

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**



**CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD: ESTADO ACTUAL**

**Trabajo de Grado**

**David Eduardo Cancino Quintero**

**BOGOTÁ**

**2016**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**



**CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD: ESTADO ACTUAL**

**Trabajo de Grado**

**David Eduardo Cancino Quintero**

**Nelson Alfonso Gómez Cruz**

**Administración de negocios internacionales**

**Bogotá**

**2016**

## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO .....	1
RESUMEN .....	2
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Planteamiento del problema .....	4
1.2 Justificación .....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos .....	6
1.4 Alcance y vinculación con el proyecto del profesor.....	6
2. CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y ECONOMÍA.....	7
2.1 Introducción.....	7
2.2 Reflexiones de las ciencias de la complejidad en economía. ....	9
2.3 El estado actual de la cuestión .....	14
2.3.1 Economía computacional basada en agentes.....	14
2.3.1.1 Historia y desarrollo .....	14
2.3.1.2 Campos de estudio actual .....	16
2.3.2 La economía comportamental.....	18
2.3.2.1 Historia y antecedentes .....	18
2.3.2.2 Campos de actual estudio .....	20
2.3.3 Economía evolutiva .....	21
2.3.3.1 Historia y antecedentes .....	21
2.3.3.2 Estado actual campos de investigación.....	24

2.3.4 Teoría de redes económicas.....	25
2.3.4.1 Historia y antecedentes.....	25
2.3.4.2 Estado actual campos de investigación.....	27
2.3.5 Econofísica.....	28
2.3.5.1 Historia y antecedentes.....	28
2.3.5.2 Avances y campos de estudio actuales.....	30
3. CONCLUSIONES.....	32
4. RECOMENDACIONES.....	33
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	34

## TABLAS ESPECIALES

Tabla 1. Diferencias del sistema económico según las ciencias económicas tradicionales y las ciencias de la complejidad en economía. ....	12
Ilustración 1. Evolución ciencias económicas tradicionales y ciencias de la complejidad en economía. ....	13

## GLOSARIO

**Ciencias económicas tradicionales:** Conjunto de ciencias que buscan explicar la asignación de recursos escasos.

**Ciencias de la complejidad:** Conjunto de ciencias que tratan los sistemas complejos.

**Equilibrio:** Estado de inmovilidad de un cuerpo sometido a dos o más fuerzas de la misma intensidad que actúan en sentido opuesto, por lo que se contrarrestan o anulan.

**Racionalidad:** Actitud del que actúa de acuerdo con la razón y no se deja llevar por sus impulsos.

## RESUMEN

Los aportes teóricos y aplicados de la complejidad en economía han tomado tantas direcciones y han sido tan frenéticos en las últimas décadas, que no existe un trabajo reciente, hasta donde conocemos, que los compile y los analice de forma integrada. El objetivo de este proyecto, por tanto, es desarrollar un *estado situacional* de las diferentes aplicaciones conceptuales, teóricas, metodológicas y tecnológicas de las ciencias de la complejidad en la economía. Asimismo, se pretende analizar las tendencias recientes en el estudio de la complejidad de los sistemas económicos y los horizontes que las ciencias de la complejidad ofrecen de cara al abordaje de los fenómenos económicos del mundo globalizado contemporáneo.

### **Palabras clave:**

Pensamiento económico, ciencias de la complejidad, equilibrio, racionalidad.

## **ABSTRACT**

The theoretical and applied contributions of complexity sciences in economy has taken so many directions and have been so fast in last decades, that actually does not exist a recent work, far from we know, that compiles and analyze integrally these contributions. The objective of this document is to develop a situational state of the different conceptual, theoretical, methodological and technological applications of complexity sciences in economy. Therefore, to analyze the actual tendencies in the complex economic systems research and the horizons that complexity sciences offers to the nowadays economic issues of a globalized world.

### **Key words**

Economic traditional sciences, complexity sciences, equilibrium, rationality.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema

Algunos de los objetivos de la ciencia económica son comprender y entender la realidad económica para poder explicarla. En la medida que no lo logre, habrá que revisar cuales son las falencias de la misma y encontrar nuevas maneras de lograr mejores comprensiones de la realidad. Por ello la pregunta ¿La ciencia económica permite entender amplia y profundamente la realidad económica actual? Cobra importante relevancia.

En su texto *How did economists get it so wrong?*, Paul Krugman (2009), muestra cómo la ciencia económica está cada vez más alejada de la realidad. Debido a su constante preocupación por el diseño de ecuaciones elegantes y sencillas, y la afirmación de supuestos que no guardan ninguna conexión con la realidad, es que la ciencia económica se ha quedado corta para dar respuestas a fenómenos como la crisis de pago griega o la crisis financiera global del 2008.

Dichos supuestos inconexos de la realidad han sido en parte re-formulados y superados por las ciencias de la complejidad. A continuación se enuncian y explican algunos de ellos.

- **Homo economicus:** La ciencia económica tradicional asume que el hombre tiene capacidad quasi-infinita de almacenar y procesar información, además de ser egoísta y moverse solo por fines utilitarios. Sin embargo se ha demostrado que nuestra capacidad para recibir información y procesarla es muy limitada, una llamada telefónica o una conversación puede reducir de manera importante esta capacidad. Igualmente, el homo economicus no logra explicar fenómenos como la cooperación entre individuos donde la utilidad de un agente puede disminuir, tal como lo asegura Holt *et al* (2011).
- **Paradigma del equilibrio:** la búsqueda constante de un equilibrio para un mercado o su punto más eficiente ha sido también una de las constantes preocupaciones de la ciencia económica tradicional, sin embargo, teorías como la desarrollada por Lorentz sobre el caos han demostrado la posibilidad de equilibrios múltiples y dinámicos.
- **Control del sistema económico:** para los científicos económicos ortodoxos el estado juega un papel vital al ser el agente que controla y regula el mercado, para estos, el Estado tiene la

potestad de corregir potenciales fallas de mercado. Aun así, para Helbing & Ballietti (2010) el sistema económico puede responder de manera contraria al estímulo externo que se le dé, además que grandes reformas pueden provocar muy pequeñas variaciones del estado del sistema económico.

Estos nuevos enfoques implican una revolución de la ciencia económica Holt *et al* (2011), un antes y un después que se orienta hacia un mejor entendimiento de la realidad económica. Sin embargo, los retos que se plantean implican continuar con la investigación de estos temas, sus avances y pertinencias.

Dada la novedad de estas contribuciones y los constantes avances, la actualización del estado de la situación obliga al ámbito académico a estar permanentemente en la búsqueda de nuevos avances que puedan ser de utilidad a la comunidad científica para el desarrollo de lo que se ha llamado la nueva economía. ¿Qué tipo de herramientas nuevas (conceptuales, metodológicas, tecnológicas) ofrecen las ciencias de la complejidad? ¿Cuáles son los nuevos enfoques de las ciencias de la complejidad en economía? Estas son algunas de las preguntas que busca responder este proyecto mediante la realización de un estado de la cuestión (estado situacional, estado de la cuestión, estado del arte) de las ciencias de la complejidad en economía.

## **1.2 Justificación**

Uno de los principales objetivos de este documento de investigación es encontrar aquellos momentos en que la ciencia económica ha perdido su conexión con las problemáticas de un mundo real e integrado. Problema abordado desde las ciencias de la complejidad. Este objetivo se articula con la línea de realidad que tiene por objeto tratar todas las dinámicas de mercado que tiene que ver con la Escuela de Negocios, del sector real y que pueden ser abordadas desde la academia. En el particular interés de la Escuela de Negocios, estas nuevas dinámicas tienen implicaciones importantes en las firmas y corporaciones, puesto que es este su hábitat natural, que también se ha visto afectada por los viejos supuestos de la ciencia económica tradicional.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un estado de la cuestión (situación actual, estado del arte) de las ciencias de la complejidad en economía.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Recopilar la literatura relevante (en los libros y revistas indexadas) sobre ciencias de la complejidad y su aplicación en la economía.
- Identificar los principales autores y sus contribuciones al desarrollo de las ciencias de la complejidad en economía.
- Establecer las principales tendencias en ciencias de la complejidad en la economía, sus alcances y sus limitaciones.
- Realizar un análisis comparativo que confronte autores, tendencias e hitos relevantes en el desarrollo de las ciencias de la complejidad en economía.
- Analizar, desde una perspectiva crítica, las diferentes tendencias que existen en las ciencias de la complejidad y su aplicación en la economía.

## **1.4 Alcance y vinculación con el proyecto del profesor**

Uno de los principales objetivos de este documento de investigación es encontrar aquellos momentos en que la ciencia económica ha perdido su conexión con las problemáticas de un mundo real e integrado. Problema abordado desde las ciencias de la complejidad. Este objetivo se articula con la línea de realidad que tiene por objeto tratar todas las dinámicas de mercado que tiene que ver con la Escuela de Negocios, del sector real y que pueden ser abordadas desde la academia. En el particular interés de la Escuela de Negocios, estas nuevas dinámicas tienen implicaciones

importantes en las firmas y corporaciones, puesto que es este su hábitat natural, que también se ha visto afectada por los viejos supuestos de la ciencia económica tradicional.

