

ECONOMÍA DE LA COMPLEJIDAD. UNA BREVE INTRODUCCIÓN

Complexity Economics. A brief introduction

| Ernesto Vera Gómez¹

RESUMEN

La presente investigación es una introducción a la Economía de la complejidad. Los Sistemas Complejos Adaptativos (SCA) nos dan herramientas teóricas como instrumentales para abordar los fenómenos económicos mejor que la economía tradicional. Se pone en contexto de forma breve el estado actual de la economía tradicional, argumentando que la economía como ciencia tiene que dar un paso hacia adelante para lograr un cambio de paradigma en la modelación. Concluimos que los SCA nos ayudan a realizar aproximaciones de los fenómenos económicos sin proponer supuestos tan restrictivos en las condiciones iniciales de los modelos económicos.

Palabras clave: Complejidad, Estructura, Adaptación, Sistema.

Clasificación JEL: A12, B29, B41, B52, B59.

ABSTRACT

This research is an introduction to the economics of complexity. The Complex Adaptive Systems (CAS) gives us theoretical tools as instrumental to be able to address economic phenomena better than the traditional economy. The current state of traditional economics is briefly put into context, arguing that economics as a science needs to take a step forward, to achieve a paradigm shift in modelling. We conclude that CAS help us to make approximations of economic phenomena without proposing such restrictive assumptions in the initial conditions of economic models.

Keywords: Complexity, Structure, Adaptation, System.

JEL Classification: A12, B29, B41, B52, B59.

¹ Doctor en ciencias económicas por la Universidad Autónoma Metropolitana.

1. Introducción

El presente trabajo busca revisar brevemente el estado del arte de la metodología de la teoría económica en su modelación. Consideramos que la metodología utilizada en los modelos actuales necesita una revisión. Con la evolución de las herramientas computacionales y matemáticas, es posible lograr explicaciones que muchas veces los modelos tradicionales no capturan de los fenómenos económicos. Esto es gracias a que no se tienen en cuenta factores fundamentales de las estructuras económicas como sistema.

Este trabajo es producto de los hallazgos en la investigación realizada en la maestría en el Posgrado de Ciencias Económicas de la UAM (ver Vera Gómez, 2020). Como metodología de investigación utilizamos una revisión del estado del arte de forma cualitativa, con el objetivo de plantear brevemente las diferencias que podemos encontrar en la modelación en la economía tradicional y en la economía de la complejidad.

El cuerpo del trabajo está dividido en cuatro secciones. La primera sección aborda brevemente los Sistemas Complejos Adaptativos (SCA), introduciendo algunos conceptos que consideremos importantes. La segunda sección trata de exponer la situación del pensamiento económico y cómo se puede entender la economía de la complejidad. La tercera sección busca establecer una breve discusión sobre el cambio de paradigma en la visión de la modelación en la teoría económica. Por último, en la cuarta sección se establecen algunas conclusiones.

2. 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 crítico.² Este solo fue el inicio de lo que

² El apéndice de la tesis doctoral «Decoding Complexity, Uncovering Patterns in Economic Networks», de Glatfelder (2013), hace un buen abordaje de la filosofía de la ciencia y la metodología de sistemas complejos.

hoy conocemos como metodología de investigación, de los cuales se derivaron el pensamiento inductivo y deductivo.³

Este camino de la metodología nos ha conducido a lo que hoy llamamos ciencia de la complejidad. El enfoque de la complejidad siempre ha existido; no obstante, su planteamiento como metodología en las ciencias fue hasta el desarrollo de las matemáticas de sistemas y su aplicación a la física. Al intentar explicar los sistemas colectivos, dado que anteriormente se aislaba a las partículas para estudiar su comportamiento. Es decir, que se empezaron a estudiar ya no de manera individual las partículas, sino que cómo funcionan dentro del sistema en el que 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? Podemos partir que son estructuras compuestas por niveles jerárquicos, y cada nivel tiene sus reglas de comportamiento. Partiremos de la premisa de que las estructuras complicadas son reducibles,⁴ mientras que las complejas 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 tan relevante, mientras que en

³ La 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.

