



DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES
POSGRADO EN CIENCIAS ECONÓMICAS

“EXPECTATIVAS COMPLEJAS
ADAPTATIVAS (ECA). UNA
APROXIMACIÓN TEÓRICA DESDE LA
COMPLEJIDAD”

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS
QUE PRESENTA:

ERNESTO XAVIER VERA GÓMEZ

MATRÍCULA: 2181801269

Email: ernesxavier@gmail.com

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS ECONÓMICAS

DIRECTOR: DR. JUAN CASTAINGTS TEILLERY

SINODO:

PRESIDENTE DR. JUAN CASTAINGTS TEILLERY

VOCAL 1 DR. IGNACIO LLAMAS HUITRÓN

SECRETARIO DR. JORGE FEREGRINO FEREGRINO

AZCAPOTZALCO, CIUDAD DE MÉXICO, 20 DE MARZO DE 2020



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

CONSTANCIA DE ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00049

Matrícula: 2181801269

Expectativas Complejas
Adaptativas (ECA). Una
aproximación teórica desde
la complejidad



ERNESTO XAVIER VERA GOMEZ
ALUMNO

REVISÓ

MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

En la Ciudad de México, se presentaron a las 10:00 horas del día 20 del mes de marzo del año 2020 en la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. JUAN CASTAINGTS TEILLERY
DR. IGNACIO LLAMAS HUITRON
DR. JORGE FERREGRINO FERREGRINO

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS ECONOMICAS

DE: ERNESTO XAVIER VERA GOMEZ

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTOR DE LA DIVISION DE CSH

LIC. MIGUEL PEREZ LOPEZ

PRESIDENTE

DR. JUAN CASTAINGTS TEILLERY

VOCAL

DR. IGNACIO LLAMAS HUITRON

SECRETARIO

DR. JORGE FERREGRINO FERREGRINO

Expectativas Complejas Adaptativas (ECA). Una aproximación teórica desde la complejidad.

Resumen

Las finanzas necesitan un cambio de paradigma dentro de la teoría económica para evolucionar como ciencia. Los sistemas complejos enriquecen el marco teórico de la economía aportando conceptos claves que no se toman en cuenta en la dinámica económica. Por ejemplo, la incertidumbre radical, la irreductibilidad computacional, la causalidad recursiva, no linealidad, la heterogeneidad, entre otros. En este sentido, las expectativas son muy importantes para la teoría económica y principalmente para el sistema financiero, porque permiten construir el futuro a través de representaciones sociales. Por tanto, el futuro ya no es solo una sombra estadística del pasado, sino que se construye con las expectativas de los agentes que interactúan en el sistema. En la teoría económica tradicional las expectativas se encuentran dentro de las condiciones iniciales de los modelos teóricos que siguen una dinámica lineal. Es por esto, que se propone una nueva visión de las expectativas que surgen de un proceso complejo adaptativo que se explica en dinámicas no lineales. Este proceso tiene elementos relevantes como la información, incertidumbre, riesgo, procesos cognitivos (heurísticas e imaginario) y la adaptación, dando como resultado la propuesta teórica de las expectativas complejas adaptativas (ECA).

Clasificación JEL: *G00, G10, G19, G40.*

Palabras clave: *Expectativas, Adaptación, Complejidad, Sistemas.*

Complex Adaptive Expectations (CAE). A theoretical approach from complexity.

Abstract

Finance requires a paradigm shift within the economic theory to evolve as a science. Complex systems enrich the theoretical framework of economics contributing to key concepts that are not considered in economic dynamics. For example, radical uncertainty, computational irreducibility, recursive causality, nonlinearity, heterogeneity, among others. Regarding this, expectations are very important for economic theory and mainly for the financial system because these allow building the future through social representations. Therefore, the future is not only a statistical shadow of the past, but it is also built with the expectations of agents interacting in the system. In traditional economic theory, expectations are within the initial conditions of theoretical models that follow a linear dynamic. Therefore, a new vision of the expectations that arise from a complex adaptive process that is explained in nonlinear dynamics is proposed. This process has relevant elements such as information, uncertainty, risk, cognitive processes (heuristic and imaginary ones) and adaptation, resulting in the theoretical proposal of complex adaptive expectations (CAE).

JEL Classification: *G00, G10, G19, G40.*

Keywords: *Expectations, Adaptation, Complexity, Systems.*

Agradecimientos

A mi amiga y novia Jessie por el apoyo y amor que me brinda a la distancia.

A la Sra. Cristina, mi madre, por siempre velar por mi bienestar.

A mi familia.

Al Dr. Juan Castaingts por haberme hecho conocer el mundo de la complejidad.

*A la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y al Posgrado en Ciencias Económicas
por poner a disposición su planta académica e instalaciones.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos financieros
facilitados para mi estancia en México e investigación. CVU: 892577.*

Índice general

1. Economía y Complejidad.	11
1.1. Sistemas Complejos.	11
1.2. Economía vista desde los sistemas complejos.	16
1.3. El cambio de paradigma.	29
2. Sistema financiero como un sistema complejo.	35
2.1. Aproximación del sistema financiero como sistema complejo.	35
2.2. Finanzas del comportamiento.	47
3. Expectativas complejas adaptativas e incertidumbre.	57
4. Conclusiones y agenda pendiente.	73
4.1. Conclusiones.	73
4.2. Agenda pendiente.	77
A. Evolución del pensamiento económico.	78

A.1. Aportes al pensamiento económico 1500 - 1974.	79
A.2. Aportes al pensamiento económico 1974 - 2000.	80
Bibliografía	81

Introducción

La economía como ciencia se ha visto muy limitada con el pasar del tiempo, esto gracias a una estasis modeladora dentro de la dinámica lineal y sus supuestos rígidos. En las finanzas la situación es igual por su fuerte vínculo con el núcleo de la economía tradicional. Solo se pueden obtener resultados aproximados a la realidad, si se supone la realidad que se quiere estudiar, es decir, sin supuestos no hay teoría.

A partir de la propuesta de matematización de la mecánica clásica del siglo XVII es que luego la economía adopta al querer tener su estatus de ciencia. El problema planteado aquí no son los supuestos ni la génesis de la economía como ciencia. El verdadero problema de la economía como ciencia es que se quedó en el tiempo, a pesar de que su objetivo como ciencia, la física y las matemáticas, avanzaban de manera prometedora con el paso del tiempo.

Los modelos financieros en su mayoría se basan en estos supuestos y principios económicos. La idea de agente racional y representativo, las expectativas racionales, mercado eficiente, equilibrio y dinámica lineal ergódica son algunos de los supuestos que se usan en economía y por su puesto en las finanzas, pero ¿en realidad nos comportamos de esa manera?, ¿somos perfectamente racionales al tomar decisiones?, ¿siempre tendremos el resultado prediseñado por la teoría? Son preguntas que dentro de economía con el avance de la teoría ya han sido puestas a prueba con los trabajos en economía del comportamiento y la neurociencia.

La presente investigación tiene como objetivos:

- Examinar a la economía como ciencia desde la perspectiva de los sistemas complejos

adaptativos.

- Exponer el funcionamiento del sistema financiero como un sistema complejo.
- Proponer una idea de expectativas basadas en un proceso complejo y adaptativo para entender de una mejor forma al sistema económico y financiero.

Lo que busca este trabajo es plantear el cambio de paradigma en la modelación dentro de la teoría económica y a su vez en el sistema financiero. Se pone en evidencia la necesidad de nuevas herramientas que permiten hacer mejores aproximaciones a través del enfoque de los sistemas complejos adaptativos. Existen nuevas propuestas de modelación como lo son la modelación basada en agentes y la teoría de sistemas o redes, ayudado con las ideas de la economía del comportamiento y la neurociencia. Este cambio de paradigma es importante para la teoría económica moderna, se realiza la importancia de las expectativas en marcos de incertidumbre y cambios en el comportamiento humano.

Se establece una propuesta dentro de la teoría económica a través de lo que creemos que es un componente del núcleo de la toma de decisiones: las expectativas. La hipótesis de trabajo es que las expectativas en la modelación económica no son tomadas con la relevancia que estas tienen dentro de la economía. Se las reduce, en el mejor de los casos, a un carácter estático o dado desde las condiciones iniciales dentro de la dinámica lineal. Se busca proponer una nueva idea de expectativa: las expectativas complejas adaptativas (ECA). Estas permiten que el sistema se reproduzca a través de un sendero homeostático, alejándonos así de la idea tradicional de equilibrio y racionalidad como en la teoría dominante. Se expone que la generación de las expectativas desde su génesis es un proceso complejo adaptativo y que en el agregado pueden llegar a formar un fractal.

La investigación está dividida en tres secciones. La primera sección hace un abordaje de la economía a través de los sistemas complejos, estableciendo varios conceptos que aportan una visión más amplia y menos restrictivo que el de las diferentes escuelas del pensamiento económico. La segunda sección establece al sistema financiero como un sistema complejo, donde se toman elementos de la complejidad y algunos de la economía del comportamiento

para tratar de describir de forma breve el funcionamiento del sistema financiero como un conjunto de redes que se modifican con la generación de las expectativas. La tercera sección se hace una propuesta de expectativas, las expectativas complejas adaptativas (ECA). Estas expectativas son el resultado de un proceso complejo que toma en cuenta la incertidumbre, el riesgo, el proceso cognitivo (con un componente imaginario) y la información, haciendo relevancia el papel que esta última juega y como las expectativas de otros agentes se convierten en información para otro agente. Lo que produce causalidad recursiva gracias a la reflexividad y falibilidad que tiene todo sistema donde interactúan seres humanos, lo que permite que el sistema se pueda reproducir.

Capítulo 1

Economía y Complejidad.

1.1. Sistemas Complejos.

La filosofía de la ciencia, que investiga la naturaleza del conocimiento y la práctica científica, ha evolucionado con el pasar del tiempo, tratando de responder ¿qué es la ciencia?, ¿cómo surge? Dos escuelas filosóficas buscaron una respuesta en su inicio: el empirismo lógico y el racionalismo crítico¹. Este solo fue el inicio de lo que hoy conocemos como metodología de investigación, de los cuales se derivaron el pensamiento inductivo y deductivo².

Este camino de la metodología nos ha conducido a lo que hoy llamamos ciencia de la complejidad. La complejidad siempre ha existido, no obstante, su descubrimiento como ciencia no fue hasta el desarrollo de las matemáticas de sistemas y su aplicación a la física al intentar explicar los sistemas colectivos, debido a que anteriormente se aislaba a las partículas para estudiar su comportamiento. Es decir, que se empezaron a estudiar ya no de manera individual a las partículas, sino que como funcionan dentro de su sistema en el que

¹El apéndice de la tesis doctoral “*Decoding Complexity, Uncovering Patterns in Economic Networks*” de Glattfelder (2013), hace un buen abordaje de la filosofía de la ciencia y la metodología de sistemas complejos.

²La noción de inducción se debe a que se parte de observaciones individuales para obtener leyes naturales, mientras que la deducción parte de leyes abstractas para lograr describir hechos tangibles. La inducción es observar los elementos de forma empírica y a partir de esas observaciones se inducen leyes generales del comportamiento, mientras que la deducción es a partir de hipótesis y supuestos. La inducción por sí misma tienen muchas veces tienen un componente deductivo.

se desenvuelven.

La biología y la teoría de la evolución de Charles Darwin fueron aportaciones que también impulsaron el desarrollo y entendimiento de los sistemas complejos. Por ejemplo, al estudiar a los seres vivos como un conjunto de especies diferentes que interactúan en un ecosistema. Luego sus aplicaciones trascendieron a otras ciencias como la antropología, computación, química, finanzas, economía, sociología, etc.; utilizando los conceptos desarrollados y adaptándolos a las estructuras del sistema de interés dentro de estas ciencias.

Pero, ¿qué es un sistema complejo? Partiremos de la premisa de que los mundos complicados son reducibles³, mientras que los complejos no lo son. Esto se debe a que un sistema “complicado” se puede separar en cada uno de sus componentes para ser estudiado, es decir, la relación que tienen sus componentes no es relevante, mientras que en un sistema complejo la relación que tiene cada uno de sus componentes es igual de importante que el componente en sí.

Un sistema complejo es un sistema formado a partir de muchos componentes cuyo comportamiento es emergente, el comportamiento del sistema no puede ser simplemente inferirse a partir del comportamiento de sus componentes. La cantidad de información necesaria para describir el comportamiento de un sistema de este tipo es una medida de su complejidad (Bar-Yam, 2019).

En el nivel más básico, el campo de los sistemas complejos desafía la noción de que entendiendo perfectamente el comportamiento de cada componente de un sistema, entonces vamos a entender el sistema en su conjunto (Miller y Page, 2009).

Pero ¿por qué los sistemas complejos no pueden entenderse sin estudiar a sus agentes, así como a sus relaciones?, esto se debe a la importancia que tienen tanto los agentes como

³En un mundo complicado, los diversos elementos que componen el sistema de mantener un grado de independencia el uno del otro. Por lo tanto, la eliminación de uno de tales elementos (que reduce el nivel de complicación) no altera fundamentalmente el comportamiento del sistema aparte de la que fue resultado directo de la pieza que se ha eliminado. La complejidad surge cuando las dependencias entre los elementos se vuelven importantes. En tal sistema, la eliminación de uno de tales elementos destruye el comportamiento del sistema en una medida que va más allá de lo que se materializa por el elemento particular que se retira (Miller y Page, 2009).

las relaciones. Todas las relaciones no son importantes, ni todos los agentes. Esto dependerá del grado de relevancia o importancia (puede verse también como poder económico, político, social o influencia) que los agentes poseen dentro de la estructura del sistema. Los procesos de adaptación que sufre el sistema, dada esta particularidad, los agentes producen ciclos recursivos o de adaptación dentro del sistema. Los agentes aprenden del proceso sistémico de sus relaciones con otros agentes. Además, las relaciones nos pueden llegar a decir que tan complejo es el sistema de interés a estudiar, una primera aproximación es que a mayor número de relaciones más complejo es un sistema, se consideran sistemas compuestos por agentes interactuantes descritos en términos de reglas. Estos agentes se adaptan cambiando sus reglas cuando acumulan experiencias.

Para estudiar los sistemas complejos adaptativos (SCA)⁴, Holland (2004) establece que se deben tener en cuenta tres propiedades esenciales que estos poseen y se pueden estudiar usando cuatro mecanismos.

Entre las propiedades tenemos:

- **No linealidad:** a grandes rasgos, linealidad⁵ significa que se puede obtener un valor para el todo sumando sus partes. En las matemáticas, como en sus aplicaciones, se busca simplificar a través de funciones lineales usando aproximaciones lineales cuando la linealidad no puede ser establecida de manera directa. Las interacciones no lineales, en su mayoría de veces, provoca que el comportamiento de un agregado sea más complicado de lo que se prevé
- **Flujos:** al hablar de un sistema debemos tener en cuenta que es un entramado de nodos y conectores (agentes y relaciones). En los SCA los flujos a través de las redes del sistema varían con el paso del tiempo, esto gracias a que los nodos y conectores pueden llegar a crearse o destruirse, dependiendo si los agentes fracasan o tienen éxito

⁴En biología, la palabra "adaptación" se define como el proceso por medio del cual un organismo se amolda a su medio ambiente. En términos aproximados, la experiencia guía los cambios en la estructura del organismo de manera que, con el paso del tiempo, éste hace mejor uso del medio ambiente para alcanzar sus propios fines.

⁵Una función es lineal si su valor, para cualquier conjunto de valores asignados a sus elementos, es simplemente una suma ponderada de esos valores.

en su proceso de adaptación dentro del sistema. Por tanto, ni los flujos ni las redes permanecen inmutables a través del tiempo: son patrones que reflejan los cambios provocados por el proceso de adaptación a medida que pasa el tiempo y se acumulan experiencias.

- **Diversidad:** la diversidad no es accidental ni aleatoria. En los SCA la diversidad es un patrón dinámico que a diferencia de un estado estacionario en donde los patrones se mantienen iguales y no evolucionan, y esto es gracias a la consecución de adaptaciones que se tiene dentro del sistema⁶.

Todos los SCA cumplen estas propiedades básicas, de no ser así, no estaríamos hablando de un sistema interconectado, no habría flujos ni intercambio de información entre los agentes y fuera un sistema lineal simple de causa y efecto, sin recursividad o aprendizaje que produzca luego la adaptación. La diversidad es vital en los SCA, caso contrario en una crisis puede desaparecer todo ese sistema, ya que todos los agentes son iguales y toman las mismas decisiones.

Por otro lado, los mecanismos son:

- **Agregación y desagregación:** los SCA se pueden descomponer para crear modelos, se basa en la clasificación de una sola categoría, agentes que difieren solo en ciertos detalles excluidos, esto permite incrementar la habilidad de discernir el mecanismo que permite a los agentes simples formar agregados altamente adaptables.
- **Etiquetado:** es un rasgo importante que posee los SCA, facilita la interacción selectiva y permite a los agentes seleccionar a otros agentes. También permite la supervivencia para la agregación y la formación de las fronteras de los SCA.

⁶John Holland establece que, a grandes rasgos, cada clase de agente llena un nicho, el cual es definido por las interacciones que se centran sobre el agente. Si removemos una clase de agentes del sistema, creando un agujero, el sistema con toda seguridad responderá con una cascada de acciones de adaptación, y el resultado será la creación de otros agentes, los cuales “llenarán el hueco”. Los nuevos agentes que ocupen el nicho desocupado por los agentes muertos o removidos inmediatamente proporcionarán al sistema, las interrelaciones faltantes. Este proceso es similar al fenómeno llamado convergencia en biología.

- **Modelos internos:** los modelos internos hacen referencia al mecanismo que tienen los SCA de anticiparse a posibles eventos surgidos en el sistema. De acuerdo con Holland (2004), se distinguen en dos clases: tácitos y manifiestos. Un modelo interno tácito simplemente describe una acción actual motivada por la predicción implícita de algún estado futuro deseado. Un modelo interno manifiesto se utiliza como una base para las exploraciones explícitas, pero internas, de alternativas. Este proceso frecuentemente es llamado “*lookahead*”. Un ejemplo típico del lookahead lo constituye la exploración mental de las posibles secuencias de movimientos durante un juego de ajedrez, realizada antes de mover una pieza. Los modelos internos nos permiten inferir algo acerca del objeto de estudio y la estructura de la que inframos el medio ambiente también determina activamente la conducta del agente.
- **Bloques de construcción:** se basa en la forma de descomponer un SCA por sus componentes, para así estudiar la interacción de ellos, con esto podemos descubrir las leyes a las que están sujetos los agentes dentro de un SCA.

Estos cuatro mecanismos nos permiten estudiar de mejor manera un sistema, lo cual en economía es la clave para entender el funcionamiento de los diferentes ecosistemas en donde se desarrollan los agentes de interés. Aquí no hay cabida para el “*ceteris paribus*”, ni para los supuestos restrictivos. El uso de las herramientas tradicionales dentro de las ciencias sociales ha estado limitado en modelar de forma extraña, donde se encuentran en situaciones estáticas y/u homogéneas dentro de la dinámica lineal. Están compuestas de muy pocos o infinitos agentes y estos agentes son proféticamente o muy inteligentes, con grandes capacidades de procesar una basta información o totalmente ignorantes que desconocen su papel en el sistema. Además, estos agentes se desenvuelven en un sistema en donde el espacio y el tiempo tienen una connotación especial⁷.

Por supuesto que tales simplificaciones en la ciencia muchas veces son una virtud, pero esto es siempre y cuando esas simplificaciones sean hechas de manera correcta y objetiva. En las ciencias rígidas como la física, química o las matemáticas es más sencillo hacerlas,

⁷Ver la demostración de la existencia del equilibrio general competitivo de Arrow y Debreu (1954).

esto se debe a que los objetos de estudio se rigen a por leyes naturales a diferencia de los seres humanos que nos regimos por nuestro razonamiento y emociones. Esto vuelve mucho más difícil hacer simplificaciones, y buscamos explicar el mundo en algún punto entre dos extremos.

El objetivo de estudiar la economía a través de los sistemas complejos es el interés que se encuentra en algún punto entre la estasis y el caos total, ya que el mundo no tiende a ser completamente estático o regido por el azar (caos total), sino que nuestros sistemas sociales se encuentran en algún punto entre estos dos estados.

1.2. Economía vista desde los sistemas complejos.

La economía de la época industrial en el siglo XVIII y XIX tuvo dos direcciones: la primera recorrida por Karl Marx luego de que la economía política clásica de Adam Smith y David Ricardo ya no pudo explicar la propiedad de los factores de producción a través del trabajo. Se basó en un análisis histórico y con un enfoque de la dominación de capital sobre el ser humano a lo que llamo explotación. El segundo, basado en el reduccionismo o simplificación matemática que emulaba la mecánica clásica de las ciencias naturales, donde se ignoraba casi por completo el comportamiento de las personas, lo que fue base para el modelo estándar de la actualidad.

