AAT2507

UCAB Universidad Católica Andrés Bello
CENTRO CULTURAL PADRE CARLOS G. PLAZA S.J.
BIBLIOTECA CENTRAL — SALA PADRE PLAZA S.J.
PLANTA BAJA — TESIS

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES

ESCUELA DE ECONOMÍA

CONTRASTE ENTRE LA TEORÍA DE LAS EXPECTATIVAS RACIONALES Y LA TEORÍA DE LAS EXPECTATIVAS HETEROGÉNEAS BAJO UN ENFOQUE DE RACIONALIDAD LIMITADA

TUTOR:

Dr. JOSÉ CONTRERAS CONTRERAS, C.I.: 5.031.076

AUTORES:

Bachiller SEBASTIÁN CARREÑO LEANDRO, C.I.: 23.708.120

Bachiller ANDRÉS EDUARDO PEÑA OLIVARES, C.I.: 24.455.258

CARACAS, octubre de 2016

DEDICATORIA

Por un país de futuro, conocimiento y paz

Andrés Peña

A mi país, mi Universidad y mi familia

Sebastián Carreño

AGRADECIMIENTOS

Esta travesía por distintos rincones de la teoría económica me hizo cuestionar en varias oportunidades lo que entiendo por conocimiento e hizo que me percatara que la única certeza que tengo es lo afortunado que soy por pertenecer a la familia que tengo, por tener vida para luchar por los propósitos que me planteo y por contar con personas a mi lado, como mi novia, que hacen de esta incertidumbre fundamental que es la vida, *un viaje excepcional*.

Especial mención merece nuestro tutor, el profesor José Contreras, por confiar en mí cuando le ofrecí el tema y por brindarnos su apoyo constantemente, el cual me enseñó y me hizo reflexionar más allá del conocimiento contenido en estas páginas. Adicionalmente, agradezco el apoyo de Cars Hommes, autor de una de las teorías contrastadas y, Fabrice Collard, quienes a distancia respondieron a nuestras dudas y nos brindaron inspiración para llevar esta tesis adelante.

Por último, quiero agradecer a la Escuela de Economía por el apoyo incondicional que siempre han brindado para llevar a cabo cualquier tipo de proyecto que salga de la imaginación del cuerpo estudiantil. En especial, al profesor David Da Silva y a la profesora María Alejandra Paublini por su ayuda constante.

Andrés Eduardo Peña Olivares

Concluir este proyecto implica llegar al final de varios meses de trabajo que requirieron algunos sacrificios que sin el apoyo de mis seres queridos hubieran sido muy difíciles de asumir.

En este sentido agradezco a mis padres por darme siempre el apoyo y las herramientas necesarias para tener éxito, a mis abuelos por su apoyo y cariño incondicional, a mi novia por alentarme en todo momento a dar lo mejor de mí. En particular debo agradecer a mi compañero Andrés Peña quien desde un inicio creyó en mi para participar en un proyecto concebido por él y pacientemente me brindó su apoyo en todo momento.

Adicionalmente, el apoyo de la que considero es mi casa, la Escuela de Economía de la Universidad Católica y de varios de sus profesores, en particular David Da Silva, Maria Alejandra Paublini y Patricia Hernández. Finalmente, el aporte de nuestro tutor José Contreras por su tolerancia y disposición para asumir este reto con nosotros.

Sebastián Carreño Leandro

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 6

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 9

1.1. HIPÓTESIS 11

1.2. OBJETIVOS 12

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 13

2.1. **Expectativas y su importancia en la economía** 13

2.2. **Algunos mecanismos previos de formación de expectativas** 14

2.2.1. Pronóstico perfecto 14

2.2.2. Expectativas ingenuas o estáticas 14

2.2.3. Expectativas adaptativas 14

2.3. Expectativas racionales 16

2.3.1. Definición 16

2.3.2. Autores relevantes 17

2.3.2.1. John F. Muth 17

2.3.2.2. Robert Lucas 17

2.3.2.3. Thomas Sargent 18

2.3.3. Supuestos o fundamentos teóricos 18

2.3.3.1. Aproximación al enfoque de racionalidad tradicional 18

2.3.3.2. Supuestos básicos de la definición original 19

2.3.3.3. Representaciones alternativas de la hipótesis 20

2.4 Expectativas heterogéneas 20

2.4.1 Definición 20

2.4.2 Autores relevantes 21

2.4.2.1 Herbert Simon 21

2.4.2.2 Cars Hommes 21

2.4.2.3 William Brock 22

2.4.3 Supuestos o fundamentos teóricos 22

2.4.3.1 Racionalidad limitada 23

2.4.3.2 Sesgos y heurísticas 24

2.4.3.3 Aprendizaje adaptativo 25

2.4.3.4 Selección evolutiva y aprendizaje por refuerzo 26

3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 29

3.1 Consideraciones generales 29

3.2 Diseño de investigación 29

3.3 Análisis de variables 30
4. ANÁLISIS COMPARATIVO 33
4.1 Contexto histórico 33
4.2 Supuestos y fundamentos teóricos 36
4.2.1 Proceso de simplificación teórico-empírico 38
4.2.2 Grado de racionalidad 40
4.2.3 Presencia de heterogeneidad 43
4.2.4 Retroalimentación entre expectativas y sistema 46
4.2.5 Formalización de los supuestos 48
4.3 Herramientas operacionales 51
4.3.1 Expectativas racionales 51
4.3.1.1 Estadística inferencial 52
4.3.1.1.1 Función de densidad 52
4.3.1.1.2 Función de distribución 52
4.3.1.1.3 Valor esperado 52
4.3.1.1.4 Valor esperado condicional 53
4.3.1.1.5 Expectativa subjetiva y objetiva 53
4.3.1.2 Solución de punto fijo 54
4.3.1.3 Burbujas especulativas y equilibrios de manchas solares 54
4.3.2 Expectativas heterogéneas 55
4.3.2.1 Bifurcaciones en sistemas 1-D 56
4.3.2.2 Caos en sistemas 1-D 56
4.3.2.2.1 Exponente de Lyapunov 57
4.3.2.3 Atractores extraños en sistemas 2-D 57
4.3.2.3.1 Órbitas homoclínicas 59
4.4 Aplicación en modelos 59
4.4.1 Modelo neo-keynesiano IS-PC-MR 60
4.4.1.1 Expectativas racionales 61
4.4.1.2 Expectativas heterogéneas 63
4.4.2 Modelo de valuación de activos 65
4.4.2.1 Expectativas racionales 65
4.4.2.2 Expectativas heterogéneas 67
4.4.3 Modelo de la telaraña 69
4.4.3.1 Expectativas racionales 70
4.4.3.2 Expectativas heterogéneas 73
4.5 Algunas implicaciones en el análisis teórico-político 77

4.6 Evidencia empírica que avala cada hipótesis 83
4.6.1 Problemas de la medición de expectativas 83
4.6.2 Pruebas estadísticas y formas de medir las expectativas 84
4.6.2.1 Indicadores económicos 85
4.6.2.2 Encuestas 86
4.6.2.3 Experimentos 88
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 91
6. BIBLIOGRAFÍA 94
7. ANEXOS 102

INTRODUCCIÓN

Las ciencias sociales, entre ellas la economía, exhiben la dificultad implícita de que el sujeto investigador forma parte del objeto a investigar, razón por la cual la posibilidad de extraer generalizaciones fácticas se acota considerablemente a la óptica del científico. No obstante, a partir de la coexistencia de un pluralismo teórico y metodológico, vulnerable a un proceso de comprobación, puede ampliarse la esfera de herramientas a disposición para el economista permitiéndole adoptar visiones específicas sobre la realidad dependiendo de las condiciones iniciales del fenómeno bajo análisis.

Un elemento característico de la ciencia económica, que le otorga su apelativo de social, es el rol de las expectativas y las creencias de los agentes sobre el comportamiento futuro del sistema analizado, puesto que éstas alimentan el conjunto de alternativas que dichos actores pueden acometer. Por tanto, una teoría sobre la formación de las expectativas resulta relevante para comprender el comportamiento de los agentes y así generar reglas de política que contemplen dicho comportamiento y su posible efecto.

La formación de expectativas depende del marco de racionalidad con el que se describa el comportamiento de los agentes. La visión, hasta ahora predominante, en el estudio de la economía, cuyos principales insumos se asocian al utilitarismo y a la teoría de la utilidad esperada, modela a un individuo cuyo comportamiento es descrito a través de la optimización sujeta a restricciones, bajo supuestos de consistencia y transitividad entre sus preferencias y elecciones, como una representación válida de la conducta económica. Amparándose en el supuesto de que, de existir agentes con otras características en ambientes de competencia, serían expulsados por aquellos que si se adecuan más a esta descripción de racionalidad.

La ampliación de este marco de racionalidad al campo de la formación de expectativas resultó en el desarrollo de la *teoría de las expectativas racionales*, por primera vez formulada en el trabajo cumbre de John F. Muth titulado "Rational expectations and the theory of price movements" publicado en 1961, siendo extendida y popularizada en el área macroeconómica una década más tarde inicialmente gracias a la obra de Robert Lucas y Thomas Sargent. Esta teoría propone, originalmente, que dado que los individuos en entornos de mercado desean realizar predicciones acertadas de la

'realidad' tiene sentido que saquen el máximo provecho de la información que disponen para ello, incluyendo, si fuera el caso, de la teoría económica.

No obstante, algunos economistas califican los supuestos del modelado convencional de esta teoría como 'fuertes' dado que en oportunidades implica la posesión de información por parte del agente que ni el mismo investigador es capaz de poseer, tal como la estructura real del sistema económico en un momento determinado.[1] Al mismo tiempo, la formación de distintas crisis económicas y financieras, como la dot-com o la *gran recesión*, han desafiado la utilidad de las predicciones de esta teoría, lo cual ha originado un creciente interés por estudiar otros enfoques.

Uno de estos, la *racionalidad limitada*, que, como su nombre lo enuncia, describe a un individuo que posee capacidades de cómputo limitadas y restricciones temporales durante el proceso de toma de decisiones, ha adquirido cada vez mayor relevancia en el modelado económico convencional. La representación de las interacciones entre agentes que exhiben estas características bajo un entorno en el que subsisten distintas reglas de pronóstico suscita la aparición de *heterogeneidad* en la formación de expectativas de los agentes, lo cual sumado a un proceso de retroalimentación provocado por la evolución conjunta entre el proceso de elección de los agentes y el equilibrio del sistema, se traduce en una representación compleja del sistema económico.[2] Dicha descripción resume, a grandes rasgos, la *teoría de las expectativas heterogéneas*, formulada por vez primera en el trabajo de William Brock y Cars H. Hommes titulado "A rational route to randomness", publicado en 1997.

¿Sobre qué ideas se fundamentan estas teorías para describir el comportamiento del agente? ¿Qué herramientas son necesarias para formalizar dichas teorías? ¿Difiere en algo el comportamiento de un modelo determinado ante la aplicación de cada una de estas teorías? ¿Avala la evidencia empírica a ambas teorías? Preguntas como estas conforman el motivo de estas líneas, las cuales dan paso a un análisis comparativo-documental que, en lugar de plantear una dicotomía entre ambos enfoques, contribuye, por un lado, a identificar el efecto que cada una causa sobre la investigación económica y, por otro, comprender el alcance de las mismas para ampliar el entendimiento sobre el sistema bajo análisis y, en consecuencia, plantear sugerencias que impulsen las barreras definidas por el conocimiento actual.

---

[1] Para una discusión extendida sobre este tema véase Sargent (1993) y Evans y Honkapohja (2001).

[2] En términos generales, complejidad se refiere a la propiedad de un modelo que le hace difícil formular su comportamiento regular en un lenguaje dado, aun cuando se tiene información razonablemente completa de sus componentes e interrelaciones. Edmonds (1999)

A modo de guía, en el **primer capítulo** el lector cuenta con planteamiento del problema, su importancia y su justificación, los objetivos y las hipótesis que dan motivo a esta investigación; luego, se realiza una descripción sobre el rol de las expectativas en economía, algunos de los mecanismos de formación de expectativas utilizados antes del desarrollo de las teorías a contrastar, la definición de cada una y sus supuestos en el **segundo capítulo**; en el **tercer capítulo** se explica la metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación; acto seguido se profundiza sobre los fundamentos teóricos, las herramientas operacionales, las implicaciones teórico-políticas de la aplicación, en distintos modelos, de ambas hipótesis y la evidencia empírica recopilada de cada hipótesis en el **cuarto capítulo**; como **conclusión** se discute la comprobación de las hipótesis haciendo énfasis en resaltar que aspectos representan fortalezas y debilidades en cada enfoque teórico y los aspectos comunes a ambas teorías. Para finalizar, se sirve al lector de las **referencias bibliográficas** que nutrieron esta investigación y una sección de **anexos** que complementan lo investigado.

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La economía se ha visto desde hace mucho tiempo íntimamente relacionada con el estudio de las expectativas, debido a que lo que los agentes esperan que ocurra con ciertas variables, afectará a las mismas en el futuro. Esta explicación es, en términos generales, la razón por la que los economistas se han visto interesados desde hace mucho tiempo en entender de qué manera los agentes económicos forman sus expectativas. Sin embargo, dada la dificultad de extraer directamente observaciones asociadas a las expectativas subjetivas, la ciencia económica requiere el desarrollo de una teoría de formación de expectativas que sea general en su aplicabilidad y pueda estar sujeta a comprobación para explicar la relación entre el comportamiento observado de las variables y el proceso de formación de expectativas subyacente.

En este sentido, la hipótesis de expectativas racionales se plantea como respuesta a esta necesidad al establecer una relación de consistencia entre la formación de pronósticos y el uso de información disponible para el agente, lo cual permite analizar genuinamente el marco de equilibrio dado que la misma no da lugar a incentivos para que los agentes cambien su forma de pronosticar. Dicho esto, ante la presencia de equilibrios múltiples, esta misma característica evita que la hipótesis permita discernir cual de dichos equilibrios es económicamente relevante para el análisis, en consecuencia, desarrollos posteriores se han concentrado en establecer desviaciones de esta propuesta teórica que puedan arrojar luces sobre este problema.

No obstante, ante la inconformidad de las herramientas disponibles para apoyar el análisis de expectativas racionales, desde el punto de vista teórico, y la carencia de apoyo empírico, la introducción de las expectativas heterogéneas propone una generalización del proceso descrito por la hipótesis anterior mediante la selección intertemporal entre diferentes reglas de pronóstico disciplinadas a través de un mecanismo de aprendizaje por refuerzo, en el cual los agentes se decantan por aquellas reglas con mejor desempeño. Por otra parte, las limitaciones que impone al manejo analítico y los grados de libertad que implica el proceso de aprendizaje descrito antes ha dificultado su difusión como hipótesis válida para describir la formación de expectativas bajo el marco tradicional de análisis económico.

Por esta razón, más allá de plantear la superioridad de una hipótesis sobre otra, esta investigación desea responder las siguientes interrogantes: *¿Cómo afecta la aplicación de cada una de estas hipótesis al análisis económico? Y ¿Puede la caja de*

herramientas del economista beneficiarse de la coexistencia de ambas? Para dar respuesta a ello las presentes líneas ofrecen, en primera instancia, una descripción de las características básicas que definen a cada hipótesis y, acto seguido, una comparación entre los fundamentos teóricos, las herramientas operacionales, la aplicación, implicaciones y evidencia empírica relacionados con cada una.

¿Por qué es importante esta investigación?

Ante la inconformidad con el estado actual de la investigación económica, respecto a la capacidad predictiva de la corriente *tradicional*[3] y dada la relevancia global de las expectativas en el análisis económico, profundizar el estudio de los procesos de su formación puede ampliar el entendimiento que actualmente se posee sobre los fenómenos propios de esta ciencia. Esto obliga a comprender las limitaciones y fortalezas que la corriente tradicional ofrece para explicar el proceso de formación de expectativas y, en consecuencia, a identificar qué aspectos se pueden complementar con la introducción de la perspectiva *conductual* frente a la corriente predominante de análisis económico.

Por otro lado, dada la reducida bibliografía dedicada a esta última perspectiva en el ámbito de investigación económica en Venezuela, es de especial interés promover la investigación rigurosa de economía conductual, en particular, el estudio de la hipótesis de expectativas heterogéneas. Además, puesto que esta última hipótesis posee escasa divulgación y la bibliografía consultada no ofrece información con las características planteadas, la presente investigación persigue el objetivo de atender esta carencia al realizar un análisis sistemático y riguroso sobre los aspectos mencionados palabras arriba.

Finalmente, esta investigación busca afianzar la idea de que mediante el estudio simbiótico de distintas ramas de análisis económico formal puede ampliarse la oferta actual de insumos con los que cuenta el economista para describir la realidad relevante para él, tal y como la competencia perfecta implica un mayor nivel de bienestar para los agentes que una estructura de mercado monopólica.

[3] Para mayor información sobre esta discusión en distintos ámbitos se sugiere consultar Chang (2014), Rodrik (2015) y Romer (2015).

1.1 HIPÓTESIS

Las dinámicas de comportamiento de las variables económicas, bajo un modelo determinado, dependen de la regla de formación de expectativas de los agentes y de la relación de linealidad entre las variables.

Los procesos subyacentes que ambas hipótesis intentan explicar no se ven contenidos por completo en alguna de las dos hipótesis, por lo tanto, es posible ampliar el desarrollo de la teoría económica a partir de la coexistencia de las mismas.

La conclusión de política económica es susceptible a variar ante la aplicación de cada una de las hipótesis. Aun cuando el modelo subyacente sea común a ambas.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general:

Contrastar la teoría de las expectativas racionales con la teoría de expectativas heterogéneas

Objetivos específicos:

- Comparar el contexto histórico, los fundamentos teóricos, las herramientas operacionales y la evidencia empírica de las teorías de formación de expectativas.
- Identificar las fortalezas y debilidades operativas y funcionales de cada enfoque teórico para su aplicación práctica.
- Estudiar las implicaciones teórico-políticas que surgen bajo la aplicación de cada mecanismo de formación de expectativas.
- Investigar sobre los posibles aspectos teóricos y operativos comunes a ambas teorías

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Expectativas e importancia de su estudio en la economía

En economía, se entiende por expectativa al pronóstico o creencia que poseen los agentes decisores sobre los valores futuros de variables relevantes como precios, ventas, ingresos, entre otros. Este concepto es fundamental puesto que cada decisión económica que se lleva cabo es acerca del futuro, dada una situación existente. Aun cuando el lector pueda pensar que estas decisiones aparentemente sólo involucran la situación actual, tal como el acto de escoger manzanas en lugar de peras, una perspectiva sobre el futuro está siempre implícita. En este caso, hay una visión sobre el ingreso futuro que subyace al presupuesto asignado a comprar estos bienes y una visión sobre los precios futuros de estos bienes, que obliga a pensar si vale la pena almacenarlos o comprarlos en el futuro.

Bajo un contexto de análisis económico la primera referencia conocida sobre este concepto se encuentra en los escritos del banquero y economista inglés Henry Thornton en 1802 acerca del crédito monetario y luego, en 1887, en el trabajo del ingeniero Émile Cheysson. Los economistas clásicos, por su parte, asumieron que la economía se encontraba en un estado estacionario el cual puede entenderse como la secuencia de un equilibrio estático y que el resultado de las expectativas da lugar a un *pronóstico perfecto*, es decir, las expectativas se igualan al resultado del sistema (Evans y Honkapohja, 2001).

En el siglo XX los principales trabajos económicos que incluyeron el estudio de las expectativas en su análisis fueron realizados por Alfred Marshall, a quien se le acredita la noción de las *expectativas estáticas*. Keynes (1936), por su parte, constituye un parteaguas en la literatura económica, y en el área macroeconómica en particular, sobre la relevancia dada a este concepto en economía al sostener que los precios de las acciones no están del todo determinados por los fundamentos económicos, sino que los espíritus animales de los inversionistas constituyen una fuente adicional de fluctuaciones (Brock y Hommes, 1998). Del mismo modo, aunque situado bajo una corriente de pensamiento antagónica, Lachmann (1943) describe la relevancia de las expectativas y las separa de las preferencias y los recursos, conceptos usualmente manejados por los economistas como datos, al proponer que dado que las expectativas conforman un elemento importante para comprender el proceso que subyace en la economía, tratar estas últimas de la misma manera es ignorar la labor del economista.

Por su parte, su colega George Shackle propone que cada individuo construye en su imaginación diferentes escenarios o posibles resultados que siguen distintos cursos de acción que este está contemplando. Este individuo conoce la utilidad que le brinda la consecuencia de emprender cada curso de acción imaginado. El curso que le brinda mayor utilidad una vez consideradas sus consecuencias es lo que lo lleva a la acción. Así que este autor entiende el cálculo hedonista de la imaginación como la base de la decisión económica (Minford, 1992).

Bajo otro orden de ideas, el destacado economista Milton Friedman contribuyó a difundir la relevancia de las expectativas en el análisis económico a partir de la teoría desarrollada en conjunto con Edmund Phelps, la cual sugiere que un nivel de desempleo que se mantiene por debajo de su nivel de equilibrio, conduce a un incremento acumulado de precios y salarios, principalmente gracias al rol desestabilizador que juegan las expectativas en el sistema.

Cabe resaltar que el impacto de las expectativas en el análisis económico se extiende incluso hasta la econometría a través de la "Crítica a la evaluación de impacto de la política económica", mejor conocida como *Crítica de Lucas*, la cual, aplicando la hipótesis de expectativas racionales, ilustra un argumento que cambió la forma de modelar el efecto de las modificaciones de reglas de política en modelos macroeconométricos.

Finalmente, líneas de investigación recientes asociadas a la hipótesis de expectativas heterogéneas, asumen que la formación de pronósticos posee una relevancia tal que plantean el modelado de la economía como un *sistema de retroalimentación de expectativas*, donde el comportamiento del sistema depende de las creencias de los agentes y, éstas a su vez, del primero.

Como puede apreciarse a partir de lo expuesto, la presencia de las expectativas dentro del análisis económico es una constante entre las diversas escuelas de pensamiento económico.

2.2 Algunos mecanismos previos de formación de expectativas

Entendiendo la importancia de las expectativas para el estudio de la economía no es sospechoso que los economistas y otros científicos sociales se dieran a la tarea de

responder a la pregunta: *¿Qué mecanismo explica la formación de expectativas de los agentes económicos?*

2.2.1 Pronóstico perfecto

Esta regla sostiene que los valores esperados futuros de una variable económica para el período "t" (por ejemplo: los precios) son conocidos perfectamente por los agentes en el período "t-1". Esta visión sobre el nivel de información de los agentes tiene su origen en la perspectiva estacionaria de la dinámica de la economía propia de los economistas clásicos, en la que la estabilidad de las variables económicas podía reflejarse en unas expectativas con precisión relevante. Simbólicamente se representa utilizando como ejemplo la variable precio:

$$P_t^e = P_t \qquad (2.1)$$

2.2.2 Expectativas ingenuas o estáticas

Por otro lado, en un intento por introducir el tiempo en el análisis económico, Alfred Marshall se involucra en 1920 con el análisis de las expectativas y, sin generar una teoría del todo dinámica, realiza una distinción entre el corto y el largo plazo. El producto del razonamiento de Marshall deriva en el mecanismo de expectativas ingenuas, el cual señala que los agentes utilizan únicamente la información disponible del período pasado inmediato (t-1) para predecir los valores de la variable en el período siguiente (t). Una expresión de esto, utilizando la variable precio, sería:

$$P_t^e = P_{t-1} \qquad (2.2)$$

2.2.3 Expectativas adaptativas

En un esfuerzo por formalizar un mecanismo que considere la posibilidad de ajuste en las expectativas y un uso más extensivo de la información pasada nace, a través de los trabajos de Cagan (1956), Friedman (1957) y Nerlove (1958), la teoría de las expectativas adaptativas. Esta teoría postula que los valores esperados de una variable dependen de una ponderación entre las expectativas que los agentes tenían para el período anterior y un término de ajuste, que consiste en una proporción del error cometido en la predicción sobre la variable durante el período anterior. Formalmente, asumiendo los precios como la variable a pronosticar, se obtiene:

$$P_t^e = P_{t-1}^e + \lambda(P_t - P_{t-1}^e) \qquad (2.3)$$

Sin embargo, este mecanismo fue objeto de diversas críticas, entre ellas, el hecho de que el mismo se basa únicamente en observaciones del pasado de la variable, aun cuando existen en la vida real muchos escenarios en los que las expectativas no se forman sólo a partir de información sobre la misma variable, ni de información pasada únicamente (Argandoña, Gámez y Mochón; 1996). Otros autores también observaron que este mecanismo permitía la ocurrencia de errores de predicción sistemáticos por parte de los agentes en varios períodos sucesivos y con esto se aceptaría implícitamente una subutilización de la información disponible, esto contradice el principio de racionalidad optimizadora, uno de los más importantes fundamentos del análisis microeconómico. Esta característica produjo una inconformidad teórica que fue subsanada con el desarrollo de un nuevo mecanismo de formación de expectativas, la hipótesis de las *expectativas racionales.*

2.3 Expectativas racionales

2.3.1 Definición

Para definir esta hipótesis se debe partir del supuesto de que, dado que las expectativas son importantes para los agentes en situaciones de mercado, resulta lógico inferir que éstos tratan de evitar, errores en su formación y, por tanto, utilizan toda la información disponible del mejor modo posible (Argandoña, Gámez y Mochón, 1996).

Por su parte, Attfield, Demery y Duck (1985) señalan que la noción de las expectativas racionales se basa en que las variables económicas deben entenderse como determinadas por procesos, compuestos por aspectos sistemáticos y estocásticos, los cuales limitan el rango de valores potenciales que puede obtener dicha variable.

Siguiendo este orden de ideas, si se observa el comportamiento histórico de una serie y se identifica un patrón sistemático, o una correlación con respecto al comportamiento histórico de otra variable, sería ingenuo predecir valores fuera del rango limitado por el *proceso* descrito por la variable a pronosticar. Esta visión se ampara en lo expresado por Friedman (1953), quien señala que la estructura competitiva del mercado se apoya en la supervivencia del más apto, en la que aquellos que tienen creencias realistas eventualmente extraen toda la riqueza de otros que no la tienen y, consecuentemente dominan el mercado (Sheffrin, 1983).

Para comprender la formalización básica de esta idea, de acuerdo con el trabajo de Muth, el autor citado agrega que la hipótesis de expectativas racionales esencialmente iguala dos conceptos distintos: *las expectativas subjetivas y psicológicas de las*

variables económicas se postulan a ser la esperanza matemática condicional de dichas variables.[4] En otras palabras, las expectativas subjetivas de los agentes serán, en promedio, iguales a los valores reales de la variable. Simbólicamente ilustrado:

$$Expectativa\ subjetiva = \quad {}_{t-1}X_t^{\epsilon} = E[X_t|I_{t-1}] = Expectativa\ condicional \quad (2.4)$$

Donde E representa el operador de expectativas e I_{t-1} el conjunto de información disponible para el agente al final del período anterior.[5]

El uso del operador de expectativas posee dos características relevantes: (i) es un predictor *insesgado*, es decir, el valor esperado del error de pronóstico es igual a cero y; (ii) es un predictor *eficiente*, lo cual implica que la varianza del error de pronóstico es menor que la varianza de error de cualquier otro predictor.

Cabe destacar, que esta hipótesis no necesariamente conlleva a que los agentes predigan el futuro con exactitud. En su lugar, ésta supone que los errores cometidos no son sistemáticos, no están correlacionados y no pueden reducirse con la información disponible.

2.3.2 Autores relevantes

2.3.2.1 John F. Muth

Conocido como "el padre de las expectativas racionales" nació en Chicago en 1930. Estudió ingeniería eléctrica en la Washington University y se graduó en la GSIA del Carnegie Institute of Technology (ahora Carnegie-Mellon University). En 1962 obtuvo el PhD. en Economía Matemática. Ha sido profesor en la University of Chicago, en la Cowles Foundation de la Yale University, en la Carnegie-Mellon University, en la Michigan State University y en la Indiana University. Sus ideas fueron desarrolladas por Robert Lucas, colega y amigo de Muth. Falleció el 23 de octubre de 2005.

2.3.2.2 Robert Lucas

Nació el 5 de septiembre de 1937 en Yakima, Washington. Estuvo en las escuelas públicas de Seattle y se graduó del Roosevelt High School en 1955. Se graduó en Historia en la Universidad de Chicago en 1959. Después tomó algunos cursos de la

---

[4] La expectativa condicional de una variable aleatoria consiste en el valor esperado que dicha variable puede tomar, formado a partir de una función de densidad condicional. (Sheffrin, 1983)

[5] Para ilustrar con mayor profundidad la implicación de la ecuación (2.4), se sirve al lector de una demostración en el anexo 7.1.

historia de la economía en la Universidad de Berkeley, y decidió volver a Chicago a estudiar la carrera de economía. Así obtuvo un PhD. en Economía en 1964.

Robert Lucas es uno de los economistas más influyentes, es considerado el líder de la "Nueva Economía Clásica" la versión moderna de la vieja escuela de Chicago. Su introducción al concepto de las expectativas racionales, en la década de los setenta ayudó a dejar atrás los neo-keynesianos y al establecimiento de una macroeconomía basada en los principios neoclásicos, dándole paso a una nueva era de la macroeconomía.

Lucas ganó el Premio Nobel de Economía en 1995.

2.3.2.3 Thomas Sargent

Nació en Pasadena, California el 19 de julio de 1943. Se graduó en la Universidad de California en Berkeley en 1963 y se doctoró por la Universidad de Harvard en 1968. Es especialmente reconocido como uno de los líderes de la corriente "Nueva Economía Clásica", al igual que Lucas, y defensor de la teoría de las "expectativas racionales". Obtuvo el Premio Nobel en el 2011 y actualmente es profesor en la Universidad de Nueva York.

2.3.3 Supuestos y fundamentos teóricos

Con el objetivo de brindar al lector una perspectiva amplia sobre las bases que sostienen la validez teórica de esta hipótesis y los supuestos que la formalizan, en esta sección se expone el paradigma de racionalidad sobre el que se extiende este mecanismo de formación de expectativas, los supuestos contenidos en la definición de Muth (1961) y, posteriormente, las diferencias entre las representaciones alternativas de la hipótesis.

2.3.3.1 Aproximación al enfoque de racionalidad tradicional

"No es de la benevolencia del carnicero, el cervecero o el panadero que esperamos nuestra cena, sino de la búsqueda de su propio interés".

Adam Smith (1776)

De acuerdo con Vriend (1995), es Smith quien a través de su obra escrita trae al discurso económico el análisis sistemático del comportamiento de los agentes que persiguen su propio interés bajo condición de competencia. Un siglo después, a través de la pluma del economista inglés Francis Edgeworth, se precisa que *"el primer*

principio de la economía es que cada agente actúa sólo en la búsqueda de su propio interés" (1881, p. 16). En otras palabras, el individuo considerado en el estudio de la economía es aquel motivado exclusivamente por su interés propio, quien, dado un conjunto de preferencias, buscará hacer lo mejor que pueda para satisfacerse.