⁴ En un mundo complicado, los diversos elementos que componen el sistema deben mantener un grado de independencia el uno del otro. Por 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 & Page 2009, p. 9).

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, p. 10).

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 & Page 2009, p. 3).

Ahora, ¿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 las relaciones. Todas las relaciones no tienen el mismo estrato de importancia, ni todos los agentes. Esto dependerá del grado de relevancia o importancia⁵ que los agentes poseen dentro de la estructura del sistema. Los procesos de adaptación que sufre el sistema, dada esta particularidad, es gracias a los agentes y su interacción con otros agentes. Ellos producen ciclos recursivos 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 qué tan complejo es el sistema de interés a estudiar. Una primera aproximación es que a mayor número de relaciones, más complejo es un sistema, y consideramos sistemas compuestos por agentes interactuantes descritos en términos de reglas. Estos agentes se adaptan cambiando su comportamiento de acuerdo con sus reglas cuando acumulan experiencias.

Para estudiar los sistemas complejos adaptativos (SCA),⁶ Holland (2004, pp. 25-55) establece que se deben tener en cuenta tres propiedades esenciales que estos poseen y se pueden estudiar usando cuatro mecanismos.

Entre las propiedades tenemos:

⁵ Puede entenderse también como poder económico, político, social o influencia.

⁶ En 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, este hace mejor uso del medio ambiente para alcanzar sus propios fines.

- **No linealidad:** a grandes rasgos, la linealidad⁷ significa que se puede obtener un valor para el todo sumando sus partes. En 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 piensa.
- **Flujos:** al hablar de un sistema, debemos tener en cuenta que es un entramado de nodos y enlaces (agentes y relaciones). En los SCA los flujos a través de las redes del sistema varían con el paso del tiempo, gracias a que los nodos y conectores pueden llegar a crearse o destruirse, dependiendo si los agentes fracasan o tienen éxito 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, la diversidad proporciona dinamismo. Esto es gracias a la consecución de adaptaciones que se tiene dentro del sistema.⁸

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

⁷ Una función es lineal si su valor, para cualquier conjunto de valores asignados a sus elementos, es simplemente una suma ponderada de esos valores.

⁸ John Holland (2004, p. 43) 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.

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.
- **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, p. 48-49), 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 cualquier sistema, lo cual en economía es fundamental para entender el funcionamiento de los diferentes «ecosistemas» en donde desarrollan los agentes de interés actividades comerciales. No siempre hay cabida para el «ceteris paribus» como primera instancia, ni para supuestos demasiados restrictivos. El uso de las «herramientas»

tradicionales en las ciencias sociales ha estado limitado en modelar de forma extraña, donde se encuentran en situaciones estáticas u homogéneas dentro de la dinámica lineal. Este tipo de modelación está planteada de un solo agente (en el mejor de los casos son pocos) o infinitos agentes y estos agentes son proféticamente o muy inteligentes, con grandes capacidades de procesar una vasta 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 especial.⁹

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 «duras» como la física, química o las matemáticas, es más sencillo hacerlas; 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 las reglas sociales de comportamiento,¹⁰ por nuestro razonamiento y emociones. Esto vuelve mucho más difícil hacer dichas simplificaciones, y buscamos explicar el mundo en algún punto entre dos extremos.

El objetivo de estudiar la economía a través de los SCA 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.

3. Economía vista desde los sistemas complejos

La economía de la época del desarrollo industrial en los siglos XVIII y XIX tuvo dos direcciones: la primera, recorrida por los clásicos 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. La segunda, basado en el reduccionismo o simplificación matemática que emulaba la mecánica clásica de las ciencias naturales, donde se ignoraba casi

⁹ Ver la demostración de la existencia del equilibrio general competitivo de Arrow & Debreu (1954).

¹⁰ Un ejemplo claro son las leyes prescritas y no prescritas por instituciones o estructuras sociales.

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), ellos 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 o autorregulación 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 industrial.¹¹ 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 2017).

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 personas.¹² Esto fue punto de partida para la teo-

¹¹ Luca Pacioli en 1494 publica la *La Summa*, considerada la primera enciclopedia de matemáticas puras y aplicadas, y da lugar a la partida doble, considerando el nacimiento de la contabilidad.

