y de la tasa de inflación esperada $\pi_{i,t+1}^e$. Por tanto, el salario de reserva se define en la Ecuación (E.1) de la siguiente manera:

$$w_{i,t} = \begin{cases} w_{i,t-1}(1 + \gamma_{i,t}^w \pi_{i,t+1}^e) & \text{si } \pi_{i,t+1}^e \geq 0 \\ w_{i,t-1} & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (\text{E.1})$$

▪ Sub-modelo 2: mercado de trabajo

En este modelo todos los trabajadores desean ingresar al mercado de trabajo, por lo cual $H^s = n$. La cantidad de trabajadores empleados, H_t , equivale al mínimo entre la cantidad demandada por la firma (H_t^d) y la mano de obra ofrecida en el mercado (n), como se expresa en la Ecuación (E.2). Al momento de contratar nuevos trabajadores, la firma toma en cuenta el salario de reserva de éstos.

$$H_t = \min(H_t^d, n) = \sum_{i=1}^n h_{i,t} \quad (\text{E.2})$$

▪ Sub-modelo 3: producción y decisión del nivel de consumo deseado

En esta firma, el capital humano es el único factor de producción. La función de producción se presenta en la Ecuación (E.3). Como el único factor de producción es el trabajo, los costos son iguales a la masa salarial pagada en cada período (ver Ecuación (E.4)).

$$Y_t^s = AH_t^{1-\alpha} \quad (\text{E.3})$$

$$\Psi(Y_t^s) = \sum_{i=1}^n w_{i,t} h_{i,t} \quad (\text{E.4})$$

El precio se calcula como un mark-up μ sobre los costos marginales. El precio P_t se deriva de la Ecuación (E.5), que depende en forma positiva del mark-up

μ , del parámetro α de la función de producción, de la cantidad de empleados H_t y del salario promedio \bar{w}_t .

$$P_t = (1 + \mu) \frac{\Psi(Y_t^s)}{(1 - \alpha)Y_t^s} = (1 + \mu) \frac{\bar{w}_t H_t^\alpha}{A(1 - \alpha)} \quad (\text{E.5})$$

En cuanto a los hogares, perciben ingresos de diversas fuentes: por su salario, por su participación en los beneficios de la empresa y por los intereses obtenidos de sus ahorros, como se observa en la Ecuación (E.6). A partir del ingreso corriente definido en (E.6) se define el ingreso permanente $\tilde{y}_{i,t}$, en la Ecuación (E.7). El ingreso permanente es un promedio ponderado medido en términos reales, con una mayor ponderación a los ingresos más recientes cuando $|\rho| < 1$, lo que equivale a decir que se cumple cuando $\rho \neq 1$ según la parametrización inicial.

$$y_{i,t} = w_{i,t} h_{i,t} + \frac{\Pi_{t-1}}{n} + b_{i,t-1}(1 + i_{t-1}) \quad (\text{E.6})$$

$$\tilde{y}_{i,t} = (1 - \rho) \sum_{j=0}^t \rho^{t-j} \frac{y_{i,t-j}}{P_{t-j}} \quad (\text{E.7})$$

Con esta información, cada individuo calcula la proporción del ingreso permanente destinada al consumo, $k_{i,t}$ (ver Ecuación (E.8)). Para calcularla, modifica la decisión del período anterior al utilizar la regla comportamental γ^k y toma en consideración la diferencia entre la tasa de interés real y la tasa de interés “natural” de la economía. Con esta información se calcula el consumo deseado, como se observa en la Ecuación (E.9). La riqueza $b_{i,t}$ surge entonces a partir de la diferencia entre los ingresos nominales -que incluyen a $b_{i,t-1}$ - y el valor del consumo, como se muestra en la Ecuación (E.10). En esta Ecuación, al igual que en la Ecuación (E.8) se encuentran los vínculos entre los hogares y el sistema financiero, relacionados a partir de la canalización del ahorro y la generación de intereses. La tasa de interés de mercado es la dictaminada por el BC.

$$k_{i,t} = k_{i,t-1} + \gamma_{i,t}^k (i_t - \pi_{i,t+1}^e - r^n) \quad (\text{E.8})$$

$$c_{i,t}^d = k_{i,t} \tilde{y}_{i,t} \quad (\text{E.9})$$

$$b_{i,t} = \begin{cases} y_{i,t} - c_{i,t}^d P_t & \text{si } y_{i,t} > c_{i,t}^d P_t \\ 0 & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (\text{E.10})$$

■ Sub-modelo 4: mercado de bienes

A continuación, se calcula la cantidad transada en el mercado. Para ello, existen dos alternativas: por una parte, que la suma de las cantidades demandadas sea menor a la producción, lo cual permite que todos los individuos puedan

obtener las cantidades demandadas; por otra parte, debe existir una regla de racionamiento en caso que las cantidades demandadas sean mayores a las producidas. En este último caso, la regla utilizada es la siguiente: se ordenan a los hogares según la cantidad demandada y los primeros en comprar son aquellos con menor cantidad demandada. El proceso es iterativo hasta que se vende toda la producción. Los beneficios de la empresa se calculan según la Ecuación (E.11), como la diferencia entre las ventas y sus costos.