Se debe destacar de Adam Smith (1776) y Karl Marx (1867) es que trabajaron de cierta forma los sistemas complejos, sin saber de su existencia. La “mano invisible” de Smith (1776) denota el proceso por el cual las decisiones de muchos individuos obtienen un resultado no intencionado dentro de un sistema que está interconectado. Pero, esta idea de mano invisible no sigue la secuencia, como lo plantea la economía dominante, que a través de las elecciones individuales se alcanza un equilibrio que es óptimo paretiano y se traduce en el máximo bienestar de la sociedad. Desde los SCA podemos decir, que esta mano invisible es la homeostasis del sistema. De manera similar, Marx estudia al proceso económico como un sistema, solo que en este destaca la dominación de unos hacia otros a través del poder de las

clases sociales, esto es gracias a que las relaciones son jerárquicas, las mismas que obedecen a las clases sociales en las que se encuentra clasificada la red del sistema.

Decir que el desarrollo del enfoque neoclásico ignoró el aspecto humano, es decir, que era un producto de su época. La aritmética, escribe el historiador Eric Hobsbawm (1999), fue la herramienta fundamental de la revolución industrial⁸. El valor de una empresa se determina por las operaciones de suma y resta: la diferencia entre el precio de compra y el precio de venta; entre los ingresos y gastos; entre la inversión y la rentabilidad (Bookstaber, 2017b).

Este uso de la aritmética fue llevado más allá de utilizarlo en las empresas de la época, si no que se abrió camino en la política y la moral. El filósofo inglés Jeremy Bentham en su texto titulado “*An Introduction to the Principles of Morals and Legislation*” publicado en 1789, propuso que el dolor y el placer podían ser medidos y así tener el nivel de felicidad de las personas⁹. Esto fue punto de partida para la teoría de William Jevons, que luego se abrió paso por los marginalistas al estudiar la intensidad y duración de una unidad adicional en consumo o en la producción.

El modelo dominante (neoclásico) por su parte, sobresale en el uso de matemáticas cada vez más sofisticadas. Donde existe individuos racionales, y destacan su simplificación o reduccionismo a un agente representativo que conoce todas las probabilidades de eventos futuros a los que puede anticiparse, tomando la mejor decisión de todas las posibles. Pero todo es racional, hasta que no lo es; el mismo criterio se aplica en economía: los modelos

⁸Luca Paciole en 1494 publica la “La Summa” que es considerada la primera enciclopedia de matemáticas puras y aplicadas, y da lugar a la partida doble, considerando el nacimiento de la contabilidad.

⁹Para Jeremy Bentham el dolor y el placer podían ser objeto de medición de acuerdo con:

1. Su intensidad.
2. Su duración.
3. Su certeza o incertidumbre.
4. Su proximidad o lejanía.
5. Su fecundidad.
6. Su pureza.
7. Su extensión; es decir, el número de personas a las que se extiende; o (en otras palabras) a quienes afecta.

económicos funcionan, hasta que lo dejan de hacer.

Lo que nos lleva a decir: el enfoque apropiado para estudiar la economía es tomar la incertidumbre y la complejidad resultante de los procesos del sistema económico, analizando los diferentes subconjuntos de interacciones dadas dentro de los diferentes procesos sistémicos. Para así incorporar a los nuevos modelos lo aprendido de los anteriores, y así sucesivamente en varios ciclos de adaptación.

Hay que tener en cuenta que los sistemas no solo son adaptables, sino que también pueden llegar a ser autoorganizados¹⁰, esto dependerá del nivel de cohesión del sistema. Es decir, qué tan robusto es el sistema a posibles cambios inesperados, y pueden ser producto de las relaciones de sus agentes o un shock externo al sistema.

Para esto retomaremos el concepto de Holling (2001) de “*Panarquía*”. La panarquía explica el carácter evolutivo de los SCA a través de estructuras jerárquicas. Los diferentes sistemas (biológicos, económicos, sociales, etc.) están relacionados entre sí en interminables ciclos de adaptación al crecimiento, acumulación, reestructuración y renovación. Estas relaciones forman ciclos de transformación o de adaptabilidad.

La panarquía describe cómo un sistema socio-ecológico saludable puede inventar y experimentar, beneficiándose de invenciones que crean oportunidades mientras se mantiene a salvo de aquellos que desestabilizan el sistema debido a su naturaleza o exuberancia excesiva. Cada nivel puede operar a su propio ritmo, protegido desde arriba por niveles más lentos y grandes, pero vigorizado desde abajo por ciclos de innovación más rápidos y pequeños. Toda la panarquía es, por lo tanto, creativa y conservadora. Las interacciones entre ciclos en una panarquía combinan el aprendizaje con la continuidad. Si se puede entender estos ciclos y sus escalas, parece posible evaluar su contribución a la sostenibilidad y para identificar los puntos en los que un sistema es capaz de aceptar un cambio positivo y los puntos en los que es vulnerable (Holling, 2001).

¹⁰ “Autoorganización” es un término que caracteriza el desarrollo de SCA, en los que son múltiples resultados posibles dependiendo de accidentes o emergencias surgidos por los diferentes procesos dentro del sistema. La diversidad y la individualidad de componentes, interacciones localizadas entre los componentes, y un proceso autónomo que utiliza los resultados de esas interacciones locales para seleccionar un subconjunto de esos componentes para la mejora son características de los SCA (Holling, 2001).

Estos ciclos de adaptación tienen tres propiedades:

1. Potencial inherente de un sistema a posibles cambios, este determina la cantidad de opciones futuras. Holling (2001) lo llama también riqueza del sistema, que a la vez está ligado con la diversidad, de acuerdo con Holland (2004).
2. Capacidad de control interno del sistema, es el grado o nivel de conectividad de los agentes y los procesos dentro del sistema, este permite determinar el nivel de flexibilidad y rigidez a dichos controles.
3. Capacidad de adaptación o resiliencia, es decir, la resistencia del sistema mide el grado de vulnerabilidad del sistema a posibles perturbaciones inesperadas e impredecibles.

El potencial o riqueza determina los límites del sistema, la controlabilidad, el grado en que el sistema tiene control de sí mismo y la resiliencia explica cómo el sistema puede adaptarse y superar las adversidades que se le presenten.

A estas tres propiedades habría que agregar la existencia de atractores en los sistemas dinámicos. Los atractores pueden llegar a ser un agente o estrategia, o un conjunto de agentes o estrategias a los cuales el sistema tiende a evolucionar. En este caso, la panarquía puede tener atractores hacia las cuales pueden fluir las trayectorias evolutivas de los ciclos de adaptación.

Este enfoque de estudio no se basa en un mundo matemáticamente definido y simplificado donde todo es casi perfecto y no hay cabida a las crisis, no es ergódico. Las crisis es una característica recurrente en los modelos “humanos”. Modelos donde la diversidad de agentes y sus tomas de decisiones pueden generar externalidades positivas o negativas al sistema.

Los sistemas económicos se diferencian de otros sistemas por los seres humanos, quienes dan tres características que los diferencian de otros sistemas:

1. Previsión e intencionalidad: la previsión y la intencionalidad humana pueden producir reducciones radicales o incluso eliminar las crisis o auges de algunos ciclos. Esta carac-

terística transmite información sesgada en el sistema, implica que va a depender de los intereses de poder de uno o varios agentes. En economía esto puede producir políticas económicas que beneficien a un sector o un partido político en concreto mientras perjudican a otros.

2. La comunicación: existe desde el nivel celular, es la transferencia de información obtenida por la experiencia del aprendizaje. Son patrones que se forman y a medida que pasa el tiempo se vuelven en ecosistemas autoorganizados que se repiten una y otra vez con variaciones según el agente se adapte aportando ideas y experiencia.
3. La tecnología: a diferencia de otros sistemas con otros seres vivos, los sistemas donde interactúan los humanos, la influencia, se amplifica con el desarrollo de la tecnología. Produciendo que los procesos en los que estos interactúan unos con otros se vuelven más complejos. La toma de decisiones se vuelve más compleja a medida que la tecnología se desarrolla. Esto se debe a la evolución de la tecnología, lo que ha cambiado no solo las herramientas y métodos de comunicación del sistema, sino que también las reglas de este.

Hay que tener en cuenta que la panarquía puede colapsar. Puede deberse a eventos estocásticos externos, a un ciclo de adaptación, los que pueden generar crisis espasmódicas y más aún si se dan cuando se sabe que el sistema tiene vulnerabilidades que no han sido atendidas a tiempo. Si a esto le agregamos las tres características de los sistemas económicos, tendríamos periodos de recesión muy extensos como los que se están viviendo a nivel mundial desde 2008, sin tener soluciones que ayuden a superar en su totalidad el problema. Claramente, aquí se ve la intencionalidad de unos agentes y la previsión de otros, que utilizan diferentes canales de comunicación y que la tecnología hace que el efecto de las decisiones tomadas se amplifique de manera exponencial.

Richard Bookstaber en su texto publicado en 2017 “*The end of theory*”, plantea cuatro conceptos que llevan a los sistemas económicos a las crisis, o como él los llama: los cuatro jinetes del apocalipsis económico, que son: los fenómenos emergentes, la no ergodicidad, la

incertidumbre radical¹¹ y la irreductibilidad computacional. En los SCA no solo se manifiestan en las crisis, sino que también son producto de la interacción de los agentes en el sistema.

Los fenómenos emergentes surgen de la dinámica de todo el sistema de una forma no prevista por ninguno de los agentes, y no es tan simple como la agregación¹² del comportamiento de todos los individuos del sistema; sino que se crean eventos sin orden y dan cabida al caos muchas veces. Las emergencias son resultado de la retroalimentación y las cascadas (o efectos de dominó) de eventos y estos se producen cuando el agregado de las acciones de los agentes es diferente a lo que ellos están haciendo en el sistema, es decir que las acciones del sistema difieren de las acciones de los individuos. Por ejemplo, una crisis financiera es una emergencia, los agentes quieren obtener ganancias de la compra y venta de los diferentes activos financieros que se negocian en los mercados financieros, pero ninguno quiere una crisis porque eso no tiene nada que ver con su objetivo de tener ganancias.

Al decir que no es ergódico se refiere a que un proceso ergódico es el mismo siempre, es decir pase lo que pase se va a seguir dando, no cambia con la experiencia o el pasar del tiempo. De por sí nuestro mundo no es ergódico y los economistas nos aferramos a que los modelos económicos que elaboramos lo sean. Si la inversión fuera un proceso ergódico, se tuviera la misma distribución de la riqueza en cada periodo sin importar el tiempo en que se la haga. Las expectativas racionales plantean un modelo para un problema ergódico con una distribución de probabilidad fija, haciendo un reduccionismo codicioso de la realidad en que se plantea.

La incertidumbre radical está presente en todas partes y en todo momento. De por sí, los fenómenos emergentes y los procesos no ergódicos del sistema crean incertidumbre. Si a eso le sumamos el comportamiento humano en sus diferentes acepciones, tendremos las inconsistencias que se producen por la incertidumbre radical creada. No existe un modelo completo o general en economía, todos y absolutamente todos sufren de incertidumbre. Kurt Gödel

¹¹ Asumir que la incertidumbre es radical da a entender que existen grados de incertidumbre, lo que no es correcto, ya que la percepción de la incertidumbre puede ser diferente entre las personas, pero la incertidumbre no puede ser medida. No se puede atribuir distribuciones de probabilidad para eventos futuros inanticipables.

¹² La suma de sus componentes no es igual al total de sus partes.

demostró a través de la crítica hecha a texto de Bertrand Russell y Alfred North Whitehead (1910) “*Principia Mathematica*” de más de 1.800 páginas, donde ellos buscaban proporcionar una lógica general para todas las matemáticas, argumentando que cualquier sistema formal es rico en contenido y que estos pueden demostrar su consistencia si y solo si este es inconsistente¹³. La incertidumbre radical es parte de la naturaleza del ser humano, ya que no sabemos hacia dónde vamos muchas veces y tampoco sabemos cómo nos comportaremos una vez que lleguemos allí.

En la teoría económica como ciencia, Frank Knight (1921) en su libro titulado “*Riesgo, Incertidumbre y Beneficio*” acuñó el concepto de incertidumbre, haciendo referencia a eventos imprevistos a los cuales no se les puede atribuir alguna distribución de probabilidad.

La irreductibilidad computacional se refiere a problemas que no tienen atajos matemáticos. La única forma es ejecutar paso a paso todas las líneas del programa, tal cual lo hace una computadora. Si un sistema fuera reductible computacionalmente, podría ser descrito por algunas fórmulas matemáticas que den el mismo resultado en cualquier momento del tiempo en que se ejecuten sin tener que ejecutar todos los procesos, lo que nos lleva a una simplificación de procedimientos.

Estos cuatro jinetes son los que rompen los cimientos de la teoría neoclásica cuando el sistema económico entra en crisis, y esto se debe a que los modelos económicos no toman en cuenta un factor fundamental al hacer la modelación: las expectativas de un sistema compuesto por humanos. Pero la razón tampoco está en las otras escuelas del pensamiento económico, en realidad hay que usar bloques de construcción para reconstruir a la economía y hacerla más humana.

Las interacciones sociales que se dan en el sistema económico es lo que hace que el sistema se diferencie de otros sistemas biológicos. La experiencia y heurística son parte de la naturaleza humana y cuando se mezcla con las interacciones sociales y la comunicación crean complejidad que excede nuestros límites de comprensión de un problema.

¹³Lo que se conoce como el teorema de Gödel: Si es lógico no es completo, si es completo no es lógico.

El comportamiento de los agentes está alejado de la realidad económica que propone la economía tradicional. El *homo economicus* deductivo racional no cabe en un enfoque donde la interacción de los agentes genera complejidad en el sistema. Se plantea un ser perfecto que es omnisciente, capaz de procesar toda la información disponible y tomar así la mejor decisión. Es por esto por lo que Eric Beinhocker (2007), propone la racionalidad inductiva propuesta por Arthur y cols. (1997) que tiene en cuenta la reflexividad de Soros (2015). Esta racionalidad¹⁴ cumple expectativas temporales que dan paso a nuevas hipótesis cuando dejan de cumplirse. La inducción es esencialmente un razonamiento por reconocimiento de patrones. Se sacan conclusiones de un cúmulo de evidencia. Esto se debe porque la historia es importante, los hechos vividos o narrados son de vital importancia. No solo los números fríos de un cálculo, sino que el contexto de donde fueron tomados esos números nos decantará por una u otra alternativa.

La ciencia cognitiva moderna ve a la mente humana desde dos aristas: la mente humana es un órgano de procesamiento de información, es decir que computa información disponible y la evolución de este es producto de la historia y el entorno en el cual evoluciona, en este sentido el ser humano no solo es bueno reconociendo patrones, sino que también es bueno completándolos.

Para la economía del comportamiento existen modelos mentales, y cada uno de los individuos tiene su modelo para cada realidad que elabora según sus heurísticas, vivencias y aprendizaje. Lo que implicaría que es imposible agregar el comportamiento de todos y reducirlo a un solo individuo, como lo hace la teoría económica tradicional.

El sistema económico es un sistema evolutivo gracias a que los seres humanos evolucionamos, no es un sistema autónomo. Nicholas Georgescu-Roegen en su obra "*La ley de la entropía y el proceso económico*" publicado en 1971, es el primer autor que declara a al sistema económico como un sistema que evoluciona. Este está subyugado al sistema natural debido a que está incrustado en la sociedad y la sociedad está sujeta a las leyes naturales. Entonces, el proceso económico, como cualquier otro tipo de proceso en la vida, es irreversible.

¹⁴Hay otras ideas sobre la racionalidad, como la racionalidad limitada de Simon (1955), la racionalidad natural de Darley y Kauffman (2018) o la racionalidad ecológica de Goldstein y Gigerenzer (2002).

ble e irrevocable, de acuerdo con la ley de la entropía¹⁵. Esto explicaría por qué no se puede explicar solo en términos mecánicos.

Para Georgescu-Roegen (1996), la oposición irreductible entre la mecánica y la termodinámica radica en la segunda ley, la ley de la entropía. Ninguna otra ley ocupa una posición tan singular en la ciencia, es la única ley natural que reconoce que aun el mundo material este sujeto a un cambio cualitativo irreversible, lo que implicaría la idea de un proceso evolutivo.

La entropía explicaría en realidad la escasez en la economía, ya que esta explica por qué no se puede utilizar un recurso natural, bien o servicio infinitamente, sino que tienen una vida útil y que su desgaste y agotamiento es un proceso irreversible. A través de la entropía demostró la inconsistencia del supuesto de sustitución perfecta de los factores que propone la teoría dominante, y esto lo soluciona incluyendo los recursos naturales como los desperdicios que se producen por el proceso productivo, esto implica que ya el proceso económico no se da en un sistema cerrado, sino como un sistema abierto.

La economía es un sistema abierto que tiene energía, a diferencia de la economía tradicional que plantea un sistema cerrado. Es decir que el sistema económico es un sistema en desequilibrio que combate a la entropía presente en él. La homeostasis es lo que permite que el sistema no colapse y se mantenga, el sistema económico se alimenta de energía, materia y conocimiento. La homeostasis es un sendero que permite la reproducción del sistema.

Las limitantes humanas se traducen en limitantes para el sistema y son uno de los motivos de porque los modelos económicos fallan al entrar en crisis. Es por esto por lo que la modelación usada tradicionalmente se ve limitada, por no decir obsoleta al querer explicar una realidad económica del sistema que sale de los supuestos restrictivos que plantean al hacer los modelos.

El auge de las ciencias de la computación ha permitido hacer simulaciones con autómatas celulares, o también llamados “*Modelos Basados en Agentes*” (MBA). En estos modelos se plantean agentes que hacen su propio camino y a su vez van haciendo ajustes durante el

¹⁵La entropía mide la cantidad de orden que hay en un sistema. Es decir, si el “desorden” aumenta, la entropía también lo hace (Ball, 2008).

camino gracias al aprendizaje de las interacciones que tienen con otros agentes. Permite estudiar el proceso de adaptación dentro del sistema que se torna complejo con el pasar del tiempo, además de descartar los comportamientos axiomáticos en una ciencia social como lo es la economía.

Muchas de las decisiones que tomamos en realidad no las hacemos de manera racional, o porque somos unos excelentes optimizadores¹⁶, sino por heurística. Esta heurística es basada en el aprendizaje de hechos ya vividos, que no necesariamente son en carne propia, sino también por experiencias de terceros. Las heurísticas no toman en cuenta la información per se, son reglas preestablecidas o estrategias¹⁷.

La economía desde su génesis ha sufrido varios cambios, a lo que llamaría Eric Beinhocker (2007) el algoritmo de evolución¹⁸ de la economía como ciencia. Él plantea que la economía se trata de un organismo vivo, al igual que en la biología lo sería un ecosistema. En el apéndice (A.1) y (A.2)¹⁹ se muestra, a grandes rasgos, la evolución del pensamiento económico a través de una línea de tiempo de forma reducida.

Gran parte de la teoría económica de la elección implica colocar axiomas en el comportamiento de elección y desarrollar teorías de valor a las que corresponden estos axiomas. Las teorías del valor, que incorporan objetos como la utilidad esperada, son, por supuesto, objetos conceptuales. Para un economista, son herramientas matemáticas para predecir la elección y nada más. No son eventos físicos reales o cosas que se puedan medir directamente (Glimcher y Fehr, 2013).

La economía neoclásica es la escuela dominante hasta la actualidad, toma la idea de la mano invisible de Smith (1976)²⁰ y la formalizan con los métodos de la mecánica clásica de

¹⁶Según Arthur, Durlauf, y Lane (2015) la teoría tradicional tiene una base cognitiva unitaria de acuerdo a su racionalidad y su capacidad de optimizar.

¹⁷Tiene relación con el pensamiento rápido o sistema 1 que propone Kahneman (2013) o racionalidad ecológica de Goldstein y Gigerenzer (2002).

¹⁸Para él, el algoritmo evolucionista se basa en: diferenciar, seleccionar y amplificar

¹⁹Cabe destacar que en los cuadros faltan economistas destacados como Solow, Schumpeter, Kaldor, Samuelson, Timbergen, Koopmans, Ramsey, entre otros que se desarrollaron como teóricos, pero que se basaron en ideas de los fundadores de las principales escuelas de la economía.

²⁰Pero no tomaron en cuenta “*La teoría de los sentimientos morales*” de Smith (2004), sino el planteamiento fuera distinto.

la física, añadiendo las ideas de los utilitaristas y marginalistas²¹. Este vendría ser el inicio del alejamiento de la realidad con aras de adentrarse y producir conocimiento científico. La idea del equilibrio general se vuelve la piedra angular de la economía, pero a su vez se vuelve en su punto débil por ser abstracta, estática y restrictiva o en el mejor de los casos dentro de la idea de dinámica lineal. Se basa en la idea de equilibrio intertemporal, donde no hay tiempo ni espacio, lo que luego será el nicho de la mayoría de las críticas que recibirá junto al análisis estático de sus modelos.