¹² Para Jeremy Bentham, el dolor y el placer podían ser objeto de medición de acuerdo con:

- Su intensidad.
- Su duración.
- Su certeza o incertidumbre.
- Su proximidad o lejanía.
- Su fecundidad.
- Su pureza.

ría 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 hay 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 parece que es racional, hasta que no lo es; el mismo criterio se aplica en economía: *los modelos económicos funcionan, hasta que lo dejan de hacer*.

Lo que nos lleva a proponer: *el enfoque apropiado para estudiar la economía es tomar la complejidad y la incertidumbre resultante de los procesos del sistema económico*. Analizar los diferentes subconjuntos de interacciones dadas dentro de los diferentes procesos sistémicos nos ayuda a 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 autoorganizados,¹³ 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, p. 392) 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 idea de panarquía describe cómo un sistema socioecológico saludable puede inventar y experimentar, beneficiándose de invenciones que crean oportunidades mientras se mantiene a salvo de aquellos que desestabilizan el sis-

Su extensión, es decir, el número de personas a las que se extiende o (en otras palabras), a quienes afecta.

¹³ «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, p. 391).

tema 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 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, p. 399).

Los ciclos de adaptación descritos tienen tres propiedades:

1. Potencial inherente de una estructura a posibles cambios. Esto determina la cantidad de opciones futuras. Holling (2001, p. 394) lo llama también riqueza del sistema, que a la vez está ligado con la diversidad, de acuerdo con Holland (2004, pp. 42-46).
2. Capacidad de control interno del sistema. Este nos dice cuál es el grado o nivel de conectividad de los agentes y los procesos dentro del sistema. Además, permite determinar el nivel de flexibilidad y rigidez a dichos controles.
3. Capacidad de adaptación o resiliencia. Es decir, la resistencia de la estructura mide el grado de vulnerabilidad del sistema a posibles perturbaciones que pueden ser inesperadas o impredecibles.

El potencial o riqueza también 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 un tiempo determinado. 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, donde no hay cabida a las crisis, es decir, no es ergódico. La crisis es una característica recurrente en los modelos «humanos». Modelos donde la diversidad de agentes y su toma de decisión pueden generar externalidades positivas o negativas al sistema.

Hacemos hincapié en que los sistemas económicos se diferencian de otros sistemas por los seres humanos, quienes dan tres características que los diferencian de otros según la estructura que estos conllevan:

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 característica transmite información sesgada en el sistema, implica que va a depender de los intereses de poder de uno o varios agentes. En economía esto es común observarlo, se pueden 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 y el 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 con estructuras 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 vuelvan más complejos. La toma de decisiones se vuelve 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.

Debemos tener en cuenta que la panarquía como estructura del sistema no es perfecta y puede colapsar. Puede deberse a eventos estocásticos externos o incluso a un ciclo de adaptación. Este último puede 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 las estructuras 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 radical¹⁴ 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 agregación¹⁵ del comportamiento de todos los individuos del sistema, sino que se crean eventos sin orden y dan cabida al caos muchas veces. Las emergencias, ya sean débiles o fuertes, 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 la estructura del sistema. Es decir, 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. 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. Los fenómenos emergentes y los procesos no ergódicos del sistema crean in-

¹⁴ Asumir que la incertidumbre es radical nos 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.

¹⁵ La suma de sus componentes no es igual al total de sus partes.

certidumbre. 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, absolutamente todos, sufren de incertidumbre. Kurt Gödel demostró a través de la crítica hecha al texto de Bertrand Russell y Alfred North Whitehead (1910) *Principia Mathematica* de más de 1800 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 inconsistente.¹⁶ 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 hace referencia 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 algunos de los cimientos de la teoría neoclásica. El sistema económico puede entrar en crisis, y esto se debe a que los modelos económicos no suelen tomar 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.

Como ya mencionamos, 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

¹⁶ Lo que se conoce como el teorema de Gödel: *Si es lógico no es completo, si es completo no es lógico.*

con las interacciones sociales y la comunicación crean complejidad que excede nuestros límites de comprensión de un problema.

