



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Letras y Ciencias Humanas  
Unidad de Posgrado

**El modelo económico de equilibrio general dinámico y  
estocástico: una crítica desde la epistemología**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Filosofía con  
mención en Epistemología

**AUTOR**

Enrique Agapito BARRIENTOS APUMAYTA

**ASESOR**

Mg. Álvaro REVOLLEDO NOVOA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Barrientos, E. (2022). *El modelo económico de equilibrio general dinámico y estocástico: una crítica desde la epistemología*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Enrique Agapito Barrientos Apumayta
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41358278
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-5668-602X">https://orcid.org/0000-0001-5668-602X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Álvaro Revolledo Novoa
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08148444
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-9170-9968">https://orcid.org/0000-0002-9170-9968</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Óscar Augusto García Zárate
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06688834
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Mike Christian Cruzado Torre
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	44530706
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Miguel Angel Merma Mora
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	42280826
<b>Datos de investigación</b>	

Línea de investigación	A.3.3.2. Procesos estocásticos y simulación A.3.1.4. Matemática aplicada (Economía) E.2.9.1. Historia de la ciencia E.2.9.2. Lógica de la ciencia E.2.9.5. Metodología de la ciencia D.1.8.1. Epistemología D.1.8.2. Historia del pensamiento económico
Grupo de investigación	Grupo EPISTEME
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Villa el Salvador Asociación de vivienda San Juan de Miraflores Mz. Q Lote 8 Latitud: -12.20861 Longitud: -76.95676
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2021 - noviembre 2021
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02</a> Econometría <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.02.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.02.02</a> Historia y filosofía de la ciencia y la tecnología <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#6.03.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#6.03.02</a>

**UNIDAD DE POSGRADO**  
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DE**  
**GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER**

Al primer día del mes de diciembre de dos mil veintidós, siendo las 16.00 horas, vía virtual, se reunió el Jurado de Grado integrado por los profesores Dr. Óscar Augusto García Zárate (Presidente-Informante), Mg. Álvaro Revollo Novoa (Asesor), Mg. Miguel Angel Merma Mora (Informante) y Mg. Mike Christian Cruzado Torre (Miembro del jurado) para calificar la sustentación de la tesis titulada **El modelo económico de equilibrio general dinámico y estocástico: Una crítica desde la epistemología**, presentada por el señor **Enrique Agapito Barrientos Apumayta**, Bachiller en Economía, para optar el Grado de Magíster en Filosofía con mención en Epistemología.

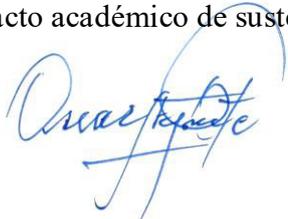
Hecha la exposición y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado, este acordó la siguiente calificación de acuerdo a lo establecido por el Reglamento General de Estudios de Posgrado.

**Excelente (20)**

---

Habiendo sido aprobada la sustentación de la tesis, el Jurado recomendó que la Facultad proponga que se le otorgue el grado académico de Magíster en Filosofía con mención en Epistemología al bachiller **Enrique Agapito Barrientos Apumayta**.

El acto académico de sustentación concluyó a las 17:45 horas.



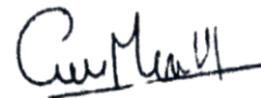
Dr. Óscar Augusto García Zárate  
**Presidente-Informante**  
Profesor Principal T.C.



Mg. Álvaro Revollo Novoa  
**Asesor**  
Profesor Auxiliar T.C.



Mg. Miguel Angel Merma Mora  
**Informante**  
Profesor Contratado



Mg. Mike Christian Cruzado Torre  
**Miembro**  
Profesor Contratado



**UNMSM**  
Facultad de Letras y Ciencias Humanas



UNIDAD DE POSGRADO

**Informe de originalidad**  
**N° 23-UPG-FLCH-UNMSM-2022**

**Título: El modelo económico de equilibrio general dinámico y estocástico: Una crítica desde la epistemología**

**Tesista:** Bach. Enrique Agapito Barrientos Apumayta

**Grado académico:** Magíster en Filosofía con mención en Epistemología

**Asesor:** Mg. Álvaro Revolledo Novoa

**Reporte automatizado:** 15-08-2022

**Fecha:** 15-08-2022

1. La tesis del Bach. Enrique Agapito Barrientos Apumayta, ha sido sometida a revisión. El resultado final fue de 8% de similitud. De acuerdo a la RR N° 04305-R-18, art. 15, expedida el 16 de julio de 2018, dicho porcentaje cumple las condiciones para ser aceptado.
2. La tesis que será sometida a defensa pública es esta versión evaluada por el programa informático Turnitin.

Por estas consideraciones, se otorga la

**conformidad de originalidad.**



**UNMSM**

Firmado digitalmente por ESTRADA  
CUZCANO Martín Alonso FAU  
20148092282 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 15.08.2022 16:23:58 -05:00

**Dr. Martín Alonso Estrada Cuzcano**  
**Director Unidad de Posgrado**  
**FLCH-UNMSM**

## Resumen

Una de las implicancias de los modelos de EGDE es que se ha usado indiscriminadamente no solo en teoría económica sino en política económica de la mayoría de bancos centrales del mundo. El modelo de EGDE es el principio metodológico los agentes representativos basados la NEC, NEK y NSN; es decir, en el caso de la NEC, los consumidores y productores se comportan de manera homogénea, lo que hace más fácil el cálculo computacional y se evitaba “la maldición de las dimensiones”, tanto en matemática como en la computabilidad de los modelos EGDE. Los modelos NEK y NSN quisieron superar el problema metodológico de los agentes homogéneos, pero tienen sus limitaciones epistémicas. Luego se pasó a los modelos HANK con agentes heterogéneos que refleja con mayor precisión los hechos empíricos. No obstante, el debate sobre que modelos usar; RANK, HANK o TANK, han tenido muchos problemas y serias críticas después de la crisis del 2008 en EE.UU. El objetivo de la siguiente investigación es evaluar y realizar las críticas epistemológicas, metodológicas y teóricas de los modelos EGDE. Además, proponer que los modelos dinámicos en economía deben estar fundamentados en un MBA teniendo como base la teoría a los sistemas complejos y sus variantes; la teoría del caos, fractales, conjuntos de Mandelbrot y control caótico de OGY. Damos un paso más considerando que se debe incorporar los modelos de aprendizaje estocásticos fundamentado epistemológicamente. Las variables en economía evolucionan en el tiempo y tienen comportamiento caótico por naturaleza, se parte del principio que todas las variables no están en equilibrio y con la teoría del control caótico se buscan puntos singulares que determinen un posible equilibrio de una variable relevante. Además, puede darse el caso que surjan situaciones de emergencia no previstas previamente, que son propio de las ciencias sociales. En el desarrollo de la tradición ortodoxa de la economía, no se ha tomado en cuenta los sistemas complejos porque hay una resistencia al cambio y supuestos “inamovibles” en los postulados de la teoría económica dominante. Además, se sigue considerando que los modelos con agentes homogéneos son la verdad última en metodología económica. Temas como la crisis económica del 2008 en EE.UU., políticas económicas de los bancos centrales y sobre todo la predicción que es una condición necesaria en la ciencia económica, no ha tenido los resultados esperados por la comunidad científica y hacedores de política económica. Cambiando de metodología en el quehacer científico de la economía, se concluye que el aprendizaje de modelos de ecuaciones diferenciales a partir de simulaciones de modelos estocásticos basados en agentes es epistemológicamente viable en ciencias sociales principalmente en economía.

*Palabras clave:* EGDE, RANK, HANK, OGY, Sistemas complejos.

*Research line:* Epistemology of the economy.

## Abstract

One of the implications of the EGDE models is that it has been used indiscriminately not only in economic theory but also in the economic policy of most of the world's central banks. The EGDE model is the methodological principle representative agents based on the NEC, NEK and NSN; that is, in the case of the NEC, consumers and producers behave in a homogeneous manner, which makes the computational calculation easier and the "curse of dimensions" was avoided, both in mathematics and in the computability of the EGDE models. The NEK and NSN models wanted to overcome the methodological problem of homogeneous agents, but they have their epistemic limitations. Then we move on to the HANK models with heterogeneous agents that more accurately reflect the empirical facts. However, the debate about which models to use; RANK, HANK or TANK, have had many problems and serious criticism after the 2008 crisis in the US. The objective of the following research is to evaluate and make epistemological, methodological and theoretical criticisms of the EGDE models. In addition, to propose that the dynamic models in economics must be based on an MBA based on the theory of complex systems and their variants; chaos theory, fractals, Mandelbrot sets and OGY chaotic control. We take a further step considering that epistemologically based stochastic learning models should be incorporated. The variables in economics evolve over time and have chaotic behavior by nature, it is based on the principle that all the variables are not in equilibrium and with the theory of chaotic control, singular points are sought that determine a possible equilibrium of a relevant variable. In addition, it may be the case that previously unforeseen emergency situations arise, which are typical of the social sciences. In the development of the orthodox tradition of economics, complex systems have not been taken into account because there is a resistance to change and "immovable" assumptions in the postulates of the dominant economic theory. Furthermore, models with homogeneous agents are still considered to be the ultimate truth in economic methodology. Issues such as the 2008 economic crisis in the US, central bank economic policies and, above all, the prediction that is a necessary condition in economic science, have not had the results expected by the scientific community and economic policy makers. Changing the methodology in the scientific work of the economy, it is concluded that the learning of differential equation models from simulations of stochastic models based on agents is epistemologically viable in social sciences, mainly in economics.

Keywords: EGDE, RANK, HANK, OGY, Complex systems.

## **Dedicatoria**

A mis padres Esteban y Lucía quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, perseverancia y valentía, de no temer las adversidades. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mi profesor de pregrado y asesor de tesis, Álvaro Revollo Novoa por permitirme entrar al mundo de la epistemología. También a mi profesor en el IMCA Ramón García-Cobián, que en paz descanse, por haberme inculcado con su rigor intelectual de estudiar la economía de manera formal y filosófica.

## Índice general

<b>Resumen</b>	II
<b>Abstract</b>	III
<b>Dedicatoria</b>	IV
<b>Índice general</b>	V
<b>Lista de figuras</b>	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>DISCUSIÓN EPISTEMOLÓGICA SOBRE LOS MODELOS ECONÓMICOS: DESDE LA NEC HASTA LOS SISTEMAS COMPLEJOS EN ECONOMÍA.....</b>	<b>7</b>
1.1 Introducción a los fundamentos epistemológicos de la economía dinámica.....	7
1.1.1 Popper y sus críticos .....	9
1.2 Introducción a los fundamentos metodológicos de la economía dinámica.....	15
1.2.1 Problemas metodológicos en economía dinámica.....	18
1.3 La crítica de Lucas y su impacto en la metodología de la economía .....	20
1.3.1 Apéndice metodológico-matemático de la crítica de Lucas .....	27
1.4 El modelo EGDE como base para la escuela de la NSN.....	29
1.4.1 ¿Qué son los modelos de Equilibrio General Dinámico y Estocástico EGDE (Dynamic Stochastic General Equilibrium, DSGE)? .....	31
1.5 La metodología de la Escuela Austriaca en economía .....	35
1.5.1 ¿Por qué falla la falsación en economía? Según la Escuela Austriaca.....	44
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>PROBLEMAS EPISTEMOLÓGICOS DE LA PREDICCIÓN EN LOS MODELOS DE EQUILIBRIO GENERAL DINÁMICO Y ESTOCÁSTICO (EGDE).....</b>	<b>45</b>

2.1	Naturaleza de las observaciones empíricas en economía dinámica .....	47
2.2	Econofísica y Econometría.....	50
2.3	Una posible concepción epistemológica de la predicción en ciencias naturales y sociales .....	56
2.4	Popper, Kuhn y Lakatos: la cuestión de la predicción de los modelos EGDE en economía .....	59

### **CAPÍTULO 3**

#### **LOS MODELOS EGDE: LIMITES Y PROBLEMAS EPISTEMOLÓGICOS DE LA COMPUTABILIDAD EN LA ECONOMÍA DINAMICA..... 65**

3.1	La naturaleza de los objetos matemáticos en los modelos EGDE y el problema mente-cerebro.....	65
3.1.1	Las matemáticas y el problema mente-cerebro .....	65
3.1.2	Ontología matemática.....	67
3.1.3	Epistemología matemática.....	68
3.1.4	Posturas filosóficas de las matemáticas.....	69
3.1.4.1	Logicismo .....	69
3.1.4.2	Intuicionismo.....	69
3.1.4.3	Formalismo.....	69
3.1.4.4	Platonismo .....	70
3.1.4.5	Estructuralismo.....	70
3.1.5	Alcances y limitaciones en la relación mente-cerebro .....	71
3.1.6	Teorías y aspectos críticos del problema mente-cerebro.....	72
3.1.6.1	Dualismo .....	72
3.1.6.2	Monismo.....	72

3.2	Probabilidad Vs. Lógica difusa: Algunos aportes epistemológicos a la economía dinámica en los modelos EGDE.....	75
3.2.1	Introducción.....	75
3.2.2	Teoría de probabilidades .....	76
3.2.3	Lógica difusa de tipo-1, tipo-2 y tipo-3.....	77
3.2.4	Lógica difusa de tipo-1 .....	78
3.2.5	Lógica difusa de tipo-2.....	78
3.2.6	Lógica difusa de tipo-3 .....	79
3.2.7	Una aplicación a la economía.....	80
3.2.8	Aplicación en los modelos (EGDE), basado en las reglas de elección con preferencias difusas .....	81
3.3	Los límites epistemológicos de los modelos EGDE y agentes heterogéneos denominados HANK .....	86
3.4	Aspectos epistemológicos de la economía dinámica, su computabilidad y simulación .....	91
3.4.1	Teorías económicas basadas en teorías de la computación.....	95
3.4.2	Cinco tipos de teorías de la computación .....	96
3.4.3	Déficits epistemológicos e incompletitud .....	96
3.4.4	Un modelo dinámico no lineal keynesiano, simulación y aproximación .	98
3.4.5	Reclamaciones sobre la computabilidad: computación basada en agentes para economía y finanzas .....	99
3.4.6	Los déficits epistemológicos y la incompletitud en la computabilidad de los sistemas dinámicos en economía.....	100