Una gran revolución dentro de la teoría económica se dio con la publicación de la “*Teoría General del empleo, el interés y el dinero*” en 1936 por John Maynard Keynes, la misma que describía la situación de la gran depresión de los años 30. Keynes (2014) enfatizaba el uso de políticas fiscales para así expandir la demanda agregada, ya que desde su cosmovisión el problema del desempleo con recesión, la aplicación de política fiscal tenía efectos rápidos y eficientes a diferencia de la aplicación de política monetaria. La inclusión de la incertidumbre en su aparato teórico le permitió explicar la ineficiencia de los mercados financieros para determinar las tasas de interés que logren un nivel de inversión y ahorros necesarios para alcanzar el pleno empleo. Esto es porque los mercados financieros dependen de las expectativas de los inversores que pueden pasar del optimismo al pesimismo de manera muy volátil, a lo que él también llamó como “*Animal Spirits*”. Keynes (1936) fue el más influyente en la discusión de las expectativas, reconociendo la importancia de la incertidumbre de acuerdo con el planteamiento de (Knight, 1921).

En la teoría general de Keynes (1936), las expectativas juegan un papel importante porque influyen en la toma de decisiones de inversión y consumo, impactando así en el ciclo de negocios cada vez que cambian las expectativas de los agentes. Esto quiere decir que las expectativas según Keynes hacen que el futuro sea casi impredecible, difiriendo así de la idea que surgiría luego de expectativas racionales.

Keynes (1936) explica esto usando la famosa metáfora de un concurso de belleza en el que el premio se otorga a la persona cuya elección corresponde más estrechamente a la

²¹Esta es denominada como la edad de oro de la economía, debido a que se adjudican por su formalización es que la economía adopta el carácter de ciencia y toma una posición importante en la comunidad académica.

opinión promedio de todos los demás participantes, en lugar de en la información sobre el valor fundamental de los activos. En este sentido, las decisiones de inversión en los mercados son guiadas por la proyección de la opinión del mercado a corto plazo (Beckert, 2016).

Con la entrada de Keynes en la década de los treinta se abrió un nuevo abanico de estudios, quien introduciría a los nuevos economistas a un nuevo campo: la macroeconomía. De aquí se abrirán nuevas escuelas del pensamiento basadas tanto en el equilibrio como en el desequilibrio y agregarán marcos de incertidumbre y expectativas. Como los Postkeynesianos o los de la síntesis neoclásica quienes, por ejemplo, utilizarán la estática comparativa para modelar una economía cerrada. Tal es el caso del IS - LM y su extensión Mundell-Fleming para una economía abierta que incorpora las relaciones entre los flujos de capital y la tasa de interés interna o doméstica. A todo esto, le llamarían la revolución keynesiana. Paralelamente, se desarrollaría la teoría monetaria, quienes retoman la teoría cuantitativa del dinero apoyándose en el desarrollo de la econometría para su modelación.

El equilibrio general walrasiano es el núcleo del paradigma de la teoría dominante, el cual se remonta a 1874 por los trabajos del economista matemático francés Léon Walras. Su alto grado de matematización lo aproxima a niveles como el de las ciencias exactas, gracias al alto grado de abstracción que se hace, como por ejemplo la curva de utilidad²². Logrando que así la economía sea considerada la única ciencia social que está al nivel de las ciencias duras.

La demostración de la existencia del equilibrio por los trabajos de Arrow y Debreu (1954) ponen en escena de nuevo a la teoría económica neoclásica, luego del desliz que tuvo con la teoría keynesiana, presentando luego a la teoría clásica y keynesiana como casos particulares de una teoría que generaliza el análisis económico en su ímpetu de unificarlo a través de la interacción de individuos que tienen intereses particulares. Así, dentro del sistema se puede alcanzar un equilibrio agregado que es generalizable para todos los casos posibles dentro del marco teórico; y restricciones que este tiene según se resuelve el problema central de

²²Según Marshall (1920, pág. 78) “la utilidad es correlativa al deseo y querer”. Pero el deseo y la falta solo pueden ser inferidos indirectamente por “el precio, que una persona está dispuesta a pagar por la satisfacción de su deseo”

la asignación y distribución de recursos. Después de la demostración del equilibrio llegaron trabajos posteriores que buscaban demostrar la estabilidad y la unicidad de este equilibrio, haciendo que las agendas de investigación coparan el desarrollo del pensamiento económico en la academia.

El estudio de la racionalidad de los individuos era vital para la economía e hizo que se adoptara la teoría de juegos a los problemas económicos. Como rama para el estudio de la racionalidad de los individuos de los agentes se establecen estrategias de comportamiento, para interactuar con otros agentes planteado a manera de juego y como estos pueden llegar a equilibrios a través de la cooperación y las consecuencias de no cooperar. Es decir, que ya no solo se estudiaba la racionalidad, sino que se estudiaban los límites de la competencia perfecta y la competencia imperfecta. El equilibrio de Nash permitió extender los juegos no cooperativos a casos más generales que los logrados por los de suma cero.

En los años ochenta surgen dos nuevas escuelas: Nueva Economía Clásica, teoría del Ciclo Real y la Nueva Economía Keynesiana. Los primeros seguirán en las bases neoclásicas y añaden las expectativas racionales lideradas por Robert Lucas (1987), los segundos se basarán en las ideas keynesianas, pero con microfundamentos haciendo evidentes las fallas de mercado. Los avances en temas financieros crecieron de manera exponencial. De estas escuelas salieron la mayoría de los modelos utilizados actualmente, apoyados con el crecimiento de la econometría y sus diferentes técnicas de modelación y pronóstico, lo que se volvió de vital importancia en las finanzas.

Hasta este punto, la evolución de la teoría económica se ha encontrado en torno a la idea del paradigma de equilibrio, del agente racional, el agente representativo y la conducta maximizadora. Fue hasta la década de los noventa cuando comenzaron a emerger varios trabajos donde ya no solo se basaban en la lógica lineal y determinista del equilibrio neoclásico, sino que iban a trabajar fuera del equilibrio y la no linealidad, donde se podría decir que la complejidad entraba en escena con modelos dinámicos y caóticos en crecimiento económico, la autoorganización y tratar a la economía como un sistema.

Aparecieron trabajos más maduros de economía del comportamiento apoyados por jue-

gos dinámicos y modelados en tipo red. El avance en fisiología cerebral permitió también una nueva incursión en la teoría a través de la neurociencia, donde estos trabajos permitieron un nuevo enfoque en la economía. Con esto se dejaría de suponer el funcionamiento del cerebro, si no que ahora se puede evaluar la toma de decisiones y el enfrentamiento al riesgo en diferentes situaciones.

Pero las expectativas seguían en un plano estasis dentro de la modelación económica. Frank Knight (1921), fue vital al reconocer a la incertidumbre como factor que incide en la toma de decisiones en economía. Su visión es que las decisiones empresariales se basan en expectativas que no se pueden calcular de forma racional, como la teoría neoclásica supone que nos comportamos en un mundo ergódico. Gracias a Keynes (1936) las expectativas y la incertidumbre estuvieron en la palestra de la teoría económica al estudiar los agregados macroeconómicos, especialmente la expectativa sobre los precios (la inflación) y sobre los rendimientos futuros (tasa de interés).

Se necesita un cambio de paradigma sobre las expectativas. No puede ser el resultado de una dinámica lineal, ni mucho menos análisis de estática comparativa. Si la realidad económica fuera ergódica con ausencia de incertidumbre, las expectativas serían las mismas siempre. Sin embargo, este no es el caso, dado que los SCA son dinámicos por sí mismos.

1.3. El cambio de paradigma.

El cambio de paradigma es necesario en economía. Cada vez se vuelve más técnica y abstracta pero menos real. El núcleo de la economía es los precios, no hay ninguna formulación teórica sin que se vinculen los precios a ella. Además, la teoría neoclásica es una combinación de equilibrio de mercado, preferencias, el comportamiento maximizador de los agentes de acuerdo con su racionalidad y el agente representativo.

La economía como ciencia se ha desarrollado en torno a la idea de equilibrio²³, desde sus

²³En el equilibrio se nos asegura que es el estado natural de la economía, pero la incertidumbre es fundamental en todos los problemas de elección en la economía, lo que implica que el equilibrio no esté dado

inicios, este fue el resultado de la incorporación de la mecánica clásica en el método de hacer economía, lo que llevo a muchos economistas a tratar de encontrar las “leyes naturales” que rigen a los procesos económicos y como estos tienden a un equilibrio.

Luego, con el auge de la termodinámica, se incorporó esta nueva idea de equilibrio, donde se explica por diagrama de fases como se pasa de un equilibrio A a un equilibrio B . Una vez más los economistas lo adoptaron para explicar el paso de un equilibrio a otro, pero como en la termodinámica no se explica la transición de uno a otro.

A sí mismo, los nuevos keynesianos argumentan la existencia de múltiples equilibrios, los mismos que coexisten unos con otros y que se puede transitar entre ellos. Pero al igual que en los neoclásicos, se basan en un cuerpo teórico igual de rígido, donde no hay cabida para una modelación sin la idea de un agente representativo o la homogeneidad de los bienes o el trabajo.

Brian Arthur (2014), propone que debemos estudiar la economía en desequilibrio. Él enuncia que el estudio se debe basar en ideas que no estén ligadas a equilibrios estáticos. La dinámica en sí producirá desequilibrios en el sistema.

Una nueva idea de equilibrio está emergiendo en economía, ya no es un equilibrio mecánico donde las fuerzas se compensan logrando así un estado estacionario. Tampoco un equilibrio termodinámico donde también hay un estado estacionario, pero se pasa de una fase a otra sin explicar la transición. Ahora nos referimos a un sendero homeostático que depende del sistema y permite la reproducción de este a medida que la incertidumbre y fenómenos emergentes. Las emergencias son producidas por la interacción entre agentes como también los cambios tecnológicos. Esto está llevando a los teóricos a basar sus modelaciones alejadas de la idea de equilibrio en la economía tradicional. Se debe a que la economía es un sistema cuyos elementos se actualizan constantemente por el aprendizaje de los agentes, es decir, la economía evoluciona de acuerdo con los eventos que vayan surgiendo según las decisiones de los agentes. En otras palabras, los agentes al modificar sus expectativas modifican su comportamiento y el del sistema.

(Arthur, 2014).

En sistemas complejos el equilibrio no es tratado como en economía, los SCA se refieren a una idea de sostenibilidad, es decir, una situación en la cual el sistema se pueda seguir reproduciendo a pesar de las adversidades que se le presenten. Esta situación no es única y no necesariamente es estable, ya que recordemos que existe incertidumbre y fenómenos emergentes, los cuales producen que los agentes se tengan que adaptar sus heurísticas de acuerdo con su aprendizaje y experiencia.

En los mercados financieros las crisis son producto de la interacción de los agentes que participan. En los sistemas complejos²⁴, los fenómenos emergentes no aparecen hasta que la conexión del sistema da señales que alcanza cierto nivel que consideramos crítico, como la caída del valor de las acciones de una gran firma. Es evidente que en la economía tradicional no se toman en cuenta este tipo de comportamientos al modelar al ser humano, es por eso por lo que es importante el cambio de paradigma en la modelación económica y en la concepción de las expectativas.

La complejidad nos permite estudiar la propagación de una decisión tomada por un agente dentro del sistema. Un evento que ocurre en un nodo de la red provocara un efecto cascada, lo que produce que se propague en los nodos contiguos y así hasta que se ha esparcido por toda la red del sistema²⁵. Si un agente modifica sus expectativas porque tuvo acceso a cierta información, será cuestión de tiempo para que otros agentes también lo hagan.

Si la interacción en el sistema cambia, produce que la probabilidad de eventos que causan más eventos se acelere, lo que produce que se generen más enlaces en el sistema, lo que produce cambios de fase en la estructura de la economía.

Este tipo de propiedades no aparecen en la economía tradicional. Esto se debe al comportamiento de los agentes está definido por el equilibrio y esto hace que todos los comportamientos fluctúen alrededor de él, a su vez esto permite elaborar al agente representativo y la distribución normal de sus posibles tomas de decisiones a las que estamos acostumbrados

²⁴Complejidad es el estudio de las consecuencias de las interacciones, estudia patrones, fenómenos o estructuras que emergen de las interacciones de los agentes (Arthur, 2014).

²⁵Las redes pueden estar estabilizándose entre sí, al igual que los bancos pueden proporcionar seguro a otros bancos, pero también pueden ser mutuamente destabilizante, como las pérdidas en cascada a través de las instituciones financieras debido a que entre sí tienen relaciones financieras.

dada la nula incertidumbre en la interacción de los agentes. Gracias a esto, las expectativas no tienen un comportamiento dinámico.

En la economía neoclásica es fundamental la idea de rendimientos decrecientes, gracias esta hipótesis se puede converger hacia el equilibrio, lo que en SCA se conoce como retroalimentaciones negativas. Si hay rendimientos crecientes, es decir, retroalimentaciones positivas, probablemente nunca se llegará al equilibrio, es más, se vuelve explosivo y caótico el sistema, lo que produce que la economía tradicional se vuelva insuficiente por no decir obsoleta.

La economía tradicional no ha sido solo la teoría dominante en la diversidad de estudios académicos, sino también una teoría que fundamenta las políticas económicas y decisiones bancarias, empresariales y de Estado. En el sistema financiero el dominio de la economía tradicional se acentuó entre la década de los setenta y ochenta del siglo XX, cuando se introdujo la idea de expectativas racionales, el agente representativo, la idea de mercado eficiente, la cartera de Markovitz, los modelos de valoración de activos, entre otros.

Visualizar la economía como un SCA proporciona un nuevo conjunto de herramientas, técnicas y teorías para explicar los fenómenos económicos, como lo son la modelación basada en agentes, redes, redes neuronales artificiales, machine learning y juegos dinámicos (Beinhocker, 2007). Estas nuevas herramientas permiten levantar supuestos rígidos, que son necesarios para lograr el equilibrio. Es decir, el objetivo final de la teoría económica tradicional es el equilibrio. Esta idea no solo está en los neoclásicos, sino también en los clásicos. El cambio de paradigma no solo es necesario para que la economía como ciencia avance, sino que también hay que tener un cuerpo teórico que no dependa de supuestos demasiados restrictivos y abstractos, para demostrar resultados predefinidos como lo hemos venido haciendo desde hace más de un siglo. Esto permitirá no solo una mejora en la elaboración de los modelos económicos, sino que también se hará evidente los límites de la teoría y a su vez la superación de estos a medida que la economía como ciencia se desarrolle.

En la tabla 1.1 se sintetiza las principales diferencias de la economía de la complejidad y de la economía tradicional, dando a notar la importancia del cambio de paradigma, de

	Economía de la complejidad	Economía tradicional
Dinámica	• Sistemas abiertos dinámicos • No linealidad, caos • Desequilibrio • Sendero Homeostático • Procesos evolutivos	• Sistemas cerrados estáticos • Lineal • Basados en equilibrio • Autorregulación • Transición de estados rígidos
Agentes	• Se modelan individualmente • Toman decisiones basadas en heurística • Están sujetos a sesgos • Comportamiento computacionalmente irreducible • Modelos mentales • Expectativas ficcionales, adaptativas y complejas	• Se modelan de manera agregada • Supuesto razonamiento deductivo, optimalidad • No cometen errores ni tienen sesgos • No tienen la necesidad de aprender y adaptarse • Racionalidad perfecta o limitada • Expectativas racionales, estáticas, “adaptativas”
Estructura del sistema	• Las relaciones importan y cambian con el tiempo • Causalidad recursiva en las decisiones • Panarquía • Fenómenos emergentes • “Líneas temporales” (diferentes escenarios)	• No importan las relaciones • Modelos de causa – efecto • Jerarquía rígida y reduccionismo codicioso • No hay cabida a la generación de crisis • Intertemporalidad, tiempos discretos o continuos

Tabla 1.1: Características de la economía de la complejidad y la economía tradicional en la concepción de modelos.

las cuales en su mayoría ya se han hablado a lo largo de la primera sección de este trabajo. Este nuevo paradigma no es la panacea de la ciencia económica, pero busca explicar mejor al sistema económico y ayuda a entenderlo de una forma más cercana a la percepción de la realidad económica elaborando diferentes escenarios posibles, cosa que la teoría tradicional supone que sucede al usar un agente híbrido entre un dios y una inteligencia artificial dejando de lado al ser humano imperfecto.

Es importante resaltar que la economía de la complejidad es interdisciplinaria, y este trabajo busca reformular algunos conceptos con la ayuda de disciplinas como la ecología, biología, psicología, sociología, neurociencias, matemáticas y la física. Con el objetivo de

enriquecer la ciencia económica y modelar de una forma más cercana a la realidad que percibimos el comportamiento de los agentes, es decir, no suponer como piensan, sino que explicar lo que hacen.

Es por esto por lo que nos basaremos en el sistema financiero para entender las expectativas y como afecta su modificación, el comportamiento de los agentes y al sistema. Pero primero hay que plantear al sistema financiero como un sistema complejo, para entender la dinámica y como las expectativas juegan un papel fundamental en la toma de decisiones económicas. Sin las expectativas no existiría la necesidad de elaborar pronósticos, gracias a la ergodicidad del sistema. Pero como ya vimos, los SCA son no ergódicos, con incertidumbre radical, necesitamos un nuevo planteamiento del sistema financiero. Podemos anticipar que el futuro no se adivina, sino que se construye y esta construcción depende de las expectativas de los agentes.

Capítulo 2

Sistema financiero como un sistema complejo.

2.1. Aproximación del sistema financiero como sistema complejo.

El sistema financiero está compuesto por agentes que interactúan a través de diferentes instituciones, donde estas instituciones interactúan con otras instituciones. Es decir, que existe un ciclo anidado de interacciones, donde el resultado de las interacciones institucionales depende de las interacciones individuales de cada agente. Pero las interacciones de los agentes dependen de sus expectativas y de la información que obtienen de los agentes y del sistema.

Desde esta perspectiva, el sistema financiero es un sistema complejo, donde existe causalidad recursiva en la toma de decisiones. También existen atractores que están determinados por la relevancia o importancia que tienen en el sistema. Por lo general son agentes e instituciones con mayor poder económico, es decir que no tiene la misma repercusión en los precios de los activos financieros una decisión de compra o de venta de Goldman Sachs o JP Morgan que una pequeña oficina de brókeres. Los agentes o instituciones que son atractores

en el sistema no solo poseen más información, sino que de una alta calidad. Este es uno de los factores que hacen su modificación las expectativas.

Esto implica que la posición dentro del sistema es importante. El nivel de conexiones que tiene este tipo de nodos y la cantidad de relaciones dan la importancia en el sistema. Si tienen una relación directa y mientras más relaciones tenga una institución, tiene más relevancia en el sistema. Teniendo como efecto que más instituciones pequeñas o agentes tomen de referencia las decisiones de una institución de este tipo. Como Goldman Sachs u otro ejemplo es la FED con relación al resto de los bancos centrales a nivel mundial. Pero este cambio de decisión se da porque la información que tenían antes de interactuar o de tomar como referencia a estas instituciones no parecía relevante. Una vez que se toma como referencia, las expectativas se modifican y comienza una serie de retroalimentaciones dentro del sistema.

Podemos evidenciar que el sistema financiero no es un sistema simple, sino que es más complejo de lo que imaginamos. Es tan complejo que lo que produce una crisis un día cualquiera en una de las instituciones que participan dentro del sistema, puede ser producto de un auge de otra y al siguiente puede pasar todo lo contrario, aquí radica la importancia del cambio de paradigma en la modelación económica.

Es importante recalcar que las finanzas en economía son el área que más desarrollo ha tenido desde los años setenta a la actualidad¹. Esto se debe a la cantidad de información que el sistema financiero es capaz de brindar en cortos periodos de tiempo. Podemos descargar la evolución de los precios de un título de valor, acciones, precios de las materias primas, divisas, etc. con periodos menores a una hora si lo deseáramos. Es de las pocas áreas o líneas de investigación en la ciencia económica donde las teorías y aplicaciones vienen directamente de la academia, esto implica que es la que mayor bagaje empírico posee. Aquí radica por qué tomar como referencia al sistema financiero al existir cambios en las expectativas.

¹La teoría de las expectativas racionales y la teoría del mercado eficiente se desarrollaron en la década de 1960 y llegaron a ser ampliamente aceptadas y bien establecidas en la década de 1970. Para 1980 se pusieron en tela de duda por la volatilidad de los rendimientos. Una década más tarde surgen los modelos que incluyen el comportamiento, lo que denominaron finanzas del comportamiento (Andersen y Nowak, 2013). En la misma década surgió la implementación a los modelos financieros, la dinámica caótica y los sistemas en redes.