El comportamiento de los agentes está alejado de lo real en los modelos y confundimos la realidad económica que propone la economía tradicional con lo real.¹⁷ El *homo economicus* deductivo y 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 de Arthur et al. (1997), la cual tiene en cuenta la reflexividad de Soros (2015). Esta racionalidad¹⁸ 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 es gracias a la historia que es importante. Los hechos vividos o narrados de otros agentes son vitales. No solo los números fríos de un cálculo, sino que el contexto de donde fueron tomados esos números nos ayudara a seleccionar entre una(s) u otra(s) alternativa(s).

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. Lo correcto sería buscar patrones en los comportamientos promedio.

¹⁷ Sabemos que los modelos tratan de ser una abstracción de un fenómeno real, y con esto creamos las teorías. Pero tendemos a confundir o creer que los modelos son el fenómeno real.

¹⁸ Hay otras ideas sobre la racionalidad, como la racionalidad limitada de Simon (1955), la racionalidad natural de Darley & Kauffman (2018) o la racionalidad ecológica de Goldstein & Gigerenzer (2002). Un trabajo más reciente propone un comportamiento algorítmico; ver Rosas Sánchez & Vera Gómez (2024).

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 al sistema económico como un sistema que evoluciona sujeto a la entropía. 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 e irrevocable, de acuerdo con la ley de la entropía.¹⁹ Esto explicaría por qué no se puede explicar solo en términos mecánicos.

En el trabajo de Georgescu-Roegen (1996) podemos observar que 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 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 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 se plantea en 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. Podemos pensarlo como dos bandas, una inferior y una superior; mientras el sistema se encuentre dentro de esta banda se puede autorregular; si se sale, entonces necesitará una regulación externa.

Las limitantes humanas se traducen en limitantes para el sistema y es uno de los motivos de por qué los modelos económicos fallan al entrar en crisis. Es por

¹⁹ La entropía mide la cantidad de orden que hay en un sistema. Es decir, si el «desorden» aumenta, la entropía también lo hace (Ball 2008, p. 49).

esto 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 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 optimizadores,²⁰ sino por heurística. Esta heurística se basa 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 estrategias.²¹

La economía desde su génesis ha sufrido varios cambios, a lo que llamaría Eric Beinhocker (2007) el algoritmo de evolución²² 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 las tablas 1 y 2²³ se muestra, a grandes rasgos, la evolución del pensamiento económico a través de una línea de tiempo de forma reducida.

²⁰ Según Arthur, Durlauf & Lane (2015) la teoría tradicional tiene una base cognitiva unitaria de acuerdo con su racionalidad y su capacidad de optimar.

²¹ Tiene relación con el pensamiento rápido o sistema 1 que propone Kahneman (2013) y la racionalidad ecológica de Goldstein & Gigerenzer (2002).

²² Para él, el algoritmo evolucionista se basa en diferenciar, seleccionar y amplificar.

²³ Cabe 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.

Tabla 1. PRINCIPALES IDEAS DE LOS DIFERENTES ENFOQUES DEL PENSAMIENTO ECONÓMICO

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

Fuente: Elaboración a partir de Fernández & Grau (2016).

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 & Fehr 2013, p. 14).

TABLA 2. PRINCIPALES IDEAS DE LOS DIFERENTES ENFOQUES DEL PENSAMIENTO ECONÓMICO

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

Fuente: Elaboración a partir de Fernández & Grau (2016).

Como sabemos, la economía neoclásica es la escuela dominante hasta la actualidad, toma la idea de la mano invisible de Smith (1976)²⁴ y la formaliza con los métodos de la mecánica clásica de la física, añadiendo las ideas de los utilitaristas y marginalistas.²⁵ Este vendría ser el inicio del alejamiento de la realidad en 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 treinta. 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

²⁴ Pero no tomaron en cuenta «La teoría de los sentimientos morales» de Smith (2004), sino el planteamiento fuera distinto.