## **CAPÍTULO 4**

<b>LOS SISTEMAS COMPLEJOS Y SUS LIMITES.....</b>	<b>102</b>
--	------------

4.1	Cuestiones de Complejidad en las ciencias naturales .....	102
4.1.1	Relación entre la Ciencia y la complejidad .....	102
4.1.1.1	Problemas de simplicidad.....	105
4.1.1.2	Problemas de complejidad desorganizada.....	106
4.1.1.3	Problemas de complejidad organizada .....	106
4.2	La teoría de la verdad por correspondencia y los sistemas complejos .....	108
4.3	Los sistemas complejos en ciencias sociales.....	113
4.3.1	Características de los sistemas complejos sociales.....	115
4.3.2	Breve origen de los sistemas complejos en economía.....	115
4.3.3	El Instituto Santa Fe y la complejidad en economía .....	119
4.3.4	Formación de la economía de la complejidad bajo la tecnología.....	120
4.3.5	La complejidad y la política económica .....	120
4.4	Una posible aplicación matemática de MBA en sistemas complejos sociales..	122
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>126</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>131</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Modelo básico entre la teoría y los datos .....	17
<b>Figura 2:</b> Modelo complejo entre la teoría y los datos .....	17
<b>Figura 3:</b> Modelo matemático de la dinámica de la población .....	39
<b>Figura 4:</b> Diagrama de bifurcación para la aplicación logística .....	40
<b>Figura 5:</b> Conjuntos en 3D de Mandelbrot .....	41
<b>Figura 6:</b> Los fractales en términos numéricos.....	42
<b>Figura 7:</b> Diagrama de flujo de la metodología en ciencias naturales (Física).....	62
<b>Figura 8:</b> Modelo difuso de tipo-3.....	79
<b>Figura 9:</b> Modelo difuso de tipo-2 .....	83
<b>Figura 10:</b> Representación cualitativa de la solución de una ecuación diferencial .....	99
<b>Figura 11:</b> Comparaciones de tres modelos basado en agentes .....	124

## INTRODUCCIÓN

En un artículo publicado por Lucas en 1976 denominado *Econometric Policy Evaluation: A Critique*, realiza una crítica a la teoría tradicional de la escuela Keynesiana para hacer política económica, es decir aplicar política monetaria y fiscal para mantener la estabilidad de la economía. Esto se conoce como *la crítica de lucas*, que constituye el aporte más importante de la Nueva Escuela Clásica en el campo de la política económica. En 1972 publica *Expectations and the Neutrality of Money*, donde defiende la exclusión rigurosa de todas las formas de “ilusión monetaria” porque todos los agentes se comportan de manera óptima a la luz de sus objetivos y expectativas. En 1995 gana el premio Nobel de Economía, por “haber desarrollado y aplicado la hipótesis de las expectativas racionales y, por ello, haber transformado el análisis macroeconómico y mejorado nuestra comprensión de la política económica”.

A inicios de la década de los 80 apareció la escuela de los ciclos económicos reales (RBC). A diferencia de la NEC, quienes consideraban que el principal impulso de los ciclos económicos era un shock nominal (monetario), la escuela RBC consideraba que el principal impulso debía ser un shock real de la productividad. Con esta principal diferencia, pero bajo los mismos supuestos de la escuela NEC, la escuela RBC ganó protagonismo en los 80 y la primera mitad de los 90 debido a la capacidad de replicar los hechos estilizados de la economía norteamericana. En la década de los 80 y 90, se desarrolló el enfoque keynesiano, pero con aspectos microeconómicos. A esta escuela se le conoce como la Nueva Escuela Keynesiana que hace énfasis en la competencia monopolística y en el ajuste costoso de precios. A mediados de los años 90 se da un consenso entre los modelos RBC y la NEK. A este consenso se le denominó según Goodfriend y King (1997) la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica (NSN). Galindo (2018) considera que la NSN está basada, por un lado, en los modelos RBC al incorporar optimización intertemporal y expectativas racionales dentro de los modelos macroeconómicos dinámicos; por otro lado, la NSN toma elementos de la NEK tales como competencia monopolística y ajuste costoso de precios (rigidez de precios). Todas estas escuelas, para resolver problemas de política económica, toma como modelo al equilibrio general dinámico y estocástico (DSGE).

Fabozzi (2014), Keifman (2018) y Blanchard (2016), observan que la corriente principal de la economía proporciona poco conocimiento a partir del cual podemos hacer

pronósticos confiables. Además, siendo la predicción el principal objetivo de la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica. Blanchard, (2016) en su artículo ¿Tienen futuro los modelos DSGE?, considera los aspectos cualitativos y algunos cuantitativos, pero no centra su atención en la ciencia experimental para fundamentar los modelos DSGE. La cuestión es explorar nuevos campos experimentales y lógicos, para entender mejor las nuevas aplicaciones que se deben realizar para resolver los fenómenos económicos complejos.

Para el problema en cuestión de la presente investigación relativa a si los modelos DSGE se considera una ciencia experimental tomaremos como referencia la Escuela Austriaca de Economía que, a principios del siglo XX, introdujo la idea, típica de los sistemas complejos; el orden en los sistemas de mercado es una propiedad emergente y espontánea. En el libro *The Economy as an Evolving Complex System II*, Brian Arthur, Steven N. Durlauf y David A. Lane, del Santa Fe Institute, definen lo complejo en el sentido que los sistemas son diversos y conformados por múltiples elementos interconectados; y adaptativos, porque tiene la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia y nos dará nuevos elementos esclarecedores.

El inicio de nuestro análisis será los artículos de Lucas (1976), Fabozzi (2014), Keifman (2018) y Blanchard (2016) luego realizaremos un análisis profundo de la escuela, Nueva Síntesis Neoclásica para considerar que la teoría los fenómenos complejos resolverían el problema de ciencia experimental en los modelos DSGE.

El problema que planteamos en esta investigación es si la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica considera aspectos metodológicos de naturaleza empírica y ¿Cuáles son los límites de la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica en relación al carácter predictivo de sus teorías? Para ello nuestra propuesta es sugerir una comparación metodológica de dos modelos DSGE y sistema complejo en el sentido de la escuela Austriaca: El punto de discusión estará centrado en algunos de los problemas que presenta los modelos DSGE según Blanchard (2016) como:

- a) Los modelos DSGE se deberían basar en el inmenso trabajo sobre el comportamiento de los consumidores de las diversas ramas de la economía, desde la economía del comportamiento, a los trabajos empíricos con grandes datos, a la estimación del equilibrio parcial macroeconómico.

- b) Tiene que volverse menos imperialista. O, quizá más justamente, la profesión (y, de nuevo, esta es una nota para los editores de las principales revistas) debe entender que se necesitan diferentes tipos de modelos para tareas diferentes.

Los modelos pueden tener diferentes grados de pureza teórica. En un extremo, la máxima pureza teórica es de hecho el nicho de los DSGE, teniendo como base esto consideramos a los sistemas complejos cubrir ese nicho que tiene los modelos DSGE. Porque en la “realidad” hay múltiples elementos interconectados y adaptativos, además tienen la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia, cuestión que no toma en cuenta los modelos DSGE.

Sugerimos que el marco epistemológico de la economía no es el de la física sino el de los sistemas complejos. Después de todo, las economías son sistemas complejos jerárquicos formados por agentes humanos —sistemas complejos en sí mismos— y agregaciones de agentes humanos. Sin embargo, hay otra cuestión que nos interesa desarrollar que está relacionado con lo que menciona Keifman, (2018) en su artículo *Una fallida pretensión de rigor científico: el extraño caso del modelo de equilibrio general estocástico y dinámico*, pone en tela de juicio el modo de hacer ciencia de los hacedores de política macroeconómica. No predecir la crisis económica del 2008 en los EE. UU. fue un golpe fuerte a los modelos DSGE. Concluye que manteniendo un enfoque riguroso y generalista se dejó de lado la evidencia empírica que mostro la falsabilidad las predicciones antes de las crisis, e incurrió en importantes inconsistencias lógicas y teóricas.

Lo que intentaremos demostrar es que la teoría de los sistemas complejos basado en *The Economy as an Evolving Complex System II* de Brian Arthur, Steven N. Durlauf y David A. Lane, del Santa Fe Institute, resolverían el problema que tienen los modelos DSGE al no tomar los la evidencia empírica para formular sus hipótesis.

La investigación pretende discutir a fondo y someter a examen los modelos DSGE y confrontarlos con los sistemas complejos de la Escuela Austriaca en Economía. La teoría de sistemas complejos tiene como objetivo explicar el comportamiento de sistemas compuestos por muchas partes que interactúan. En nuestra Introducción, sugerimos que la teoría de la complejidad podría ser relevante para el análisis de economías y series de tiempo financieras. Las preguntas teóricas clave son:

- ¿La escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica considera aspectos metodológicos de naturaleza empírica?
- ¿Cuáles son los límites de la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica en relación al carácter predictivo de sus teorías?
- ¿Se puede explicar el comportamiento de sistemas complejos en términos de leyes básicas?
- ¿Se pueden crear espontáneamente sistemas complejos en medios no complejos? ¿Pueden seguir evolucionando y transformándose? ¿Si es así, cómo?
- ¿Se pueden describir los sistemas complejos y, de ser así, cómo?

Para responder los problemas y temas planteados se ha dividido en cinco capítulos.

La primera pregunta es básicamente si la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica basada en los modelos DSGE toma en cuenta la naturaleza empírica para realizar las políticas económicas.

La segunda pregunta es saber cuáles son los límites de la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica en relación al poder de predicción de sus teorías.

La tercera pregunta es esencialmente la siguiente: ¿Podemos dar una base microeconómica a la economía? La cuarta pregunta es: ¿Cómo se desarrollan, crecen y se transforman las economías? La última pregunta es: utilizando la teoría de sistemas complejos, ¿qué tipo de teoría económica podemos esperar desarrollar?

El principio del reduccionismo científico sostiene que el comportamiento de cualquier sistema físico puede reducirse a leyes físicas básicas. ¿El reduccionismo es válido para sistemas físicos muy complejos? ¿Puede describirse matemáticamente alguna propiedad de un sistema complejo en términos de leyes físicas básicas? Philip Warren Anderson, co-receptor del Premio Nobel de Física 1977, conjeturaba en su artículo “Más es diferente” que los sistemas complejos pueden exhibir propiedades que no se pueden explicar en términos de leyes microscópicas. Esto no significa que las leyes físicas se violen en sistemas complejos; más bien significa que en los sistemas complejos hay propiedades agregadas que no se pueden deducir con una cadena finita de deducciones lógicas a partir de leyes básicas. El reduccionismo en la teoría económica es la creencia de que podemos dar una base microeconómica a la macroeconomía, es decir, que podemos explicar el comportamiento económico agregado en términos del

comportamiento de agentes individuales. Como se mencionó, este fue el proyecto de teoría económica que siguió a la crítica de Lucas.

La presente investigación tiene los siguientes objetivos:

1. Establecer las relaciones entre los modelos DSGE y los sistemas complejos y determinar su naturaleza empírica.
2. Demostrar que los modelos DSGE que utilizan la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica, tienen límites en relación a su carácter predictivo.
3. Demostrar que los modelos DSGE no resuelven el problema de la predicción, porque tiene la macroeconomía una base microeconómica, basado en Lucas (1976).
4. Argumentar que puede existir un nuevo modelo que realice predicciones más certeras bajo el enfoque de los sistemas complejos.

La presente investigación parte del intento por determinar de una manera crítica si la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica basado en los modelos DSGE, considera aspectos metodológicos de naturaleza empírica y ¿Cuáles son los límites de la escuela NSC en relación al carácter predictivo de sus teorías? a través de la lectura de la crítica de Lucas (1976), Blanchard (2016) y Goodfriend y King (1997), para mostrar las deficiencias de los modelos DSGE de la escuela Nueva Síntesis Neoclásica en relación a su poder de predicción.

De manera original aplicar la teoría de los sistemas complejos a los modelos DSGE, para realizar una mejor predicción de los fenómenos económicos, pues dichos modelos son reduccionistas y los sistemas complejos estudia que en la “realidad” hay múltiples elementos interconectados y adaptativos, además tienen la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia, cuestión que no toma en cuenta los modelos DSGE. Por último, una de las razones que hacen valiosa la presente investigación es aportar una nueva forma de aplicar los sistemas complejos a la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica. Es a partir de esta última evaluación, nuestra tesis sostiene que los modelos DSGE bajo en enfoque de la escuela NSN son reduccionistas en su aplicación y nivel teórico, por ello exploraremos algunas direcciones nuevas en la teoría económica. Comencemos por señalar que no tenemos una teoría económica razonablemente bien desarrollada y validada empíricamente. Quizás el campo más desarrollado es el análisis de inestabilidades, así como la simulación económica. Las principales líneas de

investigación, sin embargo, son claras y representan un alejamiento de la teoría neoclásica. Se pueden resumir así:

- Los valores y objetivos sociales deben separarse de la teoría económica, es decir, tenemos que separar la economía política de la teoría económica pura. Las economías son sistemas en continua evolución. Este hecho no se aprecia en la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica que considera solo cantidades agregadas.
- El resultado de las economías es principalmente la creación de orden y complejidad, tanto a nivel de productos como de estructuras sociales. Nuevamente, este hecho es ignorado por la escuela de la NSN, que adopta un enfoque puramente cuantitativo sin considerar los cambios en la calidad de la producción o la estructura de poder de las economías.
- Las economías normalmente no están en un estado de equilibrio, sino que están sujetas a inestabilidades intrínsecas.