## 2. CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y ECONOMÍA

### 2.1 Introducción

Las ciencias económicas tradicionales han sido incapaces de prever y dar soluciones reales a la concentración de la riqueza, el desempleo en países emergentes y el desastre ambiental en muchas latitudes, fenómenos propios del capitalismo, el cual se ha desarrollado bajo algunos de los supuestos de esta ciencia. Autoridades en el campo exponen sus argumentos a favor de un replanteamiento de las ciencias económicas tradicionales, tal es el caso del premio nobel de economía Paul Krugman (Ver Krugman, 2009) y el manifiesto de cerca de 2000 científicos que concluyen que “Pocos economistas lograron anticipar la actual crisis. Sin embargo esta falla en la predicción es la menos grave que existe en el campo. Más importante fue la ceguera ante la posibilidad de fallas catastróficas en una economía de mercado...”<sup>1</sup>

La metodología, las herramientas y los supuestos de las ciencias económicas tradicionales han sido insuficientes para la comprensión de la realidad económica. La abstracción de la realidad basada en agentes representativos y modelables matemáticamente con el objetivo de lograr rigurosidad científica, ha sacrificado la concordancia con la realidad. La formulación de sus supuestos no es ajena a esta realidad, el replanteamiento del equilibrio general, la hiper-racionalidad de los agentes, la independencia y la linealidad ha sido sugerida por una nueva ola de científicos (Helbing & Balmelli, 2010) que propenden por un nuevo enfoque para el tratamiento de la realidad económica. (Arthur, 2015).

---

<sup>1</sup>“Few economists saw our current crisis coming, but this predictive failure was the least of the field’s problems. More important was the profession’s blindness to the very possibility of catastrophic failures in a market economy ...”

A finales de la década de 1980, en el contexto del naciente Instituto Santa Fe, Kenneth Arrow, premio nobel de economía, y Philip Anderson, premio nobel de física, convocaron un grupo interdisciplinario de investigadores, entre los que se encontraba el economista Brian Arthur, para considerar la plausibilidad teórica de hablar de la economía como un sistema evolutivo y complejo. (Arthur, Durlauf & Lane, 1996). El revolucionario enfoque propuesto por este grupo de científicos ha derivado en el replanteamiento de los supuestos y campos de las ciencias económicas tradicionales, cuyas principales aristas han sido la macroeconomía y microeconomía. Las ciencias de la complejidad en economía han ensanchado su alcance, en otros casos contradice sus posturas, lo cual constituye, en muchos casos, una ruptura con la visión económica ortodoxa de comprensión de la realidad económica.

La macroeconomía y microeconomía siguen siendo sobresalientes, pero nuevos campos como la *economía computacional basada en agentes*; la *econofísica*, la *economía comportamental*, el estudio de *redes económicas* y la *economía evolutiva*, resultan mucho más generosos en la cantidad de aportes de importante utilidad para responder de manera precisa a fenómenos económicos de la actualidad; Ha sido tan vertiginoso el avance de estos campos que no existe en la actualidad un trabajo que compile el estado actual de las herramientas, metodologías y avances más relevantes que ofrecen estos campos, por ello este documento analizará las tendencias y enfoques de las ciencias de la complejidad en economía, desde su nacimiento en 1987 en el Instituto Santa Fe hasta nuestros días, explorando sus campos de estudio, avances, ventajas y retos de esta nueva concepción de la realidad económica.

Para ello la sección 2 abordará inicialmente algunas reflexiones de las ciencias de la complejidad en economía que buscan aclarar su evolución, relación y diferencia con las ciencias económicas tradicionales, para luego desarrollar el estado actual de la cuestión desde la nueva metodología propuesta por la economía computacional basada en agentes que se desarrollara en la sección 3 y los retos que de allí se derivan, como la economía comportamental y evolutiva, en las secciones 4 y 5, para dar paso a campos instrumentales como la teoría de redes económicas y la econofísica, en las dos últimas secciones.

## 2.2 Reflexiones de las ciencias de la complejidad en economía.

Es importante delimitar las ciencias económicas tradicionales de las ciencias de la complejidad en economía. El principal objetivo de ambas es interpretar la realidad económica, tanto en los supuestos que desarrollan, como la metodología y herramientas que usan para comprenderlos que tienen la finalidad de dar respuestas sobre fenómenos económicos específicos. En estas características encontramos diferencias importantes, dejando espacio al complemento y al fortalecimiento del pensamiento económico.

Comparada con la física, es preciso afirmar que el éxito cuantitativo de las ciencias económicas tradicionales ha sido decepcionante. Cohetes que viajan a la luna; energía extraída a partir de cambios diminutos en masas atómicas. ¿Cuál ha sido el avance más importante de las ciencias económicas tradicionales? Únicamente su incapacidad recurrente de predecir y advertir crisis, incluido el debacle financiero reciente.

De esta manera Jean Philip Bouchaud, director de investigación del Capital Fund Management y profesor de física del École Polytechnique en Francia, expone la naturaleza de la crisis de las ciencias económicas tradicionales. De cuestionamientos de esta índole han surgido las inquietudes por encontrar los puntos críticos en los que han fallado las ciencias económicas tradicionales, sobre todo la reflexión de los supuestos bajo los que se ha desarrollado, de los que se constituyen errores fundamentales al contrastarlos con la realidad, a continuación se analiza brevemente sus falencias.

**Homo economicus:** La ciencia económica tradicional asume que el hombre tiene capacidad quasi-infinita de almacenar y procesar información, además de ser egoísta y moverse solo por fines utilitarios. Sin embargo, se ha demostrado que nuestra capacidad para recibir información y procesarla es muy limitada, una llamada telefónica o una conversación puede reducir de manera importante esta capacidad. Igualmente, el *homo economicus* no explica fenómenos como la cooperación entre individuos acosta de su propia utilidad (Holt, 2011).

**Hipótesis del mercado eficiente:** Supone que los precios de un mercado reflejan toda la información, por lo que el cambio de estos supone una variación en la información. La idea de la ‘mano invisible’ presenta varias inconsistencias puesto que para que se dé, es necesario la coexistencia de varios supuestos, como la simetría en las interacciones, además de asumir la hiper-racionalidad de los agentes.

**Prevalencia de modelos lineales:** las ciencias económicas tradicionales han usado la estadística lineal para el análisis de información empírica, si bien no hacen uso exclusivo de estas herramientas, sí predomina para el análisis de muchos fenómenos que pueden presentar múltiples equilibrios y en algunos casos ser caóticos. Algunos eventos pueden presentar distribuciones con colas mucho más amplias, lo cual implica que eventos no tan probables en modelos lineales pueden ser mucho más frecuentes de lo que esperado.

**Enfoque del agente representativo:** Este supuesto homogeniza la relación de los agentes, lo analiza como un agente ‘promedio’, no es necesario un análisis muy profundo para evidenciar que el mundo económico real es heterogéneo

**Carencia de conexión entre los niveles micro y macro:** La economía neoclásica ha asumido que los agentes toman decisiones con base en información completa y de manera aislada, de manera que el agregado macro-económico se concibe como una proyección de estos agentes representativos, y no como una interacción dinámica y compleja de agentes heterogéneos.

**Paradigma del equilibrio:** la búsqueda constante de un equilibrio para un mercado o su punto más eficiente ha sido también una de las constantes preocupaciones de la ciencia económica tradicional, sin embargo, teorías como la desarrollada por Lorentz sobre el caos han demostrado la posibilidad de equilibrios múltiples y dinámicos.

**Control del sistema económico:** para los científicos económicos ortodoxos el Estado juega un papel vital al ser el agente que controla y regula el mercado. Para estos el Estado tiene la potestad de corregir potenciales fallas de mercado. Aun así, para Helbing & Baliatti (2010) el sistema económico puede responder de manera contraria al estímulo externo que se le dé, además que grandes reformas pueden provocar muy pequeñas variaciones del estado del sistema económico.

La re-consideración de estos supuestos obliga a hacer lo propio con la metodología y herramientas con la cuales las ciencias económicas tradicionales interpretan estos supuestos. La búsqueda de rigurosidad en aparatos matemáticos elegantes y simples, así como afirmaciones de tipo cualitativo sin ningún tipo de evidencia empírica, constituyen las dos orillas ideológicas de las ciencias económicas tradicionales. Mientras Walras, Debreu, Marshall, entre otros, confundieron la rigurosidad con abstracción lógico-matemática; Marx, Schumpeter y Hayek hicieron lo propio al prescindir de su búsqueda. La metodología de ambas orillas se erigieron bajo dos supuestos: el primero, la creencia que el camino a seguir para ser reconocidos como ciencia debía ser similar al seguido por la física: la formalización matemática; el segundo: es inviable y

no ético experimentar con seres humanos para evaluar la realidad económica. Estos dos supuestos estancaron la ciencia económica tradicional, que a diferencia de la física logró evolucionar de la mecánica Newtoniana, de un mundo estático y lineal, a la física cuántica, un universo dinámico, no lineal e incierto. Por ello, en cuanto a método y herramientas, las ciencias económicas tradicionales se rezagaron respecto a la realidad que intentan explicar, aún la consideran lineal, en equilibrio y estática.