²⁵ Esta es denominada como la edad de oro de la economía, debido a que se adjudica su formalización teórica. A partir de aquí la economía empieza a adoptar el carácter de ciencia y toma una posición importante en la comunidad académica.

sea casi impredecible, difiriendo así de la idea que surgiría luego de expectativas racionales.

Además, 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 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, como lo menciona 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, que retoma 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 utilidad,²⁶ 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 and Debreu (1954) ponen en escena de nuevo 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

²⁶ Según 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».

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 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 cómo 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 salió 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 vital 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 juegos dinámicos y modelados en 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.

Se necesita un cambio de paradigma en la teoría económica moderna. Necesitamos tener en cuenta las herramientas que nos facilita los SCA. 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, por ejemplo, serían las mismas siempre. Sin embargo, este no es el caso, dado que los SCA son dinámicos por sí mismos.

4. El cambio de paradigma en la modelación económica

El cambio de paradigma es necesario en la modelación en economía. Cada vez se vuelve más técnica y abstracta, pero menos real. Este no es un problema de la economía como tal. Recordemos que el núcleo de la economía como teoría está en 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 equilibrio;²⁷ desde sus inicios, este fue el resultado de la incorporación de la mecánica clásica en el método de hacer economía, lo que llevó a muchos economistas a tratar de encontrar las «leyes naturales» que rigen a los procesos económicos y cómo 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 un equilibrio. Una vez más, los economistas lo adoptaron para explicar el paso de un equilibrio a otro, pero como en la termodinámica, no se explica del todo 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

²⁷ En 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 (Arthur 2014, p. 5).

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, p. 12) propone que debemos estudiar la economía en desequilibrio real. 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» (o desequilibrio transitorio) 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 surgen. 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.

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 complejos,²⁸ 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 impor-

²⁸ Complejidad es el estudio de las consecuencias de las interacciones, estudia patrones, fenómenos o estructuras que emergen de las interacciones de los agentes (Arthur 2014, p. 14).

tante 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 de la estructura del sistema. Un evento que ocurre en un nodo de la red puede provocar un efecto cascada, lo que produce que se propague en los nodos contiguos y así hasta que se ha esparcido por toda la estructura de la red del sistema.²⁹ Por ejemplo, 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 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 neoclásica 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 neoclásica se acentuó entre la década de los setenta y ochenta del siglo xx, cuando se introdujo la idea de expectativas racio-

²⁹ Las redes pueden estar estabilizándose entre sí, al igual que los bancos pueden proporcionar seguro a otros bancos, pero también pueden ser mutuamente desestabilizante, como las pérdidas en cascada a través de las instituciones financieras debido a que entre sí tienen relaciones financieras.

nales, el agente representativo, la idea de mercado eficiente, la cartera de Markowitz, los modelos de valoración de activos, entre otros.

5. Conclusiones

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*, juegos dinámicos y la inteligencia artificial. Estas nuevas herramientas permiten evitar caer en supuestos rígidos que, en su mayoría de veces, son necesarios para lograr el equilibrio. Es decir, el objetivo final de la teoría económica tradicional está en la periferia del concepto del equilibrio. Esta idea no solo está en los neoclásicos, sino también en los clásicos. Muchos economistas confunden al equilibrio como estado del fenómeno y no lo tratan como lo que es, un estado del modelo. La actualización del instrumental modelador no solo es necesario para que la economía como ciencia avance; 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 harán evidentes 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 3 se sintetizan, a grandes rasgos, las principales diferencias de la economía de la complejidad y de la economía tradicional, dando a notar la importancia de las características a tener en cuenta al momento de construir modelos, de las cuales en su mayoría ya se han tratado superficialmente a lo largo de la primera sección de este trabajo.

Lo que se propone a lo largo de este escrito no es la panacea de la ciencia económica; es un ejercicio que busca una forma de explicar mejor al sistema económico. Uno que ayude a entenderlo de una forma más cercana a la percepción de la realidad económica, elaborando diferentes escenarios posibles, cosa que en el núcleo de la teoría tradicional supone que sucede al usar un agente híbrido entre un dios y una inteligencia artificial, dejando de lado al ser humano con sus limitaciones o «imperfecciones».