El auge en esta rama de la economía ha sido muy bien aprovechado por la teoría neoclásica. Pero también ha sido objeto de estudio y experimentación con nuevos enfoques, dando cabida a nuevas herramientas para la economía como la economía del comportamiento, la neuroeconomía, teoría de sistemas, redes sociales, juegos evolutivos, modelación basada en agentes, dinámica caótica y fractales entre las principales.

Pero esto solo es gracias a la aplicación del enfoque de sistemas complejos directa o indirectamente, haciendo que los estudios de la economía tradicional se observen como casos particulares de la economía de la complejidad. Como está dada la dependencia de las condiciones iniciales de los modelos, la dinámica del sistema está sujeta a los fundamentales predispuestos por la teoría económica tradicional. Estas condiciones son prácticamente para delimitar el camino hacia el resultado que buscamos obtener sin que haya desviaciones.

En las finanzas tradicionales, al igual que en la economía, se busca el equilibrio y no hay cabida para las burbujas bursátiles. Esto fue hasta que en el periodo de 1997 a 2000 se evaporaron alrededor de \$10 billones de dólares con una rapidez impresionante en la bolsa de Estados Unidos. Los modelos tradicionales basados en expectativas racionales, mercados eficientes², caminatas aleatorias y precios fundamentales ya no explicaban la realidad que ellos construían a partir de sus condiciones heroicas y artificiales. Esto se debe a que no todos los agentes interpretan de la misma forma la información que se les presenta en los mercados financieros, donde algunos ven una oportunidad de ganancia, otros ven un riesgo que no están dispuestos a correr innecesariamente.

En este sistema que se encuentra prediseñado de forma ergódica sin cabida a cambios inesperados, el futuro se puede definir del presente. Sin embargo, el futuro no es una simple extensión del presente, ni depende del comportamiento de un agente representativo. Es una construcción colectiva a partir de las expectativas de los agentes que son heterogéneos en su comportamiento, conformando un sistema complejo casi impredecible.

²La hipótesis de los mercados eficientes sigue una simple cadena de lógica económica hasta su conclusión contradictoria. La martingala de Cardano, la caminata aleatoria de Bachelier, la prueba de Samuelson y las estadísticas de Fama conducen al mismo lugar: los precios deben reflejar completamente toda la información disponible (Lo, 2017).

La figura 2.1 muestra la estructura del sistema financiero, el mismo que nos hace apreciar la complejidad del sistema y como todo está interconectado en un marco de toma de decisiones con incertidumbre. Los agentes procesan información y generan nueva información en el sistema, como también asumen riesgos y generan nuevos riesgos. A su vez, produce adaptabilidad en el sistema que alimenta a la incertidumbre, estableciendo causalidad recursiva.

Las expectativas son generadas por cada uno de los agentes que interactúan en el sistema, y son interdependientes. El sistema se encuentra en un estado constante de retroalimentación y dependen del grado de interacción de los agentes en el sistema. La causalidad recursiva que existe entre las expectativas, el riesgo y la información son un ciclo adaptación. Si uno de estos dos componentes se modifica (sea la información o el riesgo), producirán un nuevo ciclo de adaptación. La implicación de este proceso es que el sistema financiero se comporta como una panarquía, es decir, este compuesto por ciclos anidados de adaptación.

Además, la figura 1.1 muestra la retroalimentación del sistema financiero, por ejemplo, el dinero en efectivo se deposita o se presta como crédito, los activos y títulos de valor se compran, venden o son utilizados como garantía que a su vez se usan como garantía para obtener más créditos. Proporciona las conexiones dentro del sistema financiero, del funcionamiento interno de una institución financiera y describe los flujos de los activos, los fondos y la garantía.

El dinero, activos, títulos de valor transitan por un entramado de conexiones establecidas por las relaciones entre los agentes o instituciones que no solo se limitan a transmitir entre uno y otro, sino que es mucho más complejo de lo que imaginamos. Puesto que la fig. 1 hace referencia a una institución financiera, ahora imaginemos este mismo entramado para 10, 100 o 1000 instituciones financieras. Sería una red con un alto grado de complejidad, debido a las relaciones por las que transitan una infinidad de activos o valores una y otra vez. Lo que haría que la información obtenida de estas relaciones modifique una y otra vez las expectativas de los agentes participantes en alguna transacción.

En el sistema financiero existen tres tipos de flujos: activos, financiación y de garantía.

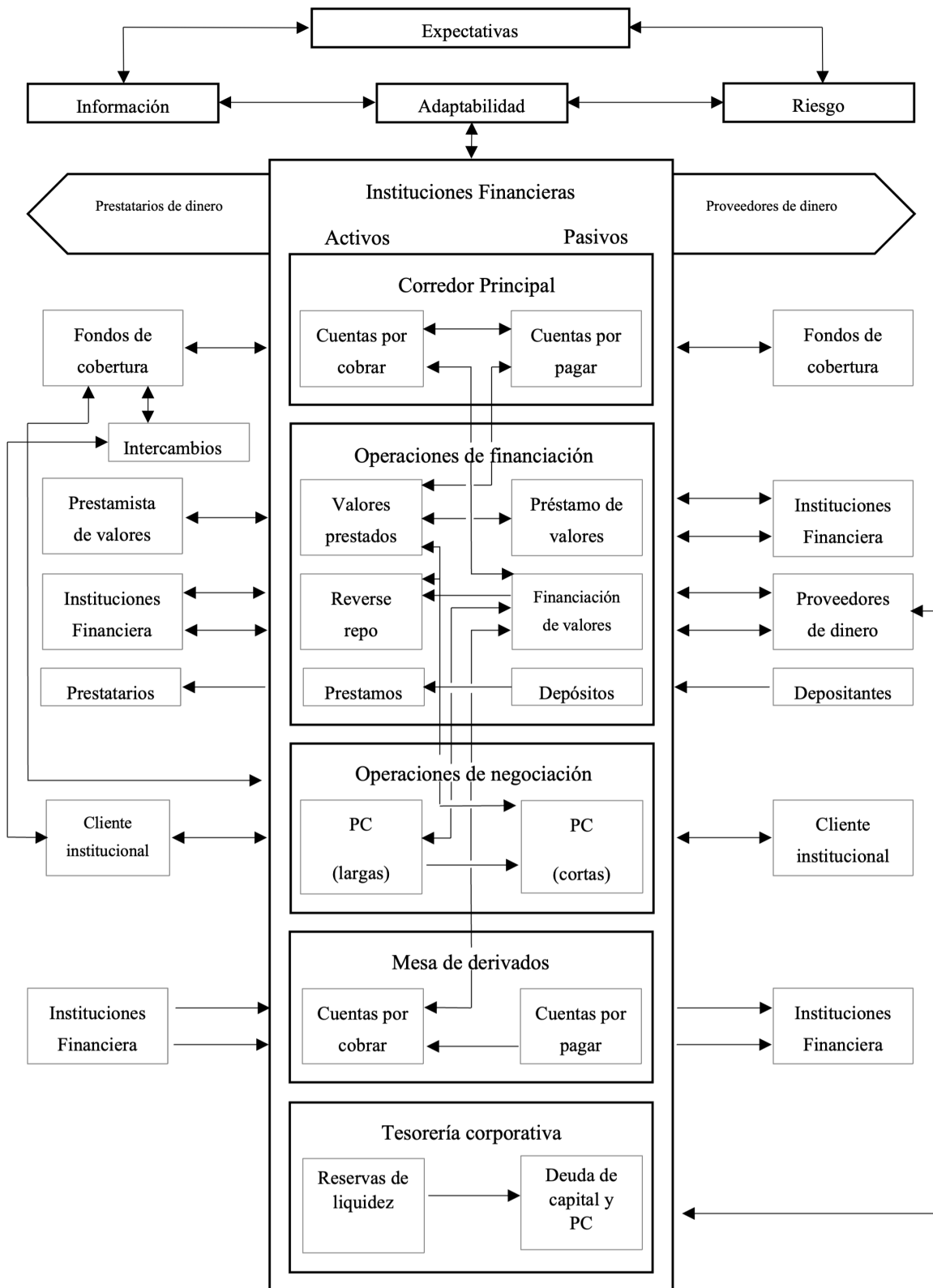


Figura 2.1: Estructura del sistema financiero. Elaboración propia con adaptación de Bookstaber (2017b).

Esto implica que la red del sistema financiero no es de una sola capa, sino que tiene múltiples capas de interconexiones y que cada capa está conectada con otra capa en un orden jerárquico, o como establecimos en la sección 1: el sistema financiero es una panarquía.

Una primera capa sería la de flujo de activos, el flujo va desde los gestores de activos y el mercado de valores. Se incluyen los fondos de inversión y de cobertura, como también la inversión de las compañías de seguro y los fondos de pensiones. La segunda capa es para el flujo de financiación, donde los bancos forman el núcleo de esta capa. La tercera capa es la de garantía o también llamada colateral, donde se encuentran los flujos de los acuerdos de garantía, la gestión de riesgo. Así, algunas instituciones financieras participan en más de una capa a la vez, lo que demuestra la dependencia y las relaciones entre diferentes capas, lo que exhibe la complejidad del sistema.

Los principales agentes que interactúan de acuerdo con Bookstaber (2017b) en el mercado financiero son:

- *Las instituciones financieras*, las cuales son los bancos o distribuidores y además cumplen como intermediario principal, operador de financiamiento, mesa de operaciones, de derivados y como tesorería.
- *Los fondos de cobertura* son agentes que prestan cobertura a los corredores principales como a las instituciones financieras para posiciones comerciales cortas y largas. Estos fondos buscan altas rentabilidades con mayor riesgo.
- *Los proveedores de efectivo* son agentes que incluyen a los gestores de activos, fondos de pensiones, compañías de seguros, prestamistas de valores y los más importantes, los fondos del mercado monetario, sin financiación, el sistema o cualquier sector del entramado del sistema se detendría. La garantía pasa de los prestatarios a los proveedores de efectivo, siendo una institución financiera el intermediario.
- *Los prestamistas de valores*, al igual que los proveedores de efectivo, proporcionan financiamiento. Los grandes prestamistas de valores comúnmente prestan valores a las

instituciones financieras y así reinvertir el dinero en efectivo en forma de financiación garantizada.

- *Inversores institucionales* abarcan una amplia gama de agentes que van desde gestores de activos de los fondos de pensiones a los fondos soberanos y compañías de seguros. Cumplen el papel crítico de proporcionar liquidez al mercado a través de las ventas forzadas, teniendo así un papel esencial en la suscitación de las crisis.

Este esquema también pone en evidencia que el mercado tiene problemas críticos en momentos de crisis, uno de ellos es que las instituciones financieras pueden aparecer de diferentes maneras en el mercado financiero; otra es la de poner en evidencia el flujo de fondos de los proveedores de dinero en efectivo a través del banco a los usuarios. Directa o indirectamente, casi todas las funciones en el sistema financiero se basan en la financiación y en garantías, así, ya que, en el caso de los fondos asegurados, las vías son de dos sentidos: cuando hay financiación en una dirección, hay un flujo de garantías en la otra (Bookstaber, 2017a).

En la figura 2.2 se plantea un pequeño modelo de interacciones de como un choque, ya sea producido de manera endógena o exógena, puede afectar a este supuesto sistema financiero. Este sistema está reducido a 3 activos, dos instituciones financieras que pueden ser bancos, dos fondos de cobertura y un proveedor de efectivo. Ambos bancos tienen acceso dos activos, es decir, el banco 1 tiene acceso al activo 1 y 2 y el banco 2 tiene acceso al activo 2 y 3, y ambos ponderan con el mismo peso a los activos.

El esquema es de un modelo basado en agentes diseñado por (Bookstaber, 2017a) y cada etapa del modelo es una imagen del modelo computacional. Un nuevo flujo se establece por las flechas negras mientras que si repercute en plazos posteriores se mantiene en color gris. En la etapa 1, un choque recibido en el activo 1 afecta a los fondos de cobertura 1 y al banco 1 debido a que estos lo tienen dentro de su portafolio, a su vez el choque también afecta al proveedor de efectivo a través del banco debido a las garantías que sostienen los valores del activo 1.

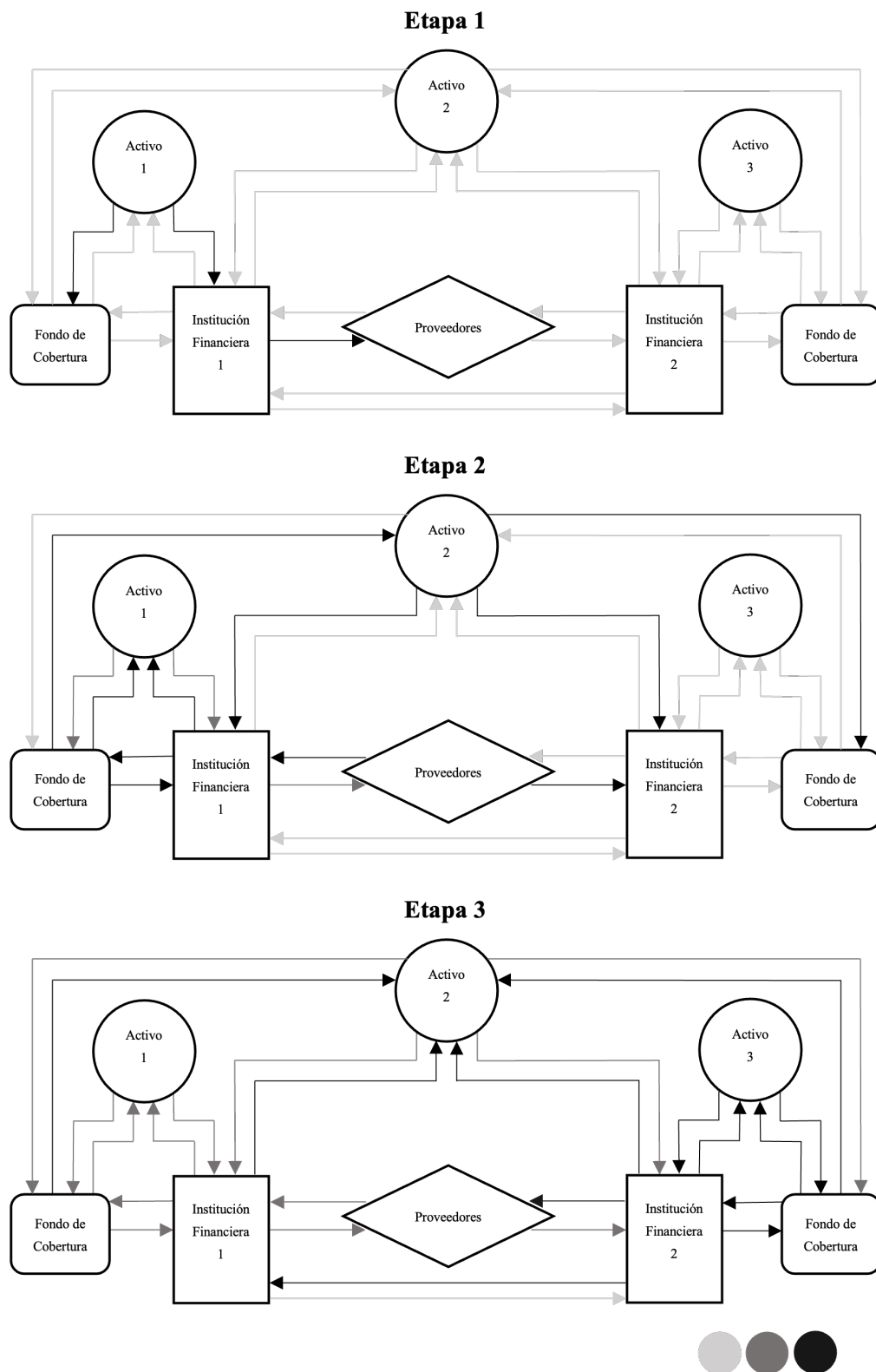


Figura 2.2: Etapas de interacción de transmisión de un choque en el sistema financiero. Elaboración propia con adaptación de Bookstaber (2017b).

En la etapa 2 los efectos del choque en el activo 1 se propagan y afectan al activo 2 debido a la exposición de los fondos de cobertura 1 y 2, como el banco 1 vende para poder satisfacer la demanda de cobertura, lo que a su vez hace que el precio del activo 2 también caiga, teniendo el mismo efecto que en la etapa 1 pero ahora sobre el fondo de cobertura 2 y el banco 2. Ahora el proveedor de dinero ve aún más mermada su garantía. Para la etapa 3 el activo 3 se ve inmiscuido en los efectos del choque inicial debido a que los fondos de cobertura 2 y el banco 2 lo tienen en su portafolio junto con el activo 2, lo que producirá una venta forzada, ya que se repite el efecto de la etapa 1 y 2 haciendo que las relaciones de financiamiento entre los bancos 1 y 2 se vea comprometida con el proveedor de dinero y sus garantías.

Supongamos que el fondo de cobertura 2 solo decidiera adquirir el activo 3, se pensaría que al no tener exposición al activo 1 que es donde empieza el choque no se vería involucrado en la caída espiral de precios, pero como están relacionados indirectamente con el banco 1 el fondo de cobertura 1 recibirá un daño colateral que incluye un problema de riesgo de crédito interbancario, es decir es producto de la retroalimentación no lineal del sistema lo que produce que un choque en un activo específico del mercado se convierta en una crisis del sistema por un fenómeno emergente.

La información en los mercados financieros es muy importante y con el desarrollo de las telecomunicaciones es posible tener un efecto cascada en cuestión de minutos, como lo acabamos de ver en el fig. 2. Un claro y reciente ejemplo es la crisis del 2008, que contagio a las bolsas de valores de todo el mundo en fracciones de tiempo nunca visto, lo que hizo que la crisis fuera casi indeterminable. Este flujo de información no solo modifico las expectativas, sino que creo nuevas heurísticas y revivió otras de crisis pasadas. Las expectativas modificadas fueron el núcleo de una crisis donde la información retroalimentaba al sistema, produciendo que los que esperaban ganancias automáticamente cambien sus decisiones a ser más conservadoras.

El sistema financiero no es un sistema determinista lineal. Sí, agregamos la dinámica de la generación de expectativas. Los sistemas deterministas se comportan de acuerdo con reglas

o ecuaciones específicas que determinan el siguiente estado del sistema en función del estado actual del sistema³. Los sistemas dinámicos deterministas pueden asumir una forma lineal (periódica) o no lineal (caótica, no periódica). Por un lado, los sistemas deterministas lineales pueden ser sistemas simples o complejos de muchas subunidades. Pero cada sistema lineal es esencialmente modular, es decir, se puede analizar rompiendo hacia abajo en subunidades y midiendo el impacto de cada subunidad por separado. Un sistema determinista lineal no es más o menos que la suma de sus subunidades. El resultado de la operación de los sistemas lineales es regular o periódico, y no acumulativo. Por otro lado, los sistemas deterministas no lineales no son modulares, es decir, no se pueden analizar dividiéndolos en subunidades separadas. Los sistemas no lineales están asociados con la aparición de nuevas formas, patrones o comportamientos que no existían en el sistema inicial. Son capaces de generar patrones no periódicos cuya trayectoria no se repite. El comportamiento de los sistemas no lineales se puede predecir solo a muy corto plazo, pero no más allá de eso. Suponiendo un conocimiento perfecto de las ecuaciones de gobierno del sistema y todas las fuerzas determinantes en el primer momento, la predicción del curso del sistema se puede hacer, en el mejor de los casos, para el segundo, pero no para el tercer periodo. Además, la capacidad de predecir disminuye a medida que aumenta el número de iteraciones del sistema. Así, en la práctica, el resultado de un sistema totalmente determinista puede ser (a menudo es) impredecible (Mertzanis, 2014).

Es por esto por lo que los SCA dan una mejor perspectiva de la realidad de los mercados financieros, ya que al estudiar las relaciones que existen dentro del sistema permite anticipar de manera más eficiente los canales de transmisión de una posible crisis que con las técnicas tradicionales de las finanzas. Pero anticipamos un escenario, no un resultado.

El uso de las expectativas racionales⁴ se explican a través del interés que tienen las per-

³Es decir, una regla podría ser siempre comprar/vender todos los activos financieros incluidos en su cartera solo cuando todos sus operadores interactúan) están comprando, vendiendo sus activos financieros: si se conoce esta regla y el estado actual de incertidumbre en el mercado, entonces se puede predecir el siguiente estado de incertidumbre del mercado e identificar la práctica adecuada de gestión de riesgos.