## CAPÍTULO 1

### DISCUSIÓN EPISTEMOLÓGICA SOBRE LOS MODELOS ECONÓMICOS: DESDE LA NEC HASTA LOS SISTEMAS COMPLEJOS EN ECONOMÍA

Este capítulo presenta un estudio epistemológico sobre los modelos EGDE (Equilibrio General Dinámico y Estocástico) y la NEC (Nueva Economía Clásica) y la forma en que explican los fenómenos económicos. Se expone una serie de críticas que se han formulado desde la epistemología de las ciencias sociales y sus posibles errores metodológicos. Dicha exposición se concentra en algunos temas relevantes, como son; la epistemología de la economía, los problemas metodológicos en economía dinámica, la crítica de Lucas y su impacto en la metodología de las escuelas económicas y la metodología de la Escuela austriaca en economía. Consideramos que dichas críticas son apropiadas en el contexto epistemológico y metodológico de la economía. Esto parece indicar que los economistas deberían mirar con escepticismo las teorías de los filósofos de la ciencia antes de aplicarlas a la economía. Por ello, planteamos que debe abrirse nuevos campos en la metodología de la economía, como es el caso de los sistemas complejos.

#### 1.1 Introducción a los fundamentos epistemológicos de la economía dinámica.

La epistemología<sup>1</sup> o filosofía de la ciencia<sup>2</sup> forma parte de una de las disciplinas de la filosofía que se caracteriza por estudiar un tipo de conocimiento esto es el conocimiento

---

<sup>1</sup> El término "epistemología" proviene de las palabras griegas ἐπιστήμη -episteme- y λόγος -logos-. "Episteme" puede traducirse como "conocimiento" o "comprensión" o "conocimiento", mientras que "logos" puede traducirse como "cuenta" o "argumento" o "razón". Cada traducción enmarca una etapa diferente de la epistemología. Aunque el término "epistemología" no tiene más de un par de siglos, el campo de la epistemología es al menos tan antiguo como cualquier otro en filosofía. Por otro lado, Llanos (2009), considera que para Mario Bunge oficialmente aparece con la fundación del Círculo de Viena en 1927. Conformados por los positivistas lógicos ubicados en Viena y los empiristas lógicos de la Escuela de Berlín. Posteriormente denominado *La Concepción Heredada*. Siguiendo a Woleński (2004), no tomo en cuenta en esta tesis a epistemólogos como; Soren Kierkegaard, nuevos racionalistas franceses como Emile Meyerson, Leon Brunschvicg o Ferdinand Gonseth, Karl Jaspers, Jean-Paul Sartre, Jean Piaget, Martin Buber, Emmanuel Levinas, Hans-Georg Gadamer y muchos otros merecen ciertamente la atención de los historiadores de la epistemología.

<sup>2</sup> Denominado en la academia anglosajona.

científico<sup>3</sup>, además de su naturaleza, alcance, posibilidad y fundamento. Según Piscoya (2009) la filosofía de la ciencia de la tercera década del siglo XX, sufre unos cambios importantes con la adopción de la lógica matemática como nuevo instrumento de análisis del lenguaje científico. Pasamos de un lenguaje natural a un lenguaje formal.

El lenguaje de la ciencia natural como de la ciencia social en economía tienen un objetivo; el conocimiento científico, que están basados en conjuntos de proposiciones o enunciados. Cuando estos están adecuadamente sistematizados, bajo un orden lógico, constituyen una teoría que presenta la estructura de un sistema hipotético-deductivo, que es el nombre con el que actualmente se conoce a la formulación axiomática del conocimiento (Piscoya, 2009, p. 17).

Bajo el sistema hipotético-deductivo se da el carácter de científicidad a las ciencias naturales como las sociales en economía.

La filosofía de la ciencia social, para Llanos (2009) todavía está en construcción, con lo cual estamos de acuerdo en parte, porque a diferencia de muchos filósofos de la ciencia que sólo se ocuparon de la física, Popper buscó influir en las ciencias sociales. Mientras que en el mundo de habla inglesa se lo asocia a su *Logic of Scientific Discovery*, en el mundo de habla alemana es considerado como uno de los primeros filósofos de la ciencia social. Aunque el estudio epistemológico de las ciencias naturales comienza con el Círculo de Viena y este fue aplicado de manera semejante a las ciencias sociales, inicialmente por Popper. Luego, los estudiosos de Kuhn aplicaron sus presupuestos a la economía, pero nos damos con la sorpresa que no existen “matrices disciplinares” en esta ciencia. Por último, Lakatos trató de dar una explicación epistemológica para la economía, pero, antes de dar su conferencia en Napflion, falleció, y sus escritos sobre economía solo son conocidos gracias a Spiro Latsis.

Desde el campo económico, tenemos a Blaug, considerándose en varios puntos lakatosiano, pero tampoco convencieron sus análisis epistemológicos. En la actualidad, se estudia la *opción abarcante* y la *perspectiva restringida*.

“En la primera opción los problemas de una disciplina científica concreta convergen con las cuestiones de la ciencia en general [...] En cambio, en la segunda perspectiva, la atención a los problemas conceptuales y empíricos de las distintas ciencias se circunscribe al territorio

---

<sup>3</sup> Se basa objetivamente en conjuntos de proposiciones o enunciados.

de cada disciplina en cuestión”. Nuestro estudio está basado en la *opción abaricante* (García-Bermejo, 2012, p. 328).

### 1.1.1 Popper y sus críticos

El criterio de demarcación de Popper nos indica que el objeto de estudio de una disciplina tiene rango de ciencia o no. Popper defendía la unidad del método en todas las disciplinas y una visión naturalista que rechaza cualquier diferencia ostensible entre ciencias sociales y ciencias naturales. Además, buena parte de su filosofía es prohibitiva, uno de cuyos ejemplos es que la ciencia consiste en la eliminación del error mientras que el objetivo de la sociedad es la disminución del sufrimiento, el “utilitarismo negativo” de Popper. Pero mientras que el método científico de las ciencias naturales es 'revolucionario' porque la crítica induce cambios importantes, aconseja que los científicos sociales recomienden pequeños ajustes a la política social, su “ingeniería gradualista”.

Popper en su libro *La miseria del historicismo*, afirma que las ciencias sociales se han rezagado de las ciencias naturales y, por consiguiente, deben considerarse como 'ciencias menos exitosas', concluyendo que “las ciencias sociales aún no han encontrado su Galileo”. El éxito de la economía matemática muestra que al menos una ciencia social ha pasado por la revolución newtoniana. Estuvo de acuerdo con Marschak, acerca del uso de la estadística en la economía.

Chakraborty considera que la filosofía popperiana de la ciencia nos muestra que

el crecimiento del conocimiento científico enfrenta dos dimensiones diversas, pero entrelazadas: en la perspectiva del descubrimiento, las conjeturas científicas se basan en la intuición y el método deductivo, mientras que el contexto de su corroboración parece estar centrado en la experiencia o la prueba. Tenemos que obtener la construcción lógica del mundo y justificar la desacreditación de la ciencia en datos sensoriales (reales y posibles) que se puedan probar de forma autónoma. (Chakraborty, 2021, p. 98). [ De aquí en adelante, todas las referencias de títulos originales en inglés, son traducciones de los autores].

Según Redman, en su artículo *La teoría de la ciencia de Karl Popper: auge y caída de la ingeniería social*, considera que

la falsación falla en las ciencias naturales, por razones igualmente apremiantes a las del mundo de la economía. A la lista de problemas ya mencionados podemos agregar el argumento de Boland [1977, 93] Y Papandreou [1958] según el cual la refutación de un modelo específico de una teoría no necesariamente refuta la teoría representada por el modelo [...] El análisis de Hausman [1988] incluye otras razones adicionales [...] Incluso un

economista prestigioso como Mark Blaug [1980], quien revisa la filosofía de la ciencia en la primera parte de su libro *La metodología de la economía* y encuentra que la falsación es imposible en las ciencias naturales, continúa insistiendo en la falsación en economía en una sección posterior. Y éste no es un caso aislado. (Redman, 1995a, p. 130)

Aunque después, amplió su análisis de la falsación bajo los argumentos lakatosianos. “Otros aspectos sociológicos consideran que: los economistas, igual que muchos filósofos de la ciencia, no están dispuestos a llevar la filosofía de Popper hasta sus últimas consecuencias lógicas porque a veces comparten su visión política” (Redman, 1995a, p. 131). Existe una especie de *mainstream* para seguir ciertas preferencias en cuestiones epistemológicas y metodologías que no deben salirse de lo convencionalmente establecido. Al respecto, Boland, en su artículo *Philosophy of Economics versus Methodology of Economics*, comenta lo siguiente:

El siguiente artículo importante sobre metodología publicado fue probablemente mi artículo de 1979 en el *Journal of Economic Literature* que presentaba una crítica de la mayoría de las críticas de los pronunciamientos metodológicos de Friedman, así como una breve crítica que identificaba la metodología de Friedman como una mera forma de instrumentalismo del siglo XVIII. (Boland, 2016, p. 20)

Además “Se publicaron cuatro libros sobre metodología económica, pero fueron ignorados por la corriente principal de la economía” (Boland, 2016, p. 20), predominantemente friedmaniana. *American Economic Review* aceptó una publicación de Wong en 1973, pero siguió rechazando los demás artículos sobre metodología económica, incluido otro artículo de Boland publicado en 1981 sobre la hipótesis de maximización, que no estaban de acuerdo con la corriente metodológica predominante. En consecuencia, la otra explicación “es la tendencia de los economistas a aceptar la creencia de que la evidencia empírica es el árbitro absoluto de la verdad en economía, una visión anclada en la tesis de la falsación. Esto nos lleva a la conexión econométrica” (Redman 1995a: 131).

Por lo tanto, podemos decir que:

Popper realmente no entendía las ciencias sociales, probablemente porque él (1974a, p. 96) admite que "las ciencias sociales nunca tuvieron para mí la misma atracción que las ciencias naturales teóricas". (Aun así, la disertación doctoral de Popper fue en psicología.) En cuanto a los economistas y sus interpretaciones de la filosofía de la ciencia de Popper, han ignorado su racionalismo crítico puro (es decir, no contaminado por su confusa teoría de la

falsificación), que en realidad es una condición previa para el crecimiento. y floreciente de la ciencia. (Redman, 1993b, p. 133)

Un análisis crítico hacia Kuhn lo proporciona Thodoris Dimitrakos en su artículo, *Scientific Mind and Objective World: Thomas Kuhn Between Naturalism and Apriorism*, quien considera que

la explicación de Kuhn del cambio científico se caracteriza por una tensión interna entre una vena naturalista, que es compatible con la perspectiva revolucionaria sobre el desarrollo histórico de la ciencia, y una vena apriorística o kantiana, que quiere asegurar que la ciencia no es una empresa irracional. El propio Kuhn nunca logró resolver la tensión o siquiera lidiar con los términos del problema. Michael Friedman, muy recientemente, proporcionó un reporte que aspira a reconciliar los elementos revolucionarios y apriorísticos de la historiografía kuhniana, colocando a estos últimos en el marco filosófico neokantiano. (Dimitrakos, 2020a, p. 225)

Luego, Dimitrakos sugiere una solución al problema planteado por Friedman (2010) en su artículo *A post-Kuhnian approach to the history and philosophy of science*,

sugiero que Friedman logra proporcionar una descripción convincente de la estructuración del conocimiento científico y, además, presentar la ciencia como una empresa racional. Sostengo que, a pesar de estas virtudes, el relato de Friedman se enfrenta a un problema importante con respecto al contexto del idealismo trascendental que no está dispuesto a abandonar. También sostengo que descartando el idealismo trascendental en la forma en que lo hace la perspectiva filosófica de John McDowell, podemos deshacernos de los defectos del relato de Friedman al tiempo que conservamos sus virtudes. (Dimitrakos, 2020a, p. 225)

Con esto, Dimitrakos considera superar el problema planteado inicialmente.

No obstante, las ciencias no solo avanzan con teorías y experimentos, sino también mediante otros aspectos culturales, sociales y políticos que surgen de la interacción entre individuos. En las ciencias sociales, principalmente en economía, la matriz disciplinar es la racionalidad del agente económico, pero, muchas veces el individuo se comporta de manera irracional, entonces no podríamos estar hablando de racionalidad en economía. Esto no quiere decir que la economía no se pueda tratar como ciencia, sino más bien cómo podemos entender el comportamiento irracional de los agentes bajo aspectos estrictamente racionales. Por ello, lo que aparentemente es irracional en el comportamiento de los agentes, se podría tratar con mayor aproximación con los sistemas complejos y la teoría del caos, que si están tratados bajo la racionalidad.

La posición epistemológica de Kuhn en economía ha tenido una amplia aceptación entre los científicos sociales. Pero, en su aplicación a la economía, ha tenido numerosos problemas, como lo resume (Katouzian, 1982, p.130):

1. La teoría de Kuhn no es un ataque a la contrastabilidad, aunque él dijera que las hipótesis científicas no necesitaran de forma inherente ser contrastadas.
2. Una ciencia normal madura no excluye las existencias de paradigmas competidores.
3. Una revolución científica no es algo que pueda suceder por un llamamiento de científicos disidentes.
4. Una crisis debe mostrar una incompatibilidad persistente entre el paradigma dominante y el mundo de la realidad empírica.
5. Para que se dé una revolución, además de la crisis debe surgir un nuevo paradigma que sea aceptable por la comunidad científica como teoría superior.
6. El paradigma victorioso será incompatible con su predecesor.

Sin embargo, en opinión de Pheby,

a pesar de sus limitaciones, el marco metodológico de Kuhn parece ofrecer más a los economistas que Popper. Como se señaló anteriormente, Kuhn está más preocupado por la descripción metodológica que por la prescripción y creo que esto nos presenta una visión más realista y menos utópica de la práctica científica. (Pheby, 1988, p. 53)

La única intervención de Lakatos en economía y de manera inconclusa fue de la siguiente manera:

Lakatos estaba organizando un coloquio de investigación sobre programas de investigación científica (SRP) en física y economía que se celebraría en Nafplion, Grecia, en septiembre de 1974 cuando intervino su muerte. El coloquio tuvo lugar sin él. El pórtico dedicado a la economía produjo el libro *Método y evaluación en economía* (Latsis, 1976a), editado por Latsis y que contiene una colección de documentos en los que el MSRP lakatosiano se aplica a la economía. Desde esa publicación, el interés en el MSRP ha seguido creciendo entre los economistas. (Redman, 1994, p. 142)

Según (Schickore, 2011, p. 456) citado en (Dimitrakos, 2020b, p. 29), “la reconstrucción racional lakatosiana fue uno de los primeros [...] intentos de formar una versión del llamado "modelo de confrontación". [...] es la idea que perseguir el positivismo historiográfico significa combinar y, en particular, confrontar marcos filosóficos generales con datos históricos”. Entonces, tomar las teorías científicas como modelos en

las ciencias sociales es un despropósito, porque estas, al ser corroboradas empíricamente, no resuelven el problema. Considerar a la racionalidad científica como elemento conceptual de la ciencia, junto a la inferencia de teorías elaboradas a partir de factores lógicos y/o empíricos sin que influyan otros elementos contextuales, es dejar de lado, dentro del ámbito económico, el comportamiento irracional del agente, pues esto no calzaba con los objetivos propuestos por las ciencias sociales.