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LA ECONOMÍA DE LA COMPLEJIDAD Y LA ECONOMÍA TRADICIONAL EN LA CONCEPCIÓN DE MODELOS

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

Fuente: Elaboración a partir de Fernández & Grau (2016).

Es importante resaltar que la economía de la complejidad es interdisciplinaria, y este trabajo busca revisar de forma introductoria algunos conceptos con la ayuda de disciplinas como la ecología, biología, psicología, sociología, neurociencias,

matemáticas y la física. El objetivo es enriquecer la ciencia económica y modelar sistemas económicos de una forma más cercana a los fenómenos reales que observamos. Debemos plantear el comportamiento de los agentes no suponiendo como piensan, sino tratando de explicar por qué hacen lo que hacen.

Referencias

- Andersen, Jørgen Vitting, and Andrzej Nowak (2013). *An Introduction to Socio-Finance*. Springer.
- Arrow, Kenneth J., and Gerard Debreu (1954). Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 265-90.
- Arthur, W. Brian (2014). The Economy Evolving as Its Technologies Evolve. *Complexity and the Economy*.
- W. Brian, Arthur, Steven N. Durlauf, and David A. Lane (2015). Process and Emergence in the Economy. *Complexity and the Economy*, 89-102.
- W. Brian, Arthur, John H. Holland, Blake LeBaron, Richard Palmer, Paul Tayler, AP N. Refenes, and Burgess, Andrew N. (1997). Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market. *Economic Notes-Monte Paschi Siena*, 26(2), 297-336.
- Bach, Dominik R. (2016). Decision-Making Under Uncertainty. *Neuroeconomics*, 99-111.
- Ball, Philip (2008). *Masa crítica: cambio, caos y complejidad*. Turner.
- Bar-Yam, Yaneer (2019). *Dynamics of Complex Systems*. CRC Press.
- Battiston, Stefano, J. Doyne Farmer, Andreas Flache, Diego Garlaschelli, Andrew G. Haldane, Hans Heesterbeek, Cars Hommes, Carlo Jaeger, Robert May, and Marten Scheffer (2016). Complexity Theory and Financial Regulation. *Science*, 351, 818-19. <<https://doi.org/10.1126/science.aado299>>.
- Beckert, Jens (2016). *Imagined Futures: Fictional Expectations and Capitalist Dynamics*. Harvard University Press.
- Beinhocker, Eric D. (2007). *The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics*. Random House.
- Bookstaber, Richard (2017a). Agent-Based Models for Financial Crises. *Annual Review of Financial Economics*, 9, 85-100.
- ____ (2017b). *The End of Theory: Financial Crises, the Failure of Economics, and the Sweep of Human Interaction*. Princeton University Press.
- Castaingts, Juan (2011). *Antropología simbólica y neurociencia*. Anthropos.

- _____. (2015). *Dinero, trabajo y poder: una división de la economía actual latinoamericana para no economistas y economistas*. Anthropos.
- Colander, David (2003). Post Walrasian Macroeconomics and Heterodoxy: Thinking Outside the Heterodox Box. *International Journal of Political Economy*, 33(2), 68-81. <<https://doi.org/10.1080/08911916.2003.11042895>>.
- Darley, Vincent M., and Stuart A Kauffman (2018). Natural Rationality. In *The Economy as an Evolving Complex System II*, 45-80. CRC Press.
- Fernández, A., and P. Grau (2016). *Dinámica caótica en economía*. Delta, Publicaciones Universitarias.
- Georgescu-Roegen, Nicholas (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Fundación Argentaria Madrid.
- Gigerenzer, Gerd, and Wolfgang Gaissmaier (2011). Heuristic Decision Making. *Annual Review of Psychology*, 62, 451-82.
- Gigerenzer, Gerd, and Ulrich Hoffrage (1995). How to Improve Bayesian Reasoning Without Instruction: Frequency Formats. *Psychological Review*, 102(4), 684.
- Glattfelder, James B. (2013). *Decoding Complexity: Uncovering Patterns in Economic Networks*. Springer.
- Glimcher, Paul W., and Ernst Fehr (2013). *Neuroeconomics: Decision Making and the Brain*. Academic Press.
- Goldstein, Daniel G., and Gerd Gigerenzer (2002). Models of Ecological Rationality: The Recognition Heuristic. *Psychological Review*, 109(1), 75.
- Gros, Claudius (2015). Random Boolean Networks. *Complex and Adaptive Dynamical Systems: A Primer*, 217-52.
- Hayek, Friedrich A. (1983). El uso del conocimiento en la sociedad. *Estudios Públicos*, 12, 157-69.
- Hoffmann, Christian Hugo (2017). Towards Understanding Dynamic Complexity in Financial Systems Structure-based Explanatory Modelling of Risks. *Systems Research and Behavioral Science*, 34(6), 728-45. <<https://doi.org/10.1002/sres.2414>>.
- Holland, John H. (2004). *El orden oculto: de cómo la adaptación crea la complejidad*. Fondo de Cultura Económica.
- _____. (2012). *Signals and Boundaries: Building Blocks for Complex Adaptive Systems*. Mit Press.
- Holling, Crawford S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4, 390-405.