⁴Las expectativas racionales plantean que las personas en el momento t_1 hacen uso de toda la información que hay disponible para así predecir el precio del título de valor en un siguiente momento. Como las personas son racionales el precio $P_t = P_t^* + \epsilon_t$. Es decir, que el precio solo tendrá desviaciones aleatorias al de su valor fundamental o precio verdadero del título producto de choques de información: $P_t^* = E(P_t|I_{t-1})$.

sonas en realizar predicciones para así poder planificar el futuro. En economía generalmente se buscan predicciones de las futuras tasas del crecimiento del PIB, tasas de desempleo, tasas de interés. En finanzas se buscan los posibles futuros precios de los diferentes títulos de valor que se negocian. Este precio que buscan predecir no es más que una variación aleatoria del valor fundamental del título de valor, y esta variación solo es producto de un choque de información. Es aquí donde nos damos cuenta de que la economía tiene herramientas muy útiles para hacer aproximaciones, solo que esto no puede ser usado como resultados generalizadores para todos los eventos.

Por lo tanto, en la imagen y expectativas racionales, el precio del mercado es en cualquier instante de “equilibrio”. Los precios tan solo cambian debido a la nueva información y se convierte en imagen de que va a cambiar el valor fundamental y, por lo tanto, también va a cambiar el precio de mercado. Las expectativas racionales también se utilizan en el razonamiento detrás de la “hipótesis del mercado eficiente”⁵: si el precio de un activo no ha factorizado en toda la información, entonces existen oportunidades de arbitraje y, por lo tanto, los operadores racionales hará que los precios vuelvan de nuevo a su valor fundamental. En la versión más fuerte de la hipótesis del mercado eficiente, todas estas posibilidades de arbitraje han sido explotados, lo que significa que en todo momento el precio en los mercados financieros es igual a su valor fundamental (Andersen y Nowak, 2013) .

La dinámica de los precios, de acuerdo con la hipótesis de expectativas racionales⁶, implica que es un estado estacionario, es decir, si la información no es relevante, el precio fundamental se mantendrá igual y no generará fluctuaciones en las estimaciones de los precios futuros. Los agentes que no se lleguen a comportar de manera racional emitirán ruido en las predicciones de los otros agentes, pero estos serán arbitrados por agentes que, si son racionales, lo cual producirá que el conjunto de individuos tenga las mismas predicciones, en este caso, la predicción del precio fundamental a futuro.

⁵La hipótesis de mercado eficiente establece que los precios de mercado son eficientes en el sentido de que representan la mejor predicción posible del valor futuro de un activo (Beckert, 2016).

⁶En física a esta suposición se le denomina “teoría del campo medio”, que supone que las partículas actúan en promedio de manera similar, es decir que en economía esta hipótesis lo que quiere manifestar es que en promedio los agentes se comportan de manera racional.

Esto implica que la idea de mercado eficiente y expectativas racionales⁷ solo son posibles por la racionalidad de los agentes, ya que estos pueden anticipar todo tipo de cambios en los mercados financieros debido a que son capaces de procesar toda la información disponible⁸.

A pesar de que los sistemas complejos no se han definido en un sentido amplio en la ciencia económica, los mercados financieros satisfacen criterios razonables de ser considerados sistemas complejos adaptativos. Los sistemas financieros modernos se caracterizan por la interconexión de los agentes actuantes gracias al desarrollo imparable de la tecnología.

La combinación de complejidad y homogeneidad crea fragilidad e inestabilidad dentro del sistema financiero, de aquí yace la importancia de establecer modelos con heterogeneidad (de comportamiento) entre los agentes. La complejidad y la homogeneidad hacen que el riesgo financiero se cree endógenamente y, por lo tanto, no esté sujeto a la ley natural de conservación del riesgo. Esto último tiene implicaciones importantes para la extensión de las leyes de la naturaleza a la actividad financiera creada por el hombre (Mertzanis, 2014).

El sistema financiero dentro de su marco tradicional ha sido débilmente capaz (por no decir incapaz) de proporcionar indicios del origen de las crisis. Es importante estudiar la interconexión del sistema financiero para entender el riesgo sistémico del mismo, logrando identificar los agentes sistémicamente importantes (atractores). La teoría de los sistemas complejos adaptativos conjunta con el diseño de redes pueden ser herramientas útiles para comprender la dinámica del sistema financiero. Las redes financieras pueden analizarse utilizando las herramientas de los enfoques de investigación apoyados en la física, neurociencias y la psicología con un contraste desde la antropología.

Para estudiar el comportamiento de los agentes y poner en tela de duda la racionalidad aparece ha mediado de los años ochenta las finanzas del comportamiento. Estas se afianzaron una década después al diseñar experimentos donde se evalúa el comportamiento de los agentes al tomar decisiones.

⁷Las expectativas racionales también implican que los agentes tienen aversión al riesgo, ya que si tienen toda la información pueden anticipar los posibles riesgos que se presenten en sus inversiones.

⁸El mensaje de la economía tradicional es que si los humanos se pueden comportar racionalmente y poseen suficiente información la economía se revela como un universo de previsibilidad de relojería (Beinhocker, 2007).

2.2. Finanzas del comportamiento.

Ha mediado de la década de 1950, Herbert Simon (1955) introduce el concepto de racionalidad limitada en la economía. Esto abre un nuevo campo de estudio en las ciencias sociales: “la toma de decisiones”. Este fue el principio del fin de las expectativas racionales en sus diferentes aplicaciones.

Pero no solo se incluye la racionalidad limitada en los modelos donde el comportamiento es un factor relevante, sino que los avances en la psicología cognitiva permitieron tener en cuenta las emociones, esto gracias a experimentos controlados⁹.

Kahneman y Tversky (1979); Tversky, Kahneman, y cols. (2000) en uno de sus experimentos demostraron que las personas al tomar decisiones tienden a elaborar esquemas mentales, lo que denominaron efecto de enmarcación. Es decir, que a partir del contexto ellos enmarcan su decisión, ya sea errónea o válida de acuerdo con el esquema más relevante de todos los que elaboraron previamente.

La teoría económica tradicional asume el interés propio de las personas motivadas por el egoísmo, ya que gracias a este se obtendrá el mejor de los resultados. La investigación psicológica ha revelado que las opciones de las personas pueden estar regidas por diferentes motivos y orientaciones de valor. Aunque la prevalencia del propio interés es bastante común, los individuos son a menudo orientados hacia la cooperación, tratando de maximizar tanto sus propios resultados y los de una pareja en los modelos más sencillos de teoría de juegos. Otro motivo frecuente es la competencia, donde los individuos, en lugar de tratar de maximizar su propio beneficio, tratan de maximizar haciendo diferencia entre su propio resultado y el resultado de alguien más (Andersen y Nowak, 2013).

Esta orientación de valor depende de la personalidad, la situación, las consideraciones culturales, y la naturaleza de la decisión. Esto implica que al tomar una decisión no solo se vuelve relevante el interés propio de la persona, sino que lo motiva a obtener el resultado

⁹La economía experimental abre nuevos debates, que giran alrededor de los experimentos. Muchos no están de acuerdo con sus resultados obtenidos porque pueden ser objeto de manipulación del que aplica el experimento, teniendo así resultados sesgados y no generalizables.

que espera al tomar una decisión.

Es aquí donde entran las emociones. Toda decisión humana está fuertemente determinada por las emociones. El análisis económico solo se basa en pérdidas y ganancias, lo que se puede traducir de cierta manera en miedo y codicia. Los estudios psicológicos y neurocientíficos han demostrado que las emociones influyen en el proceso y almacenamiento de la información, los juicios de valor y las decisiones¹⁰.

Andersen y Nowak (2013) enlistan los prejuicios o sesgos más comunes que han sido verificados empíricamente a través de experimentos sociales son:

- Enmarcado, se refiere al sesgo cognitivo donde las personas establecen diferentes decisiones en función del contexto en que se presente el problema, es decir, que si se enmarca el mismo problema de diferentes formas se tendrán diferentes respuestas. Kahneman y Tversky (1979) fueron los principales investigadores de este sesgo.
- Exceso de seguridad, las personas cuando tienen una racha de buenas decisiones tienden a sentir más seguridad de lo normal, incluso ante situaciones que pueden ser adversas. Este sesgo deriva en otros dos como lo son la auto atribución y el retrospectivo. El primero vincula el éxito con su propio talento y el fracaso lo vinculan a una mala racha o suerte, mientras que el segundo se refiere a la tendencia que tienen las personas a creer que predicen un evento antes de que sucediera.
- Optimismo e ilusión, se refiere a que las personas son irrealmente optimistas de sus posibilidades y perspectivas, es decir, una expectativa sobredimensionada de sí mismos y sus capacidades.
- Perseverancia de creencias, este sesgo es muy común y se ve reflejado en la formación de opiniones de las personas a las cuales suelen aferrarse muy fuerte y por largo tiempo¹¹.

¹⁰Las emociones positivas, por ejemplo, facilitan la acción y la toma de decisiones de riesgo, mientras que las emociones negativas fomentan la búsqueda de la seguridad. El efecto de congruencia emocional describe la tendencia a recordar recuerdos positivos cuando los individuos experimentan emociones positivas, y para recordar recuerdos negativos cuando se encuentra en un estado de ánimo negativo (Andersen y Nowak, 2013).

¹¹Tienen dos efectos diferentes: El primer efecto es que las personas son reacias a buscar pruebas que contradicen sus propias creencias. En segundo lugar, aunque en realidad no encuentren tal evidencia, lo tratan con escepticismo excesivo.

- Ley de números pequeños, este es un sesgo vinculado inversamente a la ley de los números grandes¹², donde las personas asumen que las características de una población se pueden establecer a partir de muestras pequeñas. Esta ley describe el sesgo de las personas que no toman en cuenta el hecho de que la varianza para una muestra pequeña es mayor que la varianza para una muestra grande.
- De anclaje, se refiere para describir la tendencia que tienen los seres humanos de depender o anclar algún tipo de información que creen relevante para tomar decisiones a pesar de que la mencionada información sea totalmente irrelevante.

El sistema financiero es donde la toma de decisiones toma relevancia por el dinamismo que esta actividad demanda, y está sujeta a los sesgos cognitivos mencionados. Es muy común en la bolsa de valores ver día a día como se manifiestan los sesgos en los operadores al comprar y vender títulos, es por esto por lo que a principio de los noventa las finanzas del comportamiento surgieron para dar respuesta de los problemas que la economía tradicional no podía dar.

La economía tradicional cuando aborda la toma de decisiones se basa en que el agente como es racional busca la maximización de su utilidad. A través de las preferencias se ordenan los bienes y canastas de bienes y esta función de utilidad permite determinar que bien o canasta de bienes da una mayor utilidad al maximizarla. La economía tradicional para la toma de decisiones entonces plantea una utilidad u definida de una posibilidad de resultados $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ para simplificar supondremos que se tiene dos posibles resultados a y b donde p_i es la probabilidad de obtener una riqueza w_i y así obtenemos la opción a mientras que q_i es la probabilidad de obtener una riqueza w_i que daría como resultado la opción b , es decir que para anteponer la opción a sobre b en una toma de decisión la teoría tradicional nos diría:

¹²De acuerdo con la ley de los grandes números, la distribución de probabilidad de la media de una muestra grande de observaciones independientes de una variable aleatoria se concentra alrededor de la media con una varianza que va a cero cuando aumenta el tamaño de la muestra.

$$\sum_{i=1}^N p_i u(w_i(x_i)) > \sum_{i=1}^N q_i u(w_i(x_i)) \quad (2.1)$$

El tomador de decisión, que supuestamente es racional de acuerdo con la teoría tradicional, asignara una probabilidad (en este caso p_i y q_i) para diferentes eventos al azar para luego elegir la que maximiza su utilidad.

A diferencia de esto, Kahneman y Tversky (1979), proponen con la teoría de prospectiva tres diferencias principales:

$$\sum_{i=1}^N \pi(p_i) v(\Delta w_i(x_i)) > \sum_{i=1}^N \pi(q_i) v(\Delta w_i(x_i)) \quad (2.2)$$

1. $w_i \rightarrow \Delta w_i$

La riqueza absoluta w no es lo que importa al momento de tomar decisiones, sino la riqueza relativa con respecto a un nivel de referencia w_0 .

2. $u \rightarrow v$

Las personas tienen aversión al riesgo.

3. $q_i \rightarrow \pi q_i$

Las personas tienen problemas de asignación de probabilidad, evalúan eventos muy poco probables con una alta probabilidad y a eventos más probables con una baja probabilidad.

Estos conocimientos adquiridos con la práctica a través de la experiencia se almacenan en la memoria “instantánea” a lo que Kahneman (2012) llama pensamiento rápido o sistema 1. Este proceso cognitivo se da sin necesidad de hacer una compleja operación, está basado en vivencias pasadas almacenadas, las cuales crean reacciones espontáneas al tomar decisiones. A través de la utilidad esperada muestra que las personas no siempre ponderan de manera hedónica la utilidad de acuerdo con posibles resultados, sino que los resultados se valoran con dos aspectos: un punto de referencia y la utilidad absoluta.

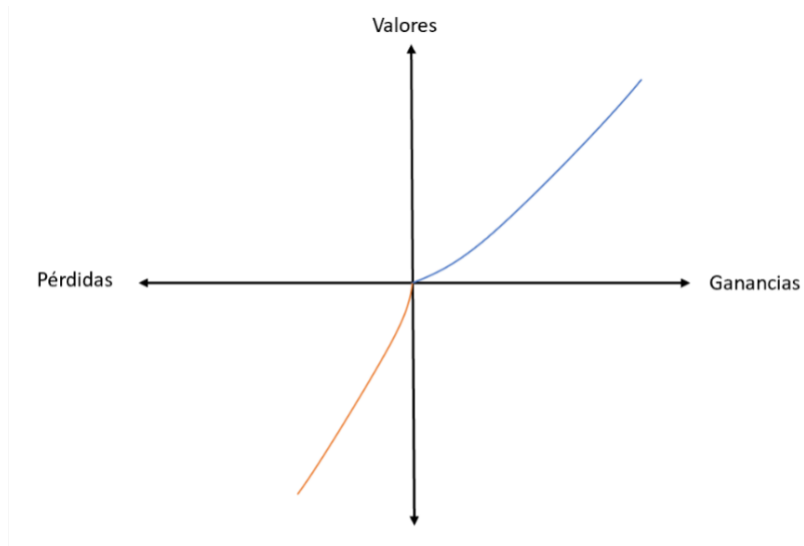


Figura 2.3: Se ilustra la aversión a la pérdida, puesto que una pequeña pérdida se le asigna un valor negativo mucho mayor que el valor positivo asignado a una ganancia del mismo tamaño. Fuente Kahneman (2012).

Se cree que el valor dependiente de referencia representa la valoración de experiencias pasadas y aspiraciones futuras y, por lo tanto, está relacionado con el aprendizaje (pasado) y la motivación (futuro). Lo más destacado es que la teoría de la perspectiva de Kahneman y Tversky (1979) explica por qué las personas otorgan más peso a las pérdidas que a las ganancias, un fenómeno llamado aversión a las pérdidas (como se observa en la figura 2.3). Existe evidencia empírica¹³ en diferentes culturas y etnias de que, en promedio, las pérdidas se valoran aproximadamente el doble de las ganancias de igual tamaño (Reuter y Montag, 2016).

La toma de decisiones por profesionales en los mercados financieros está sujeta a una constante retroalimentación y causalidad recursiva. Lo que conlleva decisiones de reinversión o salir de operaciones de compra y venta en un mercado con grandes oscilaciones de precio. Es aquí donde los agentes económicos demuestran que su comportamiento no es optimizador,

¹³Es de destacar que la teoría de la perspectiva ha ganado apoyo empírico de las neurociencias. Mediante un estudio de fMRI, Tom y sus colegas han demostrado que diferentes patrones de actividad cerebral están correlacionados con la cantidad de ganancias y pérdidas. Curiosamente, no identificaron diferentes circuitos cerebrales que codifican ganancias y pérdidas, sino que identificaron un sistema único, el estriado ventral, que se ha hecho famoso en las neurociencias como el centro de recompensa del cerebro. Las ganancias se expresaron por un aumento, y las pérdidas por una disminución, de la respuesta BOLD (dependiente del nivel de oxígeno en sangre) en el cuerpo estriado ventral (Reuter y Montag, 2016).

sino que se basan en la heurística o reglas de oro¹⁴ almacenadas en la memoria.

Pero no solo los sesgos cognitivos que se guardan en la memoria como heurísticas pueden influir en la toma de decisiones de los agentes. Si no también por medio de los sentimientos. A través de una cuantificación subjetiva se sugiere que el precio de un título de valor puede ser expresado en términos de la confianza general del mercado financiero en donde se compra y vende mencionado título.

De hecho, los medios de comunicación a menudo describen los mercados financieros con atributos como “pensamientos, creencias, estados de ánimo y, a veces, emociones tormentosas. La principal característica del mercado es el nerviosismo extremo. Está lleno de esperanza en un momento y lleno de ansiedad al día siguiente”. Una forma de obtener una primera cuantificación del sentimiento del mercado es sondear los sentimientos de sus inversores. Estudiar los sentimientos de los consumidores/inversores y su impacto en los mercados se ha convertido en un tema cada vez más importante (Andersen y Nowak, 2013).

La cuantificación de los “sentimientos” se hizo muy conocida y utilizada a finales de los años 90 gracias al crecimiento de la tecnología y la expansión del uso de internet. Esta se hace a través de las publicaciones de los principales actores del mercado financiero ya sea del CEO de una gran empresa como Microsoft, Google o Apple como los grandes inversionistas representantes de Gold and Sachs, JP Morgan o el Banco Alemán en los diferentes foros de opinión y entrevistas en internet como Yahoo! Finance o Wall Street Journal para así conocer sus perspectivas del mercado financiero, ya sean estas a la baja o alza.

Para esto supondremos que el agente elabora sus predicciones comparando la rentabilidad de una acción de una empresa con respecto al índice bursátil¹⁵ a la cual la acción de la empresa de interés pertenece, es decir comparar la rentabilidad con las empresas que conforman el índice, entonces sea la rentabilidad de un activo $s_i^I(t)$ el retorno diario de la acción i que pertenece al índice bursátil I en el momento t ; $R_{-i}^I(t)$ es el retorno de las $N - 1$

¹⁴Estas reglas de oro son medidas que los agentes utilizan para mitigar perdidas u obtener mejores ganancias de acuerdo con el comportamiento de los precios de los activos según su experiencia dentro de los mercados financieros.

¹⁵El índice bursátil se construye a través de las cotizaciones de las empresas más importantes o representativas de una economía en una bolsa de valores como por ejemplo el S&P 500 de Estados Unidos.

acciones de las empresas que conforman el índice bursátil I en el tiempo t .

$$s_i^I(t) \approx R_{-i}^I(t) \equiv \frac{1}{N-1} \sum_{i \neq j} s_j^I(t) \quad (2.3)$$

La ecuación (2.3) expresa una relación de incrementos de porcentajes de los rendimientos de una fluctuación típica de la población de empresas que conforman el índice bursátil. El sentimiento se define con respecto a las otras acciones del índice, que sirven de referencia neutral (Andersen y Nowak, 2013).

$$E(s_i^I) = \frac{\text{Cov}(s_i^I, R^I)}{\sigma^2(R^I)} E(R^I) \quad (2.4)$$

La ecuación (2.4)¹⁶ es muy parecida a la de un Modelo de valoración de activos (CAPM) ecuación (2.5)¹⁷:

$$\beta_i = \frac{\text{Cov}(R_i, R_M)}{\sigma(R_M)} \quad (2.5)$$

La diferencia principal entre el modelo de valoración de activos y el de cuantificación de los sentimientos es la hipótesis de la normalización con las desviaciones estándar en vez de utilizar la covarianza, ya que esta última en su relación con el índice a medida que pasa el tiempo muestra síntomas de inestabilidad que se diferencia con la varianza de una población determinada.

16

$$\begin{aligned} \frac{s_i^I(t)}{\sqrt{\langle \sigma^2(s_i^I) \rangle_T}} &= \frac{R_{-i}^I(t)}{\sqrt{\langle \sigma^2(R_{-i}^I) \rangle_T}} \rightarrow \alpha_i^I(t) \frac{s_i^I(t)}{\sqrt{\langle \sigma^2(s_i^I) \rangle_T}} - \frac{R_{-i}^I(t)}{\sqrt{\langle \sigma^2(R_{-i}^I) \rangle_T}} \rightarrow s_i^I(t) = \sqrt{\langle \sigma^2(s_i^I) \rangle_T} \alpha_i^I(t) - \frac{\sqrt{\langle \sigma^2(s_i^I) \rangle_T}}{\sqrt{\langle \sigma^2(R_{-i}^I) \rangle_T}} R_{-i}^I(t) \\ &\rightarrow E(s_i^I) = \frac{R_{-i}^I(t)}{\sqrt{\langle \sigma^2(R_{-i}^I) \rangle_T}} \sqrt{\langle \sigma^2(s_i^I) \rangle_T} \rightarrow \frac{E(s_i^I) - R_f}{\beta_i} = E(R^I) - R_f, \quad \beta_i = \frac{\text{Cov}(s_i^I, R^I)}{\sigma^2(R^I)} \end{aligned}$$

¹⁷Para más detalles del procedimiento, revisar la sección 1.5 del texto “*An Introduction to Socio-Finance*” de Andersen y Nowak (2013)

¿Pero en realidad a través de este modelo se puede cuantificar el sentimiento de los compradores y vendedores en los mercados financieros? La respuesta es no. Es una aproximación muy artificial del sentimiento de cómo se está comportando el mercado financiero y sus integrantes. Tanto los modelos CAPM y los modelos de cartera de Markovitz tienen como base que los rendimientos son superiores a la tasa libre de riesgo conllevan un mayor riesgo. En otras palabras, los agentes que desean invertir quieren ser compensados por asumir algún tipo de riesgo.