La versión matematizada de la realidad ha sido en parte superada por la ciencia social computacional, al lograr demostrar que agentes modelados computacionalmente pueden comportarse de manera muy similar a los agentes económicos reales, lo cual convierte a los aparatos matemáticos como una herramienta útil, pero que abre la posibilidad de otro tipo de herramientas como modelos cognitivos o generativos (que tienen en cuenta externalidades sociales o políticas) (Cioffi-Revilla, 2014).

El desarrollo de supuestos, metodologías y herramientas en las ciencias de la complejidad en economía ha derivado en el planteamiento de algunos retos que corresponden a la actualidad de fenómenos concernientes, pero no exclusivos a la ciencia económica.

1. Cambio demográfico de la estructura poblacional.
2. Estabilidad-inestabilidad económica y financiera.
3. Participación e inclusión social, económica y política.
4. Estructura del poder en ciudadanos, firmas y gobiernos.
5. Comportamiento social colectivo.
6. Uso sostenible de recursos.
7. Diseño institucional.
8. Administración de la información.
9. Salud pública.
10. Paz y seguridad.

Dichos retos se han materializado en iniciativas académicas e institucionales alrededor del mundo como el reporte mundial de riesgo, desarrollado por el Foro Económico Mundial, el cual asocia problemas económicos como burbujas financieras, desempleo, cambios de precios en el sector energético y la crisis fiscal con colapsos estatales, inestabilidad social, gobernanza, terrorismo y cambios climáticos importantes. Esto ha llevado a la creación de instituciones como

el AXES (Laboratory for the Analysis of Complex Economic Systems) o el FuturICT, iniciativas que buscan evaluar el mundo como un sistema complejo.

Tabla 1.

*Diferencias del sistema económico según las ciencias económicas tradicionales y las ciencias de la complejidad en economía.*

	<b>Ciencias económicas tradicionales</b>	<b>Ciencias de la complejidad en economía</b>
<b>Composición</b>	Agentes homogéneos, consumidores y productores, modelables matemáticamente a través de agentes representativos.	Agentes heterogéneos, consumidores, productores, instituciones en general y medio ambiente, modelables de manera contingente, dinámicos, en ocasiones predecibles
<b>Estructura</b>	Niveles micro y macro (proyección agregada del nivel micro).	Niveles micro, meso y macro.
<b>Dinámica</b>	Se relacionan a través de mecanismos de incentivos. Ejemplo: precios.	Se relacionan a través de conocimiento, información disponible y motivaciones morales y emocionales.
<b>Función</b>	Asignar precios y cantidades eficientemente, corregir fallas de mercado	Crear estructuras, condiciones, situaciones y fenómenos económicos de diferente índole

/

Fuente: Elaborada por el autor

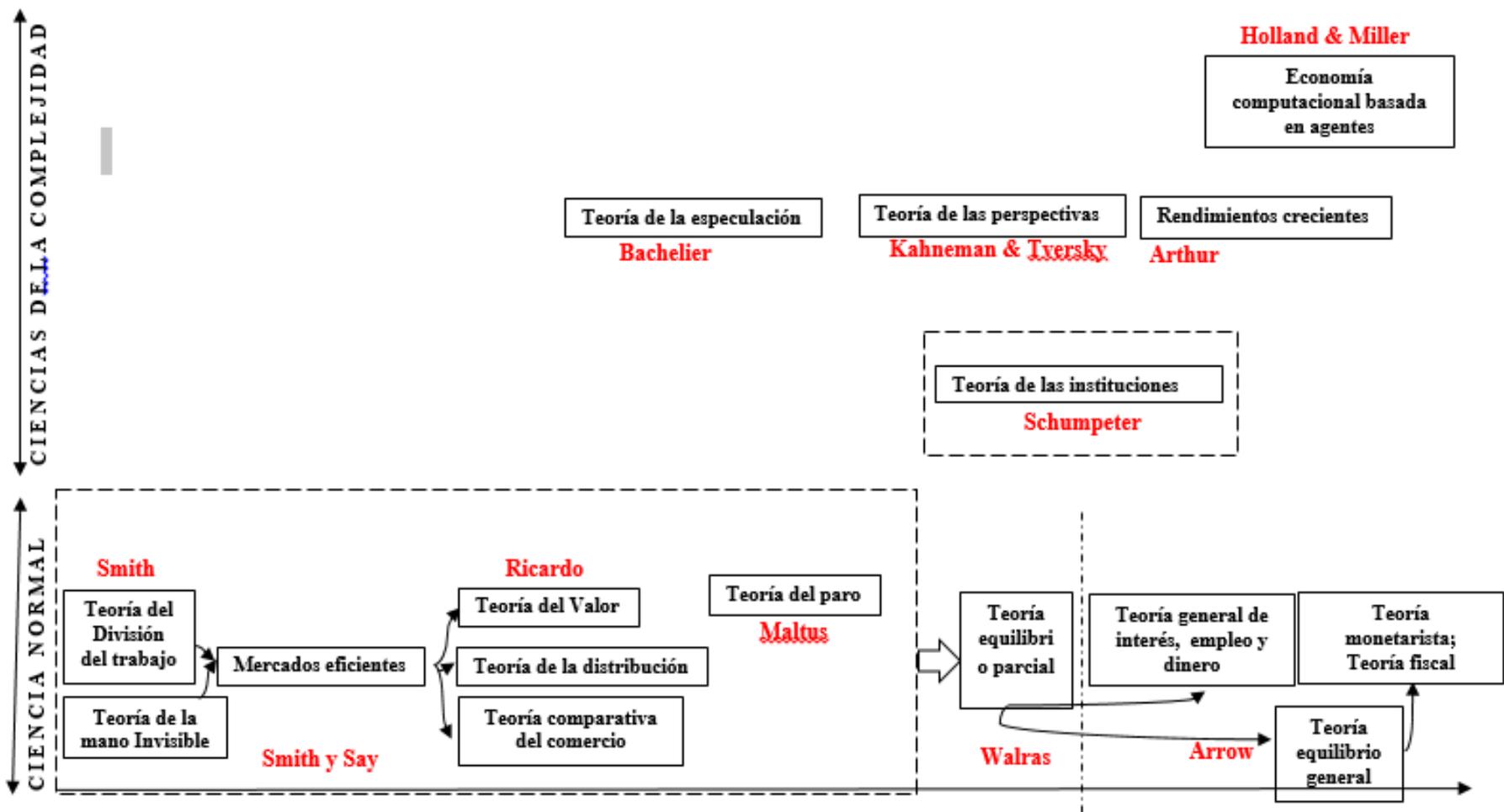


Ilustración 1. Evolución ciencias económicas tradicionales y ciencias de la complejidad en economía.

Fuente: elaborada por el autor

## **2.3 El estado actual de la cuestión**

Al hablar del estado actual de la cuestión no es posible hacer una revisión en orden cronológico. El desarrollo de estos aportes se encuentran atomizados en la historia, sin embargo, muchos de sus conceptos se relacionan en algunos trabajos a pesar de distar inclusive varias décadas de desarrollo entre uno y otro; esto debido a la influencia transversal de las ciencias de la complejidad no consideramos la siguiente clasificación como la única posible como bien se podría hacer en la ciencia normal, pero si se ha propendido por organizar muchos de los conceptos en temas de investigación que a la fecha se consideran de vital importancia.

### **2.3.1 Economía computacional basada en agentes**

#### **2.3.1.1 Historia y desarrollo**

El primer trabajo desarrollado en la historia de las ciencias de la complejidad en economía, nació en el Instituto Santa fe. Dado que la computación permitía modelar en teoría cualquier estructura, Brian Arthur propuso modelar una sociedad completa bajo ciertas condiciones iniciales con el objetivo de evaluar las condiciones sobre las que emerge la economía. Este trabajo abordó la comprensión de la sociedad como un sistema que evoluciona de la misma manera en que las especies lo hacen, de manera que el experimento esperaba que la interacción inicial entre seres humanos primitivos creara una ordenanza de intercambio de bienes para suplir necesidades, para luego evolucionar y crear un sistema de precios que reflejara el valor de los bienes, lo que a su vez crearía formas sofisticadas como el dinero; ello permitiría establecer mercados con oferentes y consumidores. En la medida que estos mercados se consolidaran, las diferentes formas de organización social, empezarían a jugar un rol relevante en la economía. Mientras que estas interacciones se dinamizaran y se añadieran nuevos componentes de estudio, nuevas problemáticas surgirían como la desigualdad, la ineficiencia de los mercados, el desempleo y la crisis, problemáticas de actual estudio.