- Hynes, William, Benjamin D. Trump, Alan Kirman, Andrew Haldane, and Igor Linkov (2022). Systemic Resilience in Economics. *Nature Physics*, 18(4), 381-84. <<https://doi.org/10.1038/s41567-022-01581-4>>.
- Jackson, Matthew O, Brian W Rogers, and Yves Zenou (2016). *Networks: An Economic Perspective*. arXiv Preprint arXiv:1608.07901.
- Kahneman, Daniel (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Debate.
- Kahneman, Daniel, and Amos Tversky (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk. *Econometrica*, 47(2), 363-91.
- Keynes, John Maynard (2014). *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero*. Fondo de Cultura Económica.
- Knight, Frank Hyneman (1921). *Risk, Uncertainty and Profit* (vol. 31). Houghton Mifflin.
- Lo, Andrew (2017). *Adaptive Markets: Financial Evolution at the Speed of Thought*. Princeton University Press.
- Mandelbrot, Benoit B. and Richard L Hudson (2010). *The (Mis) Behaviour of Markets: A Fractal View of Risk, Ruin, and Reward*. Profile Books.
- Mandelbrot, Benoît B. (1997). *La geometría fractal de la naturaleza*. Tusquets.
- Mertzanis, Charilaos (2014). Complexity Analysis and Systemic Risk in Finance: Some Methodological Issues. In *Network Models in Economics and Finance* (pp. 199-237). Springer.
- Miller, John H., and Scott E. Page (2009). *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton university press.
- Reuter, Martin, and Christian Montag (2016). *Neuroeconomics*. Springer.
- Rosas Sánchez, Gabriel Alberto, and Ernesto X. Vera Gómez (2024). Algoritmo social de elección: alternativa al determinismo neoclásico. *Revista de Economía Institucional*, 26(50), 105-28.
- Sau, Lino (2013). Instability and Crisis in Financial Complex Systems. *Review of Political Economy* 25(3), 496-511. <<https://doi.org/10.1080/09538259.2013.807674>>.
- Shan, Yin, and Ang Yang (2008). *Applications of Complex Adaptive Systems*. IGI Global.
- Simon, Herbert A. (1955). A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 99-118.
- _____ (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467-82. <<https://doi.org/https://www.jstor.org/stable/985254>>.
- Smith, Adam (2004). *Teoría de los sentimientos morales* (vol. 2). Fondo de Cultura Económica.
- Soros, George (2015). *The Alchemy of Finance*. John Wiley & Sons.

Ernesto Vera Gómez

- Strogatz, Steven H. (2001). Exploring Complex Networks. *Nature*, 410(6825), 268-76.
- Tversky, Amos, Daniel Kahneman et al. (2000). *Choices, Values, and Frames*. Russell Sage Foundation.
- Vera Gómez, Ernesto X. (2020). *Expectativas Complejas Adaptativas (ECA). Una aproximación teórica desde la complejidad*. Universidad Autónoma Metropolitana. <<http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=24547&-docs=UAMII24547.pdf>>.