Economistas como Blaug (1976) se adhieren a los programas de Lakatos en su explicación del progreso científico en economía. Considera a la economía política clásica como su “núcleo central”. Por ejemplo, los marginalistas se limitaron a sustituir el cinturón protector, pero Keynes fue más lejos al cuestionar el núcleo central. Este programa de investigación también sufrió fuertes críticas. (Katouzian, 1982, p. 139)

El profesor Attanasio en su artículo *Frank Ramsey's a mathematical theory of saving* menciona:

En 1928, Frank Ramsey, un matemático y filósofo británico, que en ese momento solo tenía 25 años, publicó un artículo (Ramsey, 1928) cuyo contenido era absolutamente innovador y sembró las semillas de muchos desarrollos posteriores. Además de la teoría del crecimiento óptimo, desarrollada en Cass (1965) y Koopmans (1965), se podría argumentar que la esencia de varias teorías influyentes posteriores, como la teoría del consumo del ciclo de vida/renta permanente para modelar las opciones de ahorro individuales, ya estaba contenida en ese sentido en su artículo seminal. (Attanasio, 2015, p. 269)

Podemos inferir que los modelos dinámicos<sup>4</sup> en economía fueron aplicados inicialmente a la macroeconomía por Ramsey, rescatados en los años 1960 por Cass y Koopmans y finalmente Brock y Mirman extienden el análisis de los sistemas dinámicos de tiempo continuo a discreto, pues es más cercano a la realidad. También se puede obtener una solución analítica cerrada<sup>5</sup>. Además, se introduce la estadística y las probabilidades con

---

<sup>4</sup> Según Díaz-Giménez en su artículo, *Modelos y métodos en la macroeconomía dinámica*, publicado en el *Libro Sobre la economía y sus métodos*, editado por García-Bermejo, menciona que según Lucas (1980), preguntarnos porque los grandes macroeconomistas de los años cuarenta del siglo XX no utilizaron modelos dinámicos y estocásticos, es como preguntarnos por qué Aníbal no utilizó carros blindados en lugar de elefantes para cruzar los Alpes. Si aquéllos y éste no lo hicieron fue, sencillamente, porque no pudieron. Esta idea le lleva a Lucas a defender que son los descubrimientos técnicos, y no los cambios de paradigma, los que posibilitan el progreso científico. Es una respuesta crítica a la epistemología de Kuhn.

<sup>5</sup> Un problema matemático tiene solución por métodos analíticos, es decir por simples operaciones matemáticas obtenemos resultados directos, a diferencia de soluciones abiertas donde tenemos que aplicar métodos de aproximación para encontrar soluciones a los problemas.

lo cual los modelos se vuelven estocásticos<sup>6</sup>. Dicho modelo, también se usa en los modelos de ciclos económicos reales (RBC).

La Nueva Economía Clásica (NEC) plantea la microfundamentación de la macroeconomía como posición epistemológica. Con el comportamiento de los individuos basados en expectativas racionales podríamos generalizar las políticas económicas de los gobiernos y tener el bienestar total de la economía que es el objetivo principal de Macroeconomía actual. Por lo tanto, podemos tener un modelo de sistema dinámico de equilibrio general.

Podemos considerar que lo expuesto anteriormente es uno de los problemas en la filosofía de las ciencias sociales, aquel naturalismo aplicado a la economía, pero que no responde a las exigencias de las predicciones en economía. Por tal razón, se propone un análisis apriorístico, con modelos y técnicas matemáticas sofisticadas como el estructuralismo bourbakiano y la teoría del caos, ya que en la actualidad las técnicas matemáticas, como el análisis funcional en infinitas dimensiones, sirven para explicar en competencia imperfecta los equilibrios en una economía. El problema fundamental es qué relación existe o debe existir entre la matemática y las ciencias sociales. Tomando como ejemplo, -en términos apriorísticos- a inicios del siglo XX existía una discusión muy fuerte sobre la existencia de un equilibrio en una economía capitalista que garantice el buen funcionamiento del mercado. Se hicieron muchos intentos dados por Walras y Wald, pero no se logró el cometido. Por la sencilla razón que estaban trabajando en un sistema euclidiano n-dimensional heredado por Kant. Gerard Debreu, abrió un nuevo campo, axiomatizar la economía como extender las geometrías en infinitas dimensiones y la herramienta matemática hasta ese momento no utilizada como la topología, se usó para demostrar la existencia de un equilibrio general en el sistema capitalista (la *mano invisible*, propuesta por Smith, se demostró formalmente). En la actualidad pasa lo mismo con los problemas económicos no predecibles, como la crisis del 2008 en los EE.UU. por la falta de herramientas matemáticas de acorde con las cuestiones sociales. El otro aspecto son las cuestiones históricas que muchos economistas dejan de lado para solo dedicarse a las cuestiones “técnicas” de cómo explicar fenómenos complejos como la economía.

---

<sup>6</sup> Según el RAE: Del gr. *στοχαστικός* *stochastikós* 'conjetural'. Perteneciente o relativo al azar. En matemáticas significa; Teoría estadística de los procesos cuya evolución en el tiempo es aleatoria, tal como la secuencia de las tiradas de un dado.

Estos problemas pueden ser resueltos con la teoría del caos y los sistemas complejos aplicados en las ciencias sociales.

Estas corrientes epistemológicas mencionadas han tenido fuertes críticas en su aplicación a la economía, por ello, consideramos que la teoría de los sistemas complejos resolvería, en parte, los problemas antes planteados.

## **1.2 Introducción a los fundamentos metodológicos de la economía dinámica.**

La metodología<sup>7</sup> se entiende como “ciencia del método” y “conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal”. Según Morles (2002) la acepción amplia (y etimológica), menciona que la metodología es la ciencia de los métodos. Para Kaplan (1964) metodología quiere decir que es el estudio de la descripción, explicación y justificación de los métodos, y no los métodos en sí mismos.

La metodología estudia los métodos para lograr o aplicar el conocimiento y la epistemología estudia sobre la posibilidad del conocimiento.

Con respecto a la relación metodología y técnica tenemos:

El concepto de Metodología está ligado también estrechamente al de técnica, puesto que las dos actividades se dirigen a un mismo objetivo: resolver problemas de manera racional. Pero la Metodología se refiere al cómo, es decir, a la definición, o descripción, de los pasos formales y medios para lograrlo, mientras que el propósito de la Técnica es encontrar o crear la solución real, objetiva, concreta y óptima. Por su parte la función de la política, la economía y las profesiones, por ejemplo, es utilizar los conocimientos y otros recursos disponibles para resolverlos. (Morles, 2002, p. 122)

En la ciencia económica, principalmente en la economía dinámica, la metodología y la técnica están estrechamente relacionados. La técnica como destreza o habilidad para resolver un problema concreto, nos ayuda a explicar los fenómenos económicos dinámicos. Por ejemplo ¿Cómo podemos computar en un modelo de equilibrio general lo que queremos predecir sobre las variables macroeconomías? Para ello tenemos una especie de “laboratorio computacional”, basado en técnicas, algorítmicas, y programas

---

<sup>7</sup> Proviene del término griego μέθοδος de μετά meta 'después', ὁδός odós 'camino' y λογός logos 'estudio'. Según el *Divry's New English-Greek and Greek-English Handy Dictionary* (inglés) Revised Edición. Del autor George C. Divry. Dc Divry; Revised edición (1 junio 1983).

como el Dynare que es una extensión del software Matlab. Entre otros tenemos otros como Stata, E-views, SPSS, OxMetrics, Gaus y R.

Dichas técnicas que usamos los economistas para resolver un problema concreto traen consigo el problema de la “maldición de las dimensiones”<sup>8</sup>, entonces ¿cuál será la metodología y la técnica a utilizar? pues propongo los llamados sistemas complejos, que su forma de computar estaría basada en las computadoras cuánticas<sup>9</sup> y como base matemática, la teoría del caos determinista.

Sobre los modelos, entendemos como la simplificación de la realidad, pues esta es muy compleja en su estructura. Un problema fundamental es que al crear modelos reducimos el número de variables que pueden afectar al fenómeno económico de estudio. Pero si tratamos de utilizar la mayor cantidad de variables nos encontramos con la maldición de las dimensiones. Entonces preferimos simplicidad.

Según Boumans (2005) Cartwright sostiene que los modelos consisten en parte en propiedades genuinas de los objetos modelados, pero otros serán simplemente propiedades de conveniencia o ficción. Las propiedades de conveniencia se introducen en el modelo para llevar los objetos modelados al rango de la teoría. Estas últimas propiedades juegan un papel importante en su argumento de que las leyes explicativas fundamentales no pueden interpretarse de manera realista. Para cerrar las brechas en la ruta de los fenómenos a los modelos y a la teoría, se deben introducir propiedades de conveniencia o ficción.

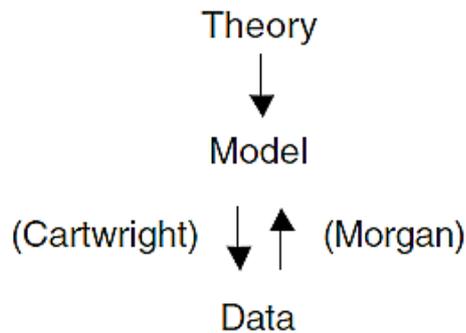
---

<sup>8</sup> Los objetos matemáticos desde la perspectiva platónica, están dados por el concepto de punto, plano y espacio en tres dimensiones, pero existen fenómenos tanto físicos como económicos que trabajan en múltiples espacios tales como n-dimensiones ( $\mathbb{R}^n$ ) o infinitas dimensiones ( $\mathbb{R}^\infty$ ). En economía dinámica dichos espacios depende del número de variables que se use para explicar un fenómeno económico, como maximizar el bienestar de la población que es el objetivo de la macroeconomía moderna. Existen espacios euclidianos, de Hilbert, y Banach, que requieren de técnicas para intentar resolver problemas económicos concretos. También se presenta otro problema fundamental, si las computadoras podrán realizar los cálculos respectivos, esto presenta otro problema de si es posible simular o no totalmente o parcialmente los fenómenos económicos. Un ejemplo importante es que existe un punto de equilibrio en una economía de competencia perfecta demostrado por Gerard Debreu, extendiendo el análisis matemático de  $\mathbb{R}^n$  a  $\mathbb{R}^\infty$ .

<sup>9</sup> Según García (2019) que una computadora clásica trabaja con modelos de información representados por bits. Esos bits tienen el valor de 0 (cero) y 1. El cómputo cuántico, a diferencia del tradicional, procesa la información mediante qubits, que pueden representar tanto a 1 como a 0, pero también la combinación entre esos valores (0 y 0; 1 y 1; 0 y 1). Lo anterior se llama superposición. Dicha superposición, no significa que la computadora cuántica sea precisamente más rápida, pero sí que tiene un alcance mayor de procesamiento de información.

**Figura 1**

*Modelo básico entre la teoría y los datos*

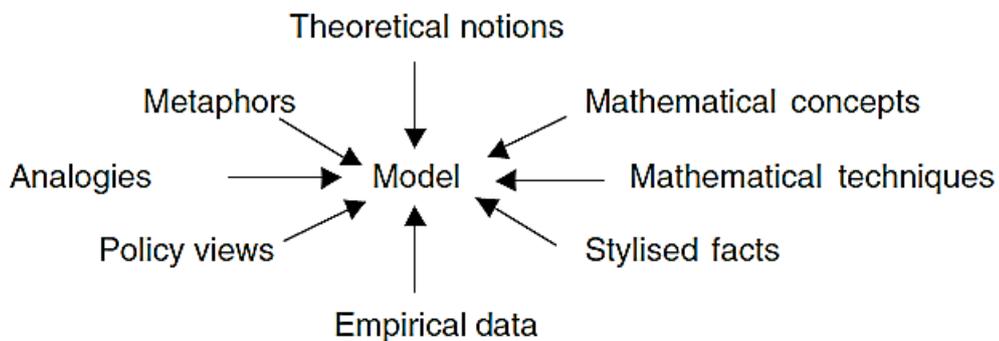


*Nota.* Morgan y Cartwright conciben los modelos como instrumentos para cerrar la brecha entre la teoría y los datos. Tomado de *How Economists Model the World into Numbers* (p. 16), por M. Boumans, 2005, Routledge.

Esta vista es demasiado unidimensional; aquí se mantiene la opinión de que los modelos integran una gama más amplia de ingredientes, que solo la teoría y los datos.

**Figura 2**

*Modelo complejo entre la teoría y los datos*



*Nota.* Morgan y Cartwright toman muchos aspectos para representar los fenómenos reales de la economía. Tomado de *How Economists Model the World into Numbers* (p. 16), por M. Boumans, 2005, Routledge.

El relato de Cartwright trata sobre cómo se construyen los modelos para ajustar la teoría a los datos. Su concepción de los modelos es una subclase de la visión desarrollada por Boumans. En su opinión, la teoría es verdadera para los objetos del modelo y el modelo es verdadero para los objetos en la realidad (Cartwright, 1983).

### 1.2.1 Problemas metodológicos en economía dinámica

Dentro de la filosofía de la ciencia, se evidencia una amplia literatura en cuestiones metodológicas del sistema popperiano. Generalmente, estos temas son tratados de manera tangencial en tesis y libros aplicados a la economía. La teoría de la ciencia de Popper ha predominado entre los economistas y los científicos sociales durante el siglo veinte. Terence Hutchison fue el primero en difundir las ideas de Popper entre los economistas, en su *Significance and Basic Postulates of Economic Theory* de 1938. Se trata de una introducción explícita del criterio metodológico de falsabilidad en los debates económicos.

Popper parece haber sido mucho más influyente en la econometría que en cualquier otro campo de la economía... La filosofía de la ciencia de Popper -su racionalismo crítico- está ligada al intento de construir un enfoque puramente deductivo de la ciencia, a su visión de la evaluación de las teorías y del aumento del conocimiento y al criterio de falsación y demarcación... Popper buscaba respuestas a preguntas tales como: ¿cómo podemos decidir si una teoría es correcta?, ¿cómo podemos distinguir entre teorías científicas y teorías no científicas?, ¿qué da validez a las teorías científicas? (Redman, 1995a, pp. 119-120)

Por otro lado, la profesora Redman manifiesta que “la filosofía de Popper es puramente deductiva y considera que la probabilidad previa de cualquier ley debe ser igual a cero [...] La inducción debe considerarse como una posición extrema [...] que no es aceptada por muchos filósofos” (Redman, 1995a, pp. 120-121).

Para Popper, el método crítico es el de ensayo y error. La ciencia empieza con problemas porque se dejó de lado la inducción. El *modus tollens* asume una forma dialéctica. Posteriormente consideró que podría empezar por cualquier lugar.

Según Blaug, en su libro *La metodología de la economía o cómo explican los economistas*, plantea lo siguiente:

como punto central de la argumentación de Hutchison encontramos la idea de que todas las proposiciones económicas pueden ser clasificadas exhaustivamente entre proposiciones tautológicas y proposiciones empíricas, siendo las primeras aquellas que no prohíben la aparición de fenómeno alguno concebible en el mundo real, y siendo las últimas aquellas que sí prohíben la aparición en el mundo real de al menos algún fenómeno concebible. (Blaug, 1985, p. 115).

Blaug considera que

sea cual sea nuestra opinión acerca de tal clasificación dicotómica de las proposiciones científicas —algunos filósofos modernos han cuestionado el dogma positivista de que toda proposición puede ser claramente clasificada entre las categorías de lógicamente necesaria, o proposición «analítica», y lógicamente indeterminada, o proposición «sintética» (Nagel 1961: 371)— lo cierto es que Hutchison tendió a caracterizar como tautologías la mayor parte de las proposiciones económicas. (Blaug, 1985, p. 115)

Según Hausman en "Philosophy of Economics", en The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Aunque las diferentes ramas y escuelas de la economía plantean una amplia variedad de cuestiones epistemológicas y ontológicas relacionadas con la economía, seis problemas han sido centrales para la reflexión metodológica (en este sentido filosófico) sobre la economía, estos son: “Economía positiva versus normativa, Razones versus causas, Naturalismo científico social, Abstracción, idealización y cláusulas *ceteris paribus* en economía, Causalidad en economía y econometría, además de Estructura y estrategia de la economía: paradigmas y programas de investigación”. Consideramos, además, otro problema adicional, sobre la aplicabilidad de los métodos de los sistemas complejos en economía.

Desde la década de los 70 del siglo XX, el estudio de los modelos dinámicos despertó el interés entre los filósofos de la ciencia. A partir de ese momento, la epistemología económica ha estado relacionada o en ocasiones se ha utilizado para explicar fenómenos como la crisis económica del 2008, políticas monetarias, fiscales, entre otros.

Las teorías de la filosofía de la ciencia están en constante cambio, pero en la aplicación a la economía todavía se mantiene el sistema popperiano. La evolución de la metodología que debe seguir la economía, por ello, es los sistemas complejos. De esa manera, los modelos son más realistas, además de identificar los puntos débiles y fuertes de su entorno. No obstante, las investigaciones sobre filosofía de la ciencia económica y su metodología empiezan con Antoine Augustin Cournot, quien es el pionero en aplicar matemática a la economía, específicamente el duopolio y cálculo de la producción de dos empresas de agua potable en una región específica. Esto trajo grandes beneficios porque se podría calcular con cierto grado de exactitud cuánto se debe producir y cuál es el precio del bien para esa región. Además, determinó las bases fundamentales de los modelos estáticos en economía. Nos situamos a

inicios del siglo XX, Neurath considera que los fenómenos sociales son cambiantes. Propone una base empírica móvil frente a las naturales que siguen un patrón de referencia. Propone

un cambio en la metodología económica en términos dinámicos para que refleje mejor los aspectos sociales. (D'Alessandro 2013: 62)

Con los aportes de la Escuela de Bourbaki y el economista Debreu se logró axiomatizar la teoría económica del equilibrio general. Demuestra que existe un equilibrio en una economía en competencia perfecta, aplicando otro método de las matemáticas hasta ese momento no utilizado como la topología, espacios de Banach-Hilbert y el teorema del punto fijo de Kakutani. Se considera en esta etapa las bases matemáticas para entender la economía de manera científica.

El economista Robert Lucas, presenta una metodología general para explicar los fenómenos económicos en competencia perfecta. Se establece la micro fundamentación de la macroeconomía, la aplicación de las expectativas racionales y la optimización dinámica de todos los agentes de la economía. Además, aplica nuevas herramientas teóricas y técnicas al modelo de equilibrio general.

Los iniciadores de los modelos RBC, Kydland y Prescott, aplicaron los métodos dinámicos en macroeconomía. Las herramientas matemáticas fueron, análisis funcional, teoría de la medida y nuevos métodos numéricos para resolver sistemas dinámicos en tiempo discreto y continuo. También introdujeron el cálculo estocástico en la función de producción, considerando que el shock de productividad es un factor importante para el crecimiento económico. Se concluye que estos modelos usan una fuerte instrumentalización matemática para generalizar el comportamiento económico.

Considero que los modelos RBC en competencia perfecta no hacen correspondencia con la realidad empírica. Aparece, entonces, la nueva escuela keynesiana fundamentada en los modelos EGDE, que introducía; competencia monopolística, rigideces (pegajosidad) en los precios y salarios, además de fricciones en el empleo. La economía dinámica había alcanzado su cúspide para explicar mejor los fenómenos sociales. Sin embargo, esto no ha podido resolver el problema de fondo. Lo importante es fundamentar la teoría económica mediante una lógica de la investigación de las ciencias sociales, que lo podemos encontrar en los sistemas complejos.

### **1.3 La crítica de Lucas y su impacto en la metodología de la economía**

*A mí siempre me ha gustado pensar en los problemas sociales. Puede ser que tenga algo que ver con mi familia. Nosotros siempre discutimos de política y de cuestiones sociales. Yo estudié historia... pero me di cuenta de que las fuerzas económicas son*

*centrales en la historia, por eso me metí a la economía. Fue un gran choque para mí encontrar libros escritos en inglés que me eran incomprensibles... (como) La Teoría General de Keynes. De hecho, todavía no puedo leer ese texto (se ríe). Me di cuenta de que no podía hacerlo como un aficionado. De modo que incursioné profesionalmente en la economía y obtuve mi doctorado en Chicago.<sup>10</sup>*

Robert E. Lucas Jr.

Las teorías económicas antes de la Nueva Economía Clásica (NEC) no tomaban en cuenta, en su metodología, los aspectos microeconómicos en la macroeconomía (posteriormente se llamó la microfundamentación<sup>11</sup> de la macroeconomía). La macroeconomía estaba dominada básicamente por la escuela Keynesiana. Los bancos centrales tenían que hacer política económica basada en aumentar el gasto de gobierno y consumo interno. Estas formas de hacer política económica generaban inflación en muchas economías que aplicaban las teorías keynesianas para resolver sus problemas económicos.<sup>12</sup> El premio nobel de economía Joseph Stiglitz en su artículo *Where modern macroeconomics went wrong*, considera que los micro fundamentos fallan porque

no incorporaron aspectos clave del comportamiento económico, p. Ej. incorporando conocimientos de la economía de la información y la economía del comportamiento. El modelado inadecuado del sector financiero significaba que no eran adecuados para predecir o responder a una crisis financiera; y la dependencia de modelos de agentes representativos significaba que no eran adecuados para analizar el papel de la distribución en las

---

<sup>10</sup> Basado en el artículo de Loria (1996) “*Robert Lucas y las Expectativas racionales*” CIENCIA ERGO SUM Vol. 3, Número Dos, Julio 1996, es la respuesta de Lucas a la pregunta de por qué decidió estudiar economía.

<sup>11</sup> Barro (1986) en su libro *Macroeconomía* considera, que el análisis microeconómico del comportamiento de agentes individuales tales como hogares o empresas son los que fundamentan la teoría macroeconómica. Se debe tomar en cuenta que las políticas macroeconómicas desde un modelo de equilibrio general, deben tomar en cuenta variables como el consumo, ahorro, ingresos y gastos, pues la para macroeconomía tradicional (me refiero antes de la crítica de lucas) no era relevante. Por lo tanto, se realizan los modelos a partir de la NEC tomando como base a los consumidores y productores en los modelos básicos de equilibrio general.

<sup>12</sup> La revolución de las expectativas racionales no supuso la derrota de los keynesianos. Según Caballero (2015), en su tesis doctoral *Macroeconomía y ciclos económicos: El ciclo económico real*, considera: “Los términos *saltwater economist* (economistas de agua salada) y *freshwater economist* (economistas de agua dulce) para diferenciar las dos corrientes dominantes en el pensamiento macroeconómico aparecen por primera vez en un artículo de R.E. Hall (1976). Con estos términos se alude a que los economistas keynesianos se encuentran concentrados en el este y oeste costero de EEUU (Yale, Princeton, Berkeley, Harvard) mientras que los economistas de corte clásico se encuentran en la zona de los Grandes Lagos (Chicago, Rochester, Minnesota).”

fluctuaciones y crisis o las consecuencias de las fluctuaciones en la desigualdad. (Stiglitz, 2018, p. 1)

Autores como Kirman (1992) en su artículo, “*Whom or What Does the Representative Individual Represent*” y Rizvi (1994) en su artículo “*The Microfoundations Project in General Equilibrium Theory*” consideran que los micro fundamentos son metodológicamente incorrectos, ambos fundamentan su crítica en el teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu<sup>13</sup>.

Otras críticas que son realizadas por Jardim, Lichand y Gala en su artículo *Microfundamentos da Macroeconomía: notas críticas*, en el que consideran que hay, tanto una crítica interna como otra externa. Sobre la crítica interna indican:

estos modelos pueden ser criticados, en primer lugar, desde una perspectiva interna, basada en la imposibilidad del reduccionismo mediante la eliminación de elementos macroeconómicos, en las inconsistencias inherentes a la figura del agente representativo<sup>14</sup>, especialmente en lo que se refiere a las flagrantes fallas de estos modelos en representar adecuadamente la respuesta, sumado a modificaciones en los parámetros de los modelos, crítica que se extiende a la modelación de expectativas racionales ante escenarios económicos inestables y la presencia de incertidumbre, conduciendo inevitablemente al surgimiento de múltiples trayectorias de equilibrio, de acuerdo con la crítica sociológico-institucional” (Jardim, Lichand & Gala, 2009 p. 869).

A propósito de la crítica externa, manifiestan:

La crítica externa a la microeconomía de la macroeconomía se dirige a la obsolescencia de los criterios de demarcación ante el declive del modernismo y, junto con ella, a la creencia

---

<sup>13</sup> Se dice que las funciones de demanda y oferta que son resultado del modelo de equilibrio general Arrow-Debreu se pueden considerar de cualquier forma con lo cual no se cumpliría la condición de existencia, unicidad y estabilidad. Para Mouchot, (1996) en su libro *Méthodologie économique*, considera que dicho teorema del equilibrio general no es más que una construcción vacía e inutilizable.

<sup>14</sup> En un modelo de equilibrio general, donde existen muchos consumidores y productores, sería imposible tomar en cuenta a todos los que actúan en el mercado. Por ello metodológicamente se considera un *agente representativo*, que se comporta como todos los demás consumidores y productores. Es decir, tomar del cumulo de consumidores a uno de ellos, considerando que su comportamiento es igual a los demás. Otros autores consideran a este análisis, como la economía Robinson Crusoe. “A principios del siglo XX, mientras la escuela austriaca presentaba el individualismo metodológico, Marshall recuperó su enfoque en las empresas y el papel del mercado, aunque ahora están desconectados de la Economía Política, en el sentido de los clásicos. La noción de agente representativo también se debe al economista inglés, aunque es bastante diferente a su conceptualización actual. Marshall definió en la ontología de su análisis los conceptos de empresa media, o individuo medio, dotados, por tanto, de las características mínimas identificativas de esta clase de agentes, caracterizados por propiedades muy generales, que quiso iluminar (Marshall, 1920). Sin embargo, la transposición de esta visión a la del agente representativo requiere un pasaje bastante problemático” (Ferreira, Lichand & Gala 2009).

en la superación positiva, que lleva al vaciamiento de la búsqueda de los fundamentos por la imposibilidad de acceder a la realidad de manera directa, así como representar el conocimiento de una manera única y definitiva. (Jardim, Lichand & Gala, 2009, p. 869)

Podemos inferir del párrafo anterior que el problema del agente representativo (considera que una se toma como referencia a un solo agente que se comporta como todos los demás agentes) generaría un problema de considerar que todos los agentes se comportan igual y no se analiza como sucede en la realidad que los agentes son heterogéneos. Además, que todos los agentes actúan con expectativas racionales, no abre la posibilidad que los agentes son cambiantes en el tiempo, por ello admite la posibilidad que se trabaje formalmente con tasas de descuento hiperbólicas, que reflejarían mejor los fenómenos económicos. Pero estos métodos aplicados a los modelos EGDE no replican la realidad por lo menos con un grado de aproximación aceptable.

Tanto la crítica interna como externa nos llevan a considerar que debería abrirse un nuevo campo metodológico en los modelos de equilibrio general, que sería la teoría de los sistemas complejos. Janssen, en su artículo *Microfoundations*, considera que

las contribuciones más recientes en el área de la economía del comportamiento y los modelos evolutivos con individuos que aprenden (de forma adaptativa) comienzan a explorar las implicaciones de diferentes supuestos de comportamiento a nivel individual y a considerar las implicaciones macro. Estos modelos tienen el potencial de analizar cómo los macro fenómenos pueden surgir de la interacción entre un conjunto heterogéneo de individuos. De ese modo, pueden proporcionar a la teoría económica un fundamento empírico más plausible, mientras se adhieren a los requisitos del individualismo metodológico. (Janssen, 2006. pp. 8-9)

De propuesto arriba por Janssen, podemos colegir lo siguiente:

1. Realizar modelos con un agente representativo es un error metodológico.
2. Los individuos se adaptan y aprenden en el tiempo, según los modelos evolutivos.
3. Los cambios en el tiempo de los individuos pueden explicar con mayor eficiencia los fenómenos macroeconómicos.
4. La heterogeneidad de los individuos puede proporcionar un fundamento empírico “robusto” a la macroeconomía.

Otra de las hipótesis fundamentales en los modelos de la NEC es las expectativas racionales. Con la finalidad de tener una mejor claridad, analizaremos los antecedentes de las expectativas racionales. a) La expectativa estática considera que los datos del pasado no cambian en el futuro. b) La expectativa adaptativa asume que los agentes toman decisiones en función a los datos del pasado. c) Las expectativas extrapolativas "suponen que los agentes relacionan el valor actual de la variable de referencia con alguna fracción o múltiplo del diferencial entre su valor actual y su valor precedente" d) por ultimo las expectativas regresivas, señalan que los agentes "estiman" un valor de equilibrio para la variable y esperan que, en ajustes no instantáneos, retorne ante eventuales desviaciones. Todos estos cometen errores sistemáticos en su predicción.

Las expectativas racionales asumen que utilizan toda la información disponible para tomar decisiones<sup>15</sup> de esta manera se eliminan los errores sistemáticos.

$$E_t[\pi_{t+1}^e | \Omega_t]$$

$\Omega_t$ : Conjunto de información disponible en el periodo  $t$ .

Pero dichas expectativas fueron creación del matemático Muth, pero Lucas lo aplicó a la macroeconomía. No solo un agente forma expectativas racionales sino los demás agentes también forman sus expectativas.

Según Argandoña (1996) los economistas "revolucionarios"; Robert Lucas, Thomas Sargent, Robert Barro, Edward Prescott, Neil Wallace, Finn Kydland, Bennett McCallum, etc.), consideran los supuestos básicos de la NEC son los siguientes:

1. Acerca de la conducta de los agentes económicos:
  - 1.1 Los agentes económicos son decisores racionales.
  - 1.2 Los agentes no se dejan llevar por la ilusión monetaria<sup>16</sup>, es decir toman su decisión con variables reales).
  - 1.3 Las expectativas se forman racionalmente.
  - 1.4 La información no siempre es perfecta porque es muy costosa.
2. Acerca de los mercados:

---

<sup>15</sup> Según (Argandoña, 1996, p. 87) en su libro *Macroeconomía Avanzada I* escribe: "Este es el motivo por el que las expectativas así formadas se llaman "racionales", aunque el calificativo puede inducir a confusión, como si otros criterios no fuesen racionales (en el sentido más amplio del término).

<sup>16</sup> Las variables nominales no afectan directamente a las variables reales.

- 2.1 Los mercados se vacían continuamente.
- 2.2 Existe competencia perfecta en todos los mercados.
3. Supuestos metodológicos:
  - 3.1 Los modelos deben tener siempre una fundamentación microeconómica estricta, es decir basarse en la conducta optimizadora de los agentes racionales.
  - 3.2 Las expectativas se introducen de forma coherente con el modelo.
  - 3.3 Los modelos deben ser dinámicos.
  - 3.4 Los modelos deben ser de equilibrio general.
  - 3.5 Y deben ser estocásticos.

Lucas (1972) publica *Expectations and the Neutrality of Money*, donde defiende la exclusión rigurosa de todas las formas de “ilusión monetaria” porque todos los agentes se comportan de manera óptima a la luz de sus objetivos y expectativas.

En otro artículo publicado por Lucas (1976) denominado *Econometric Policy Evaluation: A Critique*, considera que los agentes actúan racionalmente y los modelos econométricos deben estar basados en las expectativas racionales. También realiza una crítica a la teoría tradicional de la escuela Keynesiana para hacer política económica, es decir, aplicar política monetaria y fiscal para mantener la estabilidad de la economía. Esto se conoce como *la crítica de Lucas*, que constituye el aporte más importante de la Nueva Escuela Clásica en el campo de la política económica.

En un modelo de expectativas racionales, los parámetros, no solo dependen de factores estructurales, sino también de los cambios en política económica. Por lo tanto, también cambiaría el comportamiento de los agentes económicos, por lo que se genera inestabilidad en los parámetros. Sea:

$$\alpha = f(\text{gustos y preferencias, tecnología, cambios en la política económica})$$

La pregunta sería ¿Por qué cambian los parámetros? Por expectativas adaptativas. La academia sueca en 1995 le concede el premio Nobel de Economía, por “haber desarrollado y aplicado la hipótesis de las expectativas racionales y, por ello, haber transformado el análisis macroeconómico y mejorado nuestra comprensión de la política económica” (Febrero, 1995, p. 3). Según Fellner, Haberler y Shiller, los modelos de

expectativas racionales y *la crítica de Lucas* sufren refutaciones. Según (Argandoña, Gamez, & Mochon, 1996, p. 94) estos son los siguientes

1. Los agentes económicos no son racionales.
2. Las expectativas racionales exigen supuestos no realistas.
3. Los agentes no conocen las reglas de política, ni pueden identificarlas fácilmente cuando cambian.
4. Los agentes no tienen incentivos para buscar la información necesaria.
5. Las expectativas racionales solo se pueden aplicar a variables aleatorias recurrentes.
6. Las hipótesis de las expectativas racionales no son verificables independientemente.

Estas críticas abren un nuevo campo en la macroeconomía dinámica. Tratando de superar dichas críticas aparecen los modelos EGDE. Según Krugman,

la influencia de Lucas creció debido a tres factores. El primero en razón al cierre que hizo de la brecha entre la microeconomía y la macroeconomía, brecha que emergió con la Teoría General de Keynes en 1936. A partir de Lucas la macroeconomía tiene fundamentos microeconómicos. El segundo fue la aplicación de un conjunto de técnicas matemáticas sofisticadas que atrajeron el interés de las generaciones nuevas de economistas. Finalmente, la posición política conservadora, en Estados Unidos, vio con agrado la naturaleza del enfoque lucasiano contra las políticas activistas. (Pacheco, 2003, p. 142)

Luego a inicios

de la década de los 80 surgió una vertiente de la NEC llamada modelos de Ciclos Económicos Reales (RBC). A diferencia de la NEC, quienes consideraban que el principal impulso de los ciclos económicos era un *shock nominal (monetario)*, la escuela RBC consideraba que el principal impulso debía ser un *shock real* de la productividad. A mediados de los 90 surge un consenso entre los modelos RBC y los modelos NEK. A este consenso se le conoce como la Nueva Síntesis Neoclásica (NSN) (Goodfriend y King, 1997) [...] la NSN está basada, por un lado, en los modelos RBC al incorporar optimización intertemporal y expectativas racionales [...]; por otro lado, la NSN toma elementos de la NEK tales como competencia monopolística y ajuste costoso de precios (rigidez de precios). (Galindo & Montesinos, 2018, p. 33-34)

Por lo tanto, todas estas escuelas, para resolver problemas de política económica, toman como modelo al equilibrio general dinámico y estocástico (EGDE).

El impacto que dejó los modelos de Lucas fue fundamental, tanto en lo epistemológico como metodológico, además de técnico, en los hacedores de política y teóricos de los modelos EGDE. Sin embargo, Oliver Blanchard, dice:

sospecho que incluso los modeladores DSGE estarán de acuerdo en que los modelos DSGE actuales son defectuosos. Pero los modelos DSGE pueden satisfacer una necesidad importante en macroeconomía: ofrecer una estructura nuclear alrededor de la cual construir y organizar las discusiones. Para ello, sin embargo, deben basarse más en el resto de la macroeconomía y aceptar compartir el escenario con otros tipos de modelos de equilibrio general. (Blanchard, 2006, p. 45)

Con ello abre un nuevo problema en los modelos EGDE, sobre qué metodología aplicar para que los pronósticos sean más confiables, pues esta es la teoría de los sistemas complejos.

### 1.3.1 Apéndice metodológico-matemático de la crítica de Lucas

Sistematización de las expectativas racionales de Muth (1961). Como Lucas refuta a los keynesianos cuando hacen política económica y sus errores en la predicción.

**EL precio se determina en el mercado:**

$$\text{Demanda: } y_t^d = a_0 - a_1 P_t \quad (1)$$

$$\text{Oferta: } y_t^s = b_0 - b_1 P_t^e + \varepsilon_t \quad (2)$$

En el equilibrio tenemos:

$$y_t^d = y_t^s$$

Resolviendo la ecuación en diferencias obtenemos:

$$P_t = \frac{a_0 - b_0}{a_1} - \frac{b_1}{a_1} P_t^e - \frac{1}{a_1} \varepsilon_t \quad (3)$$

**Utilizando expectativas estáticas:**  $P_t^e = P_{t-1}$

$$P_t = \frac{a_0 - b_0}{a_1} - \frac{b_1}{a_1} P_{t-1} - \frac{1}{a_1} \varepsilon_t \quad (4)$$

Analizando con error de predicción y restando  $P_t^e$  a ambos miembros tenemos:

$$P_t - P_t^e = \frac{a_0 - b_0}{a_1} - \left( \frac{b_1}{a_1} + 1 \right) P_{t-1} - \frac{1}{a_1} \varepsilon_t \quad (5)$$

$P_t - P_t^e$ : Error de predicción

$\frac{a_0 - b_0}{a_1} - \left(\frac{b_1}{a_1} + 1\right) P_{t-1}$ : Error sistemático e inevitable

$\frac{1}{a_1} \varepsilon_t$ : Error aleatorio inevitable

**Con expectativas adaptativas:**

$$P_t^e = \lambda P_{t-1} + (1 - \lambda) P_{t-1}^e \quad (6)$$

$$P_t^e = P_{t-1}^e + \lambda(P_{t-1} - P_{t-1}^e) \quad (7)$$

Iterando sucesivamente tenemos:

$$P_t^e = \lambda \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \lambda)^i P_{t-i-1} \quad (8)$$

Remplazando (8) en (3)

$$P_t = \frac{a_0 - b_0}{a_1} - \frac{b_1}{a_1} (\lambda \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \lambda)^i P_{t-i-1}) - \frac{1}{a_1} \varepsilon_t \quad (9)$$

Restando (9) con (8) tenemos:

$$P_t - P_t^e = \frac{a_0 - b_0}{a_1} - \left(\frac{b_1}{a_1} + 1\right) (\lambda \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \lambda)^i P_{t-i-1}) - \frac{1}{a_1} \varepsilon_t \quad (10)$$

$P_t - P_t^e$ : Error de predicción

$\frac{a_0 - b_0}{a_1} - \left(\frac{b_1}{a_1} + 1\right) (\lambda \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \lambda)^i P_{t-i-1})$ : Error sistemático o evitable

$\frac{1}{a_1} \varepsilon_t$ : Error aleatorio

**Con expectativas racionales:**

$$P_t^e = \mathbb{E}_t[P_t | \Omega_{t-1}] = \mathbb{E}_{t-1} P_t \quad (11)$$

Remplazando (11) en (3) obtenemos el error de predicción:

$$P_t - P_t^e = \frac{a_0 - b_0}{a_1} - \left(\frac{b_1}{a_1} + 1\right) \mathbb{E}_{t-1} P_t - \frac{1}{a_1} \varepsilon_t \quad (12)$$

Sea:

$$P_t = \frac{a_0 - b_0}{a_1} - \frac{b_1}{a_1} \mathbb{E}_{t-1} P_t - \frac{1}{a_1} \varepsilon_t \quad (13)$$

Multiplicando  $\mathbb{E}_{t-1}$  en (13), tenemos:

$$\mathbb{E}_{t-1}P_t = \frac{a_0-b_0}{a_1} - \frac{b_1}{a_1}\mathbb{E}_{t-1}\mathbb{E}_{t-1}P_t - \frac{1}{a_1}\mathbb{E}_{t-1}\varepsilon_t \quad (14)$$

Por la ley de las expectativas iteradas tenemos:  $\mathbb{E}_{t-1}\mathbb{E}_{t-1} = \mathbb{E}_{t-1}$

Además, la esperanza matemática de los errores es 0, es decir:  $\frac{1}{a_1}\mathbb{E}_{t-1}\varepsilon_t = 0$

$$\mathbb{E}_{t-1}P_t = \frac{a_0-b_0}{a_1} - \frac{b_1}{a_1}\mathbb{E}_{t-1}P_t \quad (15)$$

$$\left(\frac{a_1+b_1}{a_1}\right)\mathbb{E}_{t-1}P_t = \frac{a_0-b_0}{a_1} \quad (16)$$

Por lo tanto:

$$\mathbb{E}_{t-1}P_t = \frac{a_0-b_0}{a_1+b_1} \quad (17)$$

Error de predicción:

Reemplazando (17) en (12), tenemos

$$P_t - P_t^e = \frac{a_0-b_0}{a_1} - \left(\frac{b_1}{a_1} + 1\right)\left(\frac{a_0-b_0}{a_1+b_1}\right) - \frac{1}{a_1}\varepsilon_t \quad (18)$$

$$\therefore P_t - P_t^e = -\frac{1}{a_1}\varepsilon_t$$

$$\text{Error de predicción} = -\frac{1}{a_1}\varepsilon_t$$

No existe errores sistemáticos porque solo depende del error aleatorio. Los modelos anteriores de expectativas cometían errores sistemáticos porque dependían de otras variables además del error aleatorio. De esa manera Lucas critica a los modelos keynesianos, pasando a una nueva escuela la NEC.