Desde esta visión, en la que las economías evolucionan, aprenden y se interconectan, Brian Arthur propuso modelar un mercado de valores, ya que por asuntos técnicos la modelación de la

sociedad entera conllevaría cierta dificultad. Dicho modelo incorporó la teoría de Lucas (1978) sobre las expectativas racionales de los agentes del mercado, quienes toman decisiones de compra o venta de los activos con base en el comportamiento de sus precios. Adicionalmente, permitió al modelo la interacción de los agentes. El resultado fue sorprendente. El mercado presentó fallas, burbujas y aprendizaje; sin duda este resultado era mucho más fiel que aquel diseñado por Lucas. Para Arthur, esta modelación basada en agentes por computación se aparta totalmente de la modelación basada en ecuaciones de la economía tradicional. Al poder ser constatado por evidencia empírica y dar información sobre el funcionamiento del mercado de valores, y además, de poder ser usado para la modelación de otros fenómenos económicos, se constituye en uno de los enfoques, campos, áreas, de las ciencias de la complejidad en economía de mayor importancia.

Teniendo en cuenta adicionalmente que la concepción misma del modelo implicó un enfoque interdisciplinario con la biología y con condiciones iniciales diferentes a la perspectiva de equilibrio y racionalidad perfecta de las ciencias económicas tradicionales.

Con este experimento de Arthur se dio origen a la economía computacional basada en agentes, sin embargo hasta tres años después no se le daría el nombre formal que hoy se conoce, el cual fue acuñado por Holland & Miller (1991) en una investigación titulada *artificial adaptive agents in economic theory*.

Conforme la Economía Computacional Basada en Agentes empezó a ser aplicada a varios problemas de investigación económica se estructuraron sus objetivos como campo de la nueva economía. Estos son explicados por Mount & Reiter (2002):

- **Comprensión empírica:** todo aquello que es desarrollado de manera simulada o modelada debería tener la misma respuesta en el mundo real.
- **Comprensión normativa:** evaluar el alcance que tienen los hallazgos en este campo en el desarrollo de políticas públicas que perduren en el tiempo.
- **Perspectiva cualitativa y producción científica:** realizar análisis cualitativo de las coyunturas económicas que determinan el diseño de las simulaciones y que en últimas afectan el resultado final, lo cual contribuye a la producción científica y el debate.

- *Progreso metodológico*: progresar en la modelación de instituciones, preferencias, agentes y externalidades que brinden herramientas útiles a los investigadores.

### **2.3.1.2 Campos de estudio actual**

Bajo estos objetivos y al revisar la literatura, se encuentran varias aplicaciones y estudios en investigación económica a destacar. La más importante ha sido el replanteamiento de la teoría del equilibrio general, desarrollada por Walras en el siglo XIX. Puesto que esta teoría ha sido el punto de partida del desarrollo de lo que conocemos como *mainstream economics*.

La teoría del equilibrio general explica el comportamiento de la producción y el consumo. Firms y consumidores se relacionan a través de los precios. Los consumidores, dadas unas preferencias, maximizan su utilidad; mientras que las firmas, sujetas a la tecnología, maximizan su beneficio. Al cumplirse ambas condiciones, los precios, cantidades consumidas y cantidades producidas resultantes, son eficientes y distribuyen los recursos de manera eficiente. Para Walras, este mecanismo es eficiente en el sentido de Pareto, y si se desvía de este equilibrio es debido a una externalidad o falla de mercado. Sin interacción, en la misma unidad de tiempo, con información completa.

Puesto que el mecanismo de ajuste del mercado depende únicamente de los precios, y no permite la interacción estratégica de los agentes, la teoría del equilibrio general tienen inconsistencias al contrastarla con la realidad. Todo esto implica que el problema de asignación de los recursos se reduce a la maximización de funciones de utilidad y beneficio, sin tener en cuenta la interacción de los agentes, (Tesfatsion & Judd, 2006). En la realidad, las firmas y los consumidores toman decisiones teniendo en cuenta las cantidades y los precios que están dispuestos a pagar, en ocasiones las firmas deben estar dispuestas a recibir ofertas, evaluarlas y responder a ellas y adicionalmente hay que tener en cuenta relaciones de largo plazo entre compradores y vendedores. De manera que la simulación basada en agentes logra superar muchos de los supuestos de la teoría del equilibrio general al permitir la interacción de los agentes, incorporar modelos de comportamiento social e interacción. También al superar la restricción impuesta por los modelos matemáticos, en los que dado que la realidad es complicada, puede esta

ser simplificada a través de aparatos matemáticos. La computación y la tecnología actual desplazan este enfoque al ser capaz de compilar gran cantidad de información y cálculos matemáticos de difícil desarrollo por el cerebro humano.

Ahora bien, para lograr incorporar el dinamismo propio de la realidad económica en este modelo, bastaría con suprimir el mecanismo de ajuste de precios y permitir interactuar a firmas y consumidores. Sin embargo, esta pequeña perturbación deriva en grandes cambios en el modelo que pueden conllevar un análisis de difícil comprensión y puede llegar a ser imposible de solucionar. Para quien modela se convierte en un reto importante tener en cuenta la incorporación de información asimétrica, interacción estratégica, aprendizaje, normas sociales, costos de transacción, externalidades, poder de mercado, predación, colusión y la posibilidad de error cuando cooperan dos o más agentes. La incorporación de los supuestos anteriormente mencionados ha derivado en desarrollos conceptuales importantes como la propuesta de modelos de agentes heterogéneos, (Hommes, 2001), modelos de innovación y cambios tecnológicos y modelos automatizados de mercados de valores.

Así como ha servido para aportar al desarrollo de la teoría del equilibrio general, también existen desarrollos en la teoría de juegos, donde la cooperación y la decisión estratégica son la materia prima de estudio para explicar fenómenos económicos como la colusión. Otras preguntas han surgido al explorar estos campos, como el tiempo que demora un agente en solucionar en resolver un juego con información restringida. (Mount & Reiter, 2002).

Judd & Tesfatsion (2006) proponen algunos campos de investigación que interesan a la Economía Basada en Agentes, de los cuales existen avances importantes y por lo tanto constituyen el estado actual de este campo de las ciencias económicas abordado desde las ciencias de la complejidad. A continuación se enlistan estos campos de investigación:

- Mercado automatizados
- Negocios y administración
- Sistemas humanos y naturales
- Política económica en modelos basados en agentes
- Mercados de electricidad
- Verificación y validación de modelos computacionales basados en agentes
- Evolución de instituciones y normas sociales

- Experimentos con agentes reales y computacionales
- Economías financieras
- Organización industrial
- Mercados laborales
- Aprendizaje
- Macroeconomía
- Diseño de mercado
- Redes: Evolución de patrones de interacción.
- Organización de firmas y mercados
- Economía política
- Cambio tecnológico y economía del desarrollo

La Economía Computacional Basada en Agentes tiene varias ventajas que lo ubican en una de las áreas de investigación económica de mayor relevancia y proyección. La de mayor relevancia es la capacidad de modelar el comportamiento cognitivo de los agentes, lo cual es el avance más inmediato al *homo economicus* racional y no interactivo.

Por otra parte, la Economía Computacional Basada en Agentes se plantea varios retos para poder consolidarse definitivamente como un área de las ciencias económicas que tenga la capacidad de responder cuestionamientos económicos de primer orden, dichos retos son la consolidación de una metodología de las condiciones iniciales del modelo que eviten la intervención del modelador, así como la validación de las simulaciones con información empírica.

## **2.3.2 La economía comportamental**

### **2.3.2.1 Historia y antecedentes**

Puesto que la Economía Computacional Basada en Agentes puso de primera mano el problema de la interacción de los agentes y su naturaleza en los modelos, fue necesario encontrar nuevos enfoques que estudiaran dicha interacción. Sus componentes y características esenciales. Las ciencias económicas tradicionales afirman que la interacción entre agentes no es relevante y que

son los mecanismos de precios son los que regulan su relación, esto no permite la interacción estratégica y se asuma que el agente tiene información completa. Es la economía comportamental la que ha permitido el desarrollo de un nuevo enfoque que sí considere la interacción estratégica y la toma de decisiones basada en información disponible y no completa. El paradigma del equilibrio en la economía involucra esta concepción de la realidad económica, y para desarrollar tanto la Economía Computacional Basada en Agentes como la economía comportamental, hay que hablar de este paradigma. (Colander, 1998).

Por definición el equilibrio hace referencia a un estado en el cual las variaciones, el dinamismo y la fluctuación son inexistentes, usado para caracterizar cuerpos en estado de reposo. Dado que la economía está en completo dinamismo, y de hecho son extrañas las situaciones donde esté en reposo o equilibrio, resulta pertinente evaluar el no-equilibrio, es decir, el estado natural de la economía en el mundo real. Si una de las características del equilibrio es la certidumbre del estado de un sistema, entonces la incertidumbre será la característica de un sistema en el no-equilibrio. (Arthur, 2015).