La cuestión es que en un mundo no ergódico que se caracteriza por la existencia de incertidumbre, ¿cómo puede ser posible hacer aproximaciones cercanas a la realidad que queremos estudiar? Además, no solo existen sesgos cognitivos que no permiten reducir el sentimiento del mercado, sino que carecemos de capacidad cognitiva¹⁸ para resolver problemas complejos y además de no poder procesar la información disponible que se requiere para tomar decisiones en el mercado financiero.

Como vimos en la figura 2.2 es demasiado complejo determinar la reacción de los agentes, esto implica que el sistema se vuelve impredecible, es decir, no se pueden hacer pronósticos de horizontes temporales muy extensos. Lo que permite la metodología de sistemas complejos es elaborar mejores escenarios de acuerdo con la información disponible.

Además, ¿cómo estas teorizaciones basadas en la utilidad pueden capturar las expectativas de los agentes? Volvemos a la economía de finales del siglo XIX: ortodoxa y axiomática (no en su totalidad) por los supuestos para poder hacer la cuantificación de los sentimientos. Es importante destacar los avances de la economía del comportamiento, pero también hay que reconocer sus límites en la formalización y modelación económica al no tener en cuenta el efecto de las expectativas y la causalidad recursiva.

Ya no solo es necesario un cambio de paradigma dentro de la economía, sino que una reconstrucción de la teoría, tomando lo que sirva para hacerla más humana y descartando lo que no, es decir, el uso de bloques de construcción. Por ejemplo, las ideas sobre mercados

¹⁸Recordemos que Herbert Simon lo definió como “racionalidad limitada” en la década de los 50. Él argumentaba que la racionalidad necesita conocimiento de todas alternativas como sus consecuencias y probabilidades, es decir un mundo predecible y sin sorpresas.

incompletos y la competencia imperfecta son conceptos válidos, pero hay que llevarlos a la dinámica de los sistemas complejos adaptativos.

Si se quiere entender al sistema financiero hay que modelar uno donde¹⁹:

1. La dinámica de los agentes se basa en la interacción y esta puede ser computacionalmente irreductible, es decir, hay que seguir paso a paso el proceso y no reducirlo a una expresión matemática generalizadora.
2. El contexto en que se desarrolla es importante, porque los individuos que interactúan en los mercados del sistema no son homogéneos.
3. Hacer relevante la heurística como transferencia del conocimiento, esta impulsa las acciones del agente, por lo tanto, hay una retroalimentación entre su percepción del medio ambiente y el modelo interno del agente.
4. Las interacciones de los agentes pueden cambiar el medio ambiente en el que ellos mismos se desenvuelven y su propio comportamiento con su toma de decisiones, y esto conduce a fenómenos emergentes dentro del sistema.
5. Los agentes se desenvuelven en un ecosistema complejo y esta complejidad proviene de dos direcciones: las interacciones entre los agentes y la retroalimentación no lineal hacia el sistema.

No partir de un comportamiento axiomático ni de hipótesis ad hoc restrictivas, estamos respetando el espacio físico y temporal de los eventos, aceptando la heterogeneidad de los individuos y destacando que estos pueden cambiar el entorno en el que se desenvuelven como también que su comportamiento se puede ver afectado por el resto. Lo que lo aleja totalmente del agente representativo y la idea de expectativas racionales que se baraja en la economía y por supuesto en la mayoría de los modelos financieros.

¹⁹Estas características son elaboradas por medio de bloques de construcción a partir de Arthur (2014); Bar-Yam (2019); Beinhocker (2007); Castaingts (2011, 2015); Gros (2015); Holland (2004, 2012); Holling (2001); Miller y Page (2009); Shan y Yang (2008) y Strogatz (2001).

El orden o desorden que exista en el sistema será un resultado de la interacción de los agentes dentro de él, como también se verá influenciado por factores externos que generen perturbaciones en el sistema. Este choque externo pondrá a prueba la adaptabilidad de los agentes, donde las mejores decisiones no serán tomadas por los más inteligentes o fuertes del sistema, sino por los que mejor se adapten a los cambios surgidos.

De este punto se parte hacia la propuesta de una nueva teorización de las expectativas, llevándola al núcleo de la teoría como el origen de la construcción del futuro a partir de un proceso complejo. Las expectativas entonces ya no se encontrarán dentro de una dinámica lineal, ni tienen un contexto de racionalidad completa. Serán producto de un proceso complejo y dinámica no lineal. En este sentido, el sistema financiero estará compuesto por mercados incompletos con asimetría de la información y competencia imperfecta. Existe un sendero homeostático que permite la reproducción del sistema. Los agentes son heterogéneos, su comportamiento está sujeto a sesgos, experiencia y vivencias, que dan como resultado la modificación de sus heurísticas. El futuro no solo es una sombra estadística de datos del pasado, es una construcción social a partir de referencias sociales capturadas de las expectativas de los agentes.

Capítulo 3

Expectativas complejas adaptativas e incertidumbre.

La ciencia económica dentro de las ciencias sociales es la que más toma en cuenta las expectativas, a pesar de ser teorizada de manera abstracta y de forma heroica. El uso y estudio de las expectativas yace en el cambio que se da en la economía como disciplina, de estudiar contextos históricos a la utilización de futuros inciertos para estudiar el presente¹.

La utilización del futuro para evaluar decisiones en el presente muchas veces se reduce a riesgo. Knight (1921) diferencia entre riesgo e incertidumbre. El riesgo en un sistema no determinista se caracteriza por la posibilidad de asignar probabilidades dentro de un espacio de posibles resultados. La incertidumbre, en cambio, en el mismo sistema no determinista, la asignación de probabilidades no tiene cabida, es decir, no pueden asignarse al espacio de resultados.

La incertidumbre es real. Los agentes dentro del sistema económico, al participar en la búsqueda de rentabilidad, están adivinando lo que otros valorarán. En el sistema financiero es más evidente, puesto que la intensidad de las negociaciones y la toma de decisiones se hacen en cortos periodos de tiempo.

¹En economía y finanzas se volvió relevante estudiar el futuro a través de los cálculos de valores presentes.

Los economistas analizan situaciones sociales asumiendo que son actores con visión del futuro y tratarán de averiguar qué decisiones optimizan sus recursos y maximizan su bienestar futuro. Las decisiones se basan en los pagos futuros esperados, descontados a valor presente (Beckert, 2016).

Pero el futuro no se adivina, el futuro se construye a través de las ideas colectivas, el futuro se construye a partir de la formación de representaciones sociales: las expectativas.

Tanto en la teoría del equilibrio general como en la de expectativas racionales, el futuro juega un papel importante, ya que gracias a estos dos enfoques pasa a ser relevante para la toma de decisiones. En la teoría del equilibrio general el futuro tiene un papel muy importante, esto es, qué gracias al supuesto de mercados completos futuros asegura la realización de los intercambios, ya que existe un mercado para todas las mercancías y así se pueden determinar los planes de producción y consumo.

Por su parte, los orígenes de la teoría de expectativas racionales empezaron por la micro fundamentación de la macroeconomía, haciendo uso eficiente de la información disponible a través de un modelo dominante en el cual los agentes usan para hacer sus predicciones económicas.

Las expectativas racionales son una expectativa basada en una distribución de probabilidades construida con información obtenida de eventualidades del pasado. En este sentido, el futuro puede predecirse a partir del pasado² con el modelo “verdadero”. Esto tiene fuertes implicaciones en la toma de decisiones de políticas, ya que al conocer el modelo verdadero los agentes no son capaces de ser engañados, puesto que tienen y procesan la información disponible. Las expectativas racionales se basan en dos supuestos centrales y problemáticos: mercado eficiente y aleatoriedad de los errores. Sin la hipótesis de mercado eficiente no garantizaría el modelo verdadero, ya que asume que choques externos se distribuyen normalmente. El segundo supuesto asume que cualquier error sistemático en los pronósticos del modelo se cancelaran por sí mismos gracias que se eliminaran por la competencia de los mercados.

²Paul Davidson lo llama “sombra estadística del pasado”.

El mundo social proporciona incertidumbre más allá de las del mundo físico y los modelos económicos buscan minimizar esta incertidumbre. Vuelven un mundo dinámico en uno ergódico y es algo que no toma en cuenta este tipo de modelos axiomáticos. Como ya vimos en el capítulo 2, los modelos están basados en supuestos e hipótesis al momento de aproximar la teoría a la realidad económica. Se busca explicar una realidad prediseñada. Pero lo que no toman en cuenta es la falibilidad humana y la reflexividad que George (Soros, 2015) propone al explicar como comportamiento aporta al sistema.

Benjamín Franklin declaró que las únicas cosas ciertas en la vida son la muerte y los impuestos. En todo caso, la cantidad de incertidumbre en nuestro mundo ha aumentado entre los siglos XVIII y XXI. Se hace una distinción común entre la incertidumbre aleatoria, es decir, la incertidumbre objetiva e irreducible sobre sucesos futuros que se debe a la estocasticidad inherente en los sistemas físicos o biológicos, y la incertidumbre epistémica; lo cual es subjetivo y reducible, porque resulta de una falta de conocimiento sobre las cantidades o procesos identificados con un sistema. La incertidumbre asociada con el resultado del lanzamiento de una moneda es un ejemplo cotidiano de incertidumbre aleatoria, mientras que no saber el nivel de cloro de su piscina es un ejemplo de incertidumbre epistémica. Si bien la incertidumbre epistémica es reducible en principio, muchos dominios pueden tener límites para la precisión de predecir eventos en el futuro, debido a la naturaleza compleja o caótica de los procesos que los originan (Glimcher y Fehr, 2013).

Al final del día incertidumbre es incertidumbre y al tomar decisiones no procesamos la información con base en clasificación, sino del valor subjetivo esperado que nos puede dar algún activo con aquella información. Con incertidumbre es imposible determinar el verdadero valor de un activo en el mercado financiero, ya que las decisiones de los agentes al tomarse en cuenta la incertidumbre ya no pueden ser apoyadas solamente en cálculos matemáticos, Knight (1921) afirma en su trabajo seminal que son una cuestión de opinión sobre el resultado.

La incertidumbre de los resultados en la toma de decisiones es posiblemente el tipo de imprecisión más investigada en la toma de decisiones basada en el valor. Dada la irrever-



Figura 3.1: A medida que pasa el tiempo, los pronósticos sobre el futuro se van diluyendo por la incertidumbre y falta de información en el sistema, lo que hace que sea borroso a medida que se acerca al futuro más lejano. Elaboración propia.

sibilidad del tiempo, parece existir una diferencia epistémica entre la incertidumbre de los resultados futuros que son incognoscibles y la incertidumbre sobre los eventos presentes y pasados que son en principio conocibles. La mayoría de las investigaciones empíricas se refieren a resultados futuros, pero no está claro si los sistemas en la toma de decisiones hacen esta distinción (Bach, 2016).

La principal forma de reducir la percepción que tienen los agentes de la incertidumbre en un sistema es a través de la cantidad de información que se tiene disponible. Esto dependerá de su capacidad de procesamiento. Los pronósticos que se hacen con base en las expectativas generadas luego de un proceso complejo se van diluyendo a medida que se establecen horizontes temporales más extensos, como se muestra en la figura 3.1.

Este proceso complejo hace que la construcción del futuro no solo dependa de la información de los agentes, sino que hay unos factores cognitivos importantes: sensaciones, memoria y emociones dan lugar a la generación de percepciones y que estas a su vez generan las expectativas con un alto componente imaginativo. Las expectativas entonces no pueden ser simplificadas o reducibles a estados estáticos dentro de la dinámica lineal. Obviamente, es más fácil trabajar en un marco estático, pero en este caso no es lo más apropiado. Si realmente queremos entender la dinámica del sistema financiero como un sistema complejo, debemos incorporar lo que le otorga ese carácter dinámico.

La figura 3.2 muestra el proceso de cómo se generan las expectativas. Partimos de la idea que un agente i quiere comprar un activo financiero. Este agente tiene expectativas, puesto que él piensa que el precio de ese activo va a empezar a subir. Entonces, con base en la información que tiene disponible, reduce o aumenta la incertidumbre, lo que lo lleva

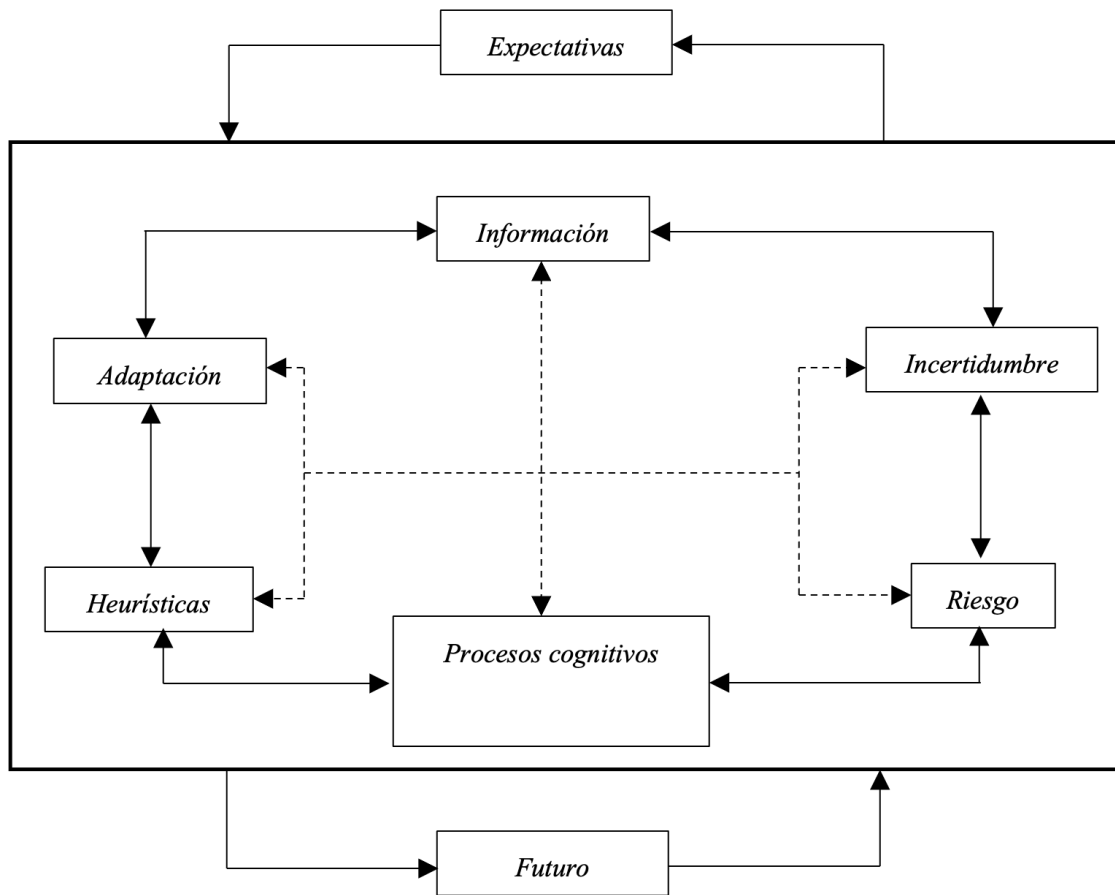


Figura 3.2: Proceso complejo de generación de las expectativas. Elaboración propia.

a evaluar el riesgo y a su vez elabora ideas al activar una serie de procesos cognitivos. Los procesos cognitivos llevan a que el agente i elabore diferentes escenarios con su imaginario, haciendo que adquiera o modifique las heurísticas que ha adquirido con experiencias pasadas. Seguidamente, esto lo lleva a una sucesión de adaptaciones al tomar la decisión que crea apropiada el mencionado agente según la información que ha tenido disponible y con la capacidad de procesar.

De esta forma se generan las expectativas con respecto al futuro. Luego de este proceso, cada agente hace de la construcción del futuro un factor que se retroalimente constantemente. Esta retroalimentación es una causalidad recursiva no solo para los agentes, sino para cada uno de los agentes del sistema, produciendo fenómenos emergentes (como auges o crisis en el sistema).

Este proceso es iterativo y aporta reflexividad³ al sistema. La reflexividad es una propiedad fundamental de un sistema dinámico donde hay retroalimentación entre los agentes y su medio ambiente. Es un resultado inevitable la reflexividad, ya que esta es una causa más para que el sistema financiero sea dinámico. La razón se debe a las relaciones que existen entre los agentes y el medio ambiente, lo que genera que modifiquen sus heurísticas, que surgen luego de la interacción que retroalimenta al sistema con sus acciones y decisiones, causando la causalidad recursiva mencionada con anterioridad. Los procesos cognitivos tienen un componente imaginario, que explota una diversidad de futuros posibles. No solo con la información disponible, aquí también influyen la experiencia y las emociones.

Los sistemas humanos están inundados de falibilidad⁴ y agentes que aprenden, ya que es parte de su función cognitiva. Como resultado tenemos que los agentes ajustan su comportamiento dada la información procesada y su imaginario. Las expectativas de hoy no son igual a las expectativas de mañana.

Soros (2015), es quien introduce estos dos conceptos (reflexividad y falibilidad) en economía. Él argumenta que el método científico de la teoría económica tradicional no es aplicable a situaciones reflexivas porque incluso si todos los hechos observables son idénticos, las opiniones predominantes de los participantes pueden ser diferentes cuando se repite un experimento. El hecho mismo de que se haya realizado un experimento puede cambiar las percepciones de los participantes. En este sentido, el mercado depende en cierta medida del pensamiento de quienes participan en el mercado acerca del mercado.

El sistema influye en el sistema. Es un entramado de redes de procesos complejos, si extendemos el proceso a 10 agentes, por ejemplo, tendríamos una red mucho más compleja que la mostrada en la figura 3.2. La complejidad del sistema expone la falencia de los modelos que dependen de sus condiciones iniciales. Las redes dentro del sistema dependen de la capacidad de los agentes en establecer relaciones. En el sistema financiero estas relaciones estriban en la aptitud de los agentes en conseguir información.

³La reflexividad en el sistema proviene de la naturaleza de la interacción humana y la experiencia.

⁴El conocimiento humano no es absoluto o completo, como lo demostró Gödel con su teorema. El ser humano este sujeto a engañar o ser engañado, tener aciertos o desaciertos por la omisión o inclusión de información.

Es importante hacer hincapié en que no siempre se presume que los individuos son racionales, informados o consciente de sus opciones posibles, o incluso que son “individuos” en lugar de grupos u organizaciones o naciones. No obstante, el análisis generalmente encarna la idea de que las redes en las que hay ganancias sustanciales al formar nuevas relaciones o terminar las viejas son más efímeras que las redes donde no existen tales ganancias (Jackson, Rogers, y Zenou, 2016).

Jens (Beckert, 2016) plantea en su texto “*Imagined Futures*” la idea de expectativas *ficcionales*. Él plantea que para entender la dinámica del sistema económico se debe tomar en cuenta las expectativas en condiciones de incertidumbre. No utiliza el término ficción como muchos autores (por lo general marxistas) lo usan: valores ficticios en el sentido de abstracción de los productos financieros. Ellos argumentan que los mencionados productos negociados en los mercados financieros han perdido relación con la realidad económica de los que subyacen, es decir, pierden relación con la economía “real”. Por el contrario, el autor se refiere a ficción en el sentido de las expectativas en condiciones incertidumbre, tiene mucho parentesco con la ficción literaria, donde se crea una realidad propia que va más allá al hacer afirmaciones de hechos que no existen por sí mismos.

Pero estas expectativas difieren de las propuestas en este trabajo en el uso del imaginario, que no toman en cuenta dentro de la cognición humana las heurísticas y emociones. El imaginario sin las heurísticas y las emociones son un componente sin mucho sentido. La imaginación necesita ser alimentada con recuerdos, vivencias, experiencia almacenados en la memoria⁵ que evocan sentimientos y hacen que la imaginación tenga un punto de partida.

Aquí yace la complejidad en la toma de decisiones, ya que el cerebro es individual y a la vez social. La construcción del futuro entonces no solo depende de un agente, sino que de otros agentes que son capaces de elaborar imaginarios a partir de la interacción con los demás dentro del sistema.