$$\Pi_t = P_t Y_t - \Psi(Y_t^s) \quad (\text{E.11})$$

■ **Sub-modelo 5: Banco Central**

El Banco Central en este modelo observa las variables macroeconómicas y aplica políticas monetarias basadas en la tasa de interés, basado en una Regla de Taylor. Primeramente calcula la inflación -Ecuación (E.12)- como la variación del precio del bien producido por la firma. Luego calcula la tasa de desempleo -Ecuación (E.13)- como la diferencia entre los hogares y los empleados.

$$\pi_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \quad (\text{E.12})$$

$$u_t = \frac{H_t^s - H_t}{H_t^s} \quad (\text{E.13})$$

Con esta información, el BC aplica una regla sobre tasas de interés -Ecuación (E.14)- que contempla tanto shocks en los precios como en el desempleo. Según esta regla, la tasa de interés de mercado va a subir si la inflación actual es mayor que el objetivo, así como también si la tasa de desempleo es menor a su tasa natural.

$$1 + i_t = (1 + r_t^n)(1 + \pi^T) \left[\frac{1 + \pi_t}{1 + \pi^T} \right]^{\phi_\pi} \left[\frac{1 + u^*}{1 + u_t} \right]^{\phi_u} \quad (\text{E.14})$$

Finalmente, la inflación tendencial es un promedio ponderado de los aumentos de precios en el mercado, como figura en la Ecuación (E.15).

$$\pi_t^{trend} = (1 - \rho)\pi_{t-1} + \rho\pi_{t-1}^{trend} \quad (\text{E.15})$$

■ **Sub-modelo 6: aprendizaje de los hogares y firma**

Los hogares calculan la utilidad generada a partir del consumo del bien, la cual puede estimarse como el logaritmo del consumo ($ut_{i,t} \equiv \ln(c_{i,t})$), siendo $c_{i,t}$ la cantidad efectivamente consumida por el hogar i . De manera similar a la Ecuación (E.7), en la Ecuación (E.16) se representa el cálculo de la utilidad suavizada. Los hogares adaptarán su comportamiento tomando en consideración la suavización de la utilidad.

$$\tilde{u}t_{i,t} = (1 - \rho) \sum_{j=0}^t \rho^{t-j} ut_{i,j} \quad (\text{E.16})$$

De este resultado puede derivarse la probabilidad de ser imitado ζ_i -Ecuación (E.17)-. Por como se encuentra definido, $0 < \zeta_i < 1$ para $n > 2$. Este mecanismo implica que los hogares con mayor utilidad serán imitados con mayor probabilidad, por lo cual favorece la difusión de las mejores estrategias.

$$\zeta_{i,t} = \frac{e^{\tilde{u}t_{i,t}}}{\sum_{j=1}^n e^{\tilde{u}t_{j,t}}} \quad (\text{E.17})$$

Las estrategias (γ^w, γ^k) se actualizan a través de los mecanismos de imitación y exploración en el espacio de parámetros. Por una parte, con una probabilidad P_{imit} se siguen las estrategias (γ^w, γ^k) de otro jugador. Para esto, se observan las utilidades suavizadas de los demás jugadores y se sigue a uno de ellos de forma aleatoria. Los pesos de cada una de las opciones se encuentran determinados por la Ecuación (E.17). Por otra parte, con una probabilidad P_{mut} cambia sus estrategias (γ^w, γ^k) según el siguiente experimento:

- γ^w se extrae de una distribución $\sim N(\frac{\sum_{j=1}^n \gamma^w}{n}, \sigma_w)$, con $\gamma^w \geq 0$.
- γ^k se extrae de una distribución $\sim N(\frac{\sum_{j=1}^n \gamma^k}{n}, \sigma_k)$

Los hogares calculan la inflación esperada para el próximo período -Ecuación (E.19)- a partir de la información previa, disponible públicamente. El valor de la inflación esperada depende de tres factores:

- el grado de credibilidad del BC ($\chi_{i,t}$);
- la percepción de la inflación objetivo ($\pi_{i,t}^T$);
- la inflación tendencial (π_t^{trend})

Los hogares padecen de errores de percepción de la verdadera inflación objetivo del BC. Por lo tanto, $\pi_{i,t}^T = \pi^T + \Xi_{i,t}$, con $\Xi \sim N(0, \xi)$. La inflación tendencial se encuentra definida en la Ecuación (E.15). La credibilidad del BC -Ecuación (E.18) - determina si los Hogares observarán mayormente el objetivo o su tendencia. Los Hogares lo calculan en cada período. Se asume que $\chi_{min} = 0.1$ y $\chi_{max} = 0.9$, con Δ_i como la tolerancia ante desvíos del Banco Central respecto de su objetivo.

$$\chi_{it} = 1 - \frac{|\pi_{i,t}^T - \pi_t|}{\Delta_i}, \text{ con } \Delta_i \sim U[0, \delta] \quad (\text{E.18})$$

$$\pi_i^e = \chi_i \pi_i^T + (1 - \chi_i) \pi_t^{trend} \quad (\text{E.19})$$

La firma actualiza su estrategia de contratación de personal comparando los beneficios actuales con los beneficios normales o de tendencia, relación que se expresa en la Ecuación E.20. Si los beneficios actuales son mayores a la tendencia, entonces la cantidad de

trabajadores demandados aumentará en una proporción ϵ ; en cambio si son menores a la tendencia, la cantidad de trabajadores demandados disminuye en una proporción ϵ .

$$H_{t+1}^d = \begin{cases} H_t(1 + \epsilon) & \text{si } \frac{\Pi_t}{P_t} \geq \tilde{\Pi}_t \\ H_t(1 - \epsilon) & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (\text{E.20})$$