Ahora, dado que los agentes en una economía se enfrentan a problemas de decisión, la cual está siempre basada en lo que sucederá en el futuro, ya sea al corto, mediano o largo plazo, no hay manera que conozcan con certeza lo que sucederá en el futuro, es decir, se encuentran en un estado de no-equilibrio e incertidumbre completa. Ya que tomar decisiones basado en un desconocimiento total de una situación no es óptimo, cualquier tipo de decisión basado en una racionalidad deductiva, carece de sentido. Por ello, si para un agente económico no es posible tomar la mejor decisión posible debido a ausencia de información, incertidumbre o no equilibrio, que en últimas es lo mismo, entonces ¿cuáles son las opciones? basarse en su inteligencia, sensibilidad o su capacidad de predicción, la cual es endógena y parte de su experiencia, y ya que todos los agentes presentan diferentes experiencias y capacidad de predicción, entonces no solo hablamos de un entorno fuera del equilibrio, sino también heterogéneo. Este enfoque ciertamente es abordado por las ciencias de la complejidad como *economía comportamental*, que en sí es el estudio de la toma de decisiones fuera del equilibrio.

La economía comportamental tiene su origen en 1979, cuando Kahneman y Tversky dieron a conocer su *teoría de las perspectivas*, la cual plantea que la decisión de consumo de un agente no es siempre óptima, puesto que depende del contexto como se presente. En un mundo perfectamente

racional los consumidores toman decisiones en función de maximizar su utilidad, con información completa sobre los productos que van a adquirir y de acuerdo a las características de los mismos. No obstante, con esta teoría se logró demostrar que los consumidores tienden no a maximizar su beneficio, sino a minimizar su pérdida, ya que su disminución genera mayores niveles de satisfacción para el cerebro humano.

En 1950 nace un concepto de vital importancia para el desarrollo de la economía comportamental. La teoría sobre la *racionalidad limitada*, asociada a Herbert Simon, según este autor la mente humana debe ser entendida desde el ambiente donde se desarrolla. Para Simon la mente humana no siempre toma decisiones óptimas, esto debido a restricciones naturales al proceso de aprendizaje y computación de la información. Este concepto de la racionalidad limitada sería desarrollada también por Gigerenzer & Goldstein (1996) que definen a la sociedad como un ser *racional-ecológico* cuando toma las mejores decisiones posibles haciendo uso del procesamiento de información limitada a través de la aplicación de algoritmos simples e inteligentes que puede desembocar en estados cercanos al óptimo posible. Pero nunca en el óptimo.

Si bien el consumidor se enfrenta a problemas de decisión debido a su racionalidad limitada, también tiene una dimensión temporal a tener en cuenta que la economía comportamental estudia. Este problema radica en el sesgo de información que existe en el presente y que involucra además predicciones limitadas sobre el futuro. Para Frederick, Loewenstein & O'Donoghue (2002) el presente es de mayor importancia que las predicciones del futuro. Muchas personas preferirán recibir 100 dólares hoy que 110 dólares en el futuro cercano, este factor de descuento no es lineal y depende del horizonte temporal como de las condiciones iniciales. A parte de ser importante para el análisis de las decisiones de consumo, también aporta información importante para analizar el comportamiento de ahorro de una economía.

### **2.3.2.2 Campos de actual estudio**

Hasta este punto se ha tratado la economía comportamental desde un punto de vista cognitivo, sin embargo, esta también aborda el entorno social como determinante para la comprensión del comportamiento de los agentes económicos. Esta visión logra superar el tradicional *homo*

*economicus* que explica la toma de decisiones de los agentes de manera aislada y buscando su beneficio. El aspecto social y la investigación actual consideran los siguientes campos, los de mayor relevancia al momento de su estudio:

- Confianza y honestidad
- Equidad y reciprocidad
- Normas sociales
- Consistencia

La economía comportamental ha demostrado varias áreas de aplicación desde finanzas públicas, salud, sector energético y mercadeo. En 2010 el gobierno británico creó el BIT (Behavioural Insights Team) un grupo de expertos dedicados a aplicar la economía comportamental a políticas públicas y servicios. Tanto psicólogos como teóricos económicos están de acuerdo que la economía comportamental aparece como un área del conocimiento disponible para solucionar problemas del mundo real sin importar de donde provengan. La resolución de problemas como la desnutrición y el consumo de energía pueden ser tratadas efectivamente con herramientas económicas tradicionales, como precios e impuestos, por lo que la economía comportamental debería ser tomada en cuenta mucho más allá que un reemplazo de estas herramientas tradicionales.

### **2.3.3 Economía evolutiva**

#### **2.3.3.1 Historia y antecedentes**

Ciertamente existen diferencias entre la bioeconomía y la economía evolutiva. Mientras la bioeconomía estudia la realidad económica a través de analogías y la administración eficiente de los recursos biológicos; la economía evolutiva plantea un enfoque opuesto en cuanto a la comprensión de la economía se refiere. Es correcto afirmar que la bioeconomía es la agrupación de teorías y herramientas que provienen de la biología para estudiar los problemas planteados por la teoría neoclásica, mientras que la economía evolutiva propende por una teoría de la organización que explique los fenómenos económicos. A continuación se explican las razones.

El padre de la bioeconomía, Nicholas Georgescu-Roegen, publicó en 1971 *la ley de la entropía y el proceso económico*, en esta obra Georgescu buscaba relacionar el proceso económico con la física, más específicamente con la termodinámica. La concepción que le parecía relevante para aplicarla en el campo económico es la desarrollada por Prigogine, quien formula la termodinámica del no equilibrio, la flecha de la entropía deja de ser la más relevante y se pone de manifiesto que existe otra flecha en sentido opuesto: la de la vida, de la evolución o de procesos alejados del equilibrio. A estos fenómenos que responden a esta nueva flecha del tiempo Prigogine los denomina *estructuras disipativas*, y para Georgescu, el sistema económico se comportaba como tal.

Las ciencias económicas tradicionales tratan explicar la realidad económica desde el orden y los patrones que esta conforma. Para las ciencias económicas tradicionales, los patrones están conformados por interacciones que suelen ser estables en tiempo y espacio, así que donde existen patrones de interacción económica existe el orden económico. (Ejemplo de ello son algunos conceptos clásicos: preferencias ordenadas, tecnologías ordenadas, orden como decisión, orden como equilibrio). La organización es un tipo de orden, sin embargo va más allá, puesto que es funcional y necesariamente interactúa con su entorno, entonces ya que la economía es un conjunto de organizaciones y reglas entonces, es pertinente la búsqueda de una teoría de la organización económica y no del orden económico. Para las ciencias de la complejidad, la teoría de la evolución puede aportar a este enfoque del sistema económico como una organización. (Foster & Metcalfe, 2004)

La teoría de la evolución comprende la realidad económica como la evolución y el procesamiento de información y conocimiento desde su nivel micro hasta su nivel macro, lo cual hace necesario un nivel meso, una conexión entre lo macro y lo micro que es relevante. Para Foster & Metcalfe (2004) el nivel meso es crítico para poder tener una teoría de la organización consistente con la realidad económica.

En este nivel meso las ciencias económicas tradicionales se enfocan en los procesos asignación de los recursos, precios y cantidades. Sin embargo, las ciencias de la complejidad en economía estudian problemas de formación y estructura. La preocupación de la economía evolutiva se ha centrado en el estudio de la innovación y la tecnología como fuentes de organización y por lo tanto de instituciones, así como por su influencia en el cambio de los ciclos económicos y qué los

determinan. Para Schumpeter (1901), pionero en este enfoque, las variaciones del ciclo económico dependen exclusivamente de choques tecnológicos e innovadores, para él, el problema del ciclo económico está en la capacidad de la economía de crear emprendedores, fuente de dicha innovación. Afirma igualmente que el capitalismo por definición no puede ser estacionario y que este mismo contradice todas las hipótesis de las ciencias económicas tradicionales.

Sin embargo, Schumpeter asumió que las problemáticas sociales y políticas eran exógenas a la economía, con lo cual no es posible afirmar que Schumpeter haya sido el primer autor en romper definitivamente con la herencia teórica ortodoxa, su aporte y enfoque fue solo parcial. Sin perder de vista que en sus obras no es posible identificar una teoría clara que explique cómo esta bandada de emprendedores aparece o desaparecen se ha convertido en una de sus principales críticas. Aun así es el primer antecedente en la literatura que intenta explicar los procesos de cambio a partir de una teoría de la organización desde la evolución.

Las ciencias de la complejidad en economía re-formulan el mecanismo de interacción entre los agentes económicos, al reemplazar los incentivos por el conocimiento, el cual es propio de una organización, lo cual implica que evolucione, y lo que en últimas permite la innovación. Se diferencia en tres puntos de vital importancia (Pyka & Hanusch, 2006):

- La visión neo-schumpeteriana busca explicar cómo emerge la innovación a través del tiempo. Uno de los componentes más importantes de este problema es la incertidumbre, la cual no puede ser abordada exclusivamente por distribuciones estocásticas –sucesión de variables aleatorias en función de otra variable- asociadas al riesgo.
- Dado que la incertidumbre está asociada a la racionalidad limitada, entonces habría que deshacerse de la idea de información completa y racionalidad perfecta la cual se evidencia en la realidad en las capacidades y conocimiento limitados de los agentes.
- Finalmente, el tiempo es de suma importancia puesto que el aprendizaje está en función de este, no es imposible bajo este enfoque asumir el tiempo como fijo o estático.