⁵En realidad, la memoria no funciona como un dispositivo de almacenamiento. Los recuerdos se graban en ella a través de sinapsis reforzadas.

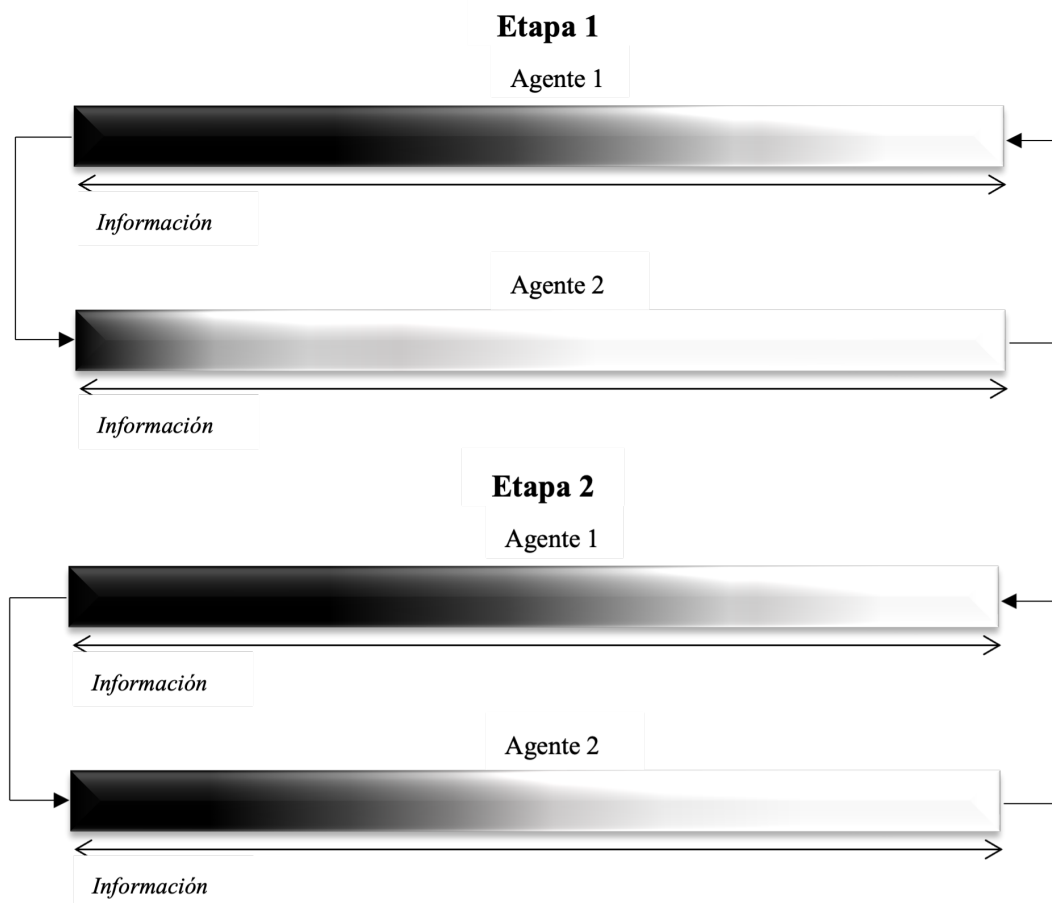


Figura 3.3: La transferencia de información de un agente a otro hace que se modifiquen las expectativas de los agentes, en este caso el Agente 1 tiene más información que el Agente 2, lo que sucede que después de interactuar y compartir información en una segunda etapa el Agente 2 modifique sus expectativas con la nueva información obtenida. Elaboración propia.

Una vez observado el proceso complejo de las expectativas vimos que la información es relevante en la generación de las expectativas de los agentes, pero no es el único componente de su generación, además las expectativas se pueden basar en expectativas de otras personas por la retroalimentación que existe en el sistema como se muestra en la figura 3.2.

En la figura 3.3 vemos el impacto del intercambio de expectativas de dos agentes, donde ahora las expectativas pasan a ser información que se vuelve relevante en la toma de decisiones de los agentes en un sistema. Esto demuestra la reflexividad, la falibilidad y la causalidad recursiva en el sistema. El Agente 1 tiene un mayor acceso a la información que el Agente 2, lo que hace que sus expectativas sean diferentes con respecto al horizonte tempo-

ral, pero luego de que ambos interactúan e intercambian información sus expectativas ya no serán iguales, haciendo que el Agente 2 modifique sus expectativas de acuerdo con la nueva información que entra al proceso complejo de generación de expectativas.

Dicho de otra forma, las decisiones de los agentes solo se pueden hacer después de un proceso complejo de generación de las expectativas. Una forma de generar confianza son la elaboración de probabilidad de futuros probables, que se convierte en información y se adhiere luego a las expectativas, siendo evaluadas según las heurísticas de los agentes, es decir que muchas decisiones dependen de la experiencia adquirida a través de las vivencias con el paso del tiempo.

Las heurísticas son estrategias que ignoran la información para tomar decisiones de manera más rápida, más frugal y/o más precisa que los métodos más complejos (Gigerenzer y Gaissmaier, 2011). Las heurísticas hacen que las expectativas se ajusten a medida que se adquiera más experiencia según sea la capacidad de reconocimiento. Pero, además, las heurísticas de reconocimiento no siempre se aplicarán, ni harán siempre inferencias correctas (Goldstein y Gigerenzer, 2002). Se reconoce las limitantes de los agentes como seres humanos, ya que son dependientes de su capacidad de procesar la estructura de la información en el entorno en que se desenvuelven, en este caso, el sistema financiero.

Para Gigerenzer y Hoffrage (1995) establece que el pensamiento de las personas funciona de forma bayesiana, lo que tiene sentido, ya que lo hacemos por intuición muchas veces. Muchas veces razonamos de la forma lógica: “*Sí, entonces...*” de manera espontánea, pero esto funciona solo por la cantidad de información que se tiene disponible.

La información en el sistema juega un papel fundamental, puesto que la calidad de esta puede ser el factor que cause una bifurcación entre una buena decisión y una decisión que no sea muy buena. El resultado puede dar lugar a expectativas “incorrectas” causan actividad en los mercados financieros, como lo hacen su contrapartida, las expectativas “correctas”, lo que hace que dependa de la calidad de información que esté disponible, la capacidad cognitiva para reproducir el imaginario y modificar las heurísticas.

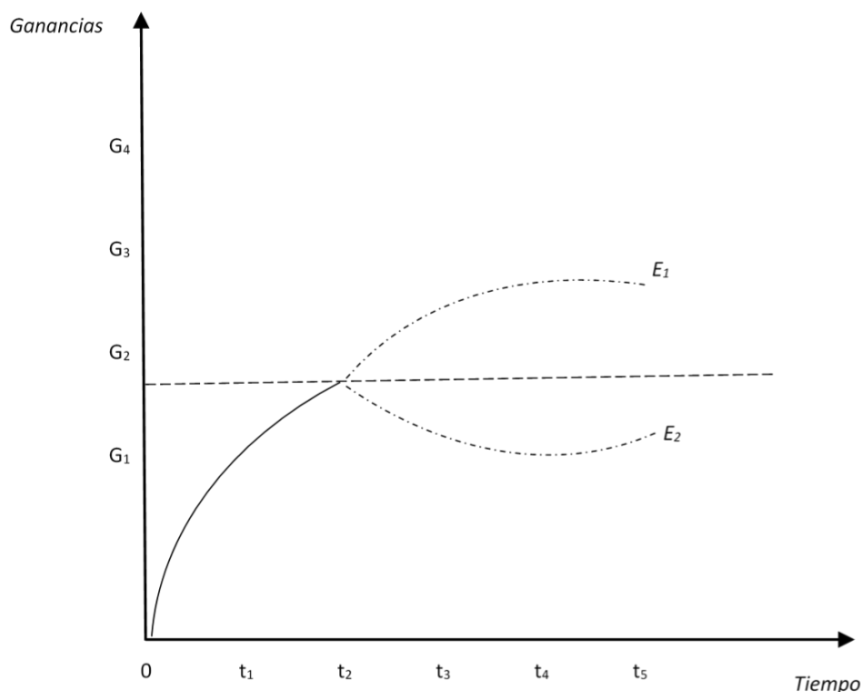


Figura 3.4: Las ganancias por la compra de un activo o una cartera de activos se pueden modificar de acuerdo con la información que se recibe para la construcción de las expectativas. Elaboración propia.

La información que se usa en este proceso complejo de la generación de expectativas puede causar estragos en la toma de decisiones en el sistema financiero. Con un mayor acceso de información o una información de mayor calidad puede producir mejores rendimientos al tomar una decisión de inversión como lo muestra la bifurcación positiva en la figura 3.4 con la expectativa E_1 , mientras que si no tiene mucho acceso a la información o la información no es de buena calidad puede hacer que se adquiera un activo con expectativas que produzcan una decisión con menores rendimientos como con la expectativa E_2 .

La hipótesis de mercados eficientes argumenta que los precios reflejan toda la información disponible. Pero suponer esto es homérico, porque habría que pensar que existe algún tipo de fórmula que transforma desde el espacio de información los precios. Lo que sí podemos decir es que los mercados dentro del sistema crean y agregan información.

Esto implicaría que la información existe como un vector en un espacio n -dimensional,

pero el precio es unidimensional. El problema es que las personas no interactúan de esa forma en los mercados del sistema. Ya que cada agente envía su información de acuerdo con su costo de oportunidad e incertidumbre. Si los agentes están equivocados pueden aprender, si están muy equivocados son eliminados del sistema. En este sentido, solo las heurísticas efectivas sobreviven en el sistema al final de un ciclo de adaptación.

Friedrich Hayek (1983) en su artículo “*El uso del conocimiento en la sociedad*”, plantea que los precios reflejan información, pero que esta información es parcial. Es decir, al llevar información de la n -dimensión a un vector unidimensional se omite una gran cantidad de información. Puesto que las personas no son capaces de procesar y comprender toda la información del sistema, incluso el total de agentes es capaz de lograrlo.

En este sentido, los mercados son eficientes en la manipulación y transmisión de la información: como el precio unidimensional, que es la información mínima para que los agentes interpreten y participen en el sistema. Los precios transmiten solo lo que los agentes consideran la información más importante. Los agentes pueden estar en desacuerdo con el precio, ya que valoran subjetivamente diferente un mismo objeto (o un activo en el sistema financiero). Pero esta valoración tenderá de quien tenga información de mejor calidad o tenga acceso a una mayor cantidad de información, convirtiéndose en un atractor del sistema.

Los mercados de activos tienen una naturaleza recursiva en que las expectativas de los agentes se forman sobre la base de sus expectativas de las expectativas de otros agentes, lo que impide que las expectativas se formen por medios deductivos. En cambio, los *traders* continuamente formulan hipótesis, exploran continuamente, modelos de expectativa, compran o venden sobre la base de aquellos que rinden mejor y los confirman o descartan según su desempeño. Por lo tanto, las creencias o expectativas individuales se vuelven endógenas para el mercado y compiten constantemente dentro de una ecología de las creencias o expectativas de los demás. La ecología de las creencias evoluciona con el tiempo (Arthur y cols., 1997).

Los mercados dentro del sistema financiero son un entorno en el que las redes de relaciones juegan un papel central, y en el que hay problemas relevantes y oportunos para

los cuales el análisis de redes es esencial. El riesgo sistémico en los entornos financieros es un fenómeno de las redes. Hay muchas dimensiones en las que las externalidades de red impulsan fragilidades financieras, y aquí se mencionan dos de ellos. Una se refiere a entrar en pánico y corridas bancarias, y el otro se refiere al riesgo de contraparte, que tiene que ver con la posibilidad de que un socio de negocios por defecto que es impulsado por sus otras inversiones (Jackson y cols., 2016). Si establecemos que el sistema es un conjunto de redes de procesos complejos de generación de expectativas, la información que se genere en una red se esparcirá por todo el sistema.

Se asume que el comportamiento de las expectativas de un individuo en un periodo de tiempo determinado es el de una función logística que depende de la cantidad de información. Imaginemos que el agente i de la figura 3.5 tiene interés de invertir en un título de valor. En t_0 el agente posee poca información, por lo que su expectativa sobre mencionado título es baja. Al interactuar en t_1 con otros agentes del sistema, el agente i obtiene información del título de valor de interés, lo que produce que su expectativa aumente de manera drástica. En un tiempo t_2 el agente i ya no es capaz de procesar toda la información que le llega, por lo que su expectativa crece, pero a tasas más bajas. Esto sucede en un ciclo de adaptación donde no solo importa la cantidad de información, sino que además su calidad. La calidad de la información produciría que la expectativa se desplace dentro de la franja superior F_S e inferior F_I .

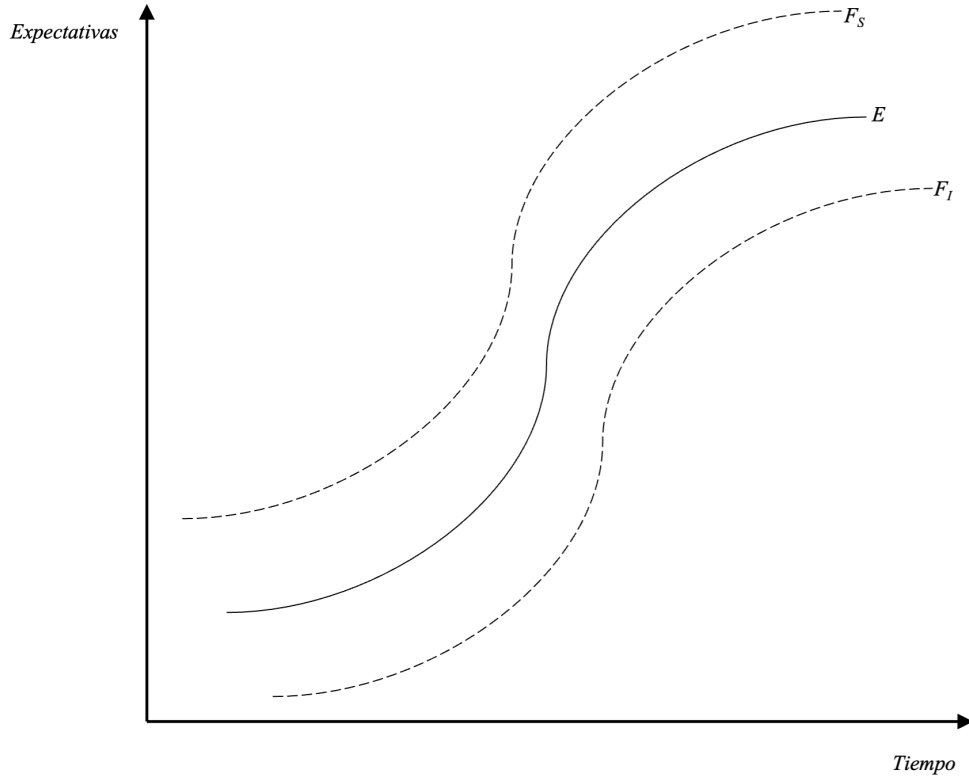


Figura 3.5: Tomemos a un agente i del sistema que tiene una expectativa E sobre algún título de valor. Existe un sendero homeostático (F_S, F_I) de las expectativas que permite que el sistema se reproduzca. Elaboración propia.

Pero, ¿por qué se describe el comportamiento de una función logística y no una exponencial? Esto se debe a que el comportamiento del crecimiento exponencial se caracteriza por su crecimiento hacia el infinito. En el caso de las expectativas no puede tener un crecimiento infinito, está limitado por factores como la cantidad de información, procesos cognitivos con un componente de imaginario, heurísticas, percepción de la incertidumbre y el riesgo. Es por esto por lo que tiene un comportamiento de $\mathcal{S}$, dado que está sujeta a limitaciones propias e inherentes del sistema. El comportamiento de las expectativas puede que no consigan una forma perfecta de una función logística. Pero con seguridad este proceso complejo se encuentra entre bandas de un sendero homeostático. El mismo que garantiza la sostenibilidad y reproducción del sistema con unas bandas que ponen cotas superiores e inferiores donde el sistema se puede reproducir, no existe un equilibrio óptimo, sino un sendero, gracias a la reflexividad que es connatural del sistema.

Al agregar las expectativas tenemos que las expectativas complejas adaptativas son una panarquía, es decir, son un ciclo anidado de adaptación, a medida que pasa el tiempo los agentes las modifican. Estas modificaciones hacen que el sistema sea dinámico. Las creencias comunes no pueden deducirse. Esto se debe a que los agentes deben derivar sus expectativas a partir de un futuro imaginado, el mismo que es el resultado agregado de las expectativas de otros agentes. Hay una autorreferencia de expectativas que conduce a la indeterminación de lo deductivo (Arthur y cols., 1997). Como el sistema es un conjunto de redes, la información se transmite en todo el sistema, esto hace que el conjunto anidado de ciclos de adaptación indique la naturaleza dinámica de las estructuras de las expectativas representadas en las estructuras anteriores.

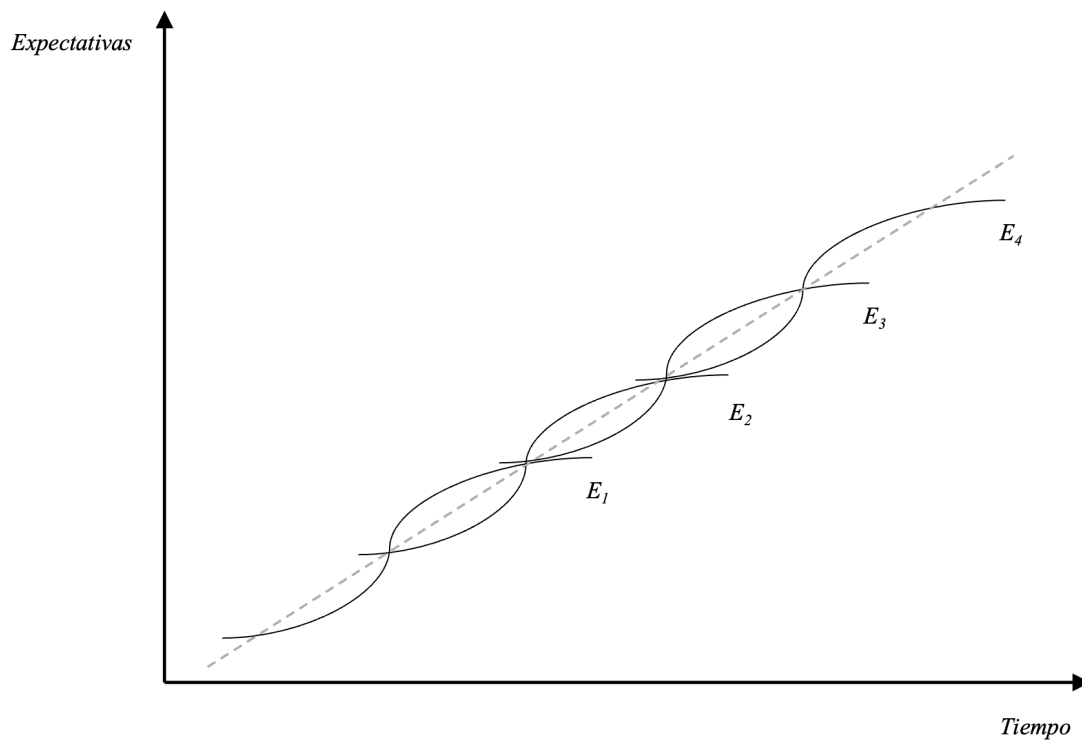


Figura 3.6: En el tiempo las expectativas de un agente son una panarquía. Si agregamos las expectativas de todos los agentes, tendríamos que el futuro se puede aproximar a una estructura fractal. Elaboración propia.

Esto implicaría que las expectativas complejas adaptativas del conjunto de agentes de

un sistema al ser una panarquía se podrían representar como un fractal⁶. En la figura 3.6 tenemos 4 expectativas de 4 agentes diferentes en un mismo ciclo de adaptación, imaginemos tener 10 agentes para diferentes ciclos de adaptación, sería un fractal cuya estructura contiene patrones infinitos que cumplen el principio de autosimilitud. Así, cada ciclo de adaptación contiene un número infinito de ciclos más pequeños. Recordemos que el sistema este compuesto por seres humanos, esto implicaría que los patrones de comportamiento son similares, pero nunca idénticos, es decir que en cada ciclo un agente no repite un patrón anterior a menos que este agente tenga una estrategia dominante, aunque aun así el patrón no sería idéntico a lo mucho similar. Esto nos permite capturar la complejidad del sistema financiero.

Mandelbrot y Hudson (2010) creen que los precios en los mercados financieros son, hasta cierta granularidad, fractales. Plantean que no hay distribuciones normales en las finanzas, sino que todas tienden hacia Cauchy⁷:

$$f(x) = \frac{\mu}{\pi} \frac{1}{\mu^2 + (x + \theta)^2} \quad \text{para } -\infty < x < \infty \quad (3.1)$$

Este ciclo de adaptación captura la heurística y la información con los procesos cognitivos que es el motor generador de expectativas, logrando que periódicamente la variabilidad y la imaginación modifique las expectativas, es decir, los patrones de comportamiento. La consecuencia de las fases periódicas, que son transitorias, produce la evolución y renovación de la panarquía, cada nivel de la estructura y los procesos de un sistema puede ser reorganizado de esta manera. Esta reestructuración elabora un bucle de retorno y permite la posibilidad de nuevas configuraciones del sistema. Este proceso genera oportunidades que utilizan los agentes para producir nueva información con las expectativas modificadas con las expectativas que se habían producido en las fases anteriores. El ciclo de adaptación da lugar a nuevas oportunidades transitorias de generar expectativas que retroalimentan el sistema volviéndolo dinámico y complejo⁸.

⁶La geometría fractal es una de las ramas de las matemáticas creadas más recientemente (finales del siglo XX). Tomo auge luego de la publicación de “*Geometría fractal de la naturaleza*” de Mandelbrot (1997)

⁷La distribución de Cauchy es de probabilidad continua, no posee ni media ni varianza, ya que no tiene valor esperado.

⁸Los agentes económicos forman expectativas y construyen modelos económicos sobre los cuales actúan

Sabríamos que se producirán un cierto tipo de patrón, pero eso no quiere decir que se puedan predecir las formas exactas de los ciclos, recordemos que el sistema está sujeto a la incertidumbre. Como argumentamos en la sección 1, no se hacen mejores pronósticos, pero sí se pueden elaborar posibles escenarios de eventos que tal vez sucedan dentro del sistema. Lo que nos lleva a concluir que el futuro es una construcción social a través de las expectativas complejas adaptativas de los agentes que conforman el sistema, y que este es inherentemente impredecible en su totalidad, pero que se puede anticipar en el corto plazo eventos que responden a ciertos patrones del sistema. De esta forma, las expectativas se forman de manera endógena en el sistema.

En este sentido, la toma de decisiones son el resultado de una evolución ecológica de los instrumentos interpretativos. A través de estos instrumentos (como vimos en la figura 3.2) los agentes generan sus expectativas. Los agentes continuamente construyen modelos perceptuales de la información y la realidad, haciendo que los precios en el mercado financiero se muevan como lo hacen. Las acciones de los agentes dentro del sistema dependen de las acciones anticipadas de un número limitado de agentes. Las relaciones con otros agentes son importantes porque serán quienes influyan de forma directa e indirecta en la generación y modificación de las expectativas. Hay que tener en cuenta que se reconoce la existencia de entropía en el sistema natural, y que todos los sistemas están subyugados a este. Esto implica que la entropía también tiene repercusión en el proceso complejo de generación de las expectativas al procesar de información, es decir, habrá información que no se podrá procesar y además existirá información que no se logrará reprocesar dentro del sistema.

Al establecer la construcción de las expectativas como un proceso complejo adaptativo que a su vez son una panarquía, sé estable que el comportamiento del sistema económico tiene varios niveles de organización e interacción que respetan una jerarquía. Esto hace que los ciclos anidados de adaptación sean continuos y tengan una producción perpetua de innovación dentro del sistema.

a base de las predicciones generadas por estos modelos. Estos modelos anticipativos no tienen por qué ser explícitos, ni coherentes, ni siquiera coherentes entre sí (Arthur y cols., 2015).

Capítulo 4

Conclusiones y agenda pendiente.

4.1. Conclusiones.

La presente investigación es un principio de revisión de algunos autores de como la complejidad puede aportar un marco teórico alternativo de la teoría económica tradicional en la modelación. Se plantearon algunos conceptos que son poco o nada utilizados para la economía como: panarquía, homeostasis, reflexividad, falibilidad, adaptación, causalidad recursiva, entre otros. Estos conceptos pueden ayudar a solventar algunas (no todas) falencias al momento de modelar.

Como una primera aproximación, se estableció que la economía tradicional se modela en dentro de la dinámica lineal apoyada en hipótesis axiomática a pesar de sus intentos por mantenerse como teoría dominante. Esto no descarta las aportaciones, como las de Karl Marx, Adam Smith, Frank Knight, John Maynard Keynes y Kenneth Arrow, o inclusive de la teoría neoclásica, como la de asimetría de la información y mercados imperfectos. El objetivo de la teoría económica moderna en el siglo XXI debería ser estar a la vanguardia dentro de las ciencias sociales y no arraigarse en axiomas y supuestos abstractos. La economía del comportamiento apoyada en diseños psicológicos experimentales ha logrado avances sustanciales en las finanzas y en la economía en el estudio de toma de decisiones.

A pesar de que los sistemas complejos no se han definido en un sentido amplio en la ciencia económica, los mercados financieros satisfacen criterios razonables de ser considerados sistemas complejos adaptativos. Los sistemas financieros modernos se caracterizan por la interconexión de los agentes actuantes gracias al desarrollo imparable de la tecnología. La combinación de complejidad y homogeneidad crea fragilidad e inestabilidad dentro del sistema financiero, de aquí yace la importancia de establecer modelos con heterogeneidad de comportamiento de los agentes.

La propuesta de las expectativas a través de la complejidad es un esfuerzo en tratar de comprender y elaborar escenarios en los mercados financieros. La propuesta se hace dentro del mercado financiero porque es como un gran laboratorio de generación de datos por la interacción de los agentes dentro de este sistema. No es comprensible hablar de un sistema (cualquier sistema) y tener en cuenta la relación de los agentes de manera lineal, cuando no es así. La no linealidad del sistema y la inclusión de las expectativas de los agentes vuelve al sistema dinámico y complejo a la vez.

Se buscó que los agentes no sean los agentes descritos como en la teoría económica tradicional: racionales, maximizadores de utilidades y beneficios que alcancen un óptimo y a su vez un equilibrio; sino que se buscó la humanidad del ser humano, reconociendo sus limitaciones y sesgos cognitivos. En el trabajo no se propuso cómo se deben comportar las personas, sino qué hacen y por qué lo hacen. Por el contrario, los agentes son heterogéneos y sus expectativas se basan en las expectativas de otros agentes.

Las expectativas de los agentes dentro del sistema sobre los posibles resultados del futuro son muy importantes y deben ser tomados en cuenta para entender qué hacen. En este sentido, las expectativas tanto la historia importa. Para entender qué hacen se debe entender que los agentes al tomar decisiones utilizan las expectativas y elaboran escenarios de futuros hipotéticos, según la información disponible y sus heurísticas adquiridas por vivencias y experiencias con el pasar del tiempo.

En este sentido, las expectativas son una panarquía, ciclos anidados de adaptación que se construyen a partir de referencias sociales elaboradas por los agentes dentro del sistema.

Se rompe con la idea tradicional de racionalidad y agente representativo, ya que ni somos tan racionales como la teoría neoclásica lo prescribe y no hay un comportamiento homogéneo de los agentes dentro de un sistema. Se hace relevante en la estructura del sistema y los procesos en los cuales emerge de diferentes formas de organización. Esto es resultado de la interacción de los agentes y vuelve al sistema dinámico y a veces caótico.

Las expectativas descritas en este trabajo lo definimos como resultado de un proceso complejo que incluye la información, procesos cognitivos bajo incertidumbre, donde cada agente tiene una percepción diferente del riesgo. Pero que pueden estar sujetas a modificarse con el intercambio de información entre agentes, tomando así decisiones mejor orientadas. No se toman decisiones bajo la idea de optimización a través de un proceso de maximización, sino que existe un margen donde se pueden modificar estas decisiones si se tiene, no solo más información, sino que información de calidad para la toma de decisión en cuestión.

Si se quiere tratar de entender al sistema financiero hay que modelar uno donde, la dinámica de los agentes está basada en su interacción y como esta es computacionalmente irreducible, hay que seguir paso a paso el proceso y no reducirlo a una expresión matemática generalizadora. El contexto en que se desarrolla el agente es importante, porque el comportamiento de los individuos que interactúan en el sistema no es homogéneo; se tiene que hacer relevante la heurística como transferencia del conocimiento, esta impulsa las acciones del agente, por lo tanto, hay una retroalimentación entre su percepción del medio ambiente y el modelo interno del agente.

Las interacciones de los agentes pueden cambiar el medio ambiente en el que ellos se desenvuelven y su propio comportamiento con su toma de decisiones cambian el medio ambiente. Es decir, existe causalidad recursiva, esto conduce a la formación de fenómenos emergentes dentro del sistema. Hay que reconocer que los agentes se desenvuelven en ecosistema complejo y esta complejidad proviene de dos direcciones: las interacciones entre los agentes que generan expectativas y la retroalimentación no lineal de y hacia el sistema.

Se considera que las expectativas complejas adaptativas (ECA) no son una verdad absoluta dentro de la teoría económica, ni pretenden serlo, pero son una aproximación a lo que

hace una persona al momento de generarlas. Esto se lograría si se toman factores que en la teoría dominante no tiene en consideración. La complejidad nos permite entender lo que realmente pasa en un sistema, ya que se trata al sistema como lo es: un sistema.

Las expectativas complejas adaptativas (ECA), no buscan hacer mejores pronósticos de variables económicas, sino establecer posibles escenarios según las expectativas generadas dentro del sistema, el futuro no se puede adivinar, pero sí construir. Si se entiende la idea de construcción del futuro, se pueden tomar decisiones adecuadas para eventos específicos según sea el contexto. Hay que tener en cuenta la limitante que existe en la capacidad cognitiva de los agentes y la incertidumbre que existe y que es creada en el sistema económico y financiero.

En esencia, las expectativas complejas adaptativas (ECA) se pueden resumir en solo cinco principios clave:

1. No somos racionales ni irracionales, como la teoría económica tradicional manifiesta en algunos de sus constructos teóricos. Somos entidades biológicas cuyas características y comportamientos están formados por un proceso evolutivo. Esto proporciona falibilidad y reflexividad a un sistema compuesto de agentes humanos puede proporcionar al sistema económico. Nuestra racionalidad es inductiva con componentes deductivos y dentro del sistema se produce de forma endógena
2. Tenemos sesgos cognitivos que modifican el comportamiento y tomamos decisiones de acuerdo con la información disponible que somos capaces de procesar. Pero podemos aprender de la experiencia pasada y nuestras heurísticas se pueden modificar.
3. Tenemos la capacidad de abstraer eventos u opciones según nuestra percepción de vivencias y la experiencia. La memoria e imaginario (procesos cognitivos), juegan un papel importante en la generación de las expectativas, específicamente en el análisis prospectivo de qué pasaría sí.
4. La dinámica dentro del sistema financiero está impulsada por las interacciones de los agentes. Esta interacción es dispersa y heterogénea y en algunos casos homogénea al actuar de forma paralela dos agentes. A medida que interactúan, aprenden y se

adaptan a los entornos sociales, culturales, políticos, económicos y naturales en los que se reproducen como seres vivos. Esto crea causalidad recursiva en el sistema: los agentes se retroalimentan y a su vez retroalimentan al sistema. Este comportamiento coevolutivo puede producir que el sistema sea ordenado o caótico.

5. El futuro no se adivina, se construye. Es una construcción social, es decir, es una referencia social. Este sujeto a cambios y modificaciones, siendo este, dependiente de las interacciones y relaciones sociales de los agentes dentro del sistema. Las expectativas podrían representarse como un fractal al establecer el agregado de los ciclos anidados de adaptación de la panarquía de las expectativas complejas adaptativas.

4.2. Agenda pendiente.

En este sentido, y siguiendo el orden de intereses en los que se derivan de esta investigación, la agenda pendiente de este trabajo es extensa y muy rica en contenido:

- Investigar más sobre la concepción de las expectativas en la teoría económica para así conocer sus alcances y limitantes en la modelación, como sus implicaciones en la teoría económica tradicional y su transcendencia a la economía de la complejidad con los aportes de la neurociencia.
- Formalizar las expectativas complejas adaptativas en un marco teórico que tenga alcance de explicar el proceso complejo de generación de las expectativas, como su uso dentro de la modelación económica. Este punto permitirá hacer comparaciones a nivel de dinámica en los modelos que utilizan las expectativas racionales, como los de equilibrio general estocástico, pero con árboles de decisión bayesianos y fractales.
- Elaborar modelos que permitan ver los alcances de sus resultados, tanto teóricos como prácticos, en la teoría económica. Con estos modelos teóricos se pueden producir simulaciones como modelación basada en agentes o modelos de redes neuronales artificiales con información del sistema financiero.

Apéndice A

Evolución del pensamiento económico.

Se presentan, a manera de resumen, las características que tiene cada enfoque en la modelación económica. Somos conscientes que faltan más autores, pero se toman en cuenta aquellas discutidas en este trabajo.

A.1. Aportes al pensamiento económico 1500 - 1974.

<i>Enfoque</i>	<i>Periodo</i>	<i>Autores</i>	<i>Características</i>
Mercantilismo Fisiocracia	1700	Petty (1675) Cantillon (1755) Quesnay (1758)	Varias corrientes, escasa sistematización, algunos principios y formalización del comercio y producción.
Clásica	1800	Smith (1776) Ricardo (1817) Malthus (1820)	Enfoque inspirado por la mecánica clásica, idea de equilibrio, orden natural.
Marxismo	1850	Marx (1848-1867) Engels (1848)	Dinámica, materialismo dialectico, explotación y clase social.
Marginalismo Neoclásica	1890	Menger (1875) Walras (1874) Marshall (1890) Pareto (1906)	Determinismo mecanicista, equilibrio, generalización, análisis estático.
Keynesianos	1940	Smith (1776) Keynes (1936) Hicks, Hansen (1938-1953) Kalecki (1938-1954) J. Robinson (1962) Pasinetti (1974)	Incertidumbre, desequilibrio, macroeconomía, estática comparativa.
Clásicos Modernos	1950	Sraffa (1960) Benetti (1976)	Desequilibrio, precios de producción, dinámica .
Equilibrio General	1970	Arrow (1954-1971) Debreu (1959) Phelps (1967) Hahn (1971)	Existencia del equilibrio, teoremas de punto fijo, agotamiento progresivo.
Teoría de Juegos	1970	Cournot (1838) Morgenstern, Neumann (1947) Nash (1950)	Estrategias, cooperación, equilibrio.

Tabla A.1: Principales ideas de los diferentes enfoques del pensamiento económico. Elaboración a partir de Fernández (2016).

A.2. Aportes al pensamiento económico 1974 - 2000.

<i>Enfoque</i>	<i>Periodo</i>	<i>Autores</i>	<i>Características</i>
Nueva Economía Clásica (NEC) Teoría del Ciclo Real	1980	Lucas, Barro (1981-1986) MacCallum (1986) Kydland-Prescott (1986)	Varias corrientes, escasa sistematización, algunos principios y formalización del comercio y producción.
Nueva Economía Keynesiana (NEK)	1850	Blanchard (1989) Mankiw (1991)	Microfundamentos, fallas de mercado.
Juegos Dinámicos	1995	Kreps (1990) Gibbons (1992) Shapley (1953, 1994, 1996) Roth (1985, 1987, 1990) Tirole (1986, 1988, 1991)	Juegos secuenciales, organización, estrategias, oligopolios, diseño de mecanismos.
Dinámica caótica Economía del comportamiento Complejidad	1999	Arrow (1988) Grandmont (1985) Goodwin (1990) Romer (1986, 1990) Lorenz (1989) Kahneman, Tversky (1979); Thaler (1993, 1994) Arthur (1996, 1998) Day (1994) Simon (1996)	No equilibrio y no linealidad, endogeneidad, racionalidad limitada, no racionalismo, sistemas jerárquicos, sesgos cognitivos, complejidad, autoorganización.

Tabla A.2: Principales ideas de los diferentes enfoques del pensamiento económico. Elaboración a partir de Fernández (2016).

Bibliografía

- Andersen, J. V., y Nowak, A. (2013). *An introduction to socio-finance*. Springer.
- Arrow, K. J., y Debreu, G. (1954). Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 265–290.
- Arthur, W. B. (2014). The economy evolving as its technologies evolve. *Complexity and the Economy*.
- Arthur, W. B., Durlauf, S. N., y Lane, D. A. (2015). Process and emergence in the economy. *Complexity and the Economy*, 89–102.
- Arthur, W. B., Holland, J. H., LeBaron, B., Palmer, R., Tayler, P., Refenes, A. N., y Burgess, A. N. (1997). Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market. *Economic notes-Monte Paschi Siena*, 26(2), 297–336.
- Bach, D. R. (2016). Decision-making under uncertainty. *Neuroeconomics*, 99–111.
- Ball, P. (2008). *Masa crítica: cambio, caos y complejidad*. Turner.
- Bar-Yam, Y. (2019). *Dynamics of complex systems*. CRC Press.
- Beckert, J. (2016). *Imagined futures: Fictional expectations and capitalist dynamics*. Harvard University Press.
- Beinhocker, E. D. (2007). *The origin of wealth: Evolution, complexity, and the radical remaking of economics*. Random House.

- Bookstaber, R. (2017a). Agent-based models for financial crises. *Annual Review of Financial Economics*, 9, 85–100.
- Bookstaber, R. (2017b). *The end of theory: Financial crises, the failure of economics, and the sweep of human interaction*. Princeton University Press.
- Castaingts, J. (2011). *Antropología simbólica y neurociencia*. Barcelona: Anthropos.
- Castaingts, J. (2015). *Dinero, trabajo y poder: una división de la economía actual latino-americana para no economistas y economistas*. Barcelona: Anthropos.
- Darley, V. M., y Kauffman, S. A. (2018). Natural rationality. En *The economy as an evolving complex system ii* (pp. 45–80). CRC Press.
- Fernández, G. P., A. (2016). *Dinámica caótica en economía*. Madrid: Delta, Publicaciones Universitarias.
- Georgescu-Roegen, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Fundación Argentaria Madrid.
- Gigerenzer, G., y Gaissmaier, W. (2011). Heuristic decision making. *Annual review of psychology*, 62, 451–482.
- Gigerenzer, G., y Hoffrage, U. (1995). How to improve bayesian reasoning without instruction: frequency formats. *Psychological review*, 102(4), 684.
- Glattfelder, J. B. (2013). *Decoding complexity: uncovering patterns in economic networks*. Springer.
- Glimcher, P. W., y Fehr, E. (2013). *Neuroeconomics: Decision making and the brain*. Academic Press.
- Goldstein, D. G., y Gigerenzer, G. (2002). Models of ecological rationality: the recognition heuristic. *Psychological review*, 109(1), 75.
- Gros, C. (2015). Random boolean networks. *Complex and Adaptive Dynamical Systems: A Primer*, 217–252.

- Hayek, F. A. (1983). El uso del conocimiento en la sociedad. *Estudios Públicos*, 12, 157–169.
- Holland, J. H. (2004). *El orden oculto: De cómo la adaptación crea la complejidad*. Fondo de cultura económica.
- Holland, J. H. (2012). *Signals and boundaries: Building blocks for complex adaptive systems*. Mit Press.
- Holling, C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4, 390–405.
- Jackson, M. O., Rogers, B. W., y Zenou, Y. (2016). Networks: An economic perspective. *arXiv preprint arXiv:1608.07901*.
- Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Debate.
- Kahneman, D., y Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 363–391.
- Keynes, J. M. (2014). *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero*. Fondo de cultura económica.
- Knight, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit* (Vol. 31). Houghton Mifflin.
- Lo, A. (2017). *Adaptive markets: Financial evolution at the speed of thought*. Princeton University Press.
- Mandelbrot, B. B. (1997). La geometría fractal de la naturaleza.
- Mandelbrot, B. B., y Hudson, R. L. (2010). *The (mis) behaviour of markets: a fractal view of risk, ruin, and reward*. Profile books.
- Mertzanis, C. (2014). Complexity analysis and systemic risk in finance: Some methodological issues. En *Network models in economics and finance* (pp. 199–237). Springer.

- Miller, J. H., y Page, S. E. (2009). *Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life: an introduction to computational models of social life*. Princeton university press.
- Reuter, M., y Montag, C. (2016). *Neuroeconomics*. Springer.
- Shan, Y., y Yang, A. (2008). *Applications of complex adaptive systems*. IGI Global.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, 99–118.
- Smith, A. (2004). *Teoría de los sentimientos morales* (Vol. 2). Fondo de cultura económica.
- Soros, G. (2015). *The alchemy of finance*. John Wiley & Sons.
- Strogatz, S. H. (2001). Exploring complex networks. *nature*, 410(6825), 268–276.
- Tversky, A., Kahneman, D., y cols. (2000). *Choices, values, and frames*. Russell Sage Foundation.