Dicho esto, actualmente el modelo estándar utilizado en el análisis económico señala que los agentes se comportan como si la información fuera procesada para formar percepciones y creencias utilizando estrictamente principios de estadística bayesiana. Las preferencias son primitivas, consistentes e inmutables, y el proceso cognitivo se basa simplemente en la maximización de las preferencias dadas unas restricciones de mercado. Esta visión se resume en la *teoría de la elección general.*[6]

Cabe resaltar que el individualismo metodológico requiere que el análisis de los fenómenos sociales sea desde 'abajo hacia arriba', es decir, que comience con los individuos. Una afirmación más fuerte es, sin embargo, que la descripción del individuo sea completamente *pre-social* dado que, en los modelos económicos, los agentes llegan al mercado con preferencias y creencias formadas a priori. La mayoría de los economistas modernos no apoyan esta afirmación, en su lugar utilizan modelos en los cuales la descripción del individuo es un resultado de equilibrio. Los dos ejemplos más prominentes de este método son el *equilibrio de las expectativas racionales* y la teoría de juegos no-cooperativa.[7]

En síntesis, la racionalidad del individuo se ha capturado en un conjunto de axiomas y relaciones lógicas cuyo principal propósito es el de evitar el modelado de errores cíclicos o sistemáticos, los cuales se suponen corregidos por causa de la repetición en el proceso de toma de decisiones. Se agrega que, aunque pueda resultar, según algunos críticos como una propuesta inverosímil del comportamiento humano,[8] la utilidad de esta teoría se basa en la capacidad de capturar los aspectos sistemáticos y predecibles presentes en el proceso de toma de decisiones bajo contextos de mercado.

2.3.3.2 Supuestos básicos de la definición original

De acuerdo con Muth (1961) la hipótesis afirma lo siguiente:

---

[6] El lector puede servirse del planteamiento formal de esta teoría en el anexo 7.2.

[7] Para mayor información sobre esta discusión se recomienda revisar Blume y Easley (2007).

[8] Para ampliar información sobre el debate del realismo en los supuestos se recomienda Friedman (1953).

1. La información es escasa, y el sistema económico generalmente no la desperdicia.
2. La manera en que se forman las expectativas depende de la estructura del sistema relevante que describe a la economía.
3. Una *predicción pública* en el sentido de Grunberg y Modigliani, no tendrá efecto sustancial sobre la operación del sistema económico (a menos que esté basada en información privilegiada).[9]

El autor asevera que dichos supuestos no implican que el aporte de la ciencia económica sea nulo dado que las expectativas pueden aún estar sujetas a un mayor margen de error que las propuestas por la teoría. Tampoco quiere decir que el trabajo de los agentes se asemeja al sistema de ecuaciones que describe la economía, ni que las predicciones de los agentes son perfectas e iguales entre sí.

No obstante, dado que no existe una definición única de esta hipótesis los supuestos de la misma han sido modificados.

2.3.3.3 Representaciones alternativas de la hipótesis

Por un lado, se destaca la definición *económica* de las expectativas racionales, la cual señala que los agentes *sólo buscarán información para tomar su decisión hasta el punto donde el costo marginal se iguale al beneficio marginal* de encontrar una nueva fuente de información. Sin embargo, esta lectura de la hipótesis, propuesta por John Taylor, no ha sido ampliamente utilizada para la investigación formal.

La definición predominante en la investigación es la definición *fuerte* de expectativas racionales, la misma impone que *todos los individuos posean la misma distribución subjetiva de probabilidades sobre eventos futuros*. En otras palabras, cada uno de los individuos coincide en la probabilidad que asignan a que se presente un evento futuro por lo que dicha distribución subjetiva debe igualarse a la distribución objetiva.[10]

2.4 Expectativas heterogéneas

2.4.1 Definición

---

[9] Grunberg y Modigliani (1954) proponen que es razonable anticipar que, en la medida que se hagan predicciones públicas correctas, se llevará a cabo un proceso de aprendizaje que moldee discontinuamente la función de expectativas de los agentes hasta igualarlas al pronóstico público.

[10] El planteamiento formal de esta definición el lector puede ubicarlo en el anexo 7.3.

Se entiende por hipótesis de expectativas heterogéneas, bajo el supuesto de racionalidad limitada, al mecanismo de formación de expectativas que describe que los agentes económicos elaboran sus pronósticos, en primer lugar, mediante la elección de reglas de decisión (heurísticas) las cuales cambian de forma intertemporal a partir un proceso de selección evolutiva y aprendizaje adaptativo de acuerdo al desempeño de dichas reglas con respecto a un indicador como la precisión del pronóstico, las ganancias, entre otros. Dichas reglas de decisión no son perfectas y no requieren ser óptimas, pero dentro de un ambiente que es muy complejo para ser comprendido totalmente, los agentes buscan aquellas reglas que tengan un desempeño razonablemente bueno ante una aproximación de primer orden.

La palabra heterogeneidad en la hipótesis hace referencia al hecho de que en esta teoría no existen individuos representativos del resto, algunos argumentos en defensa de esto han sido expuestos por Kirman (1992) y por Hommes (2006), uno de los más comunes es el de no intercambio que establece que en un mundo en que todos los agentes fuesen racionales y entre ellos saben que esto es así no habrá intercambio. Sin embargo, esto no es, de ninguna manera, consecuente con los niveles de comercio observados en los mercados de la vida real, hecho que refuerza la idea de las expectativas heterogéneas.

2.4.2 Autores relevantes

2.4.2.1 Herbert Simon

Herbert Alexander Simon nace el 15 de junio de 1916 en Milwaukee, Estados Unidos. Fue un científico social norteamericano conocido por sus contribuciones a los campos de la psicología, la matemática, la estadística, la economía, entre otros. Desde 1949 hasta su muerte fue miembro de la facultad de la Universidad Carnegie Mellon, lugar donde también se destacó como profesor de ciencias políticas, psicología y computación. Sus aportes a la ciencia económica le hicieron merecedor de un Premio Nobel en 1978. Falleció el 9 de febrero del 2001 en Pittsburgh, Estados Unidos.

2.4.2.2 Cars Hommes

Cars Hommes, es un economista holandés particularmente conocido por su influyente trabajo con William Brock en el desarrollo de una teoría conductual de las expectativas heterogéneas y sus aplicaciones a la economía y las finanzas. En 1998 la Organización de Investigación Científica de los Países Bajos (NWO por sus siglas en holandés) le concedió una beca para comenzar con el Centro para las Dinámicas No-lineales en Economía y Finanzas (CeNDEF por sus siglas en inglés), un grupo interdisciplinario

en aplicaciones de sistemas complejos a la economía y las finanzas. Este grupo ha comprobado empíricamente la hipótesis de las expectativas heterogéneas en experimentos de laboratorio.

2.4.2.3 William Brock

William Allen Brock es un economista matemático, nacido el 23 de octubre de 1941, conocido por sus aplicaciones de la teoría del caos[11] a la teoría económica y econométrica. En 1972 publicó un trabajo junto a Leonard Mirman en el que desarrolló la primera versión estocástica del modelo de crecimiento neoclásico, lo cual representó un hito para desarrollos posteriores tales como la teoría de los ciclos económicos reales y los modelos dinámicos estocásticos de equilibrio general (DSGE por sus siglas en inglés).

En 1998 fue elegido a la Academia Nacional de Ciencias en la sección de economía.

2.4.3 Supuestos o fundamentos teóricos

Esta hipótesis se nutre de una visión de la economía como un sistema complejo con interacciones no-lineales y ciclos de retroalimentación. Supone agentes heterogéneos, con racionalidad limitada, que forman sus expectativas a partir de un proceso de aprendizaje y elección intertemporal entre distintas reglas de decisión, de acuerdo con determinados criterios tales como precisión del pronóstico y beneficios obtenidos, entre otros.

Una característica de los modelos de racionalidad limitada, bajo el modelado basado en el agente,[12] es que implica muchos grados de libertad debido a las infinitas posibles reglas de decisión a utilizar para describir el comportamiento de los agentes. Para solucionar este problema se necesita disciplinar la clase de expectativas y reglas de decisiones disponibles, para esto se requiere guardar una forma de consistencia razonable y factible entre las creencias y las realizaciones del sistema. Para lograr esta consistencia en la racionalidad limitada se hace uso de tres importantes elementos (Hommes, 2013):

---

[11] La teoría del caos es la denominación popular de la rama de las matemáticas que trata ciertos tipos de sistemas complejos y sistemas dinámicos muy sensibles a las variaciones en las condiciones iniciales, lo cual imposibilita la predicción a largo plazo, a pesar de que el origen de dichas variaciones sea, en rigor, determinístico.

[12] El modelado basado en el agente consiste en un programa computacional que crea un mundo artificial de agentes heterogéneos que permite investigar cómo a través de las interacciones entre los agentes y otros factores, como el tiempo y el espacio, se forman los patrones observados en el mundo real (Hamill y Gilbert, 2016).

a) Los agentes usan reglas de decisión sencillas con una interpretación conductual intuitiva, también definidas como *heurísticas*
b) Los agentes cambian entre las distintas reglas de decisión basándose en un proceso de *selección evolutiva* y *aprendizaje adaptativo*
c) Validación empírica tanto a nivel micro como macro

En este sentido, esta sección se ocupa de definir los principales aspectos que dan sustento teórico a esta hipótesis.

2.4.3.1 Racionalidad limitada

"Para predecir la forma de la gelatina no te concentres en ésta, sino en el molde en la cual se forma."

Herbert A. Simon

Con esta premisa en mente nace en 1957 la noción de racionalidad limitada a partir de la publicación del trabajo "Models of man" de Herbert Simon, esta surge en un contexto en que la teoría económica tradicional no lograba explicar el proceso de toma de decisiones de los individuos en entornos de incertidumbre (Kirman, 2014). Este concepto señala que las elecciones de las personas no sólo están determinadas por algunas metas consistentes en promedio y por las propiedades del mundo exterior, sino, también por el conocimiento que los decisores tienen, o no, del mundo; por su habilidad, o no, de evocar dicho conocimiento cuando es relevante; por resolver las consecuencias de sus acciones, por descubrir posibles cursos de acción, por toparse con incertidumbre (incluyendo incertidumbre derivada de las posibles respuestas de los otros actores), y por definirse entre todas sus metas. Debido a que todas estas capacidades están severamente limitadas, el comportamiento racional en el mundo real está determinado, cuando mucho, tanto por el "ambiente interno" de la mente de las personas, el cual contiene los datos almacenados en su memoria y sus procesos, como por el ambiente externo, que influye sobre éstos y sobre el que éstos influyen (Simon, 1999).

En este orden de ideas, el autor agrega que una teoría de racionalidad limitada tomará elementos concernientes tanto a la *racionalidad procedimental*, es decir, la calidad de los procesos de decisión, como a la *racionalidad sustantiva*, o calidad del resultado. Para entender la primera se necesita una teoría psicológica sobre la toma de decisiones; para entender la última sólo se necesita una teoría del objetivo, por ejemplo, una función de utilidad, y el ambiente externo.

Adicionalmente, de acuerdo con Barros (2010), la hipótesis de la racionalidad limitada simplifica el proceso de efectuar decisiones de acuerdo con las limitaciones expuestas y enfocándose en el concepto de *satisfacción,*[13] como meta de los decisores, quienes en lugar de utilizar eficientemente todos los recursos para tomar una elección óptima, buscan alternativas lo suficientemente buenas de acuerdo con criterios preestablecidos, es decir, la toma de decisiones se concentra en atender o exceder un conjunto de criterios de aceptabilidad mínima por lo que si se escoge una alternativa satisfactoria, no necesariamente será única y óptima.

Por otro lado, este concepto ha sido objeto de distintas lecturas. Aumann y Sorin (1989) exponen un análisis de teoría de juegos en el que las tareas que los jugadores deben resolver son mucha más complicadas con restricciones (sobre la memoria operativa) que sin éstas. Sargent (1993), por su parte, expone un agente que, en lugar de poseer expectativas racionales, maximiza y aprende a partir de un proceso de mínimos cuadrados ordinarios, ajustando sus predicciones a medida que nueva información está disponible, proceso conocido como *aprendizaje adaptativo* (Selten, 1999). Sin embargo, este autor señala que esta literatura no contribuye a la teoría de la racionalidad limitada debido a que aduce que la maximización de la utilidad subjetiva esperada, modificada por alguna restricción cognitiva aislada no conlleva una descripción real de la toma de decisiones en un ambiente complejo.

2.4.3.2 Sesgos y Heurísticas

Desarrolladas en Tversky y Kahneman (1974), se refieren a una rama de investigación de la psicología cognitiva que estudia aquellas reglas de decisión utilizadas para predecir valores a través de métodos menos complejos que mediante el cómputo de probabilidades, pero que a su vez pueden llevar a los individuos y sus pronósticos a padecer un sesgo cognitivo que implica una desviación sistemática de la racionalidad del individuo.

Dentro de las heurísticas examinadas por los autores, cabe destacar, en particular, la heurística del anclaje la cual es utilizada formalmente en modelos de índole financiera para representar la regla de decisión de un agente que tiene la tendencia a confiar demasiado en la primera pieza de información que se ofrece al tomar decisiones. Para ilustrar esta idea, si se asume que el precio inicial ofrecido por un auto usado establece el estándar para el resto de las negociaciones, precios más bajos que el precio inicial

[13] En este caso conviene acotar que la traducción *satisfacción* proviene del inglés 'satisficing', compuesto por las palabras 'satisfy' (satisfacer) y 'suffice' (suficiente).

parecerán más razonables, aunque sigan siendo superiores a lo que el auto realmente vale.

2.4.3.3 Aprendizaje adaptativo

El aprendizaje adaptativo, o estadístico, operando en tiempo real, propone que los agentes cuentan con una regla de pronóstico que actualizan en respuesta a los errores observados asumiendo que lo hacen mediante las estimaciones intertemporales de parámetros siguiendo un método de mínimos cuadrados u otro proceso estadístico. Se hace uso de una generalización provista por Evans y Honkapohja (2001) para explicar simbólicamente este enfoque:

Sea y_t un vector de variables que los agentes necesitan pronosticar y y_t^e las expectativas formas por dichos agentes. y_t podría incluir valores futuros de las variables de interés, así como valores presentes desconocidos. Por simplicidad se adopta el supuesto de expectativas homogéneas. Dicho esto, si las acciones óptimas de los agentes dependen del segundo momento o de otros de mayor grado, así como de la media de ciertas variables, entonces pueden incluirse estas características en y_t (de forma similar ocurre con expectativas sobre funciones no lineales con extenso número de variables). Suponga que los agentes cuando realizan sus pronósticos han observado un vector de variables X_t. Dicho vector puede incluir un número finito de rezagos de algunos de los componentes (o todos) de y_t, e incluso puede incluir valores rezagados tanto de y_t^e así como de otras variables exógenas o endógenas observables. Se asume que los pronósticos están en función de las variables observables tal que:

$$y_t^e = \Psi(X_t, \theta_{t-1}) \qquad (2.5)$$

Donde θ_{t-1}es un vector de parámetros que pueden evolucionar en el tiempo. Bajo el enfoque estadístico de aprendizaje la regla de pronóstico $\Psi(X_t, \theta_{t-1})$ está basada en la especificación de un modelo econométrico, por ejemplo, en una ley de movimiento percibida para las variables de interés, y el vector θ representa parámetros desconocidos a ser estimados estadísticamente de modo que pueda implementarse esta regla.

Una vez especificada una regla para estimar el vector de parámetros y actualizar dicha estimación a medida que los datos se acumulan, se obtiene un sistema dinámico estocástico en el cual las variables económicas dependen de los pronósticos de los

agentes en las estimaciones de los parámetros clave y dichos parámetros se actualizan de forma intertemporal en respuesta a la evolución de las variables mismas.

2.4.3.4 Selección evolutiva y aprendizaje por refuerzo

El proceso de selección evolutiva, que simula aprendizaje por refuerzo, consiste en un algoritmo genético[14] que describe cómo las creencias de los agentes se actualizan de forma intertemporal, es decir, cómo evoluciona la fracción n_{ht} de algún tipo de agente en el tiempo. Dicha fracción se actualiza de acuerdo con una *aptitud evolutiva o medida de desempeño,* la cual implica que aquellas reglas con mejor desempeño atraigan más seguidores. Las medidas de todas las estrategias de pronóstico son accesibles públicamente, pero sujetas a ruido.[15] Dicha aptitud se deriva de un modelo de utilidad aleatoria que posee la siguiente forma:

$$\overline{U}_{ht} = U_{ht} + \epsilon_{iht} \qquad (2.6)$$

Donde U_{ht} representa la parte determinista de la medida de aptitud y el término de ruido ϵ_{iht} representa los errores individuales de los agentes. Bajo el supuesto de que dicho término de error se distribuye de forma idéntica e independiente (IID) entre los agentes y los tipos $h = 1, \dots H$ y es extraído de una distribución doble exponencial.[16] A medida que el número de agentes tiende a infinito, la probabilidad de que un agente escoja una estrategia h está dada por un modelo de elección discreta con probabilidades logísticas multinomiales (*multinomial logit*):

$$n_{ht} = \frac{e^{\beta U_{ht-1}}}{Z_{t-1}}, \qquad Z_{t-1} = \sum_{h=1}^{H} e^{\beta U_{ht-1}} \quad (2.7)$$

Donde Z_{t-1}es un factor de normalización, necesario para que las fracciones n_{ht} sumen 1. Un aspecto resaltante de (2.7) es que mientras más alta sea la aptitud de la estrategia h, más agentes seleccionarán dicha estrategia. El parámetro β es llamado *intensidad de elección,* y mide cuán sensible es la masa de agentes con respecto a la elección de una estrategia óptima de selección. Dicho parámetro está inversamente relacionado con la

---

[14] Son algoritmos de búsqueda adaptativa basados en las ideas evolutivas de la selección natural y la genética. Como tal representan un aprovechamiento inteligente de una búsqueda aleatoria utilizada para resolver problemas de optimización. (Mitchell, 1999)

[15] De acuerdo con Black (1986), se define ruido en economía como el opuesto de información, es decir, presencia de ideas y datos imprecisos y difusos.

[16] En la teoría de probabilidades, la distribución de Gumbel, también conocida como distribución doble exponencial, es usada para modelar la distribución de los máximos (o mínimos) de un número de muestras de varias distribuciones.

varianza del término de ruido ϵ_{iht}. El caso extremo en el que $\beta = 0$, corresponde con una varianza infinita del término de error, tal que las diferencias en la aptitud no pueden ser observadas y todas las fracciones (2.7) permanecen fijas en el tiempo e iguales a $\frac{1}{H}$. Por otro lado, en el caso de que $\beta = \infty$, no hay ruido así que la parte determinista de la medida de aptitud puede ser observada perfectamente y en cada período todos los agentes escogen la regla óptima de pronóstico, por ello se le suele denominar *límite neoclásico* a este caso. Por lo tanto, un incremento en la intensidad de elección representa un aumento en el nivel de 'racionalidad' con respecto a la selección evolutiva de las estrategias de pronóstico.

Un candidato natural como medida de aptitud evolutiva es un promedio ponderado de los beneficios obtenidos. En términos generales, la medida de aptitud, o de desempeño, para la estrategia h es un promedio ponderado de los beneficios obtenidos dada por:

$$U_{ht} = wU_{h,t-1} + (1 - w)\pi_{h,t} - C_h \quad (2.8)$$

Donde w es un parámetro de memoria, cuyo valor está comprendido entre 0 y 1, que mide cuán rápido la información de los desempeños pasados se toma en cuenta para la selección de la estrategia. C_h representa los costos promedio por período para ejecutar una estrategia de pronóstico determinada. Para una estrategia sencilla, como expectativas ingenuas o adaptativas, estos costos son nulos, mientras que, para estrategias más sofisticadas como análisis fundamental o expectativas racionales, los costos pueden ser positivos. Por último, la función $\pi_{h,t}$ representa el beneficio obtenido por cada estrategia h de pronóstico en un período t.

El modelo de cambio de estrategia (2.8) asume una actualización sincronizada de las mismas, lo que se traduce en que cada período todos los agentes actualizarán sus estrategias. En el caso más general de actualización asincrónica, sólo una fracción $1 - \delta$ de los agentes actualizará sus estrategias en cada período. La fracción restante permanecerá con su estrategia actual, esto representa una caracterización de la presencia de inercia en la toma de decisiones.[17]

Síntesis

Luego de brindar una definición económica sobre el concepto de expectativas, dar luces sobre por qué su estudio es relevante para la ciencia económica y revisar algunos mecanismos previos de formación de expectativas se evidencia, en primer lugar, como

[17] Para mayor información sobre la formalización de este último caso ver Hommes (2013, pp. 155).

las carencias de otros mecanismos de formación de expectativas sentaron las bases de las hipótesis bajo contraste. En segundo lugar, la diferencia e importancia del marco de racionalidad asumido por cada hipótesis para describir a los agentes. Tercero, se destaca que, en el caso de las expectativas racionales, los fundamentos estarán relacionados con la interpretación que se analice de esta hipótesis dado que alternativas a la concepción original implican supuestos o condiciones distintas. Por último, la hipótesis de expectativas heterogéneas incorpora tres fundamentos teóricos protagónicos: los sesgos y heurísticas relacionados con la psicología, el aprendizaje adaptativo y finalmente la selección evolutiva y el aprendizaje por refuerzo.

3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Consideraciones generales

De acuerdo con lo expresado por Martínez (1989), el tipo de investigación en el que se incursiona puede catalogarse como una investigación teórica. Se hace uso de la cita del mismo autor para otorgar un concepto preciso sobre esta clasificación:

"La investigación teórica es la construcción de una teoría o parte de la misma, pero también lo es reconstruirla, reestructurarla, reformularla, remodelarla, fundamentarla, integrarla, ampliarla o desarrollarla. Igualmente, es investigación teórica la revisión o el examen de una teoría o de alguna de sus partes o aspectos, el contratarla, comprobarla, validarla o verificarla, cuestionarla, impugnarla, rebatirla o refutarla." (p.223)

En el presente caso la investigación tiene como propósito el contraste entre dos paradigmas teóricos a través de la fundamentación, el desarrollo y análisis de cada uno de los aspectos y aplicaciones de relevancia en los estudios económicos contemporáneos sobre dichas teorías.

Dicho esto, es claro que puede prescindirse de material estadístico y econométrico puesto que no hay comprobación, verificación o contrastación empírica alguna dentro del alcance de la investigación. Sin embargo, cabe destacar en primer lugar que las teorías a contrastar, debido a su naturaleza de mecanismos de formación de expectativas en un marco de economía cuantitativa, poseen dos dimensiones, un plano teórico donde se explicitan conceptos y propuestas y otro plano matemático operacional donde se formalizan los conceptos mediante instrumentación cuantitativa. En segundo lugar, para cumplir con el objetivo de intentar delimitar bajo qué contextos es más apta la utilización de un marco teórico sobre otro se aplican las hipótesis sobre modelos de distinta índole para analizar y comparar sus implicaciones y se hace uso de material empírico, recopilado a partir de la literatura especializada, para realizar un análisis histórico que cubra el período que contiene las primeras investigaciones empíricas bajo el supuesto de expectativas racionales realizadas a principios de los años ochenta hasta la recesión económica global que tuvo inicio en la primera década del siglo en curso.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación o el tipo de abordaje, depende de sus objetivos específicos, y por tanto la forma de alcanzarlos va vinculada con las técnicas a aplicar.

Dado que, como se señala palabras antes, nuestra investigación es de carácter teórico, el conjunto de instrumentos e información a utilizar es principalmente de tipo documental; el cual consiste, según González (2011) "en un diseño que se basa primordialmente en la utilización de documentos o archivos para su realización".

Debido al tópico de investigación que nos concierne, nuestras fuentes bibliográficas no sólo contendrán información referente a la fundamentación y la aplicación de las teorías mencionadas, sino, que también incluirán investigaciones, documentos y libros que trabajen temas asociados a la microeconomía, la macroeconomía, las finanzas, la psicología, la economía dinámica, la teoría del caos, entre otros. Esto se debe a la transversalidad y multidimensionalidad de los enfoques teóricos a tratar dentro del desarrollo de la ciencia económica.

Una vez recopiladas las fuentes bibliográficas se procede clasificarlas acorde a los objetivos especificados páginas atrás. En principio, se esboza el contexto histórico en el que surgen ambas teorías, su fundamentación conceptual, los mecanismos alternativos de formación de expectativas, la depuración operacional y conceptual de éstos enfoques teóricos, los desarrollos y visiones complementarias con dichos enfoques, el instrumental matemático necesario para su formalización, la introducción de los sistemas dinámicos en la economía, la difusión de las dinámicas no-lineales y caóticas dentro de la ciencia económica y la utilización de modelos computacionales basados en agentes para trabajar dichas dinámicas complejas. También se identifican los autores más relevantes en el desarrollo y difusión de ambos mecanismos de formación de expectativas.

Cabe resaltar que para ilustrar la aplicación de cada hipótesis en el modelo de la telaraña se hace uso del software Vensim® que permite graficar y simular teóricamente sistemas de ecuaciones diferenciales, de modo que se puedan ampliar las herramientas de contraste para aportar mayor detalle al análisis.

3.3 Análisis de variables

Debido a la naturaleza propia de nuestra investigación, las variables a estudiar para lograr los objetivos propuestos carecen de carácter temporal o espacial definido. En su lugar, este estudio se basa en los fundamentos teóricos propios de cada mecanismo de formación de expectativas, la implicaciones que conlleva su aplicación en distintas ramas de la economía, las herramientas operacionales necesarias para formalizar cada enfoque teórico y los fenómenos que puedan gestarse producto de escoger un mecanismo frente a otro, con el propósito de aproximarnos hacia las fortalezas y

debilidades en los aspectos antes indicados, indagar sobre en qué contextos resulta más apta la aplicación de un paradigma sobre otro, en cuales ambos llegan a conclusiones similares y cuál es la evidencia empírica que sustenta a ambos mecanismos de formación de expectativas.

A primera vista estas variables pudieran parecer abstractas o poco comunicativas sobre el curso de la investigación que suscita estas líneas. Sin embargo, se confía en que a lo largo de estas páginas el lector logre atisbar, mediante la exposición de la aplicación y el estudio de dichas teorías, sobre cómo a través del estudio de fenómenos económicos, como por ejemplo la inflación y las dinámicas de los mercados financieros, utilizando ambos enfoques resulta fundamental ampliar el conjunto de herramientas del economista contemporáneo con el sencillo propósito de enriquecer el desarrollo científico de la economía con la introducción de conceptos, herramientas y teorías cuya aplicación en décadas pasadas hubiera resultado impensable.

En la siguiente tabla se detallan aquellas variables sobre las que se basa esta investigación:

Unidad de Análisis	*Tipo de variable*
a) Supuesto de racionalidad utilizado: el modelo económico puede estar basado en un axioma de racionalidad económica tradicional o uno de racionalidad limitada.	**Nominal**
b) Homogeneidad en las expectativas: el modelo económico podría contemplar una sola expectativa suponiendo que los individuos mediante el ensayo y error llegan a la misma conclusión, o puede suponer que los agentes tienen distintos pronósticos.	**Nominal**
c) Aspectos técnicos de cada teoría bajo	**Nominal**

modelos dinámicos: como cambios de regla de decisión (heurísticas), proceso de aprendizaje adaptativo, optimización intertemporal de los agentes, etc.	
d) Tipo de solución del modelo: al incorporar alguno de los mecanismos de formación de expectativas a un modelo económico puede variar el desenlace o conclusión de éste. Por ejemplo: equilibrio único o múltiple; estable o caótico, etc.	Nominal
e) Presencia u omisión de fenómenos económicos: al diferir los supuestos, contextos e instrumentos analíticos de cada uno de los mecanismos de formación de expectativas, existen fenómenos que están presentes, o no, al incorporarse dicho mecanismo a un modelo determinado.	Nominal

Tabla N°1: Unidades de análisis. Elaboración propia.

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS COMPARATIVO

Como se puede evidenciar hasta este punto, el modelado del proceso de formación de expectativas es susceptible de la perspectiva que el economista posea sobre el comportamiento del agente y del sistema económico. Por lo que, para identificar distintos aspectos útiles para la delimitación del alcance de cada teoría se procede a comparar: el contexto histórico, los fundamentos teóricos y supuestos que nutren la formación de cada teoría, las herramientas necesarias para formalizar cada una. También se estudian las aplicaciones de cada una en modelos de distinta índole, analizando sus implicaciones teórico-políticas y, finalmente, se realiza una revisión sobre la evidencia empírica documentada que las avala.

4.1 Contexto histórico

La mitad del siglo pasado fue un período en el que se gestaron dos escuelas de pensamiento divergentes entre sí en la Universidad Carnegie-Mellon. Por un lado, estaba Herbert A. Simon refinando sus ideas sobre racionalidad limitada. Al mismo tiempo su colega, John F. Muth, trabajaba en otra dirección desarrollando la teoría de las expectativas racionales.

Un aspecto resaltante fue la colaboración que ambos autores realizaron, en conjunto con C. Holt y F. Modigliani para trabajar sobre el manejo y planificación de inventarios. De ésta colaboración se introduce la noción de *equivalencia de certeza,* concepto que indica que las empresas sólo necesitan considerar el valor esperado de las ventas futuras y pueden ignorar otros momentos de las distribuciones de probabilidades[18] de sus ventas, esto hace el diseño de políticas de inventarios más fácil reduciendo la carga computacional para el típico agente decisor.

Simon vio estos resultados como una aproximación útil para ciertas situaciones, pero no los elevó al grado de marco para una teoría general del comportamiento económico. Por su parte, J. Muth observó el problema desde una arista diferente. Los resultados de equivalencia de certeza, los cuales permiten al investigador concentrarse sólo en los valores esperados de las variables que eran inciertas, proveyeron la clave para enfrentar otro problema, el cual podría ser vagamente definido, según palabras del mismo autor, como "la interacción entre expectativas y realidad". Entre los ejemplos encontrados en

[18] En estadística, es una función que asigna a cada suceso definido sobre la variable aleatoria la probabilidad de que dicho suceso ocurra.

la literatura de la época sobre la discusión de dicho problema, tal vez el más conocido sea el referente al modelo de la telaraña.

En este respecto, el estado del debate se refleja a través del trabajo de Nerlove (1958) que introduce la noción de expectativas adaptativas dentro del modelo mencionado. Sin embargo, en investigaciones subsiguientes se aprecia que los resultados de esta hipótesis no eran robustos ante cambios en los mecanismos de expectativas y, por tanto, el trabajo teórico y empírico dependía críticamente de la especificación exacta del mecanismo seleccionado. Adicionalmente, el uso de esta hipótesis permite la presencia de errores sistemáticos al intentar predecir una variable determinada, esto resulta disonante en un contexto en el que el concepto de racionalidad económica garantiza consistencia entre las decisiones de los agentes, con el objetivo de evadir la presencia de estos errores al suponer que, de existir, deberían ser corregidos dado el carácter repetitivo de las situaciones de mercado. En consecuencia, el progreso de la ciencia económica requería de un marco cuantitativo funcional que describiera cómo las expectativas de las variables clave se forman.

Ante esta situación, John Muth reconoce en su obra seminal titulada "Expectativas racionales y la teoría de los movimientos de precios" por un lado, que "para completar los modelos económicos, varias fórmulas sobre expectativas han sido utilizadas. Sin embargo, no hay suficiente evidencia que sugiera que las relaciones asumidas guarden semejanza con la forma en que funciona la economía" (1961: 315) y, por otro, que si los economistas están interesados en cómo las expectativas pueden cambiar bajo ciertas circunstancias no deberían quedar satisfechos con fórmulas sobre expectativas que permanecen invariantes cuando, por ejemplo, la estructura del sistema sea modificada. Por tanto, si el sistema económico subyacente cambia, los agentes luego de un período de tiempo deben también cambiar la forma de pronosticar. Los modelos tradicionales de formación de expectativas no reflejan esta adaptación (Sheffrin, 1983).

Bajo otro orden de ideas, como alternativa al marco de racionalidad predominante, Herbert A. Simon introduce mediante su obra "Models of man", publicada en 1957, la noción de *racionalidad limitada*, la cual describe que el individuo cuenta con restricciones cognitivas y temporales que impiden que realice cómputos de optimización. En su lugar, éste ejecuta sus acciones en base a reglas de decisión que le permiten satisfacer su nivel aspiracional.[19]

[19] De acuerdo con Cyert y March (1963) el nivel de aspiración hace alusión al nivel mínimo requerido por el agente para resolver un problema de elección dada su función de utilidad. Dicho nivel no necesariamente debe coincidir con la solución óptima, pero no puede superarla.

Al principio dicha noción no capta la atención de la ortodoxia académica, a diferencia de la hipótesis de las expectativas racionales, como marco de análisis. No obstante, con el trabajo de los psicólogos Amos Tversky y Daniel Kahneman a partir de su obra "Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases", publicada en 1974, la racionalidad limitada se fortalece como teoría que busca describir el proceso de toma de decisiones al apoyarse en el desarrollo de esta corriente de investigación que introduce las heurísticas y los sesgos como elementos característicos de este proceso en ambientes de incertidumbre.

Décadas más tarde, la utilidad de la hipótesis de expectativas racionales se cuestiona debido al hecho de que, dado que ésta garantiza perfecta consistencia entre creencias y resultados del sistema, en repetidas ocasiones esto implica la presencia de múltiples equilibrios sin otorgar la posibilidad de discernir cuál de ellos describe la trayectoria futura del sistema. La racionalidad limitada, entendida bajo este contexto como una desviación de la forma racional de predecir, a partir de la noción de aprendizaje adaptativo plantea estudiar cuales equilibrios pueden ser aprendidos por los agentes económicos considerando que los mismos exhiben limitaciones cognitivas reflejadas a partir de los parámetros del sistema, los cuales estiman a partir de un proceso estadístico que incorpora las observaciones del sistema de forma intertemporal.[20]

Sin embargo, esta forma de aprendizaje estadístico arrojó conclusiones ambiguas en torno a dicho problema, como se demuestra en investigaciones como Bullard (1994) y Grandmont (1998).[21] En este curso de eventos, dado que la introducción del aprendizaje no es suficiente para cubrir las carencias exhibidas en los modelos de expectativas racionales bajo contextos de equilibrios múltiples, deja abierta la posibilidad hacer propuestas que se nutran de visiones alternativas. Este es el caso de las expectativas heterogéneas, formuladas en 1997 a partir de la publicación de W. Brock y C. Hommes titulada "A rational route to randomness". Esta hipótesis nace con la intención de generalizar el proceso de formación de expectativas a través de insumos como la interacción entre agentes heterogéneos, los cuales, dado que se asume que poseen un nivel de conocimiento limitado del sistema económico, aprenden cuál es la estrategia de pronóstico óptima con respecto a una medida del desempeño de las mismas a través de un mecanismo de selección evolutiva basado en los modelos de

[20] Generalmente se asume que dicho proceso estadístico es el método de mínimos cuadrados ordinarios (Evans y Honkapohja, 2001).

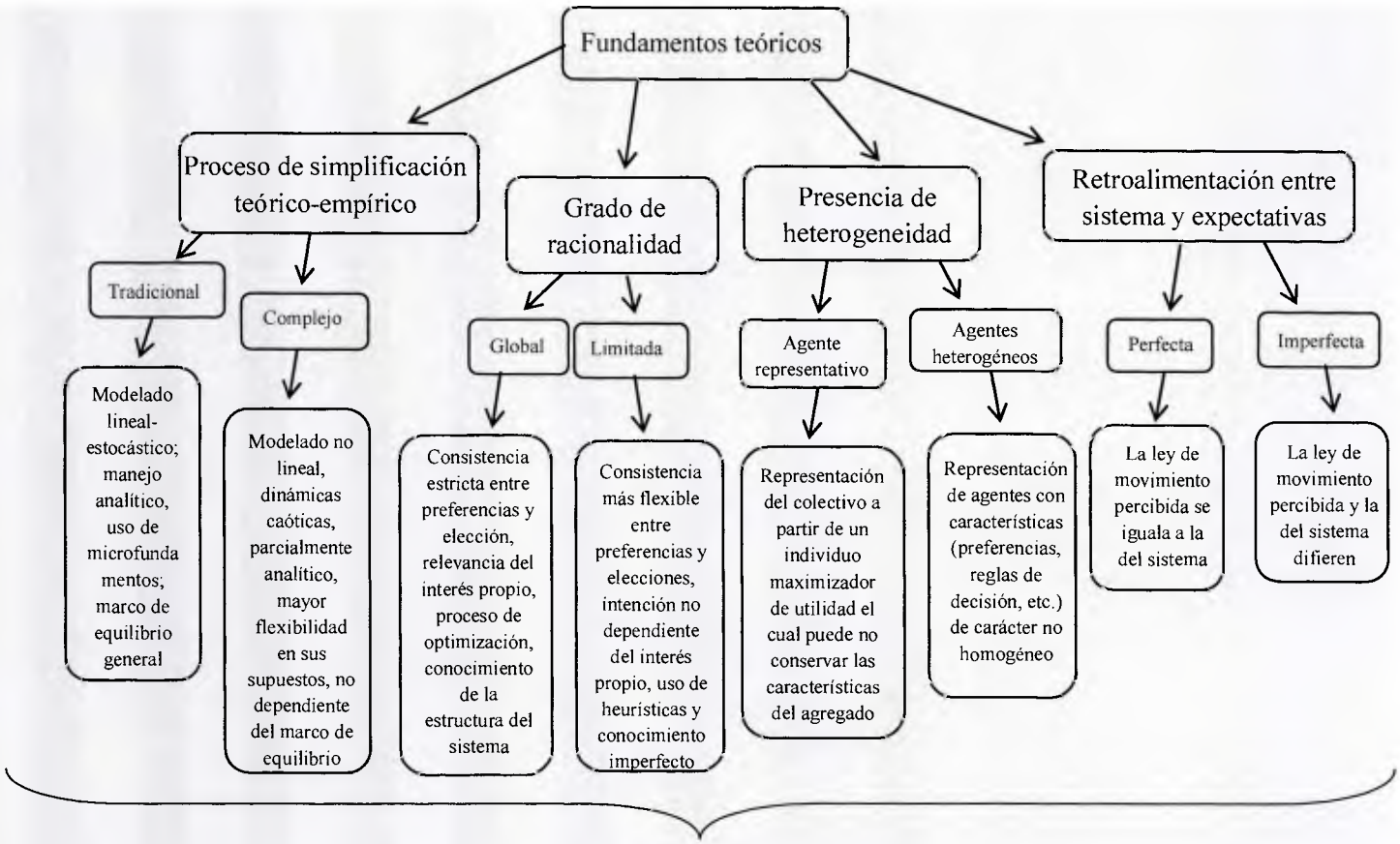
[21] En este respecto, Bullard y Mitra (2002) exponen que no es recomendable simplemente asumir que la coordinación hacia un equilibrio único puede ocurrir bajo una descripción razonable de agentes que aprenden, debido a la existencia de *equilibrios de aprendizaje* en los cuales los agentes no logran formar expectativas racionales, ni siquiera en el largo plazo.

elección discreta de Manski y McFadden (1981). A su vez, esta hipótesis se nutre del proceso de aprendizaje adaptativo al incorporarlo, en algunos casos, tanto como estrategia de predicción como de mecanismo de actualización de otras reglas disponibles.

4.2 Supuestos y fundamentos teóricos

Tomando en cuenta la transversalidad implícita en el modelado de las expectativas y con el propósito de brindar una comparación lo más sólida posible, se hace uso de un enfoque *deductivo*, en el que se concentra el análisis, en primer lugar, en los fundamentos generales subyacentes en cada hipótesis, tales como: el proceso de simplificación teórico-empírico, el grado de racionalidad necesario para captar elementos sistemáticos del comportamiento del agente económico, la presencia de heterogeneidad como supuesto para el estudio de fenómenos agregados y, por último, la relevancia que cada hipótesis reserva a la economía como sistema de retroalimentación de expectativas. En segundo lugar, se procede a ilustrar la relación entre la discusión de estos fundamentos y la formalización de los supuestos necesarios para la aplicación de cada hipótesis.

Antes de iniciar la discusión de los aspectos descritos y con el fin de brindar mayor claridad sobre la relación entre los mismos y la formalización de los supuestos de ambas hipótesis, a continuación, se muestra un esquema en el que se desglosan cada uno de los temas que nutren estas líneas:



Formalización de los fundamentos teóricos

Hipótesis de expectativas racionales

Simplificación asociada a un **marco de equilibrio** con procesos generalmente **lineal-estocásticos**, forma parte de la **microfundamentación** y tiende a aplicarse para ser **analíticamente manejable**

Su racionalidad se caracteriza por **un manejo eficiente de la información** y por la **omisión de errores sistemáticos** y bajo forma fuerte implica **conocimiento de la estructura del sistema**

Bajo su definición débil no impone expectativas homogéneas, pero bajo definición fuerte se asocia al modelado del **agente representativo**

Puede conllevar **perfecta consistencia** entre sistema y creencias.

Hipótesis de expectativas heterogéneas

Simplificación asociada a un marco de análisis representable en contextos **no dependientes del equilibrio** y puede generar **dinámicas endógenas de carácter caótico e inestable**, puede ser modelada tanto a partir de la **microfundamentación** como de **supuestos más flexibles** y puede ser **analíticamente tratable en forma parcial o simulada** mediante modelos basados en el agente

Su racionalidad se nutre de ambos enfoques: el **nivel de conocimiento es limitado** y las **reglas de decisiones** pueden o no ser óptimas bajo este nivel de conocimiento.

Como su adjetivo lo indica, puede hacer representación de dos o más reglas de pronóstico.

El nivel de consistencia entre la estructura del sistema y las creencias es **imperfecto**, permite análisis de **retroalimentación**.

Figura N°1: Esquema relación fundamentos teóricos e hipótesis. Elaboración propia.

4.1.1 Proceso de simplificación teórico-empírico

En la actualidad, la ciencia económica aún continúa siendo un campo para el debate en diversas áreas de su dominio de estudio. No obstante, difícilmente existe alguna discusión acerca del grado de complejidad inherente al sistema bajo análisis, es decir, es de común acuerdo que replicar y extraer todos los componentes, tanto determinísticos como aleatorios, y relaciones lógicas propias de la economía real es una tarea virtualmente imposible (Colander 2003, 2008). Dicho esto, queda claro que la única forma de proceder al análisis de estos elementos es mediante la simplificación de la realidad y es precisamente en el grado de simplificación de la misma que se concentra esta sección.

Como punto inicial para comprender esta divergencia entre lo que se puede catalogar como visión *tradicional* y visión *compleja* del modelado económico, resulta relevante entender que la economía nace, como cualquier otra ciencia, elaborando una serie de ideas 'informales' sobre cómo la realidad funciona para luego simplificarlas y estructurarlas a partir de modelos formales, por eso tal como se apunta palabras arriba lo relevante subyace en cómo se lleva a cabo este proceso de simplificación y si dicho proceso pierde elementos importantes del conocimiento informal. Dicho esto, se considera pertinente rescatar una idea de D. Colander con el objetivo de exponer con claridad la *raison d'être* del surgimiento de la segunda visión:

"En la mayoría de las áreas donde los individuos piensan que la ciencia ha sido exitosa, ha habido una creencia generalizada de que los modelos formales no pierden nociones del modelo informal. [Por otro lado] donde esta creencia no es compartida a nivel general, hay más debate sobre cuán exitosa ha sido la ciencia." (2008, p.3)

La economía parece encajar dentro del segundo caso, aseveración que puede ser apoyada a partir de los trabajos emprendidos por economistas de distinta índole, entre los que destacan figuras como H. Simon, F. A. Hayek y J. A. Schumpeter por sus observaciones tempranas sobre el paradigma de la complejidad como aspecto que dificulta o imposibilita la formalización de las ideas informales. Décadas más tarde, bajo una perspectiva similar, pero con herramientas y aspiraciones diferentes, un grupo de científicos asociados al Instituto Santa Fe comenzó un proyecto para estudiar este paradigma de forma transversal a distintas disciplinas. Sin ánimos de elaborar una ironía, siendo un paradigma visto desde ópticas tan diversas no resulta extraño que no exista una definición única sobre complejidad o sistemas complejos, conceptos que por simplicidad se tratan como equivalentes. Sin embargo, apoyados en Rosser (2003) y Fontana (2008) se identifican cinco elementos que caracterizan un sistema complejo:

1. Están compuestos por muchas partes morfológicamente diversas. La remoción de una de éstas lleva al sistema a reorganizarse y a cambiar, de modo que pueda compensar la brecha originada
2. Exhiben una variedad de dinámicas no lineales
3. Son sistemas abiertos y disipadores que se mantienen a sí mismos lejos del equilibrio termodinámico
4. Sus componentes interactivos que se adaptan cambiando su comportamiento, incluso en formas innovadoras, a medida que las condiciones cambian y la experiencia se acumula
5. Tienen historias irreversibles, lo cual se ilustra a partir de la unicidad de los organismos con respecto a su código genético y a su ambiente.

Siguiendo este orden de ideas, cabe preguntarse: *¿Cómo se asemeja esta visión a la evidencia recopilada? y ¿Cómo se diferencia de la visión tradicional?*

Con respecto a la primera interrogante resulta fácil elaborar un vínculo entre estas características y algunos ejemplos capturados en la literatura especializada como: el comportamiento de las dinámicas económicas, las cuales describen trayectorias usualmente impredecibles y de carácter no-lineal, sea este producto de choques exógenos o de sus dinámicas endógenas (Grandmont y Malgrange, 1986), las abruptas transiciones de mercado que caracterizan a las crisis financieras o de balanza de pagos y su relación con la diversidad y evolución de los mercados financieros (Hommes, 2013), y las relaciones entre la formación de instituciones formales e informales, el proceso de aprendizaje y las trayectorias dependientes o *dependencia del camino* (North, 2003).

Dicho esto, a través de las herramientas provenientes del estudio de las dinámicas no lineales y las simulaciones computarizadas es posible recrear fenómenos emergentes, heterogeneidad entre agentes, flexibilizar el uso de los microfundamentos como herramienta para evitar improvisaciones (*adhocism*) y mantener el manejo analítico de los sistemas de ecuaciones, e incluso asumir situaciones fuera de equilibrio como regla en lugar de la excepción. Así, mediante la complejidad se plantea continuar el proceso de simplificación matemática, sin hacer uso o dar relevancia únicamente a las soluciones determinísticas y/o analíticas y las dinámicas de tipo lineal-estocástico. En otras palabras, aunque la elegancia y formalización de la teoría del equilibrio y los microfundamentos han servido para otorgar al economista una visión holística del sistema y un campo de estudio que ha empujado la investigación durante muchos años,

él mismo ejerce un filtro para los fenómenos económicos a estudiar omitiendo el alcance para la creación, la adaptación y la innovación propias de dichos fenómenos (Arthur, 2013).

Farmer (2012) aporta una importante diferencia entre ambos enfoques cuando asevera que la visión compleja se sitúa en medio del tradicional método de la teoría económica, donde se postulan unos supuestos y se parte hacia unas deducciones, tal como se apuntó palabras antes, y el enfoque de la econometría que parte de las bases de datos para hallar modelos y/o formas funcionales que se adapten a la evidencia, dejando en un segundo plano el nivel de entendimiento a capturar sobre los datos. En el caso de la visión que da motivo a estas líneas, por un lado, no está restringida por la postulación de principios teóricos, aunque tampoco rechaza su uso puesto que su principal objetivo es la representación de las interacciones entre los elementos. Por otro lado, trata de derivar sus supuestos y contrastar sus resultados utilizando conjuntos de datos disponibles. Esto, aunque sacrifica la posibilidad de establecer generalizaciones al evolucionar el rol de la teoría con respecto a las comprobaciones empíricas, permite un estudio más desglosado y con mayores grados de libertad para extraer componentes de relevancia que pudieran omitirse en el análisis a partir de supuestos rígidos. Ejemplos de estos componentes son: el comportamiento errático de fenómenos asociados a los mercados de capitales el tipo de cambio, las dinámicas de la deuda externa, las crisis económicas, la hiperinflación, entre otros (Albu, 2006).

4.1.2 Grado de racionalidad

¿Cuán racional es el agente económico?, ¿Cómo lleva a cabo sus decisiones? Y ¿Qué elementos son relevantes para explicar este proceso? Interrogantes como estas continúan presentes en los debates sobre el modelado de sistemas económicos, por ello, esta sección tiene la intención de profundizar en la discusión describiendo, por un lado, el desarrollo de la noción de racionalidad predominante y el marco de racionalidad limitada como alternativa. Por otro, se procede a resaltar algunos de los principales argumentos que apoyan el uso de una visión de racionalidad sobre otra para intentar identificar la utilidad de cada enfoque.

Como antecedentes de la perspectiva tradicional de la racionalidad en economía se tiene, en primer lugar, las obras de Smith (1759, 1776) en las que describe al interés propio como elemento conductor hacia la satisfacción de las necesidades colectivas, idea capturada en la noción de la *mano invisible*, y la corriente utilitarista desarrollada por J. Bentham y J. S. Mill, donde la racionalidad se describe en términos de placer y dolor y la maximización de la utilidad social se concibe como un objetivo deseable y

factible. Sin embargo, no es hasta el desarrollo de la teoría de la preferencia revelada, descrita en Samuelson (1947), que se extraen las características hedonistas del análisis económico y se formalizan estas nociones, derivando en la consistencia entre la maximización de la utilidad y la axiomatización de un conjunto determinado de preferencias y elecciones como epíteto de la racionalidad, en este caso del consumidor. Por otra parte, la noción de racionalidad también recibe insumos a partir del desarrollo de la teoría de la utilidad esperada, en particular, y de la teoría de la decisión, en general. Estas nociones no tienen un impacto importante en la ciencia económica sino hasta la publicación de los trabajos de Wald (1939) y von Neumann y Morgenstern (1947), los cuales representan puntos de referencia en el desarrollo de la teoría de la decisión y de la noción actual de racionalidad.

A través de estos insumos, la teoría económica actual mantiene dos visiones de racionalidad. Por un lado, es la consistencia de la elección, la cual se justifica como disciplina para el modelado económico puesto que, aunque requiere un mínimo de supuestos acerca de las creencias y ambiciones de los individuos, minimiza la posibilidad de que los juicios de valor del investigador se introduzcan dentro del análisis. Por otro lado, está la visión de racionalidad como una teoría de comportamiento intencional, la cual concibe esta noción de forma instrumental, cuya principal relevancia subyace en la persecución eficiente de fines en función de los medios disponibles y no en la sensibilidad sobre los primeros. (Blume y Easley, op. cit.).

Por otra parte, la visión racionalidad tradicional, o *global* como sugiere Barros (2010), no estuvo exenta de críticas o reformulaciones. La que se puede catalogar como su principal contendor teórico es la conocida como racionalidad *limitada*, pero *¿a qué límites se refiere y como se diferencia de su contraparte?*

En la primera referencia escrita sobre este concepto, Simon (1957) sugiere que la capacidad de la mente humana para formular y resolver problemas complejos es muy limitada comparada con el tamaño de los problemas cuya solución es requerida para que exista el comportamiento objetivamente racional o incluso una aproximación a este. A partir de este enfoque puede apreciarse cómo la noción de racionalidad limitada se fundamenta en la imposibilidad práctica de ejercer racionalidad global, por lo que resulta un concepto derivado a partir de éste último. Por este hecho, de manera amplia puede apuntarse que este concepto responde a cualquier desviación del paradigma tradicional, y, dado que existen diferentes formas de desviación, existen diferentes maneras de concebir sus límites. Simon (1997) apunta los siguientes supuestos como

adecuados para caracterizar este concepto: conocimiento limitado, habilidad restringida para evocar dicho conocimiento, habilidad acotada para idear posibles cursos de acción, restricciones para lidiar con incertidumbre y limitaciones para decantarse entre preferencias sustitutivas entre sí.

Dicho esto, entre las principales metodologías utilizadas en la teoría económica actual para representar este conjunto de restricciones iniciales sobre la racionalidad destacan (Grüne-Yanoff, Marchionni y Moscati; 2014): *el enfoque de heurísticas y sesgos*, caracterizado por los trabajos de Kahneman, Rabin, Thaler y Tversky y que considera que las elecciones aún pueden modelarse como el resultado de la maximización de la utilidad, pero la función a maximizar difiere de la tradicional debido a que, por ejemplo, la utilidad de una alternativa determinada depende de la utilidad de otra alternativa tomada como punto de referencia; *el enfoque de heurísticas rápidas y frugales*, donde se destaca el trabajo realizado por Gigerenzer, Selten, Todd y Goldstein. Bajo este enfoque desaparece la maximización de la utilidad y las decisiones se modelan a partir de heurísticas sencillas y fáciles de aplicar y; el *enfoque de heurísticas y preferencia revelada*, clasificado así por los autores, de fecha más reciente y asociado a los trabajos de Manzini y Mariotti, el cual continúa con el uso de heurísticas para modelar la toma de decisiones, pero estructura las elecciones generadas por dichas heurísticas en términos de axiomas de preferencia revelada. El axioma generado es menos restrictivo que los otros asociados a las elecciones racionales, pero restringe un conjunto significativo de patrones de elección.

Bajo otro orden de ideas, un argumento muy común en la literatura usado para justificar la validez del modelado económico basado en el agente de racionalidad global, es el esgrimido por Friedman (1953) en el que señala que lo relevante para que una teoría económica con dichas características funcione sólo se necesita que los agentes se comporten *como si* actuaran de forma racional. Sin embargo, este argumento bajo nuestro criterio puede desmontarse a partir de la premisa del mismo autor acerca de la validez predictiva y el realismo en los supuestos. Dado que las pruebas empíricas tanto de hipótesis conjunta como de racionalidad per se han arrojado resultados ambiguos, incluso en situaciones repetidas como las de mercado y en pruebas de laboratorio que intentan facilitar el proceso de aprendizaje, esto abre camino para incluir otro tipo de hipótesis cuya validez predictiva sea sometida a contraste junto a la tradicional.

Otro argumento relevante es el que predica que los *agentes que no optimizan no tenderán a sobrevivir en un entorno de mercado*. En este caso la hipótesis de

expectativas heterogéneas arroja resultados que pueden cambiar esta noción dado que, suponiendo un universo de agentes que se decantan entre utilizar expectativas racionales incluyendo un costo asociado a la recopilación y procesamiento de la información disponible y expectativas ingenuas bajo ningún costo, se muestra como existen períodos en los que se puede sacar ventaja de aquellos pronósticos más acertados sin incurrir en el costo de obtener esta información. Sin embargo, si todos los agentes evalúan sus decisiones de forma racional, es decir, acoplándose de forma intertemporal a aquellas reglas de decisión que mayor beneficio o precisión les ofrece, ningún agente terminará utilizando expectativas racionales y se presentará un ciclo inestable antes de que el costo de hacer uso de las expectativas ingenuas sea cada vez mayor y los agentes finalicen nuevamente pronosticando racionalmente. La dinámica de este comportamiento depende de la intensidad de elección, la cual es un parámetro que determina cuán rápido se gestan los cambios en la elección de los agentes (Hommes, 2013).

Por otra parte, una idea transversal en la defensa de la racionalidad global y de la imposición de supuestos a priori es la idea de *disciplinar la teoría económica* a partir de una base común que soslaye la aparición de hipótesis *ad hoc* que intenten cubrir cualquier hecho económico y que no pueda haber una lógica común entre los economistas para el desarrollo científico. Sin embargo, la debilidad del mismo puede visualizarse, bajo nuestra perspectiva, bajo dos aristas: la primera, de carácter moderado, que señala que la estricta rigidez sobre los principios utilizados para describir el sistema y los componentes bajo análisis puede derivar en un extremismo perjudicial para el desarrollo de la ciencia y; la segunda, de carácter más radical en cuanto al *statu quo*, apunta que la teoría económica no adquiere disciplina a través de la imposición de supuestos arbitrarios, sino a través de los patrones de la evidencia empírica (Conlisk, 1996; Kirman, 2014).

Aún con la superficialidad expuesta en esta sección, es probable que la racionalidad sea materia de debate en el porvenir de la disciplina económica dado que los límites que dividen el carácter descriptivo y el normativo de las distintas teorías no están del todo establecidos, lo que deja la puerta abierta para la coexistencia de diferentes perspectivas.

4.1.3 Presencia de heterogeneidad

Con el cese de la predominancia de inspiración keynesiana a partir de los comienzos de la década de los setenta, y la entrada de la *Nueva Escuela Clásica*, la metodología para representar las relaciones colectivas cambia radicalmente, abocándose por la extensión

de las herramientas propias de la microeconomía al campo de análisis macro. Parte de esta extensión incluye la utilización del *agente representativo* para el análisis de fenómenos agregados como la inflación y el crecimiento, práctica que subsiste hasta nuestros días (Meeusen, 2010). Sin embargo, algunos autores han apuntado críticas severas al uso de este supuesto y, por otro lado, alternativas que, como por ejemplo la hipótesis de expectativas heterogéneas, asoman el potencial de estudiar las interacciones entre agentes sin limitarse a los microfundamentos.

Por esta razón, nuestros objetivos en este apartado consisten en ofrecer una retrospectiva sobre el origen de este concepto y elaborar distintos argumentos que reflejen las limitaciones teóricas que posee y en las cuales una alternativa que refleje heterogeneidad entre agentes podría ampliar el alcance de la teoría económica, limitándose estrictamente al campo de las relaciones agregadas.

El agente representativo inició sus actividades en la ciencia económica a partir de la publicación de *Principios de Economía* de Alfred Marshall en 1890, limitado al campo de la empresa (o firma) representativa. A diferencia de la noción actual la firma representativa de Marshall no adoptó la forma de un constructo estadístico o de una empresa gigante a la que se asume la producción total de una economía, en su lugar lo que el célebre economista inglés intentó reflejar mediante el uso de este concepto era una herramienta para poder construir una curva de oferta de una industria particular, soslayando la heterogeneidad de costos entre firmas con distintas economías internas de escala y la necesidad de suponer de que todas las firmas eran iguales (Hartley, 1996).

Sin embargo, aun cuando este concepto en su momento fue objeto de diversas críticas hace una reaparición en la teoría económica moderna. Por esta razón, resulta natural plantearse: *¿qué representa el agente representativo para la economía actual? Y ¿Por qué reapareció?*

A diferencia del concepto marshalliano antes descrito, el uso del agente representativo actual sí se basa en constructos estadísticos, tales como la media de la población de una economía, y se tratan los agregados económicos como si obedecieran a las elecciones óptimas de un decisor singular. En otras palabras, para alcanzar los requerimientos del modelo de agente representativo es necesario que la curva agregada de consumo sea exactamente la misma que la curva individual rigurosamente derivada (Chakrabarty y Schmalenbach, 2002).

Por otro lado, la reintroducción de esta hipótesis a la economía, en particular al campo de la macroeconomía, puede ubicarse dentro del marco de búsqueda de unos microfundamentos satisfactorios. En particular, gracias a la convicción difundida y creciente entre los economistas de poseer un modelo adecuado para el comportamiento individual. Por esta razón era natural describir el comportamiento colectivo a través de individuos optimizadores, sin embargo, hacer esto no resulta sencillo debido a que se requiere que el equilibrio de la economía sea único y estable para poder someterlo a análisis de estática comparativa. Estas propiedades, a su vez, dependen de las características de la función de exceso de demanda agregada de la economía, las cuales, de acuerdo con el teorema Sonnenschein-Mantel-Debreu, no tienden a garantizar ni unicidad ni estabilidad en el equilibrio debido a que la función de exceso de demanda agregada no mantiene las mismas propiedades de las funciones de exceso de demanda individuales, sino, que sólo conserva la continuidad, la ley de Walras y homogeneidad de grado cero. Este resultado, entre otras cosas, genera un problema para el uso del marco de equilibrio general para el estudio de relaciones agregadas debido a que no garantiza el cumplimiento del axioma débil de la preferencia revelada (Rizvi, 2006.). Incluso, si mayores restricciones se impusieran sobre las preferencias de los agentes, como la homoteticidad, el resultado del teorema se mantendría, por lo que las propiedades deseadas no pueden ser obtenidas a partir de supuestos sobre los individuos de la economía. Por esta razón, y tomando en cuenta los resultados descritos, el agente representativo simboliza una solución rigurosa para mantener la microfundamentación y el uso de estática comparativa en la macroeconomía moderna (Kirman, 1992).

Adicionalmente, de acuerdo con algunos estudios, resulta conveniente acotar que contrario a la creencia difundida de que el agente representativo no es capaz de mantener las mismas propiedades sobre el equilibrio que ante la introducción de cierto grado de heterogeneidad, publicaciones como Bosi y Seegmuller (2005) demuestran que al contrastar la introducción del agente representativo en modelos originalmente contenidos dentro de un marco de heterogeneidad, como el presentado por Woodford (1986) y por Reichlin (1996), dichos modelos pueden preservar las dinámicas locales.

Por otro lado, en cuanto al análisis de políticas se refiere, el uso del agente representativo puede llevar a resultados engañosos debido a que no es capaz de distinguir el efecto de políticas particulares en sectores o agentes determinados de una economía en su conjunto (Kirman, 1992), e incluso si lo hiciera no puede garantizarse que el agente representativo es una representación fiel de la economía una vez aplicada la política debido a la dinámica propia de la heterogeneidad de los agentes.

Además, frente a los resultados expuestos en el teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu, estudios como los realizados por Hildebrand (1983) y Grandmont (1987, 1991) demuestran cómo la creciente dispersión de ingresos o de preferencias puede poseer un efecto estabilizador haciendo el comportamiento colectivo más regular. Un ejemplo ilustrativo de esta situación puede darse cuando ante el supuesto de que los consumidores no posean preferencias convexas, lo cual conlleva discontinuidades en la demanda, si los patrones de consumo son lo suficientemente heterogéneos dichas discontinuidades pueden suavizarse dando como resultado curvas de demanda agregada continuas. De hecho, Grandmont (1991) da un ejemplo en el cual agentes con preferencias muy dispersas, conlleva a que las propiedades de la demanda agregada permiten mantener las condiciones de estabilidad y unicidad (Kirman, op. cit.).

4.1.4 Retroalimentación entre las expectativas y el sistema

La economía, a diferencia de las ciencias naturales, es susceptible de que las creencias de las unidades que componen el sistema sean capaces de moldear el resultado del mismo. Si se supone que la conducta de los agentes es consistente con sus creencias, entonces para conocer el proceso que obedece una variable determinada se debe tomar en cuenta cómo se forman las expectativas con respecto a ésta y, a su vez, cómo el resultado final se ve afectado por la formación de dichas expectativas, lo cual genera un comportamiento que puede ser representado a partir de un *sistema de retroalimentación de expectativas* (Bao, Hommes, Sonnemans y Tuinstra, 2012). Dicho sistema, de acuerdo con los autores citados y utilizando la variable precio como la variable relevante bajo análisis, puede formalizarse de la siguiente manera:

$$p_t = f(p_t^e) \qquad (4.1)$$

En primer lugar, se representa el comportamiento del sistema a partir del precio de un bien 'i' que está en función del valor esperado del mismo. Con el paso del tiempo, los resultados de este proceso son recopilados, obteniéndose información acerca de los precios históricos:

$$\{p_\tau\}_{\tau=0}^{t} \qquad (4.2)$$

Con este conjunto de información disponible, el agente forma reglas de pronóstico sobre el comportamiento futuro del sistema:

$$p_t^e = J_t\{p_\tau\}_{\tau=0}^{t} \qquad (4.3)$$

Por último, el individuo toma una decisión basada en esta regla por lo que dicha decisión afecta el resultado del sistema y el proceso se repite.

En este orden de ideas, este apartado pretende exponer la postura que implica cada hipótesis sobre la relevancia de este sistema de retroalimentación. En el caso de las expectativas racionales, se ha apreciado que bajo su definición débil las expectativas subjetivas se igualan al valor esperado condicional de la variable bajo análisis dado un conjunto de información determinado (Sheffrin, op. cit.). A su vez, en casos donde el equilibrio es único, el valor esperado se iguala, en promedio, al valor predicho por la teoría económica. De esta manera, se logra simplificar el proceso de retroalimentación de expectativas al imponer consistencia entre la regla de pronóstico y el resultado de equilibrio.

No obstante, esta definición sólo asume que los agentes hacen uso eficiente de la información disponible para elaborar sus pronósticos. Bajo la forma fuerte, la simplificación se acentúa aún más debido a que se asume que el agente conoce la estructura del sistema, por lo que la regla de aprendizaje y el proceso del mercado guardan perfecta consistencia, lo cual omite por completo la relevancia de este proceso. En otras palabras, el sistema no se ve afectado por las expectativas de los agentes puesto que al ser consistentes puede decirse que los agentes predican profecías auto-cumplidas, aun cuando cometen errores aleatorios en sus pronósticos.

En contraste, la hipótesis de expectativas heterogéneas pone en primer plano el sistema de retroalimentación de expectativas al introducir la noción de *sistema de creencias adaptativo* (Brock y Hommes, 1998), la cual consiste en el sistema de ecuaciones que integra la evolución intertemporal de los precios de equilibrio y las fracciones de diferentes estrategias de pronóstico empleadas (Hommes, 2013). De esta manera, el equilibrio del mercado se verá afectado por el desempeño de unas heurísticas sobre otras y la intensidad de elección de los agentes en distintos períodos. A su vez, el equilibrio afectará cuales reglas tienen mejor desempeño sobre otras, lo cual afectará el porcentaje de agentes que hacen uso de éstas.

Por otro lado, al incluir explícitamente el sistema de retroalimentación de expectativas al análisis, es posible estudiar el comportamiento agregado de las expectativas bajo distintas clases de retroalimentación: la *retroalimentación positiva* (también denominada como estrategia complementaria) y la *retroalimentación negativa* (también conocida como estrategia sustitutiva). Un sistema de retroalimentación positiva es aquel en el que las creencias de los agentes y el comportamiento del sistema comparten dirección, por ejemplo, un mercado financiero en el cual el precio de los

activos aumente (disminuya) ante un pronóstico optimista (negativo). Por su parte, un sistema de retroalimentación negativa es que en el que las creencias de los agentes tienen un efecto contrario sobre el resultado del sistema, por ejemplo, un mercado agrícola en el que los precios dependen del pronóstico del período anterior y que al suponer que serán altos (bajos), aumentando (disminuyendo) así la producción consistentemente, el resultado será que los precios bajen (suban) (Bao et al, op. cit.).

A continuación, se expone cómo cada uno de los puntos tratados en este apartado son formalizados en las hipótesis bajo contraste.

4.1.5 Formalización de los supuestos

Como se comentó en la discusión acerca del grado de simplificación que se considera necesario para conservar las ideas informales, se ubican dos enfoques relevantes para las hipótesis de formación de expectativas contrastadas: el *tradicional* y el *complejo*. Dentro del primero se ubica a las expectativas racionales debido a que su definición, fundamentos y modelado corresponden a un carácter lineal-estocástico, analíticamente tratable, basado en la microfundamentación y cuyo concepto de uso eficiente de la información disponible (definición débil), consistencia entre creencias y estructura (definición fuerte) y de equilibrio en la formación de expectativas lo asemeja a la visión de racionalidad global y de equilibrio general.

En contraste, una definición basada en la interacción de agentes con racionalidad limitada que pronostican en función a distintas reglas de decisión, disciplinados por una regla de aprendizaje por refuerzo, cuyo modelado exhibe dinámicas no lineales de carácter endógeno, caracteriza mejor al enfoque complejo. No obstante, aunque la hipótesis de expectativas heterogéneas especifique que los agentes poseen un nivel de conocimiento menor al descrito por la anterior, los mismos toman sus decisiones orientados por aquellas reglas que optimicen su función de utilidad y, bajo un marco de análisis compatible con un mecanismo de vaciado de mercado. Por último, esta hipótesis tiene la particularidad de poder ser aplicada tanto en forma parcialmente analítica, y mediante simulaciones basadas en el agente dependiendo del número y clase de heurísticas a modelar, y el uso de microfundamentos o la flexibilización de los mismos a través de modelos basados en el agente.

Continuando el orden de los fundamentos discutidos, la racionalidad tradicional, formalizada a partir de un conjunto de axiomas de consistencia entre las preferencias y elecciones de los agentes y a través de la búsqueda de medios más efectivos para los

fines planteados, en el caso de las expectativas racionales se manifiesta a partir del siguiente supuesto y sus propiedades (Collard, 2002):

$$_{t-1}x_t^e = E[x_t|I_{t-1}] \quad (4.4)$$

$$E[\epsilon_t|I_{t-1}]=0 \quad (4.5)$$

$$E[\epsilon_t . I_{t-1}|I_{t-1}]=0 \quad (4.6)$$

La primera ecuación relaciona el concepto de las expectativas subjetivas $_{t-1}x_t^e$ y objetivas $E[x_t|I_{t-1}]$, lo cual se traduce en que las creencias de los agentes se igualan a las expectativas condicionales sobre el proceso estocástico de la variable a pronosticar. *¿Por qué habrían de conocer los agentes este proceso?* Gracias al uso eficiente de la información disponible, se plantea que los agentes son capaces de reconocer patrones en el comportamiento de las variables relevantes lo cual conlleva a decir que los mismos, aún sin saberlo, se comportan como si conocieran la teoría económica subyacente. Las propiedades que se derivan a partir de esta definición es que el error de pronóstico en promedio debe ser cero ya que se espera que el agente incorpore a su predicción toda la información relevante y que, de cometerlos, sean de carácter aleatorio y no correlacionado. Cabe resaltar que estos aspectos, hasta la fecha de desarrollo de dicha hipótesis, solían verse omitidos al asumir que, ante cambios en la estructura del sistema, el proceso de formación de expectativas permanece invariante.

En este sentido, la hipótesis de expectativas heterogéneas busca generalizar el proceso de formación de expectativas, irónicamente, planteando limitaciones con respecto a la racionalidad a partir de supuestos sobre el aprendizaje y la selección fundamentada en reglas de decisión. En este caso, la racionalidad limitada se encuentra en el proceso de pronóstico en base a heurísticas, en la elección intertemporal de unas sobre otras y la actualización de los parámetros de algunas de ellas.

Debido a que distintos conjuntos de heurísticas han sido planteados, dependiendo del carácter del modelo en el que se incorporan, sólo se ilustran simbólicamente el proceso de aprendizaje adaptativo y la selección evolutiva:

$$y_t^e = \psi(X_t, \theta_{t-1}) \quad (4.7)$$

$$n_{jt} = \frac{(1-\delta)e^{\beta U_{j,t-1}}}{Z_{t-1}} + \delta n_{j,t-1} \qquad \bar{U}_{ht} = U_{ht} + \epsilon_{iht} \quad (4.8)$$

Donde la primera ecuación representa una regla de aprendizaje ψ que contiene observaciones de un vector X_t de variables, que pueden incluir rezagos de la variable a pronosticar, y un vector θ_{t-1} de parámetros que pueden evolucionar con el pasar del tiempo (Evans y Honkapohja, op. cit.). En cuanto a las restantes, representan las fracciones de agentes n_{jt} que actualizan sus reglas de decisión basadas en cómo su desempeño ($\overline{U}_{ht}$) se traduce en utilidad para ellos. Cabe resaltar que el supuesto de racionalidad limitada es compatible con un entorno modelado de características complejas, puesto que hace referencia a que dicho proceso no es del todo inteligible para los agentes dada su dinámica de comportamiento (Rosser y Rosser, 2015).

En lo concerniente a la presencia de heterogeneidad en el modelado, como se apunta palabras antes, la forma fuerte de las expectativas racionales, la cual es la forma estándar utilizada en el modelado macroeconómico, omite o no da relevancia a ningún tipo de diferencia entre los agentes con respecto a la formación de expectativas puesto que al guardar perfecta consistencia las creencias de los mismos con el comportamiento del sistema, es equivalente a reducir el comportamiento agregado a las expectativas de un individuo, o, que dadas las diferencias entre la información manejada y las reglas de decisiones utilizadas por los agentes será válida su representación agregada puesto que son racionales colectivamente.

En el caso de las expectativas heterogéneas, más allá de la redundancia que de por sí ofrece el adjetivo de rigor, la heterogeneidad se plasma en el hecho que exista más de una regla de decisión, puesto que al suponer una sola e incorporar las reglas de aprendizaje igualmente implicaría el estudio de un agente representativo, aunque uno con racionalidad limitada tal como puede apreciarse en Hommes y Zhu (2014). A su vez, la coexistencia de distintas reglas de decisión permite examinar las dinámicas de la selección de los agentes y otros aspectos de esta interacción como la velocidad con que incorporan reglas de decisión con mejor desempeño (intensidad de elección) y qué fracción de los agentes actualiza su regla de decisión en cada período (actualización asíncrona).

En cuanto al último aspecto, la relevancia de la retroalimentación entre expectativas y realidad bajo la hipótesis de Muth es reducida debido a que, como se señaló antes, bajo su definición débil permite igualar las expectativas subjetivas de los agentes a las objetivas del sistema, implicando que, en promedio, el pronóstico del agente coincide con la predicción de la teoría económica subyacente. Bajo su definición fuerte, se reduce la retroalimentación al mínimo puesto que, aunque el agente aún pueda cometer

errores aleatorios, su regla de aprendizaje incorpora la ley de movimiento real de la estructura modelada dentro del conjunto de información disponible.

En este respecto, la hipótesis de expectativas heterogéneas permite explorar las dinámicas contenidas dentro de la retroalimentación entre los componentes anteriores al prescindir de una consistencia perfecta. De forma general, a partir de Brock y Hommes (1998), se introduce la noción de *sistema de creencias adaptativo*, el cual consiste en un sistema que describe la evolución conjunta del equilibrio de mercado y la actualización de estrategias disponibles por parte de los agentes.[22]

A manera de síntesis, se puede argüir que la postura de los economistas frente al proceso de simplificación del sistema bajo análisis, al grado de racionalidad que consideran necesario para mejorar la validez predictiva de sus modelos, a la relevancia de la heterogeneidad y la interacción entre agentes para explicar el comportamiento económico agregado y el nivel de consistencia mínimo para disciplinar el estudio de los fenómenos es aún materia de discusión. Por lo que, reconociendo la complejidad que representa capturar el comportamiento del sistema económico a partir del proceso de simplificación propio del modelado, se considera que el estudio y la aplicación de las hipótesis bajo contraste son de relevancia para poder capturar desde distintas aristas un fragmento de la realidad económica.

4.3 Herramientas operacionales

Una vez comprendidas las bases conceptuales sobre las que se erigen ambas hipótesis, para comprender en profundidad el impacto de cada una resulta relevante detenerse a exponer y comparar *vis-à-vis* las herramientas utilizadas para su formalización.[23]

4.3.1 Expectativas racionales

Las herramientas utilizadas para la formalización de esta hipótesis se evidencian a partir de su definición. La mayoría de éstas están asociadas a conceptos como expectativas subjetivas, objetivas y valores esperados enmarcados todos dentro de la rama de la estadística denominada estadística inferencial. Al mismo tiempo, se describe la solución de punto fijo y se explican los conceptos de burbujas racionales y manchas solares.[24]

---

[22] Para aplicaciones de este concepto, véase los apartados 4.3.2 y 4.3.3.
[23] Para una revisión sobre las principales metodologías de modelado, consulte los anexos 7.4 y 7.5.
[24] Adicionalmente para una revisión de algunos métodos de solución para expectativas racionales, consultar anexo 7.6.

4.3.1.1 Estadística inferencial

También denominada estadística estimativa, se trata de la rama de la estadística dedicada a deducir características generales de una población a partir del examen de un subconjunto de esa población permitiendo la verificación de generalizaciones estadísticas las cuales implican que habrá excepciones a lo que la generalización afirma (Casuso, 2009, p.2). Dentro de los conceptos más importantes para la formalización de esta hipótesis se destacan:

4.3.1.1.1 Función de densidad

Se define como aquella función $f(x)$ que mide la probabilidad de que la variable aleatoria x adopte determinados valores.[25]

4.3.1.1.2 Función de distribución

Se trata de aquella función $F(x)$ de la variable aleatoria que mide la probabilidad de que la variable x sea menor o igual a un número dado h. Su formalización dependerá de si x se trata de una variable aleatoria discreta o continua.[26]

4.3.1.1.3 Valor esperado

También conocido como la esperanza matemática o promedio, es definido formalmente de la siguiente forma: Sea x una variable aleatoria con función de densidad $f(x)$; el valor esperado $E(x)$ es,

$$E(x) = \sum_x xf(x) \text{ si } x \text{ es discreta (4.12)}$$

$$E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)\,dx \text{ si } x \text{ es continua (4.13)}$$

En otras palabras, el valor esperado de una variable representará las expectativas que un agente tiene sobre dicha variable, es decir es el objeto de estudio de las hipótesis en contraste, sin embargo, el resultado de estas expectativas dependerá de un conjunto de

[25] Para una definición formal consultar anexo 7.7.
[26] Para una definición formal consultar anexo 7.8.

información específico disponible para el agente, esta característica se puede reflejar formalmente introduciendo el concepto de valor esperado condicional.

4.3.1.1.4 Valor esperado condicional

El valor esperado condicional permite, al trabajar con dos variables aleatorias, conocer el valor esperado de una variable particular (por ejemplo: x) dado el valor de otra variable (y), esto resulta muy valioso para el estudio de las expectativas puesto que una variable x puede ser el nivel de inflación en un período futuro y la variable y, que condiciona el valor esperado de la variable x, puede tratarse del conjunto de información del que dispone el agente. Esta característica particular resulta relevante ya que uno de los supuestos más importantes de la hipótesis de expectativas racionales es el de que el conjunto de información sobre la economía que posee el agente representativo y que condiciona las predicciones realizadas por dicho agente, es completo, es decir, incluye toda la información necesaria incluyendo las reglas de movimiento del sistema económico.[27]

4.3.1.1.5 Expectativa subjetiva y objetiva

Tesfatsion (2015) establece que, suponiendo que $I_{t-1.i}$ represente el conjunto de información disponible para el agente i al inicio del período $t = (t, t+1)$ entonces la expectativa subjetiva del agente vendrá descrita por $E_{t-1,\upsilon_{t+k_i}}$. Esta expectativa es formada al principio del período t y se trata de una expectativa personal que se tiene sobre el valor que una variable v adoptará en un período $t+k$ siendo $k \geq 0$.

Como puede verse, las expectativas subjetivas no son más que las expectativas que un agente tiene sobre el nivel de alguna variable en el futuro, dado un conjunto determinado de información. En el caso de la hipótesis de expectativas racionales, sus autores y defensores arguyen que, con la posesión de un conjunto de información completo, el resultado será que estas expectativas personales o subjetivas se igualen a lo que se denomina, expectativa objetiva, la cual hace referencia al valor esperado condicional explicado palabras arriba. Su definición implica la existencia de una distribución de probabilidades *verdaderamente* objetiva para los posibles valores que la variable υ_{t+k} pueda adoptar en el futuro.[28] Existe discusión alrededor de esta

[27] Para una definición formal consultar anexo 7.9.
[28] Una evaluación de probabilidades que implica un atributo válido para la variable, independientemente de las creencias de los agentes.

afirmación ya que este requerimiento descarta la incertidumbre conductual presente en el estudio de la economía, es decir, aquella que surge si el agente decisor i no conoce con certeza el comportamiento de otros agentes cuyas acciones afectan sus resultados. Este punto genera una interrogante fundamental: *¿Es útil suponer la existencia de una evaluación de probabilidades verdaderamente objetiva para una variable que describe un aspecto de la economía?*

4.3.1.4 Solución de punto fijo

"Sea f una función de un conjunto A en sí mismo. Decimos que $x \in A$ es punto fijo de f si $f(x) = x$. Tratando de dar una idea más intuitiva de este concepto, al aplicar una función a un conjunto podemos imaginar que la función "mueve" a los puntos del conjunto, por ejemplo, la función $f(x) = x + 1$ provoca que los puntos se muevan una unidad a la derecha. Con esta idea de movimiento, un punto fijo es un punto que no se mueve, simplemente se queda dónde está. Así, un punto fijo es invariante bajo la función, nunca cambia sin importar cuantas veces se la apliquemos." (Pérez, 2008, p. 8).

Las soluciones de expectativas racionales para sistemas económicos lineales generalmente pueden representarse como secuencias de problemas de punto fijo del tipo $x = M(x)$.[29] Estas representaciones de expectativas racionales en términos de problemas de punto fijo, ponen en evidencia que es posible que no exista una única solución para lo que obliga a plantear la pregunta: *¿Qué nivel de racionalidad, en el sentido en que hemos estudiado el concepto, contiene una situación que al representarse de una manera particular evidencia la posibilidad de tener varias soluciones correctas?*

4.3.1.6 Burbujas especulativas y equilibrios de manchas solares

Los modelos de expectativas racionales pueden contener distintas soluciones. En particular, según Evans y Honkapohja (2001) este fenómeno se ilustra en la existencia de *soluciones racionales de burbujas especulativas.* Una solución racional de burbuja es la suma de la solución fundamental al modelo y una burbuja que se entiende como cualquier proceso B_t que satisface $E_t B_{t+1} = \alpha^{-1} B_t$. Estas soluciones de burbuja son explosivas tanto en cuanto $\alpha < 1$, además suelen implicar recorridos de precios (o de

[29] Tesfatsion (2015) brinda un ejemplo útil para demostrar esta característica y comprender sus implicaciones.

la variable bajo estudio) determinados, en particular, por las expectativas de los agentes.

De acuerdo con Desgranges (2003) esta situación ha llevado a que el objetivo de los dispositivos o criterios de selección que se utilizan para escoger una solución por encima de otra, sea descartar las soluciones de burbuja descritas, entendiendo de manera intuitiva que estas soluciones libres de burbujas se caracterizan por la estabilidad o no explosividad de las variables endógenas (Blanchard y Fischer [1987], Blanchard y Kahn [1980] y Sargent [1987]). Existen modelos que evidencian la posibilidad de que las fluctuaciones de ciclos de negocios se expliquen por fluctuaciones aleatorias pero racionales en las expectativas de las familias y las empresas.[30]

Las manchas solares, por su parte, son variables extrínsecas y aleatorias sobre las cuales los participantes coordinan sus decisiones. Estas variables no afectan los fundamentos económicos directamente, pero, pueden generar efectos sobre los resultados de equilibrio debido a su influencia sobre las expectativas. En un equilibrio de manchas solares, la distribución de los recursos depende significativamente de la introducción de esta herramienta. Los modelos de manchas solares, son modelos de expectativas racionales y de equilibrio general que explican el exceso de volatilidad en un sistema.[31]

4.3.2 Expectativas heterogéneas

Ahora, se exponen las herramientas operacionales requeridas para la formalización de la segunda hipótesis bajo contraste, la hipótesis de expectativas heterogéneas. Conviene al igual que en el caso anterior brindar una breve descripción de los conceptos que serán abordados. Dentro del universo de posibilidades provisto por el marco de racionalidad limitada, la toma de decisiones de los agentes en esta teoría se rige por dos métodos de aprendizaje, primero la selección evolutiva de reglas de pronóstico, según la cual los agentes cambian hacia reglas de decisión que, de acuerdo a alguna medida de desempeño, muestran haber funcionado mejor en el pasado reciente y, en segundo lugar, el aprendizaje que ocurre dentro de cada clase de regla de

[30] Para mayor información, en el anexo 7.10 se expone un modelo con las características expuestas.
[31] Extraído de: http://www.investopedia.com/terms/s/sunspot.asp

pronóstico mediante el cambio de algunos parámetros a lo largo del tiempo y obedeciendo un proceso de aprendizaje adaptativo.[32]

Adicionalmente para Hommes (2013) el descubrimiento de conceptos como el caos determinístico y atractores extraños, conceptos que serán en gran medida el tema a tratar en este apartado, llevaron a los científicos a comprender que, dado que los estados iniciales sólo pueden medirse con una precisión finita, las predicciones a largo plazo puede que sean fundamentalmente imposibles teniendo esto una vasta implicación sobre la ciencia económica y en particular sobre el estudio de las expectativas.

4.3.2.1 Bifurcaciones y caos en sistemas 1-D

Usualmente las ecuaciones diferenciales[33] contienen ciertos parámetros que determinan los resultados de los modelos que se plantean, cuyo valor generalmente sólo se conoce de manera aproximada. Esto es así sobre todo si se asume un marco de racionalidad limitada y una hipótesis de formación de expectativas según la que el conjunto de información disponible para el agente no cumple con las estrictas condiciones que caracterizan al conjunto de información disponible bajo expectativas racionales. En este sentido resulta conveniente estudiar el comportamiento de las soluciones a estos modelos y en particular la dependencia de estas soluciones a estos parámetros, este estudio nos conduce a la teoría de la bifurcación, bajo modelos de tiempo discreto, dinámicos, no lineales y con una variable de estado única,[34] es decir, *sistemas dinámicos no lineales de una dimensión.*[35]

4.3.2.1.1 Bifurcaciones

Definidas por Henri Poincaré en 1885, se refieren a aquellos momentos en que un pequeño cambio ocurre sobre los valores de los parámetros (parámetros de bifurcación)

---

[32] Para mayor detalle sobre estos conceptos, consultar apartados 2.4.4.3 y 2.4.4.4.

[33] Las ecuaciones diferenciales (E.D.) son expresiones matemáticas que establecen relaciones entre variables independientes, dependientes y las derivadas de ésta última. Extraído de http://davinci.tach.ula.ve/vermig/integral/paginas/ecuaciones-difer/pag1.htm

[34] Variables que describen un sistema y se agrupan en un vector que se conoce como vector de estado el cual almacena la información completa acerca del estado del mismo sistema.

[35] Los sistemas dinámicos son sistemas cuyos parámetros internos (variables de estado) siguen una serie de reglas temporales. Se llaman sistemas porque están descritos por un conjunto de ecuaciones (sistema) y dinámicos porque sus parámetros varían con respecto a alguna variable que generalmente es el tiempo (Loaiza, 2006).

de un sistema, causando un cambio cualitativo repentino sobre el comportamiento de dicho sistema[36] (Blanchard, Devaney y Hall, 2006).[37]

4.3.2.2 Caos

"Caos: Cuando el presente determina el futuro, pero una aproximación del presente no determina aproximadamente al futuro"

Edward Lorenz

De manera general, la teoría del caos es el campo de estudio en matemática que se ocupa del comportamiento de los sistemas dinámicos que son altamente sensibles a las condiciones iniciales (Boeing, 2015). En 1963, uno de los pioneros del caos determinístico Edward Lorenz planteó un modelo de predicción del clima caracterizado por exhibir una dependencia sensible a las condiciones iniciales del modelo, a este fenómeno le denominó el *efecto mariposa* que puede definirse como a partir de una pequeña perturbación en el estado inicial se obtienen predicciones completamente distintas en el mediano o largo plazo. El trabajo de Lorenz y posteriores investigaciones llevaron a comprobar que algunos sistemas no lineales pueden exhibir un comportamiento dinámico de largo plazo complicado e irregular aun sin la presencia de disrupciones externas y aleatorias. Cabe destacar la importancia del determinismo, este implica que el comportamiento irregular que sigue el sistema a largo plazo proviene de la no linealidad[38], no se trata de un sistema azaroso.

Martín, Morán y Reyes (1998) definen un sistema dinámico como caótico si cumple las siguientes propiedades:

1. Los puntos periódicos[39] de f son densos en X
2. Es sensible a las condiciones iniciales
3. Tiene la propiedad de mezcla, o es topológicamente transitivo[40]

4.3.2.2.1 Exponente de Lyapunov

---

[36] Para un ejemplo de un modelo con bifurcación consultar apartado 4.3.2.
[37] Para una descripción de los principales tipos de bifurcación en sistema 1-D consulte anexo 7.11.
[38] Se dice que un sistema es no lineal cuando la potencia de las variables de ese sistema es diferente a uno.
[39] Un punto x es llamado periódico con período k si $f^k(x) = x$ y $f^i(x) \neq x, 0 < i < k$. Un punto periódico con período k es un punto que regresa a si mismo luego de precisamente k períodos
[40] Se dice que un sistema dinámico (X, f) tiene la propiedad de mezcla si dados dos intervalos cualesquiera $I, J \subset$ X de longitud positiva y arbitrariamente pequeños, siempre existen puntos de I cuya órbita visita en algún instante J, es decir si existen $n > 1$ tal que $f^n(I) \cap J \neq \phi$.

El caos usualmente está caracterizado por un cambio irregular entre una fase inestable de trayectoria temporal divergente y una fase de soluciones convergentes. El exponente de Lyapunov mide la tasa exponencial promedio de divergencia entre estados iniciales cercanos. El exponente de Lyapunov cuantifica la dependencia sensitiva a los estados iniciales (Hommes, 2013).[41]

La presencia de un exponente de Lyapunov positivo implica la existencia de un horizonte de tiempo más allá del cual resulta imposible hacer predicciones a largo plazo ya que cualquier incertidumbre relacionada a la condición inicial, se ve amplificada exponencialmente.[42]

4.3.2.3 Atractores extraños en sistemas 2-D

Una noción que resulta importante para el estudio del caos es la del atractor, la cual consiste en un conjunto de valores numéricos hacia el que un sistema tiende a evolucionar dada una amplia variedad de condiciones iniciales del sistema.[43] Un atractor de un sistema de K dimensiones $X_{t+1} = F(X_t)$ se define como un conjunto A cerrado y limitado que cumple tres propiedades: primero que, para un estado inicial en A, la órbita completa está en A; segundo, existe un set abierto U que contiene a A tal que A atrae todos los estados iniciales cercanos y; por último, existe al menos una órbita que visita todas las regiones arbitrariamente pequeñas en el atractor A (Hommes, 2013).

Se puede interpretar esta definición afirmando que cuando un sistema es atraído hacia un tipo de movimiento esto constata la presencia de un atractor. Los atractores pueden ser de distintos tipos, por ejemplo, un atractor de punto fijo suele ser el más básico indicando que el sistema tenderá a estabilizarse hacia un único punto. Sin embargo, para el estudio del caos y su relación con el modelado de las expectativas, son los *atractores extraños* los que nos interesa definir.

---

[41] Para una definición formal consultar anexo 7.12.
[42] Barenghi (2010) ofrece un tratamiento formal para el cálculo de dicho horizonte temporal.
[43] Definición extraída de http://www.thefreedictionary.com/attractor

Un atractor extraño es aquel que exhibe una estructura fractal[44] sobre la que el movimiento es aperiódico y altamente sensible al valor exacto de las condiciones iniciales. Complejidades geométricas como las que exhibe un atractor extraño son detectadas mayormente cuando los sistemas analizados cuentan con más de una variable, adicionalmente algunas bifurcaciones sólo se presentan en estos sistemas multidimensionales.[45]

4.3.2.3.3 Órbitas homoclínicas

Una órbita homoclínica puede ser definida como aquella trayectoria cuyo comienzo y final es el mismo. Esta noción fue introducida, según Hommes (2013), por Poincaré (1890) e intuitivamente se define un punto homoclínico como el punto de intersección entre las variantes[46] estables e inestables de un equilibrio de estado estacionario.

Estos conjuntos en mapas lineales son simples y coinciden con un punto de silla[47] mientras que para mapas no lineales estos conjuntos pueden tener puntos de intersección diferentes al de silla (como los puntos homoclínicos) y pueden constituirse en curvas muy complicadas. El autor reconoce que la presencia de un punto homoclínico implica un comportamiento dinámico sumamente complejo.

4.4 Aplicaciones en algunos modelos económicos

Una vez discutidos los fundamentos teóricos y descritas las herramientas necesarias para su formalización, en este apartado se compara el comportamiento de tres modelos distintos de diferente índole ante la aplicación de cada una de las hipótesis bajo contraste. De esta manera, por un lado, se ilustra la transversalidad de las expectativas en el modelado económico y, por otro, se aprecia vis-à-vis la aplicación y manejo de cada hipótesis bajo un modelo determinado.

---

[44] Una estructura geométrica que tiene una forma irregular en todas las escalas de medida entre la más grande y la menor, tal que ciertas propiedades matemáticas o físicas de la estructura se comportan como si las dimensiones de la estructura fueran más grandes que las dimensiones espaciales

[45] Para una revisión sobre algunas bifurcaciones que pueden presentarse en sistemas bidimensionales, consultar anexo 7.13.

[46] Como ejemplo ilustrativo de este concepto de variantes, considere la creencia de que la tierra era plana contrastada con la evidencia moderna de que es redonda. La discrepancia surge del hecho de que en pequeñas escalas que observamos, la tierra en efecto luce plana. En general cualquier objeto que es casi plano en pequeñas escalas es una variante, así las variantes constituyen una generalización de objetos en los que podríamos vivir y encontrar el problema plano/redondo de la tierra. Tal y como fue planteado por Poincaré. Extraído de: http://mathworld.wolfram.com/Manifold.html.

[47] Un punto silla consiste en un punto hiperbólico periódico cuyas variantes estables e inestables tienen una dimensión distinta de cero.

Para cumplir este objetivo se analiza de forma documental, en primer lugar, distintas características propias de la aplicación de cada hipótesis bajo el modelo neo-keynesiano[48] IS-PC-MR, o modelo de 3 ecuaciones, en lo que al campo macroeconómico se refiere, y al modelo de valuación de activos, en cuanto al área financiera. En segundo lugar, se realiza una simulación del conocido modelo de la telaraña, aplicando ambas hipótesis, con la intención de comparar sus dinámicas particulares y evaluar el efecto del mismo ante choques exógenos, para el caso de las expectativas racionales, y variaciones en las condiciones iniciales, para el caso de las expectativas heterogéneas.

4.4.1 Modelo neo-keynesiano IS-PC-MR

El modelo IS-PC-MR, o modelo neokeynesiano de tres ecuaciones, es uno de los modelos con mayor aplicación en el campo macroeconómico para el análisis de reglas de política monetaria, difundido a partir de los trabajos de Clarida, Galí y Gertler (2000) y Woodford (2003).

Se caracteriza, en primer lugar, por la microfundamentación de sus ecuaciones, reflejada a partir de la derivación de las condiciones de equilibrio mediante procesos de optimización intertemporal sujeta a restricciones, tanto de consumidores como productores (Schmidt y Wieland, 2012). Por otro lado, este modelo combina la metodología de los modelos de Ciclos Económicos Reales (RBC por sus siglas en inglés) con rigideces nominales y reales para el estudio de las dinámicas macroeconómicas de corto plazo mediante la inclusión de una estructura de mercado de *competencia monopolística* que tiende a modelarse a partir del ajuste de precios de Calvo.[49] Este modelo de tres ecuaciones es un atajo estilizado que contiene las relaciones entre oferta y demanda para determinar cómo tres variables relevantes para el análisis macroeconómico, brecha de producto, inflación y tasa de interés, reaccionan ante choques exógenos de oferta y demanda (Poutineau, Sobczak y Vermandel, 2015).

A continuación, se introduce formalmente el modelo a partir de la aplicación de cada hipótesis para posteriormente analizar las dinámicas resultantes.

---

[48] Corriente macroeconómica asociada al trabajo de economistas como G. Mankiw, M. Woodford y J. Stiglitz como respuesta a la predominancia de la metodología sugerida por la Nueva Escuela Clásica. A pesar de que este adjetivo suele vincularse a la obra de figuras como J. Hicks, F. Modigliani y J. Tobin, se evita el uso de la etiqueta 'nuevo keynesiano' para referirse a la primera idea por considerar que su omisión no afecta el objetivo de esta investigación.

[49] Modelo en el que cada período una fracción aleatoria de empresas pueden reajustar sus precios sin conocer ex-ante cuánto tiempo el precio nominal permanece constante (Wheelan, 2016).

4.4.1.1 Expectativas racionales

Bajo el supuesto de expectativas racionales, rigideces nominales a partir del ajuste de Calvo y la inclusión de una regla de política del tipo Taylor se obtiene el modelo estándar:

La *curva de Phillips neokeynesiana* relaciona la inflación actual ($\widehat{\pi_t}$) con la inflación esperada en el período posterior ($E_t\{\widehat{\pi_{t+1}}\}$), la cual corresponde al operador de expectativas racionales, la brecha de producto actual ($\hat{y}_t$) y un choque de oferta exógeno que toma la forma de un choque dirigido por los costos (ε_t^S). La misma proviene de la agregación de la decisión de oferta de distintas empresas con poder de mercado que pueden re-optimizar su precio de venta con discontinuidades:

$$\widehat{\pi_t} = \beta E_t\{\widehat{\pi_{t+1}}\} + k\hat{y}_t + \varepsilon_t^S \quad (4.14)$$

Donde β representa un factor de descuento y k un coeficiente compuesto el cual se aproxima a cero mientras mayor la rigidez de precios de la economía.[50]

La *curva dinámica IS* es una log linealización[51] de la ecuación de bonos de Euler que se utiliza para describir la asignación intertemporal de consumo de los agentes en la economía. Se deriva de la optimización intertemporal del bienestar del agente representativo sujeto a una restricción presupuestaria. Esta curva relaciona la brecha actual de producto $\hat{y}_t$ con la tasa real de interés ($\widehat{r_t} - E_t\{\widehat{\pi_{t+1}}\}$), la brecha esperada de producto en el período siguiente ($E_t\{\widehat{y_{t+1}}\}$), la cual corresponde al operador de expectativas racionales y un choque exógeno de preferencias (ε_t^D):

$$\widehat{y_t} = E_t\{\widehat{y_{t+1}}\} - \frac{1}{\sigma(\widehat{r_t} - E_t\{\widehat{\pi_{t+1}}\})} + \varepsilon_t^D \quad (4.15)$$

---

[50] Generalmente se asume que el choque aleatorio obedece un proceso AR (1): $\varepsilon_t^S = \rho^S \varepsilon_{t-1}^S + \eta_t^S$, siendo η_t^S una perturbación con media cero y varianza σ_S^2 idéntica e independientemente distribuido.

[50] Este proceso consiste, de forma general, en aplicar logaritmos naturales a un sistema no-lineal de ecuaciones en diferencia, linealizar las ecuaciones con respecto a un punto particular, usualmente un estado estacionario, y simplificar hasta obtener un sistema lineal de ecuaciones en diferencia donde las variables de interés estén en porcentajes (Sims, 2011).

Donde σ representa la elasticidad de sustitución intertemporal y se asume que el choque aleatorio ε_t^D obedece al mismo proceso y posee las mismas características que ε_t^S.

Por último, *la regla de política monetaria* está basada en una regla del tipo Taylor la cual vincula la tasa de interés (controlada por las autoridades) con la inflación y la brecha de producto:

$$\widehat{r_t} = \phi_\pi \widehat{\pi_t} + \phi_y \widehat{y}_t + \varepsilon_t^R \qquad (4.16)$$

Donde ϕ_π y ϕ_y representan los coeficientes que afectan la reacción del Banco Central ante cambios en el nivel de inflación y de brecha de producto. ε_t^R se comporta como los choques anteriores y simboliza las decisiones que implican algunas desviaciones de la regla de Taylor tales como medidas no convencionales o reajuste en las expectativas de inflación a mediano plazo.

Para dar solución a este modelo tiende a hacerse uso del procedimiento sugerido por Blanchard y Kahn (1980) el cual consiste en establecer una condición que garantice una trayectoria dinámica *única y estable* para describir la reacción de las variables ante la ocurrencia de choques exógenos:[52]

$$k(\phi_\pi - 1) + (1 - \beta)\phi_y > 0 \ (4.17)$$

La intuición detrás de esta condición es que la autoridad monetaria debe responder a la inflación y la actividad real mediante ajustes en la tasa nominal de interés que sean lo "suficientemente" fuertes (Massaro, 2013). De esta manera se pretende, al igual que en un sistema dinámico de carácter termodinámico la introducción de una variable de control permite generar un estado deseable en el sistema, estabilizar el comportamiento de dicho sistema y analizar la presencia de choques exógenos de distinta naturaleza (choques de política monetaria, de tecnología, entre otros).

Adicionalmente, esta condición implica que, dado que el modelo no posee dinámicas endógenas, sin introducir choques serialmente correlacionados, no es capaz de tomar en cuenta la persistencia presente en la inflación y el conjunto de datos referente a la producción (Dennis, 2004). Esta carencia se ha solventado a partir de modelos híbridos

[52] Para mayor información sobre la formalización de este procedimiento se sugiere revisar Galí (2008).

los cuales, además de incluir los pronósticos de las variables de relevancia, también introducen términos rezagados de las mismas.[53]

De la introducción de la hipótesis de expectativas racionales en este modelo se genera para el decisor de política un intercambio entre la volatilidad de la brecha de producto y la volatilidad de inflación, es decir, una reducción en la volatilidad de la brecha de producto como resultado de una política activa de estabilización de producto se logra pagando con un incremento en la volatilidad de la inflación. La implicación de política inmediata para un Banco Central, cuyo objetivo es mantener la estabilidad de precios, sería no reaccionar a las fluctuaciones en el nivel de producto en lo absoluto (Hommes, Massaro y Weber, 2015).

4.4.1.2 Expectativas heterogéneas

En contraste con el modelo anterior, en este caso se relaja el supuesto de racionalidad al asumir que los agentes forman expectativas sobre las variables agregadas a partir de heurísticas. La evolución conjunta de las expectativas subjetivas con los resultados macroeconómicos emerge debido a la evaluación continua de los predictores en un *sistema de retroalimentación dinámica.*

Resulta importante acotar que, una vez derivados los microfundamentos de este modelo bajo el supuesto de expectativas heterogéneas, la dinámica agregada predicha depende de los *pronósticos de largo plazo*, lo cual puede lucir disonante con la noción de racionalidad limitada, pero es consecuencia directa de asumir que los individuos tienen conocimiento de sus propios objetivos y de las restricciones que enfrentan (Massaro, 2013). Por otro lado, la forma reducida del modelo que resulta de este modelo es analíticamente tratable e incluye al *agente representativo* como un caso particular en el que todos los agentes pronostican de forma racional, tal como en el modelo estándar que se revisa en la sección anterior.[54]

[53] Se recomienda Cornea, Massaro y Hommes (2013) para una recopilación de dichos modelos híbridos.

[54] Existen diferentes formas de aplicar las expectativas heterogéneas sobre este modelo debido a que existen diferentes desviaciones a partir del modelo estándar. Branch y McGough (2009) aplican la hipótesis a partir de una desviación diferente, donde, aunque sólo el período siguiente tiene relevancia en la toma de decisiones, se asume que los agentes toman decisiones óptimas que satisfacen las ecuaciones de Euler asociadas en lugar de prestar atención a la restricción presupuestaria intertemporal.

En este caso, asumiendo que los agentes pueden ser racionales o sesgados y una regla de política monetaria tipo *Taylor*, las ecuaciones del sistema adoptan la siguiente forma:[55]

$$\widehat{y_t} = n_{RE} E_t \sum_{s=t}^{\infty} \beta^{s-t} \left((1-\beta)\widehat{y_s} - \frac{\beta}{\sigma(\widehat{R_s} - \widehat{\pi_{s+1}})} \right) + (1 - n_{RE}) V_y(\widehat{y_{t-1}}, \widehat{R_t}, \widehat{R_{t-1}}, \widehat{\pi_{t-1}})$$

(4.18)

$$\widehat{\pi_t} = n_{RE} E_t \sum_{s=t}^{\infty} (\omega\delta)^{s-t} (k\widehat{y_s} + (1-\omega)\beta\widehat{\pi}_{s+1}) + (1 - n_{RE}) V_\pi(\widehat{y_{t-1}}, \widehat{\pi_{t-1}})$$

(4.19)

La primera ecuación representa la curva IS y la segunda, la curva de Phillips. Donde n_{RE} representa la proporción constante de agentes racionales, E_t el operador de expectativas racionales, $\widehat{R_s}$ la tasa nominal de interés, δ un factor de descuento, ω es el grado de rigidez de los precios, β la intensidad de elección y V_x una función lineal de las variables entre paréntesis. Cabe resaltar que, si el operador de expectativas se iguala al de expectativas racionales, es decir, que la fracción de agentes racionales es igual a 1, ambas ecuaciones se reducen a las ilustradas en la sección anterior (Massaro, op. cit.). Con respecto al modelo anterior *¿qué implica en materia de política la aplicación de esta hipótesis?*

Por un lado, el mecanismo de estabilización luego de un choque en el modelo neo-keynesiano depende de dinámicas inestables en el sentido que, obedeciendo el principio de *Taylor* (4.17), la autoridad monetaria induce dinámicas que explotarán en cualquier equilibrio menos uno, es decir, hay uno que es estable. Al rechazar las trayectorias explosivas garantiza la unicidad del equilibrio de la producción y la inflación. No obstante, la presencia de agentes racionalmente limitados, cuyas expectativas evolucionan de forma conjunta con variables de carácter macroeconómico en un sistema dinámico de retroalimentación, introduce componentes rezagados en la dinámica del modelo lo cual permite explicar la persistencia de la inflación sin la necesidad de crear modelos híbridos (Cornea et al, 2013). En consecuencia, la presencia de racionalidad limitada puede alterar significativamente las propiedades de determinación de un modelo dado que la inclusión de esta última hipótesis implica que una regla de interés que obedece el principio señalado no garantiza necesariamente un equilibrio único y estable. Por otra parte, la inclusión de esta hipótesis sugiere que una regla óptima de política para reducir la volatilidad de la inflación no necesariamente

[55] Para mayor información sobre la derivación de estas ecuaciones se sugiere revisar Massaro (2012, 2013).

implica que dicha regla obedezca únicamente consideraciones sobre la inflación misma y no sobre la volatilidad en el nivel de producto.[56]

4.4.2 Modelo de valuación de activos

Esta sección se concentra en la introducción y aplicación del *modelo estándar de valuación de activos por valor descontado*, derivado a partir de la maximización de la media y la varianza. Este modelo establece, de acuerdo con Hommes (2013), que los agentes pueden invertir en un activo libre de riesgo o en un activo riesgoso. Por un lado, el activo sin riesgo posee una oferta perfectamente elástica y paga retornos a una tasa fija r; el activo riesgoso, por otro lado, paga un dividendo desconocido.

Sea z^s la oferta externa de acciones por inversionista del activo riesgoso, asumida constante, n_{ht} la fracción de agentes h en un período t, σ^2 la varianza condicional, asumida igual y constante para todos los tipos de agente, el equilibrio se expresa de esta manera:

$$\sum_{h=1}^{H} n_{ht} \frac{E_{ht}[p_{t+1}+y_{t+1}-(1+r)p_t]}{a\sigma^2} = z^s \quad (4.23)$$

Donde H es el número total de agentes distintos. Por simplicidad se asume que la oferta de acciones externa es nula, caso propuesto por Brock y Hommes (1998), por lo tanto, se reescribe la ecuación de equilibrio así:

$$(1+r)p_t = \sum_{h=1}^{H} n_{ht} E_{ht}[p_{t+1} + y_{t+1}] \quad (4.24)$$

4.4.2.1 Expectativas racionales

Bajo la aplicación de esta hipótesis, el equilibrio se reduce a la siguiente ecuación:

$$(1+r)p_t = E_t[p_{t+1} + y_{t+1}] \quad (4.25)$$

Donde E_t simboliza el operador de expectativas condicionales al inicio del período t, basado en el conjunto de información públicamente disponible I_t. La ecuación de equilibrio del mercado asevera que el precio actual del activo riesgoso debe ser igual a la sumatoria del precio esperado del período siguiente y el dividendo esperado,

[56] Hommes, Massaro y Weber (2015) concluyen mediante la utilización de este modelo que la política óptima de Taylor para reducir el nivel de volatilidad de inflación difiere de $\phi_y = 0$.

descontado por la tasa de interés libre de riesgo. Adicionalmente, se asume el cumplimiento de la condición de transversalidad:[57]

$$\lim_{t\to\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{E_t[p_{t+k}]}{(1+r)^k} = 0 \quad (4.26)$$

Dada esta condición, el precio del activo riesgoso se determina únicamente por:

$$p_t^* = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{E_t[y_{t+k}]}{(1+r)^k} \quad (4.27)$$

Esto quiere decir que el precio fundamental (de expectativas racionales)p_t^* esta completamente determinado por fundamentos económicos y dado por la suma descontada de los dividendos futuros. En general, las propiedades del precio fundamental dependen del proceso estocástico de los dividendos, por simplicidad se asume que obedecen un proceso estocástico idéntica e independientemente distribuido con media constante $E[y_t] = \bar{y}$. De acuerdo con este proceso el precio fundamental es constante y está dado por:

$$p^* = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\bar{y}}{(1+r)^k} = \frac{\bar{y}}{r} \quad (4.28)$$

Como puede apreciarse, en una economía poblada por agentes racionales los cambios en los precios de los activos únicamente se ven afectados por cambios inesperados en los ingresos y por innovaciones en los fundamentos económicos (Hommes, 2013). En consonancia con el modelo anterior, al definir condiciones que excluyen soluciones inestables o explosivas, la aplicación de las expectativas racionales genera equilibrios a los cuales converge el sistema en ausencia de perturbaciones aleatorias, por lo que las perturbaciones poseen una explicación esencialmente estocástica y no corresponden a una causalidad económica explícita.

Dicho esto, además de la solución presentada también pueden obtenerse soluciones de *burbujas racionales,* las cuales, aunque se desvían de la condición de transversalidad (7), satisfacen la ecuación de equilibrio (6) y mantienen la hipótesis de expectativas racionales:

$$p_t = p_t^* + (1+r)^t (p_0 - p_0^*) \quad (4.29)$$

[57] La condición de transversalidad para un problema de optimización dinámica con horizonte infinito es la condición límite que determina una solución para las condiciones de primer orden del problema junto con la condición inicial. Becker (2008)

Reescribiendo la ecuación (6) en términos de desviaciones $(x_t = p_t - p_t^*)$ y asumiendo la tasa de variación del precio (g) y el rendimiento (r) como iguales se obtiene una solución de este carácter:

$$(1 + r)x_t = E_t[x_{t+1}] \quad (4.30)$$

$$E_{ht}[x_{t+1}] = (1 + g)^2 x_{t-1} \quad (4.31)$$

Cuando todos los agentes asumen que la desviación del precio fundamental crece a una tasa $1 + r$, esta creencia se torna auto-cumplida e implica una solución de burbuja.

Aunque el resultado permite modelar la presencia de dinámicas explosivas a través de la aplicación de expectativas racionales, aspecto coherente con la evidencia empírica, el comportamiento del modelo se debe al análisis de las condiciones lógicas que causan una desviación sistemática del precio fundamental cuando no se restringen las trayectorias de equilibrio posibles y se explicita en consonancia con la ecuación de equilibrio un forma que permite desviaciones sistemáticas del precio fundamente. De esta manera, no brinda una explicación sobre cómo la interacción de la estructura económica puede implicar dicha trayectoria de solución. En otras palabras, más allá de las condiciones lógicas *¿qué factores económicos inciden sobre la formación de este fenómeno?, ¿Cómo conciliar dicha explicación con una teoría que implica que los agentes conozcan la estructura del sistema?* Son algunas interrogantes que aún quedan por responder.

4.4.2.2 Expectativas heterogéneas

Reescribiendo la ecuación de equilibrio (4.24) en términos de desviaciones del precio fundamental $(x_t = p_t - p_t^*)$ e incluyendo los supuestos planteados por Hommes (op. cit.) se obtiene:

$$(1 + r)p_t = \sum_{h=1}^{H} n_{ht} E_{ht}[x_{t+1}] \equiv \sum_{h=1}^{H} n_{ht} f_{ht} \quad (4.36)$$

Una característica conveniente de desviaciones del hito fundamental es que el modelo estándar de valuación de activos, tratado en la sección anterior, subyace como un caso especial, en el que todas las estrategias de pronóstico se igualan a cero $f_h = 0$.

En cuanto a las dinámicas evolutivas para describir cómo se da el proceso de elección intertemporal entre las distintas estrategias de pronóstico, las fracciones n_{ht} de agentes se actualizan de acuerdo con una medida de desempeño que sigue el proceso de selección evolutiva en líneas anteriores. Lo resaltante en este modelo es que la medida

de aptitud a utilizar consiste en los beneficios obtenidos, dados en términos de desviaciones por la siguiente ecuación:

$$U_{ht} = (x_t - Rx_{t-1})\left(\frac{f_{h,t-1} - Rx_{t-1}}{a\sigma^2}\right) - C_h + \omega U_{h,t-1} \quad (4.37)$$

Donde $R = 1 + r$ es la tasa bruta de retorno libre de riesgo, C_h representa el costo promedio por período de obtener la estrategia de pronóstico h y $0 \leq \omega \leq 1$ es un parámetro de memoria el cual mide cuán rápido las medidas pasadas se descuentan dentro de la selección de estrategias. El costo C_h de obtener una regla h será cero para reglas de pronóstico sencillas, pero puede ser positiva para estrategias más sofisticadas.

Existen distintas combinaciones de reglas de pronóstico que pueden utilizarse dentro de éste modelo, por simplicidad se escoge utilizar las siguientes:

$$f_{1t} = 0 \qquad (4.38)$$

$$f_{2t} = gx_{t-1} \qquad (4.39)$$

La primera regla (4.38) describe el comportamiento de un analista fundamental, donde la regla se iguala a cero ya que se predice que el precio no se desviará de su valor fundamental. En contraste, la segunda (4.39) describe el comportamiento de un analista técnico, el cual a partir de la última desviación y un parámetro de tendencia extrapola la trayectoria pasada para el período siguiente. Se supone que los analistas fundamentales deben pagar un costo fijo positivo C cada período producto de la recopilación de información necesaria para calcular el precio fundamental. En el caso de los analistas técnicos, no hay costos debido a que utilizan información disponible y gratuita al seguir tendencias pasadas y conocidas.

De acuerdo con lo anterior, y al suponer que el punto $p = p^*$ representa un estado estacionario, las fracciones de cada tipo de agente vendrán dadas por:

$$n_1^* = \frac{e^{-\beta C}}{1+e^{-\beta C}}, \qquad n_2^* = \frac{1}{1+e^{-\beta C}} \quad (4.40)$$

A medida que β la fracción de analistas técnicos n_2^* aumenta también, debido a los costos por recabar la información de los analistas fundamentales, y se aproxima a 1 cuando β tiende a infinito. Para valores del parámetro de tendencia entre cero y la tasa de retorno, $0 \leq g \leq 1 + r$, el estado estacionario fundamental es siempre estable. Para valores mayores del parámetro de tendencia, los analistas técnicos pueden desestabilizar el sistema cuando se incrementa la intensidad de elección, presentándose

una bifurcación tridente en la cual dos estados estacionarios no fundamentales, $-x^* < 0 < x^*$, son creados.

Cabe destacar que en el caso de que la intensidad de elección se aproxime al infinito y el valor de tendencia sea mayor a la tasa de retorno, el estado estacionario fundamental se convierte en un punto silla. Si $g > (1+r)^2$ los analistas técnicos extrapolan fuertemente y siempre obtienen mayores beneficios causando que la burbuja de precios diverja hacia el infinito. Por otro lado, si $1+r > g > (1+r)^2$, el sistema tiene una órbita homoclínica, es decir, el sistema oscila entre fuerzas desestabilizadoras cerca del estado estacionario y fuerzas estabilizadoras lejos del mismo.

Las dinámicas de este sencillo modelo con dos clases de agentes, fundamentalistas contra analistas técnicos, ofrecen un importante argumento en contra de la hipótesis de la *supervivencia del más apto* de M. Friedman debido a que se demuestra como agentes racionales (analistas fundamentales) no pueden expulsar a seguidores de tendencia, los cuales resisten la competencia evolutiva guiados por beneficios a corto plazo. Esto implica que existan desviaciones persistentes del precio fundamental con burbujas temporales y caídas repentinas del mercado.

Hasta ahora puede evidenciarse como el uso de las expectativas racionales se asocia a una forma de modelar el sistema económico en la que los fundamentos económicos poseen gran relevancia sobre los cambios en las dinámicas del modelo y los procesos estocásticos sobre las fluctuaciones de estas dinámicas. Las expectativas heterogéneas, por otro lado, propone que buena parte de las fluctuaciones se debe a la heterogeneidad presente en los mecanismos de pronóstico, los cuales evolucionan de forma conjunta con el equilibrio del mercado y generan fluctuaciones caóticas.

4.4.3 Modelo de la telaraña

El modelo de la telaraña fue introducido por vez primera en el campo de la teoría económica por Cheysson (1887), otros tratamientos tempranos de este modelo pueden evidenciarse en Tinbergen (1930) y Schultz (1930). Sin embargo, es a través de Kaldor (1934) que se acuña el término de 'modelo de la telaraña' debido a la apariencia que poseen los gráficos que reflejan las dinámicas del mismo. La discusión de las dinámicas precio-cantidad a través de representaciones lineales de oferta y demanda y la popularización de este modelo dentro de la economía dinámica se halla en Ezekiel (1938) (van de Velden, 2001).

Este modelo describe el comportamiento de los precios en un mercado donde se transa un sólo bien (no almacenable), el cual requiere de un período para producirse, y sus cantidades demandadas son función del precio del bien. Debido a que se necesita un período para producir dicho bien, la decisión de producción de los oferentes depende de sus expectativas en torno al precio que prevalecerá en el mercado. El precio real está determinado por el vaciamiento del mercado, es decir a partir de la igualación entre la oferta y la demanda. Formalmente el modelo se representa partir de estas 3 ecuaciones:

$$q_t^D = D(p_t) \quad (4.41)$$

$$q_t^S = S(p_t^e) \quad (4.42)$$

$$q_t^D = q_t^S \quad (4.43)$$

4.4.3.1 Expectativas racionales

Supóngase una economía donde la demanda sigue el comportamiento de una función lineal del precio actual y la oferta, por su parte, depende de los precios esperados. Dichos precios esperados son descritos por la hipótesis de las expectativas racionales, en su forma fuerte, por lo que se asume adicionalmente que los productores de dicha economía conocen las ecuaciones de equilibrio de mercado y que las expectativas subjetivas de cada uno se igualan a las expectativas matemáticas objetivas. Expresado simbólicamente se obtiene (van de Velden, op. cit.):

$$p_t^e = E_{t-1}p_t \quad (4.44)$$

Donde E_{t-1} indica que los precios deben ser predichos con un período de anticipación. Por otro lado, dada una representación lineal de la función de demanda, cuando todos los agentes forman sus expectativas de la misma manera el equilibrio del mercado es:

$$a - bp_t + b\epsilon_t = S(E_{t-1}p_t) \quad (4.45)$$

Donde S refleja la curva de oferta, la cual por simplificación asume la forma $S(E_{t-1}p_t) = sE_{t-1}p_t$, y el parámetro a ha sido fijado de forma tal que la curva de demanda está fija en el tiempo. Luego, tomando expectativas condicionales E_{t-1} a ambos lados de (5) se obtiene:

$$a - bE_{t-1}p_t = sE_{t-1}p_t \quad (4.46)$$

Por lo tanto, la predicción de las expectativas racionales $(E_{t-1}p_t)$ se resume en el precio p^* correspondiente a la intersección entre las curvas de oferta y demanda (punto

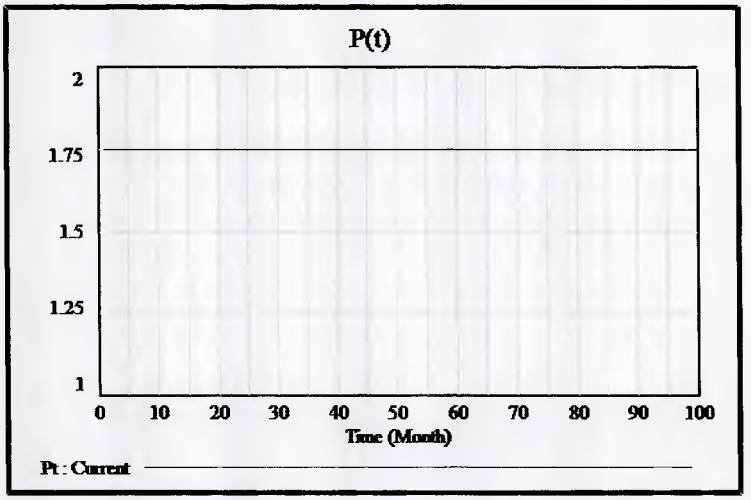
de equilibrio).[58] Dicho esto, la predicción de las expectativas racionales puede resumirse en:

$$p_t^e = E_{t-1}p_t = p^* \qquad (4.47)$$

Dado que se supone que todos los agentes poseen expectativas racionales con pronósticos como en (7), el proceso del precio de equilibrio se plantea como:

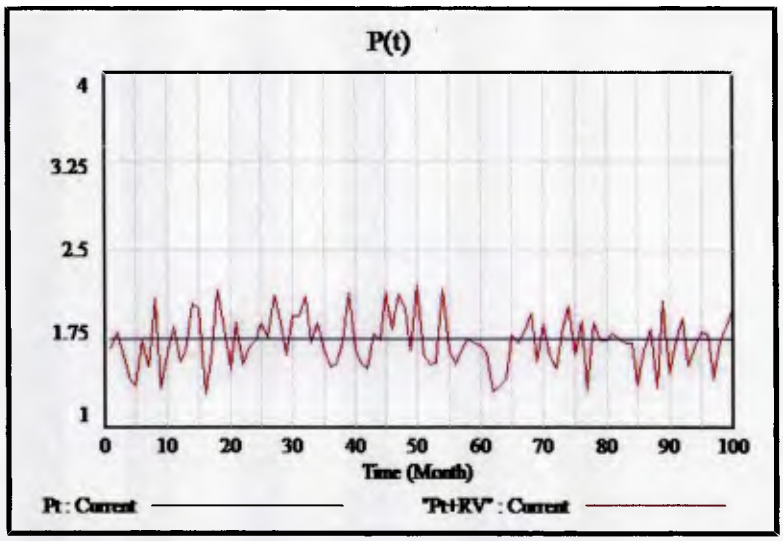
$$p_t = p^* + \epsilon_t \quad (4.48)$$

El comportamiento del equilibrio del sistema por lo tanto depende del precio de equilibrio p^* y una perturbación ϵ_t de media cero y varianza constante.

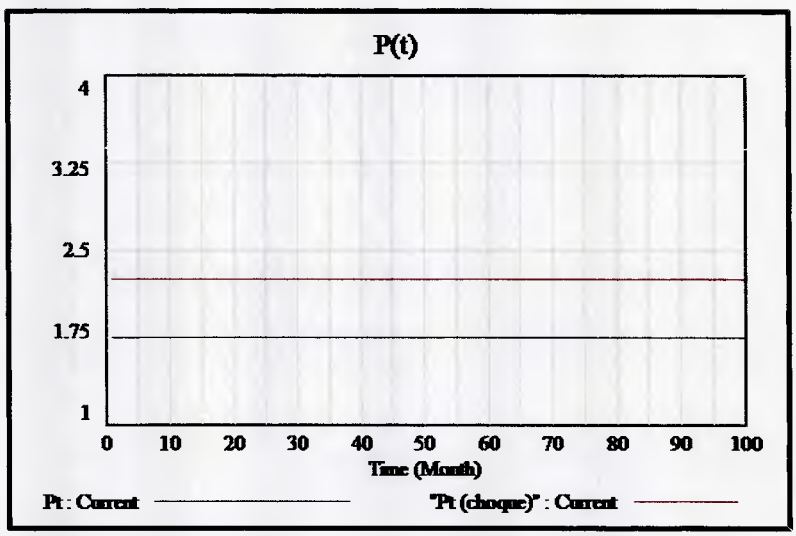


(a)

[58] Recuerde que una de las características de las expectativas racionales es que el valor esperado del término de error es igual a cero.



(b)



(c)

Figura N°2: (a) Precio fundamental, (b) Precio fundamental y presencia de choques exógenos y (c) Presencia de choques de demanda. Parámetros: $a = 5$, $a_1 = 7$, $s = 2$ y $b = 2$. Elaboración propia

En ausencia de perturbaciones aleatorias, el sistema no exhibe dinámicas endógenas, y se obtiene una *solución de punto fijo*, donde el precio permanece constante en su valor de equilibrio durante todos los periodos (2.a). En caso contrario, el comportamiento del sistema oscila aleatoriamente alrededor del precio de equilibrio (2.b). Por último, si ocurren cambios en los parámetros de la función de demanda, el precio de equilibrio se desplaza (2.c).

Dicho esto, se puede concluir que la aplicación de expectativas racionales en este modelo se traduce en una solución de equilibrio única cuya fluctuación, de existir, se debe a errores de carácter estrictamente aleatorio que comete el agente representativo de esta economía y a choques en los fundamentos económicos que modifiquen la estructura de las funciones de demanda y/u oferta. Esto, a su vez, implica para el análisis de política que los factores relevantes para la estabilización del sistema son propios de los fundamentos económicos.

4.4.3.2 Expectativas heterogéneas

Suponga nuevamente una economía donde las cantidades demandadas dependen de los precios actuales, mientras que las ofrecidas están en función de las expectativas de los productores. Adicionalmente, en este caso dichos productores forman sus pronósticos siguiendo dos reglas de decisión: expectativas racionales y expectativas ingenuas. Los agentes pueden "comprar" un pronóstico de expectativas racionales incurriendo en un costo por recolección de información u, obtener sin costo alguno un pronóstico simple a partir de la regla de expectativas ingenuas.[59]

La proporción de agentes utilizando ambos tipos de heurísticas dependerá de su desempeño respectivo en el pasado reciente. Los agentes son limitadamente racionales en el sentido de que tenderán a ajustarse hacia aquellas reglas que han demostrado un mejor desempeño. Por simplicidad, esta economía se compone por dos productores que pueden escoger cuál regla de decisión tomar, considerando sus costos, al momento de la decisión de cuánto producir. Expresando de manera formal dichas reglas:

$$p_{1,t}^{e} = p_t \qquad (4.49)$$

$$p_{2,t}^{e} = p_{t-1} \qquad (4.50)$$

Nótese que los agentes racionales en este caso poseen *pronóstico perfecto* mientras que los agentes ingenuos utilizan, como se señala, la información del último período como insumo para su pronóstico. Dicho esto, el equilibrio en dicho mercado se describe como:

$$D(p_t) = n_{1,t}S(p_t) + n_{2,t}S(p_{t-1}) \qquad (4.51)$$

[59] La incursión en dichos costos puede ser asociada con una predicción sofisticada de precios basada en un análisis minucioso de los fundamentos económicos del mercado, en contraste con una predicción simple basada en la información del período anterior.

Donde $n_{1,t}$ y $n_{2,t}$ representan la proporción de productores que utilizan expectativas racionales e ingenuas como regla de decisión respectivamente. Cabe resaltar que los agentes racionales poseen conocimiento perfecto sobre la ecuación de equilibrio (3), por lo tanto, éstos no sólo poseen información exacta sobre los precios y sus creencias, sino que en un mundo heterogéneo también deben conocer las reglas de decisión o creencias de todos los demás productores. Suponiendo una curva de oferta que obedece la forma $S(p^e) = sp^e$. El vaciado de mercado en esta economía se obtiene a partir de:

$$a - dp_t = n_{1,t}sp_t + n_{2,t}sp_{t-1} \qquad (4.52)$$

La segunda parte del modelo describe como la proporción de productores racionales e ingenuos se actualiza temporalmente. La idea básica es que las proporciones se actualizan de acuerdo a un ajuste evolutivo. En este caso, como simplificación, en lugar de asumir el error cuadrático como costo asociado al uso de las expectativas ingenuas tal como se expone en el modelo de Hommes (2013, pp. 16), para efectos de esta simulación se hace uso del error cuadrático rezagado un período, el cual describe la diferencia entre el pronóstico actual p_{t-1} del agente ingenuo y su pronóstico del período anterior p_{t-2}, en otras palabras, describe cuán preciso es el pronóstico actual con respecto al pasado como medida para evaluar el desempeño de la medida en torno al pronóstico actual. Se realiza este cambio por dos razones: (a) la dificultad analítica de computar la solución de equilibrio mediante la estructura planteada en el modelo original y, (b) la intención de analizar si las dinámicas del sistema se mantienen ante la modificación de los costos en las funciones de elección discreta.[60]

En consecuencia, luego de que el precio de equilibrio ha sido revelado por (4), las nuevas proporciones actualizadas de productores racionales e ingenuos estarán dados por las siguientes ecuaciones respectivamente:

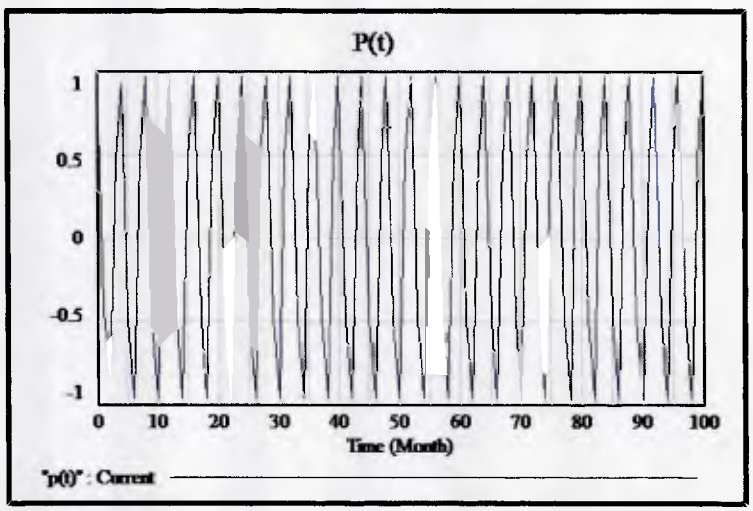
$$n_{1,t+1} = \frac{e^{-\beta C}}{e^{-\beta C} + e^{-\beta(p_{t-1}-p_{t-2})^2}} \qquad (4.53)$$

$$n_{2,t+1} = \frac{e^{-\beta(p_{t-1}-p_{t-2})^2}}{e^{-\beta C} + e^{-\beta(p_{t-1}-p_{t-2})^2}} \qquad (4.54)$$

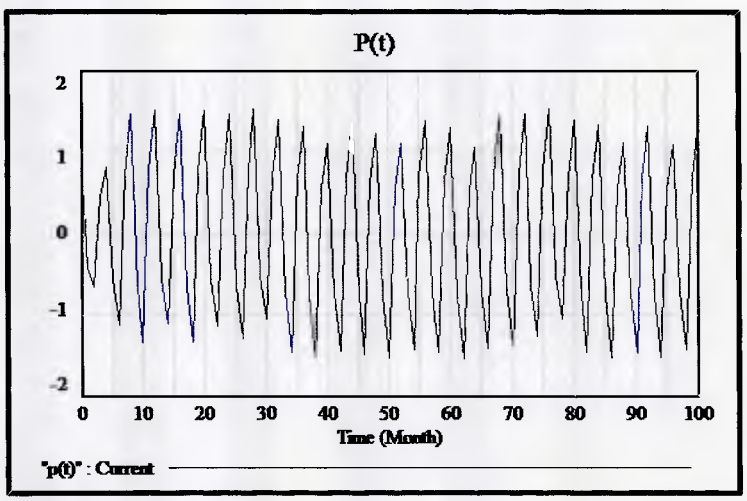
La característica a destacar de estas ecuaciones es que la regla que mejor desempeño tenga atraerá más seguidores. Dicho en otras palabras, mientras el error cuadrático de

[60] Esto se debe a que la variable de análisis se encuentra como argumento de una función exponencial y, a su vez, forma parte de una función potencia, situación que dificulta el despeje bajo métodos convencionales de la variable endógena y causa problemas de simultaneidad (presencia de la variable endógena en ambas partes de la ecuación).

pronóstico (rezagado) de la expectativa ingenua sea menor que el costo C de la expectativa racional, la mayoría de los productores sacará ventaja y no se molestará en incurrir en los costos de esta última regla. No obstante, tan pronto como el error cuadrático (rezagado) se hace mayor que el costo de recopilar la información necesaria para formar expectativas racionalmente, la mayoría de los productores optará por una regla de pronóstico más costosa pero precisa.[61]

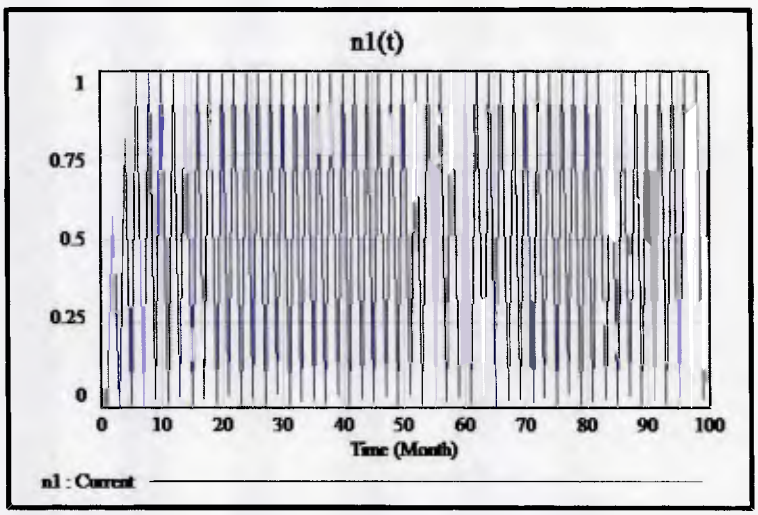


(a)



[61] Para mayor información sobre la ecuación reducida del sistema y el diagrama de la simulación en Vensim ® se recomienda revisar anexos 7.14 y 7.15 respectivamente.

(b)



(c)

Figura N°3: (a) Fluctuaciones periódicas en el sistema, (b) Cambio en la intensidad de elección y (c) Proporción de agentes racionales bajo calibración de (b). Parámetros: $a = 0$, $d = 0,5$, $s = 1,35$, $C = 1$, , $p_0 = 0,6$, $\beta_a = 5$ y $\beta_c = 7,7$. Elaboración propia.

En este caso, cuando $0 \leq p_0 \leq 0{,}5$ el comportamiento del sistema comienza a exhibir oscilaciones que al cabo de unos períodos convergen hacia el valor de equilibrio. Por otra parte, cuando $0{,}5 < p_0 \leq 1$, ceteris paribus, el sistema comienza a oscilar de forma periódica y no convergente (3.a). A medida que β aumenta su valor, la dinámica del sistema atraviesa períodos de fluctuaciones caóticas (3.b). Sin embargo, cabe destacar que a medida que este parámetro continúa aumentando, dichas fluctuaciones se estabilizan convergiendo hacia el valor de equilibrio. Finalmente, para valores de β que tienden hacia infinito, el sistema exhibe divergencia hacia el infinito. Resulta pertinente resaltar que a medida que la condición inicial se aproxima a 1, la dinámica del sistema se torna más sensible a los cambios en el parámetro β. Dicho esto, en ausencia de variables estocásticas dentro del análisis resulta importante plantearse *¿qué provoca este comportamiento?*

A pesar de la desviación señalada con respecto al modelo expuesto por Hommes (2013, pp. 15-16), este modelo exhibe presencia de *no-linealidad* y *retroalimentación,* dos aspectos que se expusieron en el apartado 6.1.1 como elementos que caracterizan un sistema complejo. Por su parte, la no linealidad subyace en la estructura de las fracciones de cada tipo de agentes, las cuales pueden exhibir un comportamiento altamente complejo incluso ante la introducción de la desviación señalada líneas atrás

(3.c). La retroalimentación, por otro lado, viene dada por el bucle conformado entre el equilibrio del sistema (que depende de las fracciones de agentes) y la proporción de cada clase de agentes (que a su vez depende del valor de equilibrio).[62]

4.5 Algunas implicaciones en el campo teórico-político

Con el objetivo de brindar una noción lo más amplia posible sobre el impacto de cada hipótesis en el desarrollo de la teoría económica moderna, en este apartado se discuten algunas de las implicaciones más relevantes que conlleva el uso de cada hipótesis con respecto a las principales áreas de estudio, expuestas de acuerdo con el orden usado en la sección anterior.

Bajo un contexto de análisis macroeconómico, resulta pertinente iniciar la discusión partiendo del resultado obtenido por la hipótesis de la tasa natural de desempleo (Friedman, 1968a; Phelps, 1967, 1968) la cual sugiere que la existencia de un intercambio entre inflación y desempleo se limita al corto plazo debido al rezago en la actualización de las expectativas, permitiendo así la posibilidad de tomar acciones de política que temporalmente aprovechen dicho intercambio para estabilizar el nivel de producto. Dicho esto, la hipótesis de expectativas racionales comienza su desarrollo en esta área de análisis a partir del siguiente cuestionamiento: *¿por qué los agentes económicos deben ser sistemáticamente engañados por la tasa de inflación?*

Asumiendo que los agentes están interesados en maximizar su bienestar tiene sentido que intenten hacer pronósticos de forma acertada sobre la tasa de inflación a partir del uso eficiente la información que dispongan, incluyendo la referente a las políticas monetaria y fiscal esperadas. En este sentido, esta hipótesis implica que la política monetaria sistemática y anticipada no tendrá efecto sobre el nivel de producto o de empleo, ni siquiera en el corto plazo ya que su efecto será absorbido a través de la formación de expectativas racionales. Este fenómeno se conoce en la literatura como la *superneutralidad del dinero*, cuya intuición subyacente es, considerando un escenario de precios flexibles, que ante cambios en la oferta de dinero ocurrirán únicamente, sin diferencias entre el corto y largo plazo, cambios en el nivel de precios dado que los agentes actuarán en consecuencia a sus predicciones. Por lo tanto, bajo una primera aproximación a la presencia de expectativas racionales, son pocas las alternativas de política existentes más allá de la opción de tomar medidas que incrementen los

[62] Debido a que el software utilizado para realizar la simulación carece de la posibilidad de graficar diagramas de bifurcación, la posibilidad de analizar si se mantienen las propiedades de la *ruta racional a la aleatoriedad* señaladas en Hommes (2013) escapa del alcance de esta investigación.

incentivos microeconómicos para los trabajadores y las empresas para incidir en el nivel de producto.[63]

Desde otra óptica, con la introducción de rigideces nominales de corto plazo en la economía, presentes en los modelos de corte neokeynesiano, el dinero deja de ser neutral y la efectividad de la política con respecto a lograr cambios en las variables reales vuelve a cobrar relevancia en el análisis. La explicación de este resultado es que, ante dichas rigideces, el proceso de ajuste frente a modificaciones de la oferta de dinero no ocurrirá instantáneamente, abriendo así una ventana de acción para modificar temporalmente el nivel de producto.

Bajo este orden de ideas, con la introducción de expectativas heterogéneas, manteniendo las premisas de rigidez de precios y el comportamiento optimizador dadas las creencias individuales, se obtiene la inclusión de la persistencia de inflación dentro de la estructura de la curva Phillips neokeynesiana.[64] Adicionalmente, tomando en cuenta la presencia de equilibrios múltiples y dinámicas complejas ante la introducción de heterogeneidad en la formación de expectativas, a partir de la evidencia estadística se asevera que las sugerencias de política basadas en la solución única y estable del modelo bajo expectativas racionales puede no ser una recomendación robusta para el diseño de políticas y, por tanto, deben diseñarse políticas monetarias que puedan responder a expectativas heterogéneas potencialmente desestabilizadoras.

En materia estadística, una de las principales implicaciones que se originó a partir del uso de las expectativas racionales fue la famosa *Crítica de Lucas* (1976), la cual apunta las limitaciones del uso de modelos macroeconométricos de gran escala para evaluar las consecuencias de escenarios de política. De acuerdo con su autor, el principal problema de estos modelos es que sus parámetros no se modifican ante cambios en la política lo cual puede no ser correcto ya que los agentes económicos racionales ajustan su comportamiento a este nuevo ambiente y, en consecuencia, los modelos son incapaces de captar dicho ajuste y serán inútiles para predecir las consecuencias de un régimen de política determinado. Cabe resaltar que la hipótesis de expectativas heterogéneas, al menos en una aproximación de primer orden, no exhibe las falencias señaladas por este autor debido al proceso de aprendizaje contenido dentro del mecanismo de selección evolutiva.

---

[63] Para mayor información sobre este tipo de políticas se sugiere consultar Minford et al. (1985) y Minford (1991).

[64] Problema planteado por autores previos dado que dicha estructura depende originalmente de variables futuras esperadas y no otorga peso alguno a las observaciones pasadas, las cuales de acuerdo con la evidencia empírica explican de forma significativa la inflación (Cornea, Hommes y Massaro, 2013).

Por otra parte, una discusión transversal relacionada con las implicaciones de cada hipótesis en la forma de modelar la economía es aquella asociada a la dinámica de fluctuaciones de las variables agregadas como el producto, el desempleo, la inflación y la tasa de interés. Bajo el contexto de la hipótesis de expectativas racionales resulta pertinente cuestionarse: *¿cómo pueden explicarse las fluctuaciones económicas bajo una teoría en que las predicciones de los agentes se corresponden en promedio con las realizaciones económicas?* La respuesta es a través de choques exógenos y aleatorios que no pueden ser previstos por dichos agentes.[65] Adicionalmente, otra fuente de fluctuaciones económicas presente en la literatura hace referencia a la noción de manchas solares, fenómenos que, como se describió líneas atrás, no afectan de manera directa a los fundamentos de la economía, pero sí influyen en las creencias de los agentes a tal punto que pueden conllevar a profecías auto-cumplidas.

Por su parte los teóricos de la hipótesis de expectativas heterogéneas arguyen que las fluctuaciones económicas son explicadas, fundamentalmente, por razones endógenas. El mecanismo propio de un sistema de agentes heterogéneos que intercambian reglas de decisión en función a su desempeño reciente puede explicar la aparición de fluctuaciones económicas, incluso en ausencia de choques a los fundamentos económicos, tal como se evidenció en la sección pasada. De alguna forma, se sugiere que esto implica que la hipótesis de expectativas heterogéneas busca brindar mediante el uso de heurísticas y el proceso de aprendizaje por refuerzo, cierta racionalidad a la noción de manchas solares. Dicha idea se fundamenta en el concepto de *espíritus animales racionales*.[66]

Si bien las implicaciones expuestas hasta ahora han exhibido las diferencias que surgen al utilizar una u otra hipótesis de formación de expectativas, resulta valioso analizar si las cualidades de equilibrio de un sistema se mantienen al aplicar cada una de las hipótesis contrastadas. Bajo este orden de ideas, Branch y McGough (2004) estudian si la introducción de heterogeneidad en modelos lineal-estocásticos auto-referenciados[67] afecta las regiones de determinación con respecto a la solución de expectativas racionales asociada. Para esto, los autores definen, por un lado, la heterogeneidad como la presencia de agentes adaptativos y racionales y, por otro, la noción de

---

[65] Esta visión de las fluctuaciones del sistema inició con autores como R. Frisch y J. Tinbergen a partir de la década de 1930, visión que es predominante en la actualidad a pesar de los esfuerzos de introducir dinámicas no-lineales en modelos de fluctuaciones endógenas (Hommes, 2004).

[66] Este concepto hace referencia a cómo el comportamiento de agentes racionalmente limitados bajo sistemas de creencias adaptativos tiene la capacidad de generar fluctuaciones a partir de los cambios en sus creencias (Brock y Hommes, 1998).

[67] Para una definición formal de esta clase de modelos se sugiere revisar Giannitsarou (2001).

equilibrio de expectativas heterogéneas para referirse a las soluciones no explosivas de la forma reducida de la ecuación de expectativas en diferencia. Como resultado, se halla que la determinación del modelo de expectativas heterogéneas depende de la ponderación asignada a cada regla y a la información pasada de la regla adaptativa. En particular, se demuestra que la heterogeneidad puede ser estabilizadora si el comportamiento de los agentes adaptativos tiende a la media ya que puede presentarse un equilibrio único de expectativas heterogéneas, aunque exista un equilibrio de manchas solares bajo expectativas racionales. Sin embargo, la heterogeneidad también puede desestabilizar si el comportamiento de los agentes adaptativos extrapola tendencias entonces puede ocurrir un equilibrio de manchas solares bajo heterogeneidad aun cuando exista unicidad en el equilibrio de expectativas racionales.

Bajo una arista financiera, la principal implicación que posee la inclusión de la hipótesis de expectativas racionales es a partir de la noción de *mercados eficientes*, la cual básicamente establece que cuando los inversionistas usan toda la información disponible en la formación de sus expectativas sobre tasas de retorno futuras, el precio de equilibrio del activo será igual al pronóstico óptimo del valor fundamental basado en la información disponible. Si el precio predicho basado en información pública es diferente al de mercado, entonces existe una oportunidad de arbitraje que será aprovechada por agentes racionales retornando el precio a su valor fundamental. En este tipo de mercados toda la información actualmente disponible es reflejada por el precio de los activos y los precios siguen un proceso de *caminata aleatoria*.[68] En consecuencia, estrategias como el análisis técnico diseñado para vencer al mercado no pueden ser exitosas en términos de ganancias ya que en este contexto un inversionista no puede obtener ganancias extraordinarias por un período extendido de tiempo, la estrategia dominante en un mercado de este tipo será comprar y mantener un portafolio diversificado de activos.[69]

Por otro lado, la hipótesis de expectativas heterogéneas al asumir un mecanismo de selección evolutiva que incluye distintas reglas de pronóstico importantes desviaciones emergen con respecto al modelo planteado por la hipótesis de mercados eficientes. En

[68] La teoría de la caminata aleatoria sugiere que los cambios en los precios de las acciones tienen la misma distribución y son independientes de cada uno, tal que el movimiento pasado o tendencia del precio de una acción no puede ser usada para predecir su movimiento futuro. En consecuencia, es imposible extraer ganancias sistemáticas del mercado sin asumir riesgo adicional. Extraído de: http://www.investopedia.com/terms/r/randomwalktheory.asp#ixzz4NRm1GEMc

[69] En este sentido, Grossman y Stiglitz (1980) señalan que en equilibrio tanto el número de operadores informados como la cantidad de información presente en el sistema de formación de precios están determinados simultáneamente. Sin embargo, el mecanismo de formación de precios nunca es capaz de transmitir toda la información debido a que esto destruiría los incentivos a recopilarla en primer lugar.

primer lugar, si existen períodos en los que los agentes usan de forma preponderante reglas de pronóstico distintas de las expectativas racionales, no hay razones para esperar que el proceso de formación de precios obedezca a una caminata aleatoria ya que no está garantizado el uso eficiente de la información disponible dada la retroalimentación presente. En segundo lugar, el sistema de creencias adaptativo, presente en esta hipótesis, sugiere que el proceso subyacente de la formación de precios de un activo obedece a un proceso de retroalimentación de expectativas en el que se obtienen algunos tipos de fluctuaciones difíciles de explicar mediante la eficiencia de los mercados.

Con respecto al proceso, que da pie a la formación de burbujas y, mediante la noción de *burbujas racionales,* se explican las desviaciones persistentes con respecto al precio fundamental a través de una creencia auto-cumplida entre inversionistas de que el precio de un activo depende de variables no asociadas a los fundamentos de mercado, noción muy similar a las manchas solares. La intuición económica subyacente es que los inversionistas racionales podrían querer mantener un título con un precio más alto que su precio fundamental si creen que alguien más está dispuesto a comprarlo. En consecuencia, el precio de un activo puede desviarse de su valor fundamental temporalmente, dado que la explosión de la burbuja no puede ser predicha y, por tanto, no hay oportunidad de ganancia sin explotar.[70]

Por su parte, la hipótesis de Brock y Hommes sugiere que la formación de burbujas surge, posiblemente, a partir de un choque aleatorio luego amplificado por el proceso endógeno de intercambio de estrategias cuando el desempeño reciente de las mismas favorece reglas desestabilizadoras, como la extrapolación de tendencias contenida en la sección anterior.[71]

Finalizando el recorrido por el ámbito financiero, cabe destacar el resultado obtenido a partir del siguiente cuestionamiento realizado por Brock, Hommes y Wagener (2006): *¿Puede una mayor cantidad de instrumentos de cobertura desestabilizar el mercado?* En este respecto, la aplicación de la hipótesis de *expectativas heterogéneas* bajo un modelo de valuación de activos estándar (similar al utilizado en el apartado 6.4.2), un

[70] No obstante, se argumenta que existen burbujas cuya explicación difícilmente puede asociarse a las características descritas como racionales, al igual que existe presencia de volatilidad que excede a la propia de los fundamentos económicos (volatilidad excesiva) y que, por tanto, no se ve contenida a través de la hipótesis de mercados eficientes.

[71] Para ampliar la información del efecto de esta hipótesis sobre la magnitud de una crisis y el tiempo requerido para su recuperación se sugiere revisar Assenza, Brock y Hommes (2013).

modelo de equilibrio general de generaciones solapadas[72] y, un modelo de *expectativas racionales* con presencia de ruido con señales heterogéneas de información demuestra que cuando los agentes adaptan su comportamiento basándose en el aprendizaje por refuerzo, un mecanismo general de inestabilidad aparece. En particular, se apunta que una mayor presencia de títulos *Arrow*[73] en el modelo conlleva a una aparición más temprana de dicho mecanismo.[74]

En cuanto al área microeconómica se refiere, cada hipótesis se nutre de una concepción distinta de la racionalidad del individuo, al menos en lo que a capacidad para formar expectativas se refiere. Las expectativas racionales asumen que los individuos al estar en constante revisión de sus mecanismos de formación de expectativas y hacer uso eficiente de toda la información a su disposición, en promedio tienden a no cometer errores y, de cometerlos, utilizan esta información para formar pronósticos futuros. Bajo su definición fuerte, como se ha descrito, esta hipótesis supone que el agente conoce la estructura del sistema, lo cual permite que este formule predicciones en perfecta consistencia con el resultado del mismo y *eleva* el concepto de la racionalidad económica tradicional en cuanto al modelado se refiere.

Siguiendo este orden de ideas, la introducción de las expectativas heterogéneas plantea que los agentes utilizan simples heurísticas y adaptan su comportamiento de forma intertemporal, eligiendo cada período aquellas reglas con mejor desempeño reciente, por tanto, se mantiene la premisa del individuo optimizador, pero se limita su nivel de conocimiento. Dado que a priori se desconoce cuál de estas reglas debería ser utilizada, explícitamente se asume que los agentes son heterogéneos y emplean reglas distintas con respecto a un problema determinado de toma de decisiones (Dindo, 2007). Este resultado, en primer lugar, genera una contradicción con respecto al argumento evolutivo, cuya validez es asumida en la hipótesis de expectativas racionales, al exponer la existencia de fuerzas que explican la racionalidad subyacente en el comportamiento considerado como irracional. Desde un punto de vista de política económica, bajo el contexto del modelo de la telaraña se concluye que para lograr un comportamiento más estable en un sistema compuesto por individuos heterogéneos se requiere, en primer lugar, diseñar estrategias que disminuyan el costo de recopilar

[72] Modelo de equilibrio general que posee la característica de representar un agente cuyo ciclo de vida transcurre en dos períodos y cuya reproducción asegura la continuidad del ciclo del agente en un horizonte temporal infinito.
[73] En este caso los instrumentos de cobertura son representados a partir de la noción de títulos *Arrow,* título financiero que otorga una unidad monetaria en un estado particular del sistema y cero en el resto, *los* cuales toman valores positivos para cubrir a un agente si un estado determinado del sistema se presenta.
[74] Cabe resaltar que los autores señalan que el alcance de su resultado es limitado al plantear que se sitúa dentro de un contexto de mercados incompletos y enfocado en un escenario de dos períodos, en lugar de un horizonte temporal más longevo, para mantener el manejo analítico del modelo.

información para la toma de decisiones de modo que la fracción de agentes que formen sus expectativas de forma racional se eleve, dado un costo asociado a la imprecisión de extrapolar el pasado hacia el presente. En segundo lugar, incentivar la formación de instituciones que conduzcan a la revisión continua de estrategias de pronóstico y reduzcan el peso de la persistencia en las creencias.

4.6 Evidencia empírica que avala a cada hipótesis

La selección de una hipótesis de formación de expectativas específica tendrá, para los economistas, un claro efecto sobre las implicaciones que pueden derivar, por ejemplo, del análisis del impacto de una política determinada. Por esta razón, las suposiciones que existen sobre la formación de expectativas de los agentes deben ser confrontadas con el mundo real y el vehículo utilizado para hacer esto es el contraste de las hipótesis con la evidencia empírica a través de una serie de métodos que pueden, a grosso modo, clasificarse en dos enfoques: *directo e indirecto*. El primero utiliza como insumos las observaciones de las expectativas de los agentes económicos, las cuales son usualmente obtenidas a través de tendencias de negocios y encuestas a consumidores. El segundo se vale de comprobar una hipótesis conjunta compuesta por una hipótesis sobre formación de expectativas contenida en un modelo económico particular utilizando series de datos temporales.

4.6.1 Problemas de la medición de expectativas

Como se puede intuir, el método indirecto de medición de expectativas es el menos demandante respecto a la información requerida para su desarrollo, pero sus conclusiones carecen de precisión para determinar la validez de la hipótesis de formación de expectativas utilizada puesto que contiene dentro de sí una relación explícita entre las expectativas, el resultado del sistema y el modelo de mercado subyacente. Si la prueba concluye en el rechazo de esta hipótesis no se tendrá certeza sobre si se debe rechazar la validez del modelo económico o la de la hipótesis de formación de expectativas.

Por su parte, el método directo no requiere la especificación de un modelo económico, pero posee desventajas como el riesgo de error en la medición de las variables, el cual puede presentarse cuando, por ejemplo, los encuestados no entienden la pregunta

planteada o cuando la respuesta no refleja la expectativa que el agente, en efecto, tiene en mente al tomar decisiones (Svendsen, 1993).[75]

Al mismo tiempo, se argumenta que resulta muy exigente imponer las restricciones que una hipótesis implica, sobre las expectativas formadas por agentes individuales. En este sentido, el autor citado apunta que una hipótesis de formación de expectativas debe ser confrontada con observaciones micro de las expectativas y, si a nivel micro la hipótesis es rechazada, será menester argumentar por qué la suposición resulta una buena aproximación a la formación de expectativas en niveles agregados. En contraste, el argumento sobre el realismo en los supuestos y la validez empírica de Friedman advierte que tal debate es irrelevante mientras el uso de la hipótesis arroje predicciones ciertamente precisas, pero *¿qué sucede cuándo la validez predictiva no es suficiente? ¿Cómo lograr avances en la teoría económica?* Responder esta pregunta exige el avance no sólo de relaciones teóricas, sino también, de metodologías de medición y es, en este respecto, que el presente apartado se propone detenerse.

4.6.2 Pruebas estadísticas y formas de medir expectativas

Para comenzar, antes de introducir al lector en las principales metodologías de medición de expectativas, resulta pertinente exponer como a partir de los distintos insumos utilizados para la validación empírica de las expectativas, los mismos deben ser utilizados para aplicar una prueba estadística que permita aceptar o rechazar la hipótesis evaluada. Para ilustrar esta aseveración, considérese la siguiente prueba de ortogonalidad,[76] propiedad que contiene la hipótesis de expectativas racionales:

$$\zeta_{it} = y_t - y_t^e = \tau_0 + \tau_1 X'_{i,t-f} + W_{it}$$

$H_0: (\tau_0, \tau_1) = (0,0)$ y W_{it} es ruido blanco.[77]

En esta prueba se tiene que el error de pronóstico ζ_{it} representado por la diferencia entre la realización de la variable y_t y su valor esperado y_t^e será igual a cero si se

[75] En particular, una dificultad para tratar de validar empíricamente la hipótesis de expectativas racionales es que, de acuerdo con Muth (1961), esta hipótesis es consistente con el modelo, es decir, no se puede separar a las expectativas racionales de una teoría o modelo específico y esto es en esencia lo que hace una prueba del enfoque directo (Svendsen, op. cit.).

[76] Propiedad de expectativas racionales que implica que el valor esperado del error de predicción condicional a toda la información disponible debe ser igual a cero (Sheffrin, 1983).

[77] Si una variable es ruido blanco, cada elemento tiene una distribución idéntica, independiente y de media igual a cero. La observación de cada período en una serie de tiempo de ruido blanco es una "sorpresa": nada en la historia de la serie brinda una pista sobre si el nuevo valor será positivo o negativo, grande o pequeño.

cumple la hipótesis nula. $X'_{i,t-f}$ representa un vector de variables que contiene información gratis y disponible, como, por ejemplo, variables de política.

La prueba estadística, per se, constituye una herramienta utilizada para contrastar cualquier hipótesis de expectativas. No obstante, el tipo de insumo utilizado, entendido como el origen de la variable predicha, dependerá de si éstos provienen de observaciones provenientes de *indicadores* observables a partir de una relación establecida a priori entre el resultado del sistema y los pronósticos de los agentes, de las respuestas de un empresario a un cuestionario, como es el caso de una *encuesta*, o, por último, de un *contexto experimental* en el que se recreen situaciones de mercado.

4.6.2.1 Indicadores económicos

Dadas las desventajas expuestas en torno al enfoque directo, algunos economistas han optado por especificar relaciones entre las predicciones y el resultado del comportamiento de los agentes y así evaluar la validez de estas hipótesis en función a la capacidad predictiva que las mismas poseen bajo un marco de análisis determinado. Por esta razón, se asocia este tipo de insumo con el enfoque indirecto y, por tanto, con la prueba de hipótesis conjunta.

Bajo esta metodología, Fair (1993) realiza un estudio en el cual comprueba que la introducción de la hipótesis de expectativas racionales posee poca significancia estadística al evaluar la inclusión de variables esperadas sobre valores futuros, cuya formalización obedece a las expectativas racionales, frente a la capacidad predictiva del modelo subyacente en ausencia de estas variables.[78] Dicho esto, dado el problema subyacente de hipótesis conjunta, el autor reconoce que sus resultados pueden deberse a una especificación errónea, sin embargo, promueve la comprobación a priori de la validez de esta hipótesis frente a especificaciones alternativas de formación de expectativas.

Por su parte, Cornea, Hommes y Massaro (2013) formulan y estiman un modelo sobre la dinámica inflacionaria bajo supuestos de competencia monopolística, rigideces nominales y empresas heterogéneas que mantienen un comportamiento optimizador dadas sus expectativas sobre el futuro y en el que existen dos tipos de fijadores de precios, los fundamentalistas que observan hacia el futuro relacionando inflación y

[78] El modelo utilizado es el formalizado en Fair (1984). No obstante, el autor añade que, para reducir el riesgo de perder generalidad en sus resultados, variables adicionales se agregaron para que el modelo pueda adoptar distintas especificaciones.

costos marginales para tomar sus decisiones y los llamados ingenuos que miran hacia el pasado como regla para pronosticar la inflación en el futuro.[79] Como resultado, los autores obtuvieron que la hipótesis de expectativas heterogéneas se ajusta al conjunto de datos de manera adecuada. En particular, la intensidad de decisión resultó ser positiva lo que indica que los agentes cambian hacia reglas de pronóstico con mejor desempeño en el pasado y que la inflación se ve afectada positivamente por los costos marginales reales. Por último, ciertas variaciones fueron introducidas a la especificación del modelo para demostrar que los resultados se mantienen ante formas alternativas de medir los costos marginales.

4.6.2.2 Encuestas

Definidas como un conjunto de preguntas tipificadas dirigidas a una muestra representativa de grupos sociales para averiguar estados de opinión, las encuestas constituyen uno de los principales métodos de medición de expectativas. Los datos que se recolectan mediante la aplicación de una encuesta concerniente a la validación de una hipótesis de formación de expectativas son precisamente observaciones de las expectativas de los agentes encuestados, es por esto que clasificamos a las encuestas como un método de medición de enfoque *directo*.

La utilización de encuestas para medir las expectativas de los agentes económicos plantea serios retos metodológicos de entre los cuales destaca la presencia de errores de medición en la data cuantitativa y cualitativa.[80] En particular si la encuesta tiene como objetivo recolectar data de tipo cualitativo, los errores de medición originados serán menos críticos, pero esto también implica concebir una definición más amplia del error de predicción.

DeLeeuw y McKelvey (1981) probaron un modelo de expectativas racionales, uno de expectativas adaptativas y un modelo aumentado de expectativas adaptativas sobre la variación de precios de productos propios y de activos comprados por empresas de Estados Unidos, el estudio se realizó con cifras agregadas. La data recolectada y

---

[79] Para consultar la especificación del modelo, revisar Cornea, Hommes y Massaro (op. cit., p.17).

[80] Según Svendsen (1993), existen dos orígenes de errores de medición que son comunes para ambos tipos de data. Primero, las expectativas reportadas pueden ser distintas de las expectativas sobre las que en realidad se basa el comportamiento ya que las decisiones no son tomadas en el momento en que son reportadas las expectativas. El segundo radica en el hecho de que puede que el encuestado no tome el tiempo necesario para razonar sus respuestas a la encuesta o que la tarea de responder la encuesta sobre una empresa, sea delegada a alguien que no tenga una posición de decisión dentro de la organización.

procesada no apoya la existencia de expectativas racionales, por el contrario, se ajusta mejor al modelo aumentado de expectativas adaptativas.

Por otra parte, Aiginger (1981) utilizó una muestra de 39 distintas series de expectativas que cubrían datos de 6 países sobre expectativas de empresas, expertos y consumidores acerca de diferentes variables, la data utilizada fue de tipo cuantitativo y cualitativo. En líneas generales el autor no obtuvo la validación esperada para la hipótesis de expectativas racionales, sin embargo, se apunta que la especificación errónea sobre el método utilizado para la obtención de una medida cuantitativa proveniente de la data cualitativa y el hecho de que algunas de las series utilizadas son mejor descritas como anticipaciones o planes en lugar de expectativas puras puede restarle validez a su estudio.

Así mismo, Svendsen (1993) condujo un estudio de validación empírica de la hipótesis de expectativas racionales utilizando como data cualitativa de una encuesta trimestral sobre las expectativas de empresas pertenecientes a la industria de manufactura y minería en Noruega (*"Konjunkturbarometeret"*).[81] Los resultados del estudio demostraron que, para las expectativas sobre los precios de los productos de las empresas, de tres pruebas aplicadas, una resultó favorable a la hipótesis de expectativas racionales (test de restricciones transversales), una resultó desfavorable (test de eficiencia) y una inconclusa (test de insesgadez).[82] En líneas generales ya que algunas de las restricciones impuestas por la hipótesis demostraron ser violadas, se rechaza la hipótesis de expectativas racionales para la formación de precios de los productos de las empresas en estudio.

Por otra parte, de acuerdo con Hommes (2010) las encuestas también han sido ampliamente utilizadas para comprobar la validez de la hipótesis de expectativas heterogéneas. Mediante los trabajos de Frankel y Froot (1987, 1990), Allen y Taylor (1990) y Taylor y Allen (1992) se concluye, haciendo uso de encuestas a expertos, que en su proceso de formación de expectativas éstos se basan en distintas estrategias de predicción (heterogeneidad) para pronosticar tipos de cambio. En particular, apuntan que una estrategia de extrapolación y una regla de valor fundamental, o de reversión a la media, describen las estrategias de pronóstico para el corto y largo plazo respectivamente.

---

[81] El autor utiliza modelos de probabilidades log lineales como herramienta para la transformación de la data cualitativa en aras de preservar el carácter de información micro del estudio.

[82] El test de restricciones transversales trata de una prueba menos fuerte para la misma propiedad de eficiencia.

En este sentido, Mankiw (2003) sugiere evidencia de heterogeneidad en las expectativas sobre la inflación contenidas en la *Michigan Survey of Consumers* y demuestra que el conjunto de datos es inconsistente con una formación racional o adaptativa de las expectativas.

Así mismo, Pfajfar y Santoro (2009) concluyen, explorando series de tiempo de percentiles de la distribución empírica de datos de encuestas, que la heterogeneidad en las expectativas sobre inflación es significativa e identifican tres regiones de la distribución con tres estrategias de formación de expectativas distintas: una, altamente auto regresiva, otra cercana a la expectativa racional y, la última, consistente con el aprendizaje adaptativo.

4.6.2.3 Experimentos

En este caso, la medición de expectativas se da a partir de experimentos, es decir, simulaciones de contextos de mercado controlados en los cuales se comprueba el proceso de formación de expectativas. En particular, esta investigación se concentra en los experimentos *aprendiendo-a-pronosticar*, los cuales, en líneas generales, consisten en ejercicios en los que un grupo de agentes son encargados de pronosticar el precio futuro de un bien que se determina a partir de proceso de vaciado de mercado donde interviene la retroalimentación de las expectativas de cada agente. La demanda y la oferta agregada son derivadas de forma computarizada mediante la maximización de los beneficios y la utilidad, dados los pronósticos individuales de los sujetos. En este respecto, los insumos provenientes de este tipo de medición corresponden con el tipo directo ya que los datos utilizados son precisamente extraídos a partir de las predicciones de los agentes que participan en el experimento. El objetivo de estos experimentos es determinar si el comportamiento del sistema es estable bajo el equilibrio de expectativas racionales, y de ser estable, examinar la velocidad a la que se converge hacia él. Por otra parte, los sujetos de este tipo de experimento usualmente sólo poseen información cualitativa acerca del mercado y no se les exige realizar otra actividad distinta de la predicción para lo cual son remunerados en función a sus errores de pronóstico (Hommes, 2010).[83]

[83] La flexibilidad propia de estos experimentos permite incluir diversos agentes que predicen a tiempo real el precio de un activo y entre los cuales no existe coordinación inicial ha resultado una característica valiosa para convertir este en el método principal para la validación empírica de la hipótesis de expectativas heterogéneas (Hommes, 2010).

Bajo esta metodología, Sonnemans, Hommes, Tuinstra y van de Velden (2004) a partir de experimentos bajo el modelo de la telaraña evaluaron la validez del argumento de que aquellos agentes que realizan pronósticos racionales superan en desempeño a los demás agentes en el largo plazo. En este sentido, los autores concluyen que la distancia cuadrática media entre la dinámica de precios y la referencia de expectativas racionales decreció consecutivamente durante las cuatro rondas del experimento. En la última ronda el valor de la distancia era alrededor del 25% de lo que era en la primera, sin embargo, sólo 10% de la simulación converge hacia un estado estacionario de expectativas racionales mientras que un 60% de la simulación exhibe dinámica caótica.

En este mismo orden de ideas, Hommes (2010) discute sobre experimentos de esta índole basados en un modelo estándar de valuación de activos como referencia. En los resultados se evidencian tres hechos: primero, los participantes no pudieron aprender el precio fundamental o racional, sólo en algunos casos ciertas predicciones individuales se movieron lentamente en dirección a este precio hacia el final del experimento; segundo, aunque las sesiones tenían el mismo diseño, se observaron tres patrones distintos, *convergencia lenta y casi monótona, oscilaciones persistentes de precio con una amplitud casi constante y amplias oscilaciones iniciales que se fueron reduciendo hacia el final del experimento* y; tercero, los participantes fueron capaces de coordinar su actividad de pronóstico introduciendo predicciones similares en cada período.

Finalmente, se destaca el hallazgo realizado por Bao, Hommes, Sonnemans y Tuinstra (2012), los cuales a partir de la implementación de un experimento con las características descritas anteriormente, pero con la particularidad de separar los casos de estudio en mercados de retroalimentación *negativa y positiva,*[84] concluyen que bajo contextos de retroalimentación negativa el precio converge al nuevo equilibrio casi de manera inmediata, mientras que en aquellos con retroalimentación positiva la dinámica se ajusta lentamente hasta el equilibrio y hasta, excede el precio fundamental.

Por lo tanto, bajo un contexto de retroalimentación negativa, como el modelo de la telaraña, la hipótesis de expectativas racionales provee una descripción bastante aproximada del comportamiento agregado de los precios. Sin embargo, se recomienda tener cierta precaución con el uso de esta hipótesis bajo contextos de retroalimentación positiva, como el de los mercados financieros.[85]

---

[84] Para una definición sobre estos conceptos consulte el apartado 4.2.4.

[85] En este respecto, los autores añaden que en mercados con retroalimentación positiva reglas de tendencia demuestran un buen desempeño, reforzando así las tendencias y causando desviaciones persistentes de los

Síntesis

Las líneas de este capítulo permiten al lector apreciar, por una parte, como el pluralismo existente sobre distintos aspectos del modelado da relevancia a algunos elementos particulares de la realidad económica que el otro omite o subestima. A su vez, la definición de los conceptos y herramientas más relevantes para la formalización de ambas hipótesis deja en evidencia el intercambio existente entre el manejo analítico y la introducción de relaciones lógicas complejas que ambas suponen como útiles para el estudio de los fenómenos económicos. Por otra parte, la aplicación de ambas hipótesis en modelos de índole macroeconómica y financiera modifica los fenómenos presentes y las dinámicas del modelo en los casos tratados. Así mismo, a partir de la simulación realizada del modelo de la telaraña quedó en evidencia la relevancia, en el caso racional, de los cambios en los fundamentos económicos y el proceso estocástico exógeno sobre el equilibrio y, en el caso heterogéneo, de los cambios en las proporciones de agentes que acatan una determinada regla en función a la utilidad que esta les brinde, la cual depende del resultado del sistema. Una revisión sobre las principales implicaciones teórico-políticas de cada hipótesis sugiere que las reglas de política óptima consideradas bajo cada hipótesis difieren y que, por lo tanto, comprobaciones sobre la robustez de los resultados ante distintas especificaciones funcionales de la formación de expectativas son necesarias para evitar resultados engañosos. Finalmente, la evidencia empírica consultada, bajo distintas metodologías, arroja resultados empíricos ambiguos en torno a la hipótesis muthiana y tiende a confirmar la validez de la heterogeneidad presente en las expectativas. Sin embargo, se sugiere que a partir de la contrastación cruzada entre distintas metodologías frente a escenarios comunes puede lograr identificar la aptitud de cada hipótesis con respecto a un fenómeno particular y los elementos que pueden modificar dicha aptitud de forma intertemporal.

fundamentos. En contraste, estas reglas tienen un mal desempeño bajo contextos de retroalimentación negativa, a diferencia de reglas adaptativas o estrategias contrarias, reforzando la convergencia hacia el nuevo equilibrio (Bao et al, 2012).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de llevar a cabo un análisis comparativo que comprende aspectos asociados al desarrollo, aplicación y validez empírica de cada una de las hipótesis bajo contraste se concluye lo siguiente:

A pesar de las diferencias expuestas durante el análisis, cada hipótesis de formación de expectativas, bajo su contexto histórico correspondiente, responde a las carencias propias del análisis económico relevante a partir de una visión distinta del modelado económico. En el caso de las expectativas racionales, el planteamiento de la misma responde a la irracionalidad propia de la presencia de errores sistemáticos dentro del proceso de formación de expectativas; a la capacidad de introducir arbitrariedades dentro de este proceso y a la invariancia del mecanismo de formación de expectativas ante cambios en el sistema económico. Por su parte, las expectativas heterogéneas, ante la restricción que supone la existencia de múltiples equilibrios bajo expectativas racionales, proponen una generalización del proceso de formación de expectativas a partir de la interacción de agentes con reglas de pronóstico distintas que no necesariamente convergen a un comportamiento propio de expectativas racionales. Adicionalmente, ambas hipótesis tienden a aplicarse bajo contextos de vaciado de mercado, agentes optimizadores de utilidad/beneficios y con presencia de racionalidad en el sentido de formación de expectativas, aunque de forma parcial para el caso de las expectativas heterogéneas.

La dinámica de comportamiento de las variables económicas tiende a poseer un comportamiento estable y lineal bajo la utilización de las expectativas racionales. En contraste, las expectativas heterogéneas tienden a generar comportamientos caóticos en dichas variables, aunque se asuma linealidad en el sistema que las relaciona y se planteen alteraciones como la sugerida en la ecuación 4.54, debido a la elección intertemporal de los agentes de unas reglas sobre otras, aspecto expresado mediante la evolución conjunta entre las proporciones de los agentes (n_1 y n_2) y el mecanismo de equilibrio. En este sentido, la aplicación de cada hipótesis conlleva importantes efectos sobre la cualidad del análisis económico. Las expectativas racionales dada su capacidad de manejo analítico y gracias a la perfecta consistencia entre creencias y realidad, que garantiza la ausencia de fluctuaciones endógenas, permite utilizar el marco de equilibrio como punto de referencia para el análisis de las variables económicas y, por tanto, facilita la obtención de reglas de política orientadas a la estabilización. Las expectativas heterogéneas poseen restricciones sobre su manejo analítico y al permitir la presencia de retroalimentación de expectativas, a diferencia de

la hipótesis anterior, dificulta el análisis de equilibrio tradicional y, por tanto, la obtención de reglas de política orientadas a la estabilización.

Existe un intercambio entre los grados de libertad, entendidos como la flexibilidad que el investigador posee sobre las características del modelo, y la capacidad de someter los supuestos a contrastación: las expectativas racionales, aunque disminuyen la presencia de arbitrariedad en el modelado, restringen la formación de expectativas a una hipótesis cuya contrastación, no así su capacidad predictiva, carece de relevancia para el análisis económico. Por otro lado, las expectativas heterogéneas, aunque admiten mayores grados de libertad, que dificultan la disciplina teórica, permiten el estudio de fenómenos que, en ocasiones, se omiten ante la presencia de supuestos rígidos, por lo que la validez empírica de la hipótesis adquiere relevancia.

La validez de la hipótesis de expectativas racionales se sustenta en la premisa de que de existir agentes que no hagan uso eficiente de su información, dadas las características del mercado, serán superados sistemáticamente por aquellos que sí se comporten racionalmente. No obstante, esta hipótesis no especifica cómo se lleva a cabo este mecanismo subyacente. En este sentido, las expectativas heterogéneas sustentan la relevancia de las interacciones entre agentes con distintas reglas de pronóstico, de forma explícita, al plantear un mecanismo de aprendizaje por refuerzo que se apoya en la información asociada al desempeño de las reglas de los agentes.

La homogeneidad presente en el proceso de formación de expectativas racionales excluye la relevancia de las interacciones de agentes con distintas reglas de pronóstico, relevancia que se apoya en la evidencia empírica consultada.

Aunque la hipótesis de expectativas heterogéneas puede incluir a las expectativas racionales como una regla de pronóstico disponible, dicha incorporación contiene desviaciones con respecto a la formalización tradicional al prescindir del operador de expectativas condicionales y al introducir costos positivos constantes asociados a la recopilación de información. Adicionalmente, el suponer que la información sobre el desempeño de las estrategias de pronóstico está disponible para todos los agentes, puede reducir la relevancia del argumento evolutivo sobre la supervivencia de la racionalidad en ambientes de mercado sobre el que se fundamenta la hipótesis de Muth.

La perfecta consistencia entre las expectativas y resultados del sistema, presente en las expectativas racionales, subestima el impacto de la retroalimentación entre las mismas

en las propiedades de equilibrio. A este respecto, entre la evidencia empírica consultada se demuestra la validez de esta hipótesis bajo contextos de retroalimentación negativa, no así bajo positiva.

La recomendación de política hecha mediante el análisis de un modelo específico, de características lineal-estocásticas, difiere ante la aplicación de cada una de las hipótesis de formación de expectativas debido a que las regiones de determinación del modelo subyacente se ven modificadas. A su vez, el estudio de la coexistencia y relevancia de agentes racionalmente limitados dentro del comportamiento del sistema económico/financiero y la presencia de retroalimentación y no-linealidad en sus fundamentos puede extraer elementos determinísticos no capturados a partir de las premisas que caracterizan a un mercado eficiente.

Para futuras investigaciones

En vista de las conclusiones expuestas y, en consonancia con el principio de complementariedad defendido en estas líneas, se sugiere evaluar la posibilidad, en primer lugar, de plantear desviaciones con respecto al supuesto de información disponible en la hipótesis de expectativas heterogéneas con el propósito de incluir fricciones en el acceso a la misma que pudieran sumar relevancia al argumento evolutivo sobre el que se fundamenta la validez de la hipótesis de expectativas racionales. En segundo lugar, ante la invariancia de las reglas de pronóstico disponibles bajo expectativas heterogéneas, introducir la capacidad de generar nuevas relaciones lineales para formar expectativas basándose en reglas iniciales que estén sujetas a cambios bajo el proceso de aprendizaje por refuerzo.

Finalmente, dado el alcance actual de la ciencia económica, se recomienda ampliar la investigación sobre el paradigma de complejidad el cual, aunque de manejo analítico restringido y con capacidad de análisis económico aún limitada, permite, entre otros aspectos, la inclusión de comportamientos no-lineales en el estudio de las relaciones económicas, el análisis de las interacciones entre agentes heterogéneos y las retroalimentaciones presentes en los sistemas que constituyen la economía.

6. BIBLIOGRAFÍA

Albu, L.-L. (2006). Non-linear models: applications in economics.

Argandoña, A., Gámez, C., & Mochón, F. (1996). Macroeconomía Avanzada I. Madrid: McGraw-Hill.

Arthur, W. B. (2013). Complexity Economics: A Different Framework for Economic Thought. SFI Working Papers.

Assenza, T., Bao, T., Hommes, C., & Massaro, D. Experiments in Macroeconomics . In *Research in Experimental Economics* (pp. 11-70). Emerald Group Publishing Limited.

Assenza, T., Brock, W. A., & Hommes, C. H. (2013). Animal Spirits, Heterogeneous Expectations and the Emergence of Booms and Busts. *Tinbergen Institute* .

Assenza, T., Brock, W., & Hommes, C. (2013). Animal Spirits, Heterogeneous Expectations and the Emergence of Booms and Busts. Tinbergen Institute.

Attfield, C., Demery, D., & Duck, N. (1985). *Rational Expectations in Macroeconomics.* Nueva York: Basil Blackwell.

Bao, T., Hommes, C., Sonnemans, J., & Tuinstra, J. (2012). Individual Expectations, Limited Rationality and Aggregate Outcomes. Tinbergen Institute.

Barro, R. J. (1976). Rational Expectations and the role of Monetary Policy.

Barros, G. (2010). Herbert A. Simon and the concept of rationality: Boundaries and procedures. *Brazilian Journal of Political Economy* , 455-472.

Becker, R. A. (2008). Transversality Condition. In S. Durlauf, & L. Blume, *The New Palgrave Dictionary of Economics.* Macmillan.

Begg, D. K. (1982). *The Rational Expectations Revolution in Macroeconomics.*

Bermúdez, C. (2014). La Racionalidad en la Formación de Expectativas . *16.*

Black, F. (1986). Noise. *Journal of Finance* , 529-546.

Blanchard, P., Devaney, R., & Hall, G. (2006). *Differential Equations.* Boston: Brooks/Cole, Cengage Learning.

Blume, L., & Easley, D. (2007). *Rationality.*

Boeing, G. (2015). *Geoff Boeing*. Retrieved from http://geoffboeing.com/2015/03/chaos-theory-logistic-map/

Bosi, S., & Seegmuller, T. (2005). Animal spirits in Woodford and Reichlin economies: The representative agent does matter.

Branch, W. A., & Evans, G. W. (2010). Monetary Policy and Heterogeneous Expectations. *Centre For Dynamic Macroeconomic Analysis* .

Branch, W., & McGough, B. (2010). Dynamic Predictor Selection in a New Keynesian Model with Heterogeneous Expectations.

Branch, W., & McGough, B. (2004). Multiple Equilibria in Heterogeneous Expectations Models. *Contributions to Macroeconomics* . The Berkeley Electronic Press .

Brock, W., & Hommes, C. (1997). A Rational Route to Randomness. *Econometrica , 65.*

Brock, W., & Hommes, C. (1998). Heterogeneous beliefs and routes to chaos in a simple asset pricing model. *Journal of Economic Dynamics and Control* , 1235-1274.

Brock, W., & Hommes, C. (1998). Rational Animal Spirits.

Brock, W., Hommes, C., & Wagener, F. (n.d.). More hedging instruments can destabilize markets. *2006* .

Bullard, J. (1994). Learning Equilibria. *Journal of Economic Theory* .

Bullard, J., & Kaushik, M. (2002). Learning about Monetary Policy Rules. St. Louis: Federal Reserve Bank Of St. Louis Research Division.

Chakrabarty, M., & Schmalenbach, A. (2002). The Representative Agent Hypothesis: An Empirical Test.

Chang, H.-J. (2014). *Economics The User's Guide.* Nueva York: Bloomsbury Press.

Colander, D. (2008). Complexity and the History of Economic Thought. *Middlebury College Economics Discussion Papers* .

Colander, D. (2003). The Complexity Revolution and the Future of Economics. *Middlebury College Economics Discussion Papers* .

Collard, F. (2002). Lecture notes on numerical methods for macroeconomics. *mimeo* .

Conlisk, J. (1996). Why Bounded Rationality? *Journal of Economic Literature* , 669-700.

Cornea, A., Hommes, C., & Massaro, D. (2013). Behavioral Heterogeneity in U.S. Inflation Dynamics. Tinbergen Institute.

Cyert, R., & March, J. (1963). *A behavioral theory of the firm.* New Jersey: Prentice-Hall.

Dennis, R. (2004). New Keynesian Optimal-Policy Models: An Empirical Assessment. Federal Reserve Bank of San Francisco.

Desgranges, G., & Gauthier, S. (2003). On the Uniqueness of the Bubble-Free Solution in Linear Rational Expectations Models.

Dindo, P. (2007). Bounded Rationality and Heterogeneity in Economic Dynamic Models.

Edgeworth, F. Y. (1881). *Mathematical psychics: An essay on the application of mathematics to the moral sciences.* Londres: C.K. Paul.

Edmonds, B. (1999). Syntactic Measures of Complexity. Manchester, UK.

Evans, G. W. (2000). Expectations in Macroeconomics: Adaptive versus Eductive Learning.

Evans, G., & Honkapohja, S. (2001). *Learning and Expectations in Macroeconomics.* New Jersey: Princeton University Press.

Fair, R. (1993). Testing the Rational Expectations Hypothesis in Macroeconometric Models. *Oxford Economic Papers* , 169-190.

Farmer, J. D. (2012). Economics needs to treat the economy as a complex system.

Fontana, M. (2008). The Complexity Approach to Economics: a Paradigm Shift . Universita di Torino.

Friedman, M. (1953). *Essays in Positive Economics.* Chicago: University of Chicago Press.

Galí, J. (2008). *Monetary Policy, Inflation, and the Business Cycle: An Introduction to the New Keynesian Framework.* Princeton: Princeton University Press.

Giannitsarou, C. (2001). Stability Analysis of Heterogeneous Learning in Self-Referential Linear Stochastic Models. London Business School.

González, J. (2011). Tipos y Diseños de Investigación en Trabajos de Grado.

Grandmont, J.-M. (1998). Expectations Formation and Stability of Large Economic Systems. *CORE Discussion Papers* .

Grandmont, J.-M., & Malgrange, P. (1986). Nonlinear Economic Dynamics: Introduction. *Journal of Economic Theory* , 3-12.

Grimm, V., & Railsback, S. (2005). *Individual-based Modeling and Ecology.* Princeton University Press.

Grunberg, E., & Franco, M. (1954). The Predictability of Social Events. *Journal of Political Economy* , 465-478.

Grüne-Yanoff, T., Marchionni, C., & Moscati, I. (2014). Introduction: methodologies of bounded rationality. *Journal of Economic Methodology* , 325-342.

Hamill, L., & Gilbert, N. (2016). *Agent-based Modelling in Economics.* Surrey: Wiley & Sons.

Hartley, J. (1996). The Origins of the Representative Agent. *Journal of Economic Perspectives* , 169-177.

Helbing, D., & Balietti, S. (2011). *How to Do Agent-Based Simulations in the Future: From Modeling Social Mechanisms to Emergent Phenomena and Interactive Systems Design.* SFI Working Paper.

Hommes, C. (2013). *Behavioral Rationality and Heterogeneous Expectations in Complex Economic Systems.* New York: Cambridge University Press.

Hommes, C. H. (2004). Economic Dynamics. In A. Scott, *Encyclopedia of Nonlinear Science.* Routledge.

Hommes, C. (2008). Interacting agents in finance. In S. Durlauf, & L. Blume, *The New Palgrave Dictionary of Economics.* Macmillan.

Hommes, C. (2013). Reflexivity, expectations feedback and almost self-fulfilling equilibria: economic theory, empirical evidence and laboratory experiments. *Journal of Economic Methodology* .

Hommes, C. (2010). The Heterogeneous Expectations Hypothesis: Some Evidence from the Lab.

Hommes, C., & Zhu, M. (2013). Behavioral learning equilibria. *Journal of Economic Theory* , 778–814.

Hommes, C., Massaro, D., & Weber, M. (2015). Monetary Policy under Behavioral Expectations: Theory and Experiment. Tinbergen Institute.

Honkapohja, G. W. (2001). Learning and Expectations in Macroeconomics. In G. W. Honkapohja, *Learning and Expectations in Macroeconomics.* Princeton University Press.

Jr., B. R. (2003). *Complexity in Economics.*

Kahneman, A. T. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *185.*

Keynes, J. M. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money.* Londres: Macmillan.

Kirman, A. (2014). Is it rational to have rational expectations? *Mind & Society* , 29-48.

Kirman, A. (1992). Whom or What Does the Representative Individual Represent? *Journal of Economic Perspectives* , 117-136.

Lachmann, L. (1943). The Role of Expectations in Economics as a Social Science. *Economica* , 12-23.

Loaiza, M. (2006). Diseño y simulación de un criptosistema caótico para comunicaciones seguras . Puebla, México.

López Casuso, R. (2009). *Cálculo de Probabilidades e Inferencia Estadística.* Caracas: Publicaciones UCAB.

Mankiw, N. G., Reis, R., & Wolfers, J. (2003). Disagreement about Inflation Expectations. *NBER Working Papers 9796* .

Manski, C., & McFadden, D. (1981). *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications.* Cambridge: MIT Press.

Martín, M., Morán, M., & Reyes, M. (1998). *Inicación al Caos.* Síntesis.

Martínez, M. (1989). Comportamiento Humano. Nuevos Métodos de Investigación. México: Trillas.

Massaro, D. (2013). Heterogeneous Expectations in Monetary DSGE Models. CeNDEF.

Meeusen, W. (2010). Whither the Microeconomic Foundations of Macroeconomic Theory? Universiteit Antwerpen .

Mikhail Anufriev, T. A. (2009). Interest Rate Rules and Macroeconomic Stability under Heterogeneous Expectations. *Tinbergen Institute* .

Minford, P. (1992). *Rational Expectations Macroeconomics.* Cambridge: Blackwell Publishers.

Mitchell, M. (1999). *An Introduction to Genetic Algorithms.* Cambridge: MIT Press.

Muth, J. F. (1961). Rational Expectations and the Theory of Price Movements. *Econometrica , 29.*

North, D. (2003). Understanding the Process of Economic Change. Forum Series on the Role of Institutions in Promoting Economic Growth .

Pérez, J. M. (2008). Teoremas de Punto Fijo y la Existencia de Equilibrios de Nash para Juegos no Cooperativos.

Pfajfar, D., & Santoro, E. (2006). Heterogeneity and Learning in Inflation Expectation Formation: An Empirical Assessment.

Poutineau, J.-C., Sobczak, K., & Vermandel, G. (2015). The analytics of the New Keynesian 3-equation Model.

Rizvi, S. A. (2006). The Sonnenschein-Mantel-Debreu Results after Thirty Years. *History of Political Economy* .

Rodrik, D. (2015). *Economics Rules: The Rights and Wrongs of The Dismal Science.* Nueva York: W. W. Norton.

Romer, P. (2015). Mathiness in the Theory of Economic Growth. *American Economic Review: Papers & Proceedings* , 89-93.

Rosende, F. (2002). *Teoría Macroeconómica: Crecimiento, Ciclos y Expectativas.* Santiago de Chile: Ediciones UC.

Rosser Jr., B., & V. Rosser, M. (2014, Agosto). Complexity and Behavioral Economics.

Sargent, T. (1993). *Bounded Rationality in Macroeconomics.* Nueva York: Oxford University Press.

Sargent, T. J. (1986). *Rational Expectations and Inflation* . Harper & Row.

Schmidt, S., & Wieland, V. (2012). The New Keynesian Approach to Dynamic General Equilibrium Modeling: Models, Methods and Macroeconomic Policy Evaluation. Institute for Monetary and Financial Stability.

Selten, R. (1990). Evolution, Learning and Economic Behavior.

Selten, R. (1998). Features of experimentally observed bounded rationality . *42.*

Selten, R. (1999). What is Bounded Rationality?

Sheffrin, S. M. (1983). Rational Expectations. In S. M. Sheffrin, *Rational Expectations.* Cambridge University Press.

Simon, H. (1947). *Administrative Behavior* .

Simon, H. (1999). Bounded rationality in social science: Today and tomorrow. *Mind & Society* , 25–39.

Simon, H. (1955). A Behavioral Model of Rational Choice. *69.*

Simon, H. (1957). *Models of Man: social and rational.* Nueva York: Wiley.

Simon, H. (1991) Bounded Rationality and Organizational Learning. *2.*

Simon, Herbert A. (1997) *An Empirically Based Microeconomics*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Sims, E. (2011). Notes on Log-Linearization. mimeo.

Sonnemans, J., Hommes, C., Tuinstra, & van de Velden, H. (2004). The instability of a heterogeneous cobweb economy: a strategy experiment on expectation formation. *Journal of Economic Behavior & Organization* , 453-481.

Svendsen, I. (1993). Empirical Tests of Formation of Expectations: A Survey of Methods and Results. Oslo: Statistics Norway.

Taylor, J. (1977). Conditions for Unique Solutions in Stochastic Macroeconomic Models with Rational Expectations. *Econometrica* , 1377-1385.

Tesfatsion, L. (2015). Introductory Notes on Rational Expectations. mimeo.

Tiziana Assenza, T. B. (2014). Experiments on Expectations in Macroeconomics and Finance . *17*.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1994). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science* , 1124-1131.

van de Velden, H. (2001). An experimental approach to expectation formation in dynamic economic systems. Tinbergen Institute.

Vriend, N. (1995). Rational behavior and economic theory. *Journal of Economic Behavior and Organization* , 263-285.

Wheelan, K. (2016). The Calvo Model of Price Rigidity. mimeo.

7. ANEXOS

7.1 Demostración propiedades de expectativas racionales

Considere el siguiente modelo (Argandoña et al, 1996):

$$x_{t+1} = x_t + \varepsilon_{t+1}; \varepsilon_{t+1} = N(0, \sigma^2) \quad (7.1)$$

Donde ε_{t+1} representa una variable aleatoria distribuida normalmente con media cero y varianza σ^2. Además, se asume que los valores ε_{t+i}, ε_{t+j} son independientes para $j \neq i$, esto implica:

$$E[\, \varepsilon_{t+i} . \varepsilon_{t+j}] = 0; j \neq i \qquad (7.2)$$

Dados estos supuestos se obtiene que el valor esperado condicional de x_{t+1}, dado un conjunto de información I_t, en x_t. Resultado que se comprueba formalmente a continuación:

$$E[x_{t+1}] = E[x_{t+1}|I_t] = E[x_t + \varepsilon_{t+1}|I_t] = E[x_t|I_t] + E[\varepsilon_{t+1}|I_t] = x_t + 0 = x_t \quad (7.3)$$

Donde $E[x_t|I_t] = x_t$ debido a que el valor esperado condicional de una variable determinística es la variable misma y $E[\varepsilon_{t+1}|I_t] = 0$ por definición, tal como se estableció antes. La intuición lógica detrás de este resultado es suponer que los agentes realizan predicciones utilizando, en la medida de lo posible, la información disponible para ello, por lo que sus pronósticos se aproximan, en promedio, al valor predicho por la teoría económica.

7.2 Planteamiento formal de la teoría de elección general

Dado un conjunto "A" de alternativas junto con una familia "B" de subconjuntos no vacíos[86] de "A". El conjunto "A" es el conjunto de alternativas posibles y cualquier elemento "B" en "B" es un conjunto de alternativas factibles, un conjunto a partir del cual el individuo deberá escoger. Una función de elección "C" asigna a cada B∈B un subconjunto no vacío de B, los objetos escogidos por el individuo del conjunto factible. En la teoría de demanda, por ejemplo, "A" es un conjunto de consumo, "B" es un conjunto de posibles combinaciones de presupuesto y la función de elección es la función de demanda. Un tratamiento en la literatura económica del individuo racional requiere que éste tenga una relación de preferencia en A y se entiende que $a \geq b$ para

[86] En matemáticas, el conjunto vacío es el conjunto que carece de elementos.

hacer referencia a que el individuo piensa que a es al menos tan bueno como b. Por relación de preferencia se entiende una relación binaria la cual es completa, es decir, que todas las alternativas pueden ser comparadas y, por transitiva a que si a es al menos tan bueno como b, y b al menos tan bueno como c, a será al menos tan bueno como c. Entonces b es escogido de "B", es decir, b∈ C (B), si y sólo si b≥a para todo a∈B. La preferencia es la expresión primitiva de la racionalidad. El rol de la utilidad es proveer una representación conveniente de la preferencia. Una función de utilidad u es una función real valorada de A y u representa si u(a)≥ u(b) y si y sólo si a≥b (Blume y Easley, 2007).

7.3 Planteamiento formal de la definición fuerte de la hipótesis de expectativas racionales

Un agente i en un modelo de una economía se dice que posee expectativas racionales en su forma fuerte si el mismo, además de poseerlas en su forma *débil*, para cada instante t de su existencia el conjunto de información de dicho agente (I_{t-1}, i) en el comienzo del período t contiene toda la información poseída por el investigador que modela al comienzo de dicho período. Esta información incluye (Tesfatsion, 2015):

a) Ecuaciones, clasificación de variables y condiciones de admisibilidad para el modelo, incluyendo las reglas reales de decisión usadas por cualquier otro agente (privado o público) que aparezca en el modelo y genere acciones y/o expectativas
b) Los valores reales de todas las variables exógenas determinísticas presentes en el modelo
c) Todas las propiedades sobre las distribuciones de probabilidad que gobiernan a las variables exógenas-estocásticas conocidas por el modelador al principio del período t
d) Los valores efectivos de todas las variables endógenas observadas por el modelador durante el principio del período t

7.4 Microfundamentación

En los años 60 y 70, el modelaje de fenómenos económicos experimentaba un cambio caracterizado por la incapacidad que los modelos macroeconómicos cuantitativos exhibieron para predecir los fenómenos de estanflación que surgieron en esta época. Adicionalmente, las críticas de algunos macroeconomistas como Lucas y Sargent

pusieron en evidencia la desventaja que presentaban los modelos predominantes de la época para recoger cambios en los coeficientes de los modelos ante modificaciones estructurales, en particular los cambios de regímenes de política económica. Todo esto hizo evidente qué los modelos econométricos basados en relaciones estadísticas no fueron capaces de adaptarse a los cambios estructurales exhibidos en la economía en los años 60.

Retrocediendo aún más en la historia, Colander (2006) afirma que la macroeconomía se erigió como un campo separado a la microeconomía con el trabajo de Samuelson (1948), pero esta separación sería tajante hasta que los eventos descritos arriba ocurrieran y la ciencia económica demandará un nuevo enfoque para modelar y entender los fenómenos económicos. Este contexto da origen al Modelo Dinámico Estocástico de Equilibrio General.

Modelo Dinámico Estocástico de Equilibrio General

De acuerdo con Galí y Gertler (2007) lo que facilitó el desarrollo de este nuevo marco de modelaje fueron las literaturas de la teoría Neo Keynesiana y del estudio de los ciclos reales de negocio. Los primeros buscaban brindar fundamentos microeconómicos a conceptos clave de la teoría Keynesiana (rigidez de precios, no neutralidad del dinero, etc.) mientras que la segunda corriente buscaba la construcción de un modelo macroeconómico cuantitativo a partir del comportamiento optimizador que se asume a nivel individual.

El resultado, el Modelo Dinámico Estocástico de Equilibrio General, modelos que tienen como esencia integrar la macroeconomía y la microeconomía brindando fundamentos microeconómicos a la macroeconomía.

Galí y Gertler (op. cit.) exponen intuitivamente cómo se construye un modelo dinámico estocástico de equilibrio general. Al llegar a su conclusión el modelo puede ser representado como un sistema simple de tres ecuaciones, aspecto en el que no difiere con algunos modelos previos, pero diferenciándose en el hecho de que este modelo tiene una microfundamentación explícita que se evidencia al plantear las ecuaciones del modelo.

Por ejemplo, una ecuación de demanda agregada en un modelo de este estilo puede estar construida a partir de las decisiones de gasto de un hogar representativo y de una

empresa representativa. En un marco carente de fricciones, los hogares ajustan su expectativa de crecimiento del consumo ante movimientos de la tasa de interés real. Lo mismo ocurre con la empresa representativa que ajustará su condición óptima de inversión de forma proporcional al radio entre el valor de mercado del capital instalado y su costo de reposición, también conocido como de *Tobin*.

La relación de oferta surgiría de las decisiones de determinación de precios tomadas por las empresas individuales. En un contexto de precios flexibles durante cada período las empresas determinan sus precios igualándolos a una prima constante sobre el costo marginal. En un contexto escalonado de precios, aquellas empresas que hacen ajustes en un período determinado, determinan el precio igualándolo al promedio ponderado del costo marginal nominal actual y esperado el cual depende de la probabilidad de que los precios de la empresa se hayan mantenido fijos en ese período particular. Combinando las versiones de la decisión óptima de determinación de precios, el índice de precios y el equilibrio de mercado de trabajo nace una ecuación de oferta agregada.

El marco que hemos reflejado puede presentarse como un sistema de ecuaciones en diferencia que describen la evolución de las brechas de producto e inflación como función del recorrido de la tasa de interés nominal de corto plazo relacionada con la política monetaria y de dos variables exógenas: la tasa de interés natural y los choques de inflación de costos.

Sirva el modelo presentado para exponer, cómo puede construirse un modelo macroeconómico microfundamentado, valiéndose el modelador de la noción de agentes y empresas representativas reflejando en la construcción del modelo los principios de optimización individuales, todas características fundamentales de un modelo dinámico estocástico de equilibrio general.

Esta metodología de modelado ha permitido a los bancos centrales presentar su visión sobre el panorama económico y sus estrategias de política de una manera formal. Adicionalmente, como ya hemos expuesto, estos modelos enfatizan las elecciones intertemporales de los agentes, en la medida en que las elecciones dependan de resultados futuros inciertos el modelo se hace dinámico y asigna un rol central a las expectativas de los agentes económicos en la determinación de los agregados macroeconómicos, esta característica convierte a estos modelos en una util herramienta para la modelación de la hipótesis de las expectativas racionales.

Al tratarse de un modelo de equilibrio general, este tipo de modelos logran capturar la interacción entre acciones de política y el comportamiento de los agentes, más aún la especificación de choques estocásticos que originan las fluctuaciones económicas (el caso de la inflación de costos, por ejemplo) permite a los economistas rastrear de manera más clara la transmisión de dichos choques a la economía.

En concreto, aunque se vale de una representación muy estilizada de la economía real, los modelos dinámicos estocásticos de equilibrio general aportan una manera disciplinada de analizar el panorama económico y su interacción con las acciones de política.

7.5 Modelos basados en el agente

Los modelos basados en el agente son un tipo de modelo computacional útil para simular las interacciones de agentes autónomos enfocados en el efecto que tienen dichos agentes sobre el sistema concebido como un todo. Pensados de una forma muy general, puede afirmarse que estos modelos combinan elementos de teoría de juegos, sistemas complejos, sociología computacional, sistemas de múltiples agentes y programación evolutiva (Grimm, Volker, Railsback y Steven, 2005).

Si bien su desarrollo puede remontarse a la década de los sesenta con la microsimulación, la imperante necesidad de su utilización, o al menos de que esta fuera considerada, vio su auge principal ante la crisis financiera del año 2008, sobre esto en 2010 Trichet presidente del Banco Central Europeo para ese entonces declaraba:

"Primero tenemos que pensar cómo caracterizar al *homo oeconomicus* en el corazón de cualquier modelo. Los agentes optimizadores subyacentes en los modelos existentes no capturan el comportamiento en el período de crisis. Necesitamos manejar mejor la heterogeneidad entre agentes y la interacción entre esos agentes heterogéneos. Necesitamos considerar motivaciones alternativas para las elecciones económicas. La economía conductual se vale de la psicología para explicar las decisiones tomadas en circunstancias de crisis. Los modelos basados en el agente prescinden de la suposición de la optimización y permiten considerar interacciones entre agentes más complejas. Dichos enfoques merecen nuestra atención"

En Hamill y Gilbert (2016) encontramos que en concreto, un modelo basado en el agente es un programa de computadora que crea un mundo artificial de agentes heterogéneos y permite investigar cómo las interacciones entre estos agentes y entre

los agentes y otros factores como el tiempo y el espacio se se añaden para formar los patrones que observamos en el mundo real. Cada agente puede tener un conjunto único de características y de reglas conductuales, permitiendo así modelar la heterogeneidad de los agentes y llevando a esta metodología de modelado a deshacerse del principio del agente representativo que hasta ahora había acompañado a los modelos económicos. Pueden consistir en modelos simples y abstractos o complicados casos de estudio del mundo real. Pueden tener solo dos agentes o millones de ellos y dentro del modelo, los agentes pueden representar diferentes entidades: individuos, hogares, empresas, gobiernos o incluso animales.

Helbing y Balietti (2012) destacan los principios necesarios para conformar un modelo basado en el agente. Primero se debe describir la evidencia que busca ser explicada por el estudio (data y observaciones empíricas y experimentales y las propiedades simplificadas del sistema en consideración), seguidamente se debe explicar el propósito de la simulación, puede ser el conseguir una descripción más precisa del fenómeno, hacer predicciones o incluso el desarrollo de alguna aplicación. Es necesario escoger los agentes en el modelo y luego se debe formular una hipótesis sobre el proceso socio económico o mecanismo fundamental subyacente que lleva al comportamiento particular del sistema que necesita ser explicado, idealmente este mecanismo debería estar sociológica o económicamente justificado con, por ejemplo, cierta evidencia empírica sobre el mecanismo.

Cuando el mecanismo anterior es especificado, no se deben incluir en el modelo suposiciones adicionales que quieran ser explicadas. Los mecanismos sobre los que está basado el sistema, deberían ser al menos, un nivel más elemental que la evidencia a ser comprendida.[87]

Por último, deben compararse los resultados de la solución en computadora con la evidencia empírica sin ser selectivo en escoger qué características han sido correctamente reproducidas y cuáles no.

En particular para la ciencia económica, estos modelos permiten superar las limitaciones impuestas por el concepto teórico del *homo oeconomicus* al relajar suposiciones idealizadas que, se argumenta, no están empíricamente confirmadas. Otro aspecto valioso de estos modelos, es que permiten ir más allá del modelaje macroeconómico dependiente del agente representativo y establecer relaciones

[87] Por ejemplo, si la distribución de ingresos es el fenómeno a ser explicado, es favorable no incluir el principio de que el rico se hace más rico, por el contrario, sería productivo comenzar con un mecanismo puramente aleatorio y no sesgado a favor de ningún agente en un inicio.

naturales entre los niveles de descripción macro y micro, esto al considerar heterogeneidad, variabilidad espacio-temporal y fluctuaciones que se sabe pueden modificar la dinámica y resultados del sistema, en ocasiones de forma dramática.

Puede decirse que los modelos basados en el agente se constituyen actualmente como la herramienta más innovadora para el modelado de los sistemas que nos interesan, pero puede también que una situación en el futuro, así como ocurrió con la hiperinflación de los años 70 y con la crisis financiera del 2008, ponga en evidencia carencias de esta metodología de modelado. Por lo pronto tampoco puede aceptarse como una verdad absoluta que la mayor especificidad y complejidad de los modelos basados en el agente en comparación a lo que exhibe el modelo dinámico estocástico de equilibrio se constituya como una ventaja ya que el debate sobre el realismo ideal a la hora de plantear un modelo sigue abierto.

7.6 Métodos de solución

Se trata de aquellos métodos utilizados para conseguir soluciones particulares a ecuaciones lineales como aquellas utilizadas para representar las expectativas de un agente sobre una variable determinada en el futuro.

Método de coeficientes indeterminados

Consiste en un método de solución de ecuaciones diferenciales no homogéneas que se aplica haciendo una suposición inicial sobre la forma de la solución de la ecuación, lo que puede encontrarse en la literatura definido como una suposición informada. Esta técnica surge de la hipótesis de que los individuos son capaces de identificar las reglas del juego en el cual participan, esto es equivalente a decir que conocen la teoría relevante para explicar el comportamiento de la variable que interesa proyectar.

La ventaja de este método es su simplicidad, y el hecho de que requiere que el usuario sepa suficiente sobre el problema económico como para formular la suposición correcta, a su vez, esta misma característica constituye una de sus principales desventajas ya que así como para economías lineales es sencillo formular una suposición, puede resultar particularmente complicado, sino imposible, hacerlo en cualquier otro contexto (Collard, 2002).

Método de variación de parámetros de Lagrange

Es otro método general utilizado para solucionar ecuaciones diferenciales no homogéneas lineales. El método de variación de parámetros a pesar de requerir mayor esfuerzo de parte de quien lo aplica, se aventaja de los otros métodos expuestos ya que estos involucran heurísticas y dependen de adivinar correctamente ciertos elementos de la ecuación, además, no necesariamente funcionan con todas las ecuaciones diferenciales lineales que se presenten.

Método Iterativo

Este método permite expresar, a través de un procedimiento sencillo, la influencia de las expectativas del público acerca del comportamiento futuro de alguna variable exógena sobre la variable analizada. El método no ayuda a precisar de modo riguroso el efecto de cambios en las reglas de política sobre las expectativas del público lo que se constituye como una desventaja ante el método de coeficientes indeterminados. Aun así, esta estrategia puede ser útil para plantear problemas en los que solo sea necesario dejar expuesta la naturaleza del proceso de formación de expectativas del público y su incidencia sobre el equilibrio de mercado.

7.7 Definición formal de función de densidad

Una función matemática de la variable aleatoria x_i puede ser considerada una función de densidad si cumple las siguientes condiciones:

a) Si x_i es una variable discreta,

$$f(x_i) \geq 0 \; \forall_i \text{ y } \sum f(x_i) = 1$$

b) Si x_i es una variable continua,

$$f(x_i) \geq 0 \text{ y } \int_{-\infty}^{\infty} f(x_i)\, dx_i = 1$$

7.8 Definición formal de función de distribución

a) Si x es discreta,

$$F(h) = P(x \leq h) = \sum_{x \leq h} f(x)$$

b) Si x es continua,

$$F(h) = P(x \leq h) = \int_{-\infty}^{h} f(x)\, dx$$

7.9 Definición formal del valor esperado condicional

Según Casuso (op. cit) dadas dos variables x, y con función de densidad $f(x,y)$, el valor esperado condicional de x dado y se define como:

$$E(x/y) = \sum_x x f(x,y) \text{ si las variables son discretas}$$

$$E(x/y) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x,y) dx \text{ si las variables son continuas}$$

7.10 Modelo que exhibe fluctuaciones de ciclos de negocios explicadas por fluctuaciones aleatorias pero racionales en las expectativas de las familias y las empresas.

Evans y Honkapohja (2001) brindan un ejemplo de un modelo de expectativas racionales que presenta múltiples soluciones entre las cuales ninguna es explosiva. Considérese el modelo,

$$p_t = \alpha E_t p_{t+1} + \beta m_t + \upsilon_t \text{ con } |\alpha| > 1$$

Si m_t es una variable independiente e idénticamente distribuida con media $\overline{m}$, entonces partiendo de la solución: $p_t = \upsilon_t + \sum_{i=0}^{\infty} \alpha^i E_t m_{t+1}$ se tendrá la siguiente solución de expectativas racionales para este modelo,

$$p_t = (1-\alpha)^{-1} \alpha\beta\overline{m} + \beta m_t + \upsilon_t$$

Pero dando lugar, también, a soluciones con la siguiente forma,

$$p_t = \alpha^{-1} p_{t-1} - \beta\alpha^{-1} m_{t-1} - \alpha^{-1}\upsilon_{t-1} + \varepsilon_t$$

Donde ε_t es un proceso arbitrario observable en el momento t y que satisface $E_{t-1}(\varepsilon_t) = 0$ esta variable es denominada "mancha solar" y el equilibrio correspondiente es denominado "solución o equilibrio de mancha solar" su nombre

hace referencia a la naturaleza arbitraria de la variable. La solución en estos casos depende de ε_t solo porque todos los agentes así lo creen aun cuando no aparece en la estructura básica del modelo.

7.11 Tipos de bifurcación en sistemas caóticos unidimensionales

De acuerdo con Hommes (2013), se exponen algunos tipos de bifurcaciones que pueden surgir en sistemas discretos unidimensionales:[88]

a) Bifurcación de duplicación de período: Corresponde a la creación o destrucción de una órbita periódica[89] con dos veces el período de la órbita original (Tresser, 2014). Es decir, en estos casos, las variaciones del parámetro de bifurcación llevan al sistema a comportarse con el doble de períodos que el sistema original, lo que implica que se requerirán el doble de iteraciones antes de que los valores presentados por el sistema sean repetidos.

b) Bifurcación transcrítica: Corresponde al intercambio de estabilidad de puntos fijos. Puede ilustrarse mediante el siguiente ejemplo:

$$x' = rx - x^2$$

En este caso existe uno ($r = 0$) o dos ($r \neq 0$) puntos fijos, estos son $x = 0$ cuando $r = 0$ que se trata de un punto semi estable y los puntos $x = 0$ y $x = r$ cuando $r \neq 0$ esto quiere decir que $x = 0$ es un punto fijo para todo r. Con respecto al otro punto fijo, cuando $r < 0$, es inestable pero cuando $r > 0$, se convierte en un punto fijo estable. En esto consiste esta bifurcación, la estabilidad del punto fijo sufre modificaciones que dependen de los valores que adopta el parámetro de bifurcación.

c) Bifurcación tridente: Implica el surgimiento de estructuras de solución muy distintas entre sí dependientes del valor que adopta el parámetro. En esta bifurcación el número de estados estacionarios cambia de 1 a 3.

---

[88] Para conocer otros tipos de bifurcación o conocer los mencionados con mayor detalle consultar Hommes (op. cit.).

[89] Una órbita periódica es una solución a un sistema dinámico que se repite en el tiempo.

7.12 Definición formal del exponente de Lyapunov

Sea $x(t)$ un punto del sistema al momento t y sea $x(t) + d(t)$ otro punto tal que inicialmente $\delta(0) = |d(0)| \ll 1$.

En la medida en que pasa el tiempo, la separación $\delta(t)$ entre las dos trayectorias incrementa siguiendo la siguiente expresión:

$$\delta(t) \sim \delta(0) e^{\lambda t}$$

$\lambda > 0$ es lo que denominamos el exponente de Lyapunov. Intuitivamente representa la tasa de separación que existe entre las dos trayectorias que exhibían condiciones iniciales similares.

7.13 Tipos de bifurcaciones en sistemas bidimensionales

De acuerdo con Hommes (2013), los principales tipos de bifurcación en sistemas bidimensionales para el estudio de las dinámicas contenidas en la hipótesis de expectativas heterogéneas son:

a) Bifurcación de nodo silla: Aquella bifurcación que corresponde a la creación y destrucción de puntos fijos. Es la versión para sistemas de dos dimensiones de la bifurcación tangente de sistemas de una dimensión.

b) Bifurcación de Hopf: Esta bifurcación, que no ocurre en mapas unidimensionales, consiste en un punto crítico donde la estabilidad cambia, es decir ocurre un cambio de estable a inestable o viceversa, y donde surge una solución periódica.[90]

7.14 Resolución del sistema de ecuaciones del modelo de la telaraña para uso de Vensim ®

Expectativas racionales

$$a - bp_t + \epsilon_t = sp_t^e \quad (7.4)$$

[90] Esta definición y un desarrollo formal de este tipo de bifurcaciones pueden encontrarse en Strogatz (1994).

$$a - bE_{t-1}p_t = sE_{t-1}p_t \qquad (7.5)$$

$$E_{t-1}p_t = \frac{a}{b+s} \quad (7.6)$$

$$a - bp_t + \epsilon_t = sE_{t-1}p_t \qquad (7.7)$$

$$a - bp_t + \epsilon_t = s\left(\frac{a}{b+s}\right) \qquad (7.8)$$

$$p_t = \frac{a}{b} - s\left(\frac{a}{b+s}\right)\left(\frac{1}{b}\right) + \frac{\epsilon_t}{b} \qquad (7.9)$$

Expectativas heterogéneas

$$a - dp_t = n_1 s p_{t,1}^e + n_2 s p_{t,2}^e \quad (7.10)$$

$$p_{t,1}^e = p_t \qquad (7.11)$$

$$p_{t,2}^e = p_{t-1} \qquad (7.12)$$

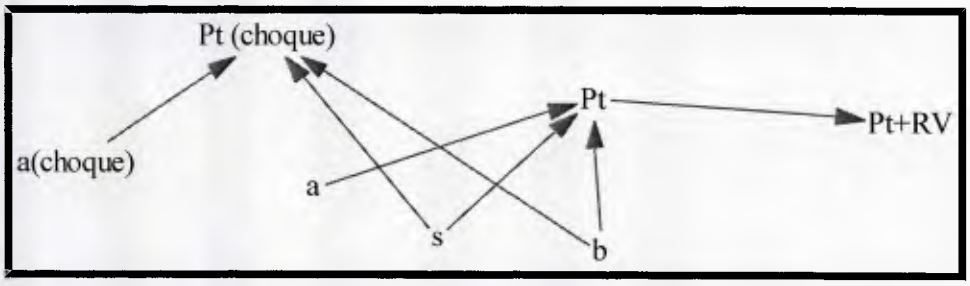
$$a - dp_t = n_1 s p_t + n_2 s p_{t-1} \quad (7.13)$$

$$p_t = \frac{a - n_2 s p_{t-1}}{n_1 s + d} \qquad (7.14)$$

$$p_t - p_{t-1} = \frac{a}{n_1 s + d} - \left(\frac{n_2 s}{n_1 s + d} - 1\right) p_{t-1} \qquad (7.14)$$

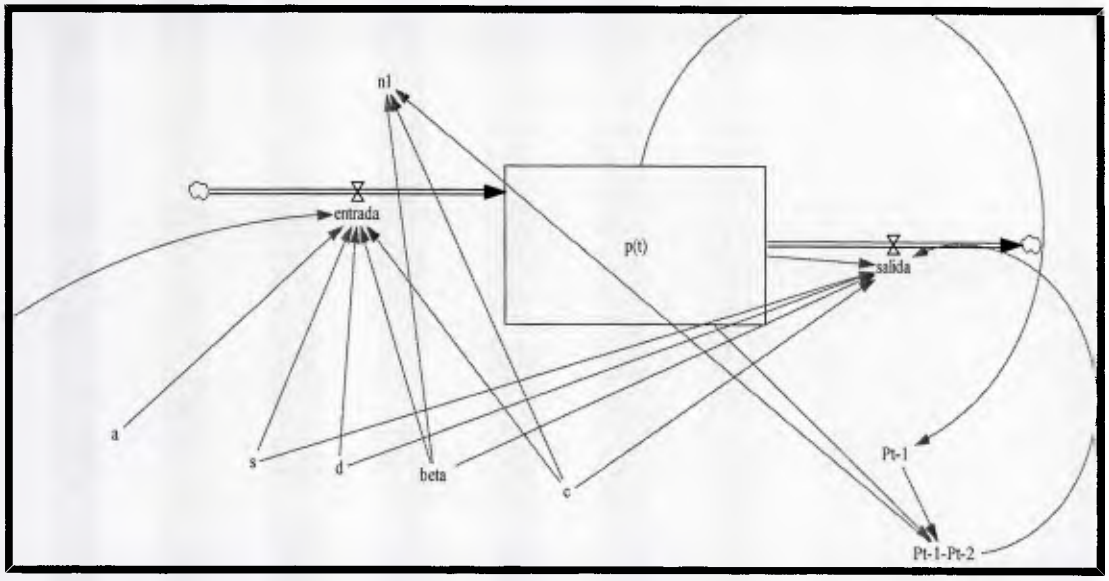
7.15 Diagrama de la simulación en Vensim ®

Expectativas racionales



Fuente: Elaboración propia

Expectativas heterogéneas



Fuente: Elaboración propia