### 2.3.3.2 Estado actual campos de investigación

El estado actual de la economía evolutiva se encuentra en el abordaje del conocimiento y su influencia en la innovación y la tecnología en dos grandes ramas.

- *Incertidumbre, riesgo y fallas* La innovación constituye uno de los elementos más importantes de la constitución de la estructura económica actual. De manera que uno de los puntos determinantes que la involucran es la incertidumbre. La economía evolutiva plantea que la el desastre derivado de la incertidumbre y que afecta la innovación proviene de dos fuentes:
  - Los desastres tecnológicos pueden ser catalogados como eventos no planeados, difíciles de interpretar y de entender, y
  - Ocurren usualmente en el transcurso del uso o actividad de manera que afectan el curso normal del mismo.

Este enfoque de la economía evolutiva entiende el aprendizaje desde el aprendizaje haciendo. Lo cual permite incorporar mucha de la literatura del *learning by doing*.

- *Dimensión geográfica del conocimiento en las economías*, la economía evolutiva comprende que los procesos de innovación suelen estar concentrados en un mismo lugar, por lo cual la geografía y el conocimiento son variables importantes y determinantes en la innovación. Si bien se sabe mucho sobre la localización de grandes corporaciones o multinacionales, poco se sabe sobre el desarrollo de industrias pequeñas y su aporte. La pregunta: ¿Cómo afecta la organización espacial al desarrollo de la innovación? es la que le compete a esta rama de la economía evolutiva.

Sin duda esta aproximación teórica al problema de la geografía y la economía tiene que ver con la llamada *nueva economía geográfica* de Krugman o la *geografía económica* de Brakman. Pero se diferencia en varios aspectos, el primero es el enfoque en la localización de las industrias y no de firmas individuales, en segunda instancia tiene en cuenta la atomización de las firmas, dada la fragmentación espacial de los recursos y finalmente busca no encontrar los incentivos para la localización de las industrias sino el comportamiento que sigue esta localización. El cual tiene que ver necesariamente con el emprendedor y su comportamiento, de manera que tiene mucho que ver con la economía comportamental.

La manera en que la economía evolutiva aborda el problema del aprendizaje en las ciencias económicas tradicionales implica abandonar la antigua postura de la no interacción de los agentes, inclusive teniendo en cuenta la distribución geográfica. El no equilibrio de la racionalidad, es decir, el estudio de los errores, incertidumbre y desastre en la toma de decisiones de la realidad económica.

Muchas de las teorías, herramientas y metodologías desarrolladas por las ciencias de la complejidad en economía nacieron de dudas sobre sus supuestos fundacionales, sin embargo algunas aproximaciones no necesariamente nacieron de esas dudas sino que encontraron su origen en otros campos de la ciencia como la física y la matemática, para luego ayudar a superar esos supuestos en las ciencias económicas tradicionales. Tal es el caso de la econofísica y las ciencias de redes económicas. No implica que el resto de campos descritos en este documento hayan nacido necesariamente desde la economía, sin embargo sí están ligados a la superación de los supuestos más ortodoxos y profundos de las ciencias económicas tradicionales. Por ello sus campos de estudio en la economía son abordados en problemáticas económicas puntuales, de gran utilidad, eso sí, para el avance de la comprensión de la realidad económica.

## **2.3.4 Teoría de redes económicas**

### **2.3.4.1 Historia y antecedentes**

Los últimos veinticinco años del siglo XX la economía se ha transformado debido al cambio en la creación y transmisión de la información. Todas las unidades que interactúan en la economía: firmas, consumidores, instituciones y gobiernos, dependen de su capacidad de generar, procesar y aplicar eficientemente conocimiento con base en información. Para Castells (2010), esta nueva economía es global porque los centros de producción, consumo y circulación, así como sus componentes: mano de obra, capital, están organizados a una escala global. Además, está *interconectada* a través de la productividad de redes de negocios que dependen unas de otras.

El surgimiento de esta nueva economía informacional se ha estructurado bajo el progreso tecnológico que la humanidad ha desarrollado. Por ello, el progreso económico está ligado al

tecnológico, y ambos han convergido para crear una nueva lógica en la organización e interacción de los agentes económicos. La teoría de redes afecta nuestra vida cotidiana al abordar dos preguntas:

- ¿cómo las redes sociales impactan el comportamiento económico?
- ¿qué tipo de redes surgen y surgirán en la economía?

Las redes que podemos observar en la actualidad se evidencian al comprender que la economía está interconectada no solo a través de los bienes terminados, sino con todo el encadenamiento productivo que existe detrás de ellos. El procesamiento de materias primas, su adquisición, distribución y logística implica que en un mismo mercado exista variedad de compradores y vendedores que dependen unos de otros, y que por lo tanto el desarrollo de alguna de sus partes afecte al resto.

La teoría de redes busca estudiar en primera instancia la estructura, no solo de la economía sino de cualquier sistema que presenta conectividad entre sus partes de cualquier índole. El dinamismo las conexiones y redes juegan un papel relevante en la comprensión de fenómenos no lineales y dinámicos.

Este nuevo abordaje de la realidad económica, vira de la visión tradicional fundamentada en bienes conocidos y mercados competitivos, esto es para mercados anónimos y no modelados. Visión en la que el mercado puede transar estos bienes de manera eficiente y anónima, desarrollada por Smith. Dichas interacciones han sido abordadas por la teoría de redes desde las ciencias de la complejidad y si bien la teoría de redes no es campo de estudio aplicable de manera exclusiva a la economía, si se ha convertido en uno de los enfoques relevantes para el estudio de problemáticas de diferente índole económica.

Puesto que red se define como el desarrollo de relaciones entre empleo y negocios, según el *Merriam-Webster dictionary*, algunas de las preguntas están asociadas a cómo afecta la interconectividad a los precios y términos de intercambio, los salarios, y a la productividad por ende. La teoría de redes en economía se abordó inicialmente para estudiar el problema del desempleo en el mercado laboral. Existe evidencia empírica abundante que correlaciona el empleo con el nivel de conectividad que tenga un individuo o grupos de individuos. Uzzi (1986) logró

demostrar que a mayor conectividad en un mercado laboral mayor probabilidad de supervivencia tiene una industria.

Las redes económicas permiten estudiar muchas de las interacciones no lineales que existen y en si son ubicuas al desarrollo económico. Esto implica retroalimentaciones repetidas y círculos viciosos, usualmente indeseados que inducen efectos secundarios. Por ejemplo, la introducción de impuestos a los cigarrillos ha incentivado el contrabando y otras actividades criminales. En los últimos años las redes han permitido fallas en cascada que involucran efectos epidémicos en la economía tal como las quiebras bancarias.

El riesgo sistémico se ha convertido en uno de los campos más importantes de estudio en los fenómenos económicos. La ciencia de redes en economía ha identificado que estos riesgos sistémicos se presentan cuando existe inestabilidad en puntos críticos que pueden provocar la falla de todo el sistema. Así como cuando el sistema es *metaestable*, es decir, que sufre cambios importantes en un corto tiempo.

#### **2.3.4.2 Estado actual campos de investigación**

- *Juegos y redes.* La manera de abordar la teoría de juegos radica en la naturaleza de las interacciones. La teoría de redes afirma que existen problemas de definición de equilibrio y estabilidad. Como por ejemplo si es posible que un jugador pueda gestionar varias relaciones al mismo tiempo. Lo cual implica preguntas sobre la sofisticación del agente sobre su capacidad de prever algunas acciones de jugadores de su misma red y cómo le afectan, como también la posibilidad de tomar decisiones erradas o fuera del equilibrio. Incrementando el nivel de dificultad es analizar estas mismas problemáticas a través del tiempo. Evaluar si el jugador es capaz de analizar sus decisiones en el tiempo así como sus conexiones, las cuales pueden ser a través de la negociación o de favores.
- *Estructura de redes económicas.* Para hablar de estructura hay que hablar de nodos y conexiones entre nodos. En redes económicas los candidatos para ser denominados nodos son individuos, compañías, industrias, categorías, industrias. Las conexiones de redes económicas están dadas por la propiedad, gobernanza y actividad. Las conexiones de

propiedad tienen que ver con los movimientos de capital que permiten adquisiciones, funciones e inversiones; la gobernanza por la relación de directivos con las organizaciones que lideran y la actividad hace referencia al tipo de interacción que puede existir como el comercio o la negociación.