#### 1.4 El modelo EGDE como base para la escuela de la NSN

Los modelos EGDE son un marco convincente para la investigación macroeconómica, principalmente para los bancos centrales de muchos países del mundo. Los modelos DSGE son como una “caja de herramientas” que puedes incluir nuevas variables según el caso que se quiera analizar. Según Sergi, en su artículo *The Standard Narrative on History of Macroeconomics: Central Banks and DSGE Models* considera que

en los últimos 60 años: Quiere decir que los bancos centrales y sus hacedores de política son los que construyen de algún modo gran parte de la teoría y aplicaciones en solucionar los fenómenos económicos como los ciclos económicos, política monetaria, crecimiento y desarrollo económico. Lo importante es entender el significado de “estándar” que es una narrativa generalizada de los modeladores que usan el EGDE que abarcan diferentes artículos, libros de texto e informes técnicos. También dicha narrativa genera “progreso científico”. Por último, una herramienta para la estandarización del campo, legitimando los modelos DSGE actuales. Los modelos EGDE son como una “caja de herramientas” en la que puedes incluir nuevas variables según el caso que se quiera analizar. (Sergi, 2017, p. 2)

Siguiendo a Galindo y Montesinos, consideran que:

Kydland y Prescott (1982) en su artículo *Time to Build and Aggregate Fluctuations*, donde el tema principal era la utilización del modelo de crecimiento neoclásico para explicar los ciclos económicos (...) Long y Plosser (1983) en su artículo *Real Business Cycles*, donde el tema era los modelos RBC con varios sectores económicos (...) Por último, Hansen (1985) en su trabajo *Indivisible Labor and the Business Cycle* el tema fue un modelo RBC con trabajo indivisible. (Galindo & Montesinos, 2018, p. 43)

Podemos concluir que cada trabajo realizado por los hacedores de política de los bancos centrales, siempre incluye nuevas variables para poder replicar con mejor aproximación los fenómenos macroeconómicos.

Los modelos EGDE abarcan modelos RBC, modelos de la NEK, modelos Nueva Síntesis Neoclásica (NSN) y a partir de la crisis económica en EE.UU. del 2008 se está desarrollando los modelos RBC y NEK con fricciones financieras<sup>17</sup>. Nuestro principal interés es cómo influye los modelos EGDE en la escuela de la Nueva Síntesis Neoclásica (NSN).

El origen del término EGDE lo debemos a Rankin, en su artículo; *How Does Uncertainty about Future Fiscal Policy Affect Current Macroeconomic Variables?* Y los primeros desarrollos propiamente dichos de los modelos EGDE se dan con Cooley; Henin; Goodfriend y King.

---

<sup>17</sup> (Gertler & Kiyotaki, 2010) utiliza dos temas se suma importancia en las fricciones financieras y su relación con las crisis económicas: a) interrumpir en la intermediación financiera pueden inducir una crisis que afecta la actividad real, e b) ilustrar cómo diversas intervenciones del banco central y/o del Tesoro en el mercado crediticio, podrían funcionar para mitigar la crisis.

### 1.4.1 ¿Qué son los modelos de Equilibrio General Dinámico y Estocástico EGDE (Dynamic<sup>18</sup> Stochastic<sup>19</sup> General<sup>20</sup> Equilibrium<sup>21</sup>)?

Kocherlakota, en su artículo *Modern Macroeconomic Models as Tools for Economic Policy*, define que

a menudo se denomina macromodelos de equilibrio general dinámico estocástico (EGDE). Dinámico se refiere al comportamiento prospectivo de hogares y empresas. Estocástico se refiere a la inclusión de shocks. General se refiere a la inclusión de toda la economía. Finalmente, el equilibrio se refiere a la inclusión de restricciones y objetivos explícitos para los hogares y las empresas. (Kocherlakota, 2010, pp. 9-10)

“Una de las principales ventajas de los modelos EGDE es que evitan los problemas señalados por la Crítica de Lucas” (Woodford, 2003, p. 12). Robert Lucas, en su artículo *Econometric Policy Evaluation: A Critique*, define que,

dado que la estructura de un modelo econométrico consiste en reglas de decisión óptimas de los agentes económicos y que las reglas cambian sistemáticamente con los cambios en la

---

<sup>18</sup> Según, Michel, Ling y Liu, (2015) en su libro *Stability of Dynamical Systems*, define a los sistemas dinámicos como una rama de las matemáticas fundada por Poincaré (1854-1912). En los estudios de las órbitas periódicas para problemas de tres cuerpos, descubrió e inventó un conjunto de herramientas que hoy conocemos como ecuaciones diferenciales, tanto cuantitativo como cualitativo. El grupo de actividad en sistemas dinámicos COSIAM, que es administrado por el Programa de Matemáticas de la *Fundación Universitaria Konrad Lorenz*, considera que Poincaré concebía un sistema dinámico, como un campo de vectores en el espacio fase y una solución como una curva tangente en cada punto a los vectores de dicho campo. Su mayor interés, que por aquel entonces eran los problemas de la mecánica celeste, fue la descripción del retrato fase, es decir, de todo el conjunto de soluciones, así como de la estabilidad de las soluciones, que para él consistían en el análisis cualitativo de los resultados. Los sistemas dinámicos se basan en las ecuaciones diferenciales ordinarias, parciales, topología, probabilidad, etc. En términos modernos, según Lacombe (2000), en su artículo *Los sistemas dinámicos, que son y para qué sirven*, define que un sistema dinámico es una cuarteta  $\{T, X, A, S\}$ , donde: a) T es el conjunto sobre el que se mide el tiempo, b) es un espacio métrico que expresa los diferentes estados o movimientos del sistema, esto es, el espacio fase de Poincaré, c) A es un subconjunto de X que contiene el conjunto de condiciones iniciales, y d) S representa el conjunto de posibles movimientos. Esta definición permite visualizar la clasificación estándar de los sistemas dinámicos. Estos son continuos cuando T está en los reales positivos, y discretos cuando T está en los naturales. Hirsch, Smale y Devaney (2014) en su libro *Differential equations, dynamical systems and introduction to chaos* consideran que, si la dimensión de X es finita, entonces el sistema dinámico es finito dimensional; y si los cambios en el sistema son independientes de la variable en T, entonces los sistemas dinámicos son autónomos y de lo contrario no autónomos.

<sup>19</sup> Según Galindo (2018) en los modelos DSGE lo estocástico hace referencia a la productividad como un proceso autorregresivo de la forma:  $a_{t+1} = \rho a_t + \epsilon_t$ , donde  $\epsilon_t$  es el componente estocástico, con una distribución normal con media cero y varianza constante.

<sup>20</sup> Se toma a todos los agentes que participan en la economía, como: consumidores, productores, gobierno, comercio exterior y sector financiero.

<sup>21</sup> Se da cuando todas las variables macroeconómicas tienden un estado estacionario en el cual convergen los resultados obtenidos cuando hacen simulaciones de política económica.

estructura relevantes a los agentes, se deduce que cualquier cambio en política modificará la estructura de los modelos econométricos. (Lucas, 1976, p. 41)

Christopher Sims, en su artículo *Macroeconomics and Methodology*, considera lo siguiente:

Esta fase de investigación, en la que las personas examinan qué tipos de modelos son manejables e interesantes y agudizan los métodos de análisis numérico, comparte algunas características con la "ciencia normal" como lo describe Kuhn: se escriben libros de texto (*Dynamic Macroeconomics* de Sargent, y los *Recursive Methods in Economic Dynamics* de Prescott, Stokey y Lucas). Los investigadores plantean y resuelven acertijos, existe una sensación general de métodos poderosos que se extienden para cubrir nuevas áreas de aplicación. (Sims, 1995, p. 112)

Los modelos EGDE tienen un fuerte soporte matemático, basados en el libro de Lucas y Sargent. Estos se toman como referencia para los modelos de la escuela de la NSN incluyendo el monumental libro de Miao (2014) *Economic Dynamics in Discrete Time*.

Sergi, introduce el concepto de "narrativa estándar como relato de progreso científico, que caracteriza el estado actual del conocimiento en macroeconomía como "mejor" o "mayor" que el estado anterior del conocimiento: esta es la definición básica de "progreso científico" (Sergi, 2017, p. 6). No solo la acumulación del conocimiento es importante, sino que abre nuevos campos en la creación de teoría, metodología y técnicas computacionales para responder el principal problema de la ciencia económica: la predicción.

La acumulación de conocimiento no solo es constante, sino que crece rápidamente, como lo menciona, Jesús Fernández-Villaverde en un: "espacio de 30 años, los macroeconomistas pasaron de escribir modelos prototipo de expectativas racionales (pensemos en Lucas, 1972), a manejar construcciones complejas [...] Fue similar a saltar de los hermanos Wright a un Airbus 380 en una generación" (Fernández-Villaverde, 2010, p. 63).

Este análisis de Fernández-Villaverde, nos muestra que la influencia de los modelos EGDE en la escuela de la NSN está latente y tiene futuro como metodología aplicada a los fenómenos económicos. Sin embargo, existen fuertes críticas, porque todavía siguen utilizando matemáticas deterministas y estocásticas en sus modelos, y el problema es

incorporar los métodos de los sistemas complejos y su teoría del caos matemático para resolver sus serias deficiencias metodológicas.

Según Sergi, “estamos avanzando de una etapa temprana del conocimiento (“prototipos”) a una etapa avanzada (“construcciones complejas”)” (Sergi, 2017, p. 7). Pero Sergi no hace referencia a qué tipo de construcciones complejas se refiere. Por ello, de acuerdo con la presente lectura, se asume que sería a las construcciones basadas en los sistemas complejos.

Por otro lado, Sergi, considera que “la narrativa estándar apunta a racionalizar los orígenes de los modelos EGDE (proporcionando una “reconstrucción racional”), por lo tanto, los modelos EGDE deben verse como el resultado natural o lógico de la evolución de los modelos macroeconómicos” (Sergi, 2017, p. 8).

#### Asimismo, según Chari

perseguir el progreso científico implica mantener los modelos EGDE como el enfoque principal y estándar para la macroeconomía [...] significa en realidad “modelos EGDE”). Por tanto, es necesario “dedicarle más recursos”, en lugar de soñar con alternativas falaces (“acupunturistas” [...]). Esta conclusión no estaría motivada por el interés personal de Chari (su participación en el enfoque EGDE), sino por su preocupación por el futuro de la ciencia y la sociedad (“prevenir la nueva gran crisis”): Incluso si parece un alegato de interés especial, yo diría que, si queremos prevenir la próxima gran crisis, la única forma de hacerlo es dedicar sustancialmente más recursos a la macroeconomía moderna para que podamos atraer a las mejores mentes de todo el mundo al estudio y desarrollo de la macroeconomía convencional. (Sergi, 2017, p. 12)

Otras ideas concluyentes lo podemos encontrar en libros de (Blanchard & Johnson, 2013, p. 570) y (Jones, 2014, p. 429). Consideramos que Chari olvida que también las metodologías deben cambiar para lograr objetivos.

Podemos concluir que los modelos EGDE aceptan los micro fundamentos de la macroeconomía, además hay consenso<sup>22</sup> y avance teórico.

Según el ToTEM (Modelo económico de términos de intercambio, el modelo EGDE del Banco de Canadá): “[Nuestro] personal se basa principalmente en un modelo principal para construir proyecciones macroeconómicas y realizar análisis de políticas para

---

<sup>22</sup> Se hace referencia a la narrativa estándar propuesta por Sergi.

Canadá. Este modelo de caballo de batalla refleja la visión de consenso de los vínculos macroeconómicos clave en la economía” (Murchison & Rennison 2006, p 3, citado en Sergi 2017, p. 14).

Según Sergi,

el consenso significa que la caja de herramientas para construir un modelo EGDE ha llegado a incluir conceptos y formalismos provenientes de diferentes ideas teóricas, diferentes cajas de herramientas, utilizadas en diferentes modelos pasados. De hecho, los modelos EGDE se presentan con frecuencia como una "síntesis" de modelos anteriores, la "nueva síntesis neoclásica", una expresión introducida por Goodfriend y King (1997). (Sergi, 2017, p. 14)

Según (Boumans<sup>23</sup>, 1999, p. 35) existen cinco aspectos teóricos que tenemos que tomar en cuenta en los modelos DSGE para la Nueva Síntesis Neoclásica:

1. El propósito del modelo es analizar las fluctuaciones macroeconómicas
2. La economía modelo está poblada por agentes representativos (u homogéneos) (hogares, empresas)<sup>24</sup>.
3. La dinámica del modelo resulta de perturbaciones estocásticas (shocks).
4. A nivel individual, los cambios de precios y salarios no son inmediatos, lo que implica una rigidez (o “rigidez”) de precios y salarios a nivel agregado.
5. La política monetaria juega un papel activo en la determinación del equilibrio agregado, a través de la tasa de interés nominal (Woodford, 2003). El comportamiento del banco central sigue una regla monetaria (inspirada en Taylor, 1993).

Formalmente, los modelos EGDE están compuestos por tres ecuaciones:

$$x_t = E_t(x_{t+1}) - \frac{1}{\sigma^c} [R_t - E_t(\pi_{t+1})] + \epsilon_t^c \quad (1)$$

$$\pi_t = \rho^\pi (E_t(\pi_{t+1}) + \psi x_t) + \epsilon_t^a \quad (2)$$

$$R_t = \rho_1^R R_{t-1} + \rho_2^R \pi_t + \rho_2^R x_t + \epsilon_t^R \quad (3)$$

---

<sup>23</sup> Tenemos que tomar en cuenta lo siguiente: los modelos DSGE son un objetivo en movimiento. Los ingredientes aquí presentados se refieren a la versión de referencia del modelo, como la presentada por Smets y Wouters (2003); Woodford (2003); Christiano y col. (2005). Los desarrollos recientes incluyen características adicionales como agentes heterogéneos, sector bancario y mercados financieros, expectativas no racionales. Véase, por ejemplo, Branch y McGough (2009); Castelnuovo y Nistico (2010); De Graeve y col. (2010); Boissay y col. (2013). Tomado de Sergi (2017).

<sup>24</sup> Es preferencia del modelador realizar sus estudios con agentes homogéneos o heterogéneos.

La ecuación (1) describe el equilibrio del mercado de bienes, en función de la brecha de producción esperada  $x_t$ , la elasticidad del consumo  $\sigma^c$  y la tasa de interés real esperada. La ecuación (2) establece la evolución de los precios agregados, en función de la inflación esperada  $E_t(\pi_{t+1})$  y el grado de rigidez de precios  $\psi$ . La ecuación (3) explica el comportamiento del banco central al fijar la tasa de interés nominal  $R_t$  (siendo  $\rho_{1,2,3}^R$  parámetros de sensibilidad). La dinámica de la economía modelo alrededor de su estado estacionario resulta de perturbaciones estocásticas i.i.d en las preferencias, tecnologías y política monetaria  $(\epsilon_{c_t}, a_t, R_t)$ .

### 1.5 La metodología de la Escuela Austriaca en economía

En la historia del pensamiento económico tenemos dos enfoques que analizan los fenómenos económicos, estos son; la ortodoxia<sup>25</sup> (modelo neoclásico) y la heterodoxia<sup>26</sup> (diversas formas de comprender los fenómenos económicos). Con respecto a la metodología, hay serias discrepancias, como por ejemplo el concepto de *Homo*

---

<sup>25</sup> Según el origen, el término ortodoxo proviene del griego, de las raíces ὀρθός (orthós), que significa recto, canónico, derecho y δόξα (dóxa), que significa opinión o creencia, se desprende de esto los conceptos de dogma. La teoría económica ortodoxa (NSN) es la escuela dominante en muchas universidades del mundo, suponen un egoísmo por parte de los agentes económicos (consumidor y productor). Todos los agentes actúan de manera racional y adoptan la llamada teoría subjetiva del valor (utilidad marginal). Toman decisiones en función al costo-beneficio. Tiene como base a la escuela clásica liderada por Adam Smith. Según (Landreth & Colander, 1998) los teóricos ortodoxos modernos se preocupan por resolver problemas de asignación, distribución, estabilidad y crecimiento.

La economía ortodoxa toma en consideración la competencia perfecta e imperfecta en sus modelos económicos, con algunas otras teorías que la complementan o apoyan en dar una mejor explicación a los fenómenos económicos, tal es el caso de la teoría de juegos, los diseños de servomecanismos, economía conductual, redes neuronales y otros. La competencia monopolística, considera que existen muchos compradores y vendedores, pero cada uno se comporta como un pequeño monopolio diferenciando sus productos, además de tener cierto poder de mercado, para influir en el precio. Dicho modelo es la base para los modelos DSGE y explicar con una mejor aproximación los objetivos de los bancos centrales de cada país. La otra técnica y herramienta que utiliza el aparato teórico de la economía es la matemática, con un alto grado de abstracción.

<sup>26</sup> El termino heterodoxo procede de ἑτεροδοξία (hetero) que alude a lo que resulta distinto, y por δόξα (doxa) que significa opinión. En este tipo de economías se encuentran los; institucionalistas, postkeynesianos y los austriacos. Nos importa los aportes de la escuela austriaca en el sentido metodológico y epistemológico. Además, abarcan más campos de análisis que la escuela de NSN, como; la sociología, la antropología, la psicología, las ciencias políticas, la historia y la ética. Según Landret & Colander (1998) los neoclásicos toman como ya dadas las instituciones sociales, políticas y económicas en cambio los escritores heterodoxos se preocupan en cómo se desarrollan dichas instituciones que componen toda la economía, entonces lo que los escritores ortodoxos toman como dado los heterodoxos tratan de explicarlo y viceversa. Su base es el individualismo metodológico y la certeza apodíctica (según la lógica aristotélica es una proposición demostrable, que es necesaria o evidentemente cierta o válida).

*æconomicus*<sup>27</sup> de la escuela NSN, que es seriamente criticado por la Escuela austriaca, que aplica la praxeología<sup>28</sup> (estudio de la acción humana) en su forma de estudiar al individuo. Rothbard, en su libro *Hombre, economía y estado. Tratado de principios de economía & poder y mercado. El gobierno y la economía*, nos brinda una clara definición de la metodología austriaca:

La característica distintiva y crucial en el estudio del hombre es el concepto de *acción*. *La Acción Humana se define simplemente como el comportamiento con propósito*. Por tanto, se distingue marcadamente de los movimientos observados que, desde el punto de vista del hombre, no tienen un propósito. Estos incluyen todos los movimientos observados de la materia inorgánica y esos tipos de comportamientos humanos que son puramente reflejos, que son simplemente respuestas involuntarias a ciertos estímulos. *La Acción Humana*, por otro lado, puede ser *significativamente interpretada* por otros hombres, ya que está regida por cierto propósito que el actor tiene en mente. El propósito del acto de un hombre es su *fin*—su meta; el deseo de lograr dicho fin es el *motivo* por el cual el hombre actúa. (Rothbard, 2004a, p. 1)

Lo importante de esta metodología es la observación del hombre por el hombre y en función a ello sacamos conclusiones relevantes para tomar decisiones, es decir, se manifiesta la acción humana. La finalidad es el hombre, el medio son los motivos por lo cual realiza la actividad económica. Dichos motivos están relacionados a los deseos y preferencias, pero estos solo basados en la experiencia de la observación directa sin incluir conceptos abstractos en la teoría económica.

La escuela austriaca, deja de lado los juicios sintéticos a priori del conocimiento científico de Kant, además de los principios analítico-sintéticos de Popper, del historicismo de Kuhn y los programas de investigación de Lakatos, por considerarlos que son parte de las ciencias naturales. Tratar de aplicar estas metodologías, sería considerar que las ciencias sociales como la economía no son científicas. Claro está, en el sentido de las ciencias naturales. Por lo tanto, la escuela austriaca no es científica (en el sentido de las ciencias naturales). Hayek, en su libro *The Counter-Revolution of Science*, menciona que

no se puede negar que en todo esto, en su entusiasmo por las ciencias puras, utilizaron muchas expresiones engañosas que fueron muy mal entendidas por Saint-Simon y Comte. Cabanis, en particular, subrayó repetidamente que la física debe ser la base de las ciencias morales;

---

<sup>27</sup> Término utilizado por la escuela neoclásica para modelar el comportamiento humano. En la actualidad según Kaneman y Taversky este supuesto del comportamiento del ser humano ha sido seriamente criticado.

<sup>28</sup> Término acuñado por Ludwig von Mises

pero también para él esto significaba nada más que debían tenerse en cuenta las bases fisiológicas de las actividades mentales, y siempre reconoció las tres partes separadas de la "ciencia del hombre", la fisiología, el análisis de las ideas y la moral. (Hayek, 1955, p. 115)

A los austriacos le interesa entender la acción humana mas no las predicciones.

El concepto de acción humana ha sido ampliamente criticado<sup>29</sup>, porque la finalidad no solo es entender las acciones de los agentes económicos, sino, a partir de abstracciones, buscar leyes, que según Marino Llanos sean: “Leyes Transhistóricas: leyes válidas para más de un periodo histórico. Leyes Históricas: leyes válidas sólo para un periodo histórico.” (Llanos, 2009, pp. 96-97) y tratar de buscar las predicciones necesarias que brinden bienestar a la población.

Con respecto a las técnicas y herramientas que usa la escuela neoclásica, la escuela austriaca no está de acuerdo ni siquiera en utilizar las estadísticas para sacar conclusiones a partir de los datos. Consideramos que el análisis cualitativo, y sobre todo el cuantitativo, prima en la toma de decisiones de los hacedores de política en muchos aspectos de la actividad económica.

Según Rothbard, sintetizando tenemos lo siguiente: “decir que el precio ( $p$ ) está en relación inversa a la cantidad demanda ( $q$ ) es menos precisa que,  $q = f(p)$  y  $\frac{dq}{dp} = f'(p) \leq 0$ , están bajo un completo malentendido” (Rothbard, 2011b, p. 64). Continúa diciendo que pasando: “del proceso de deducción a los axiomas mismos, ¿cuál es su estatus epistemológico? Aquí los problemas se oscurecen por una diferencia de opinión dentro del campo praxeológico, particularmente sobre la naturaleza del axioma fundamental de la acción” (Rothbard, 2011b, p. 65)

Consideramos que quien está en el error es Rothbard, porque el lenguaje matemático, bajo ciertos supuestos, como la diferenciabilidad de la función, nos daría una comprensión más exacta de la ley de la demanda. En este análisis, hay un error en el momento de considerar que los conceptos matemáticos solo sirven para englobar todos los fenómenos económicos en solo un conjunto de axiomas o fórmulas.

Lo importante es considerar que la matemática es un lenguaje. Entonces, el problema fundamental de la Escuela austriaca es la fundamentación formal de sus proposiciones

---

<sup>29</sup> Principalmente por Jürgen Habermas, (2001a) [1981] en su libro *Teoría de la acción comunicativa*.

sin caer en la misma metodología de las ciencias naturales. Consideramos que la Escuela austriaca encontraría solución a estos problemas aplicando un modelo matemático que podría ser de apoyo para cuantificar sus presupuestos teóricos relacionados con la acción humana. Ante ello, proponemos la teoría de los sistemas dinámicos complejos, la teoría de caos y la teoría de fractales. Los seres humanos en su acción humana no son simples receptores y perfectas máquinas de cálculo y optimización, por lo tanto, la teoría del caos podría reflejar empíricamente y formalmente esos aspectos cambiantes de los seres humanos.

Introducimos en economía por primera vez el concepto de la constante de Feigenbaum, que son dos números reales descubiertos por el matemático Mitchell Feigenbaum (1975). Ambos expresan cocientes que aparecen en los diagramas de bifurcación de la teoría del caos.

Se sigue de los sistemas dinámicos<sup>30</sup> discretos no-lineales<sup>31</sup> la siguiente ecuación logística:

$$x_{t+1} = rx_t(1 - x_t)$$

Esta es una ecuación diferencial discreta no lineal que puede generalizarse para cualquier función como:

$$x_{t+1} = f(x_t)$$

y en términos estocásticos sería,

$$x_{t+1} = f(x_t) + \epsilon_t,$$

Donde  $\epsilon_t$  es el error aleatorio puede seguir un i.i.d., un proceso estocástico martingala, Wiener, Levi o el movimiento browniano. Consideramos que las críticas de la Escuela austriaca se refieren a la linealidad de los modelos matemáticos o linealizar mediante logaritmos y otros, los modelos económicos. En esta propuesta, se sugiere la no linealidad de los sistemas dinámicos con la teoría del caos.

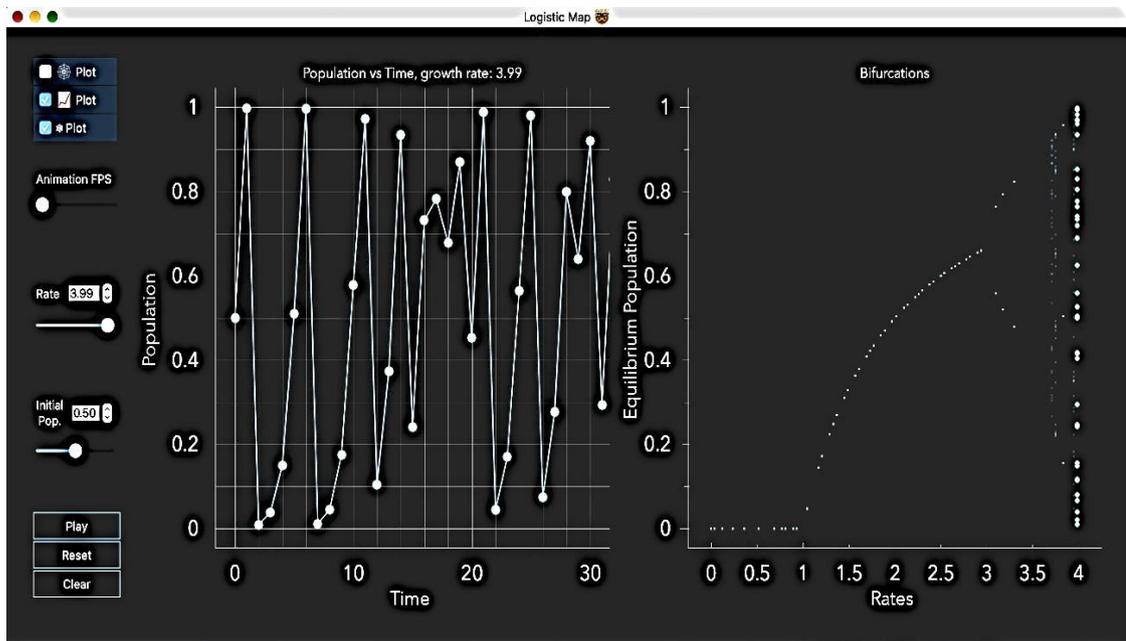
---

<sup>30</sup> Según (Hodgson 1993) en su libro *Economics and Evolution: Bringing life back into economics*.

<sup>31</sup> Utiliza campos numéricos como los números reales y complejos, también utilizar los cuaternios hamiltonianos o crear estructuras algebraicas que de manera abstracta expliquen mejor otros fenómenos económicos que con la teoría matemática actual no pueden explicar o tienen deficiencias de abarcar mayor complejidad en los fenómenos sociales.

Figura 3

Modelo matemático de la dinámica de la población



Nota. Muestra de manera formal y grafica sobre la caoticidad de las variables dinámicas, como por ejemplo la dinámica de la población y su crecimiento. Tomado de <https://github.com/jonnyhyman/Chaos>

El gráfico muestra la evolución de la población con respecto al tiempo siguiendo la siguiente función  $x_{t+1} = rx_t(1 - x_t)$ . A medida que damos valores para  $r$  y  $x_t$ , encontraremos la población para  $x_{t+1}$ . Si iteramos varias veces, es decir a largo plazo, oscilará y convergerá a un valor fijo. Esto siempre ocurrirá si los nacimientos y las muertes están equilibrados. Si modificamos la población inicial  $x_t$  solo cambiaran los primeros años, pero la población sigue en equilibrio. Lo que importa es cómo varía la población de equilibrio, si disminuyo la tasa  $r$  la población de equilibrio también caerá. Si  $r$  cae por debajo de 1 la población finalmente se extingue.

Según el gráfico en la parte derecha está representado en el eje de las abscisas la tasa de crecimiento y en las ordenadas la población de equilibrio. Para valores bajos de  $r$  las poblaciones siempre se extinguen por ende el valor de equilibrio es 0. Si  $r$  sobrepasa 1 la población de equilibrio aumenta, pero una vez que  $r$  supera supongamos  $r_0$  el gráfico se divide en dos, un año la población es mayor el otro año es menor y así sucesivamente.