- *Conocimiento en redes.* El conocimiento no solo ha sido abordado por la economía evolutiva sino por la ciencia de redes en economía, puesto que entiende que este es el mecanismo por el cual el conocimiento se difunde o se dificulta. En este caso en particular existen estudios que se orientan a evaluar el conocimiento dentro de una organización y cómo logra difundirse, teniendo en cuenta una racionalidad limitada por parte de los agentes que allí se involucran. En cuanto al conocimiento hay dos aspectos fundamentales: su búsqueda y el aprendizaje. Y ellas pueden darse a través de dos caminos, la primera nace de la motivación interna de una organización, en la cual la ciencia comportamental juega un rol importante, lo que a su vez determina la agrupación de información y sistematización. El aprendizaje nace de la capacidad interna de la organización para llevar a cabo procesos innovadores.

### **2.3.5 Econofísica**

#### **2.3.5.1 Historia y antecedentes**

La econofísica es un campo de investigación interdisciplinario en el que leyes, teorías y métodos de física son aplicados a la economía. El término *econofísica* fue acuñado en 1995 por H. Eugene Stanley en 1995 en Kolkata. Abergel *et al* (2015).

Ampliamente se ha discutido la influencia de la física teórica en el desarrollo de las ciencias económicas tradicionales. Sin embargo su influencia no es exclusiva a la economía sino a otros campos del conocimiento como la ingeniería y la biología. En las ciencias económicas tradicionales encontramos antecedentes en varios autores del marginalismo económico, fundamentalmente en el desarrollo teórico de lo que se considera *mainstream economics*. En su ‘teoría de la política económica’ William S. Jevons escribió sobre la mecánica de la utilidad y el egoísmo: “las leyes de la naturaleza tienen sus bases en los principios generales de la mecánica, y

la economía está muy estrechamente relacionada con la ciencia de la mecánica estática” también afirma: “Así como la fuerza gravitatoria de un cuerpo material depende no solo de la masa del cuerpo, sino de la masa y la posición relativa de los otros cuerpos que le rodean, de la misma forma la utilidad es una atracción entre el ser que desea y lo que es deseado”. Uno de las herencias evidentes de la física mecanicista en las ciencias económicas tradicionales ha sido el paradigma del equilibrio, descrito anteriormente. Sin embargo, no es el único, la linealidad del tiempo y la independencia de las partes que constituyen un sistema, son algunas otras de las influencias en las ciencias económicas tradicionales.

La física mecánica intentó explicar el universo a través de la energía y su conservación y transformación: un sistema con dada cantidad de energía que cambia y vuelve a su estado inicial, necesariamente tendrá el mismo nivel de energía puesto que es una variable estado; sin importar cuanto tiempo haya cambiado. En esta concepción de la energía del universo nace la noción de independencia del tiempo. Los teóricos de la economía clásica como Walras la incorporaron a sus teorías económicas, asumiendo, sin ningún tipo de evidencia empírica que el mercado se comporta tal y como el universo; claro, suponiendo que esa fuera la verdad absoluta que explicara el funcionamiento del universo. Mirowski (1989)

También encontramos concepciones fuertemente ligadas a la mecánica clásica por parte de León Walras; este dio las bases para el desarrollo de la teoría del equilibrio general por Kenneth Arrow y Gerard Debreu, considerada la base del desarrollo neoclásico en economía. Walras afirmó en su libro ‘Elementos de economía pura’: “Es ya perfectamente claro que la economía como la astronomía y la mecánica, es tanto una ciencia empírica como una ciencia racional” y “Si la teoría pura de la economía, o de la teoría del intercambio y el valor de cambio, esto es la teoría de la riqueza social..., es una ciencia psico-matemática como la mecánica y la hidrodinámica, entonces los economistas no deben temer usar los métodos y el lenguaje de la matemática” .

Max Planck y la física cuántica fue uno de los primeros científicos en demostrar que en la escala atómica la visión mecánica y lineal no se cumple. Demostró que es imposible encontrar la posición exacta de una partícula en determinado periodo de tiempo, por lo cual la impredecibilidad y la no linealidad del tiempo se convirtieron en problemáticas de estudio por parte de la física. Por otra parte, la termodinámica demostró que hay procesos irreversibles en el universo en el cual el tiempo juega un papel preponderante.

### 2.3.5.2 Avances y campos de estudio actuales

Si bien la física ha inspirado las ciencias económicas tradicionales desde la concepción mecanicista, han existido avances en la física y su concepción del universo que han sido útiles para las ciencias de la complejidad y economía. Ambas ciencias han tenido que evolucionar para comprender la dinámica del no equilibrio, la interdependencia, la importancia del tiempo y la impredecibilidad de los sistemas que estudian. El estudio de caminatas aleatorias y fases de transición, las primeras aplicaciones de estos conceptos de las ciencias de la complejidad fue desarrollado por Bachelier, matemático francés, en sus tesis doctoral *Theorie de la speculation* dirigida por Poincaré que estudia los precios en mercados especulativos y que contiene varias ideas desarrolladas por Einstein sobre los movimientos Brownianos. Este trabajo tuvo implicaciones hasta 1973 cuando Black & Scholes presentaron su modelo sobre el precio-opción y la demostración que la variación de los precios presentan características similares a la geometría browniana. Mantegn & Stanley (2000).

Los campos de mayor avance se enlistan a continuación:

- *Movimientos brownianos en el mercado de valores*, Osborne utilizó una función de distribución con los precios de un grupo de acciones aleatorias en momentos aleatorios y obtuvo una función de distribución estable, que corresponde a la misma de una función de movimiento browniano. La conclusión más importante es que los precios varían en la misma manera que lo hacen las moléculas. Dado que los movimientos brownianos son por definición aleatorios y se demostró que los precios tienen este mismo comportamiento, fue este un avance importante para replantear la hipótesis de los mercados eficientes.
- *Cambios en los precios en mercados financieros no siguen una distribución de Gauss*, Mandelbrot demostró que el mercado financiero sigue una distribución de Levy con un parámetro alfa de 1.7 y no de 2 como la distribución Gaussiana. Mandelbrot en su libro 'The (Mis)behavior of Markets' plasmó estas ideas, sus inquietudes vienen desde 1961 cuando trabajaba para IBM y estudió los precios del algodón, al tiempo de sus investigaciones se re-descubría el trabajo de Bachelier el cual afirmaba que el mercado seguía la distribución Gaussiana. El trabajo de Mandelbrot demostró que las colas de la

distribución estadística son mucho más amplias de lo usual, lo cual implica un mayor riesgo.

- *Ley de potencia cuartica inversa.* Paramaswaram Gopikrishnan y Vasiliki Plerou analizaron los cambios de los precios desde 1990 en mercados norteamericanos, descubrieron que eventos excepcionales tienen una probabilidad de mayor ocurrencia que un evento en una distribución de Gauss. Una variación de 100 desviaciones estándar tiene una probabilidad de  $10^{-350}$  con una distribución de Gauss, mientras que presenta una probabilidad de  $10^{-8}$  con esta ley de potencia. La implicación de este trabajo radica en la probabilidad de eventos catastróficos como burbujas inmobiliarias o caídas de mercados vespertinas.
- *Ingresos 'térmicos' y 'super-térmicos' en el ingreso.* A.C. Silva and V.M. Yakovenko analizaron el ingreso en el periodo 1983-2001, encontrando que existen dos estructuras de comportamiento y crecimiento del ingreso en una economía. La primera, que corresponde al 97-99% de la población que la caracterizaron como una distribución Boltzmann-Gibbs –térmica- la cual es estable en el tiempo a diferencia de la super-térmica –que constituye entre el 1 y el 3% de la población- la cual aumenta y se hace pequeña siguiendo la tendencia del mercado. Estos autores debatieron sobre la existencia de un 'equilibrio de la desigualdad' en la sociedad basado en el principio de la máxima entropía y demostraron cuantitativamente que aplica para la mayoría de la población.
- *Aruka et al (2006)* estudiaron uno de los problemas de la teoría neoclásica y *el mecanismo de transmisión de los precios del nivel micro a nivel macro* teniendo en cuenta el tiempo y el tamaño de una economía. El uso de ultra métricas, concepto desarrollado para el estudio de vidrios de espín, sistemas electromagnéticos en el que el acoplamiento entre los momentos magnéticos de los átomos es aleatorio. Las ultras métricas permiten hallar distancias entre clusters de agentes y analizar variaciones en los precios.

La econofísica se ha preocupado por hacer de usos de las herramientas y metodologías propias de la física, pero que comparten características de sistemas complejos que puede ser por ejemplo el sistema económico. No se parte de una simple analogía del universo al mercado.

### 3. CONCLUSIONES

Los supuestos de las ciencias económicas tradicionales han sido re-evaluados, re-formulados y en algunos casos complementados por las ciencias de la complejidad. El confundir la formalización matemática con rigurosidad académica divorció a las ciencias económicas tradicionales de su principal objetivo: explicar y comprender la realidad económica. Esto implicó que muchos de sus supuestos se desarrollaran de tal manera que permitieran modelar dicha realidad de manera sencilla y elegante. Por ello, las ciencias de la complejidad tienen por objetivo reconciliar la ciencia económica con la realidad que intenta explicar, a través de la re-formulación de estos supuestos, que traen consigo la búsqueda permanente de herramientas para su entendimiento.

La ruptura con las ciencias económicas tradicionales se da desde el momento en el que la ciencia social computacional otorga resultados muy satisfactorios en la modelación de agentes, rezagando la visión matematizada tradicional. De allí parte la necesidad de reflexionar sobre los supuestos de la ciencia y abordar otros campos de la ciencia junto con los ya desarrollados por las ciencias de la complejidad. Este documento tuvo por objeto actualizar el estado actual de estos campos, que a la fecha de su realización es nulo, y que además es desconocido en la lengua castellana, con el objetivo de incentivar el estudio en estas nuevas ciencias de frontera así como su pertinencia, no solo por su novedad, sino por las infinitas posibilidades de desarrollo que aún presenta y que pueden ser de extrema utilidad para el desarrollo del país en una etapa de post-conflicto y liderazgo económico en la región. Que sirva también de reflexión sobre el conocimiento mismo y su desarrollo, que propendan no por su profundidad sino por su transversalidad, el único camino para revolucionar la ciencia y en últimas el conocimiento, el fin mismo de la humanidad.

#### **4. RECOMENDACIONES**

El estudio de las ciencias de la complejidad en economía es reciente, por lo tanto, los campos de estudio ofrecen oportunidades de aplicación en muchos fenómenos económicos actuales. Sin embargo, es recomendable empezar por el fortalecimiento del desarrollo metodológico de estos fenómenos desde la ciencia social computacional. Allí existen retos importantes en la acotación de diferentes herramientas que pueden ser útiles para la modelación de agentes, el reto se orienta hacia la definición precisa de elementos a tener en cuenta en la aplicación de la ciencia computacional a fenómenos económicos específicos. Es importante también la búsqueda de evidencia empírica que permita validar muchos de los re-planteamientos de los supuestos de las ciencias de la complejidad en economía, dados su reciente desarrollo.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abergel, F., Aoyama, H., Chakrabarti, B., Chakraborti, A. & Ghosh, A. (2015). *Econophysics and Data Driven Modelling of Market Dynamics*. London: Springer.
- Akerlof, G. A., & Shiller, R. J. (2010). *Animal Spirits: How Human Psychology Drives the Economy, and Why It Matters for Global Capitalism*. Princeton: Princeton University Press.
- Arthur, W.B, Durlauf, S.N., & Lane, D.A. (Eds.) (1997). *The Economy as an Evolving Complex System II. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity (Vol. XXVII)*. Santa Fe: Westview Press.
- Arthur, B. (1994). Complexity in economic theory. *American Economic Review*, 84 (2), 406-11.
- Arthur, B. (2015). *Complexity and the Economy*. New York: Oxford University Press.
- Aruka, Y., Kaizoji, T. & Namatame, A. (2006): *The Complex Network of Economic Interactions: Essays in Agent-Based Economics and Econophysics*. Berlin: Springer.
- Barnett, W., Deissenberg, C. & Feichtinger, G. (2004). *Economic Complexity, Volume 14: Non-linear Dynamics, Multi-agents Economies and Learning*. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- Barkeley, J. (1999). On the complexities of complex economic dynamics. *Journal of Economic Perspectives*, 13(4), 169-192.
- Bouchaud, J.P. (2008). Economics needs a scientific revolution. *Nature*, 455, 1181.
- Buenstorf, G., Cantner, U., Hanusch, H., Hutter, M., Lorenz, H. & Rahmeyer, F. (2013). *The Two Sides of Innovation: Creation and Destruction in the Evolution of Capitalists Economies*. London: Springer.
- Byrne, D. (1998). *Complexity Theory and the Social Sciences*. London, England: Routledge.
- Castells, M. (2010). *The Rise of the Network Society*. Oxford: Blackwell publishing.
- Cioffi-Revilla, C. (2014). *Introduction to Computational Social Science: Principles and Applications*. London:Springer.
- Colander, D. (1998). *Complexity and the History of Economic Thought*. London: Routledge.
- Colander, D et al. (2009). The Financial Crisis and the Systemic Failure of Academic Economics. *Dahlem Report, Univ. of Copenhagen Dept. of Economics Discussion Paper*, 9 (03).

- Chen, S.H., Terano, T. & Yamamoto R. (2011). *Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex*. Tokyo:Springer.
- Cheng, P. (2010). *Economic Complexity and Equilibrium Illusion: Essays on Market Instability and Macro Vitality*. New York: Routledge.
- Ehrentreich, N. (2008). *Agent-Based Modeling: the Santa Fe Institute Artificial Stock Market Model Revisited*. Minneapolis: Springer.
- Elsner, W., Heinrich, T. & Schwardt, H. (2015). *The Microeconomics of Complex Economies: Evolutionary, Institutional, Neoclassical, and Complex Perspectives*. Bremen: Elsevier.
- Faggini, M. & Parziale, A. (2014). *Complexity in economics: Cutting Edge Research*. London: Springer.
- Foley, D. & Smith, E. (2008). Classical Thermodynamics and Economic General Equilibrium Theory. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32(1), 7-65.
- Foster, J. & Metcalfe, J.S. (2004). *Evolution and Economic Complexity*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Helbing, D. & Balmelli, S. (2010). Fundamental and real-world challenges in economics. *Science and culture*, 76, 9–10.
- Helbing, D. & Kirman, A. (2013). Rethinking economics using complexity theory. *Real-World Economics Review*, 64, 23-51.
- Helbing, D. (2009). Systemic risks in society and economics. *SFI Working Paper*, 9, 12-044.
- Helbing, D. (2015). *Thinking Ahead -Essays on Big Data, Digital, Revolution and Participatory Market Society*. New York: Springer.
- Hodgson, G.M. (2002). *A Modern Reader in Institutional and Evolutionary Economics*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Holland, J.H & Miller, J.H. (1991). Artificial adaptive agents in economic theory, *American Economic Association. Papers and proceedings*, 81(2), 365–370.
- Holt, R., Rosser, B. & Colander, D. (2011). The Complexity Era in Economics. *Review of Political Economy*, 23(3), 357-369.
- Hommel, C.H. (2001). Financial markets as nonlinear adaptive evolutionary systems. *Quantitative Finance*, 1, 149-167.

- Jaber, M.Y., Nuwayhid, R.Y., Rosen, M.A. & Sassine G.P. (2006). On the Thermodynamic Treatment of Diffusion-Like Economic Commodity Flows. *International journals of energy*, 3 (1), 103-117.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263-291.
- Kazakov, V., Kolinko, N.A., Tsirlin, A.M. (2003). A Minimal Dissipation Type-Based Classification in Irreversible Thermodynamics and Microeconomics. *European Physics Journal*. 35, 565-570.
- Kirman, A. (2010). *Complex Economics. Individual and Collective Rationality*. Abingdon: Routledge.
- Kirman, A. (1992). Whom or what does the representative individual represent? *Journal of Economic Perspectives*, 6(2), 117-36.
- Krugman, P. (1996). *The Self Organizing Economy*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Krugman, P. (2009). How did economists get it so wrong? Tomado de <http://www.nytimes.com/2009/09/06/magazine/06Economic.html>.
- Lorenz, H.W. (1993). *Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion*. Berlin: Springer.
- Mantegna, R.N & Stanley, H.E. (2000). *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maldonado, C. & Gómez, N. (2011). *El mundo de las ciencias de la complejidad: una investigación sobre qué son, su desarrollo y sus posibilidades*. Bogotá: Editorial Universidad Del Rosario.
- Mirowski, P. (1989). *More Heat than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. New York: Oxford University Press.
- Ormerod, P. (2005). *Why Most Things Fail: Evolution, Extinction and Economics*. New York: Pantheon Books.
- Potts, J. (2000). *The New Evolutionary Microeconomics: Complexity, Competence and Adaptive Behaviour*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Pyka, A. & Hanusch, H. (2006). *Applied Evolutionary Economics and the Knowledge-based Economy*. Cheltenham: Edgar: Elgar.

- Saslow, W. (1999). An Economic Analogy to Thermodynamics. *American Journal of Physics*. 67, 1239.
- Shahid, M. (2005). *The Economy as an Energy System*. Boston, Massachusetts: Northeastern University.
- Schweitzer, F. (2002) . *Modeling Complexity in Economic and Social Systems*. London: World Scientific Publishing.
- Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations (Editado por R.H. Campbell)*. Indianapolis: Liberty Fund.
- Tesfatsion, L. & Judd, K. L. (2006). *Handbook of Computational Economics*. Agent-Based Computational Economics. Amsterdam: North-Holland.
- Togati, T.D. (2006). *The New Economy and Macroeconomic Stability: a Neo-Modern Perspective Drawing on the Complexity Approach and Keynesian Economics*. London:Routledge.
- Wood, R. (2000). *The Economist Managing Complexity: How Businesses Can Adapt and Prosper in the Connected Economy*. New York: Profile books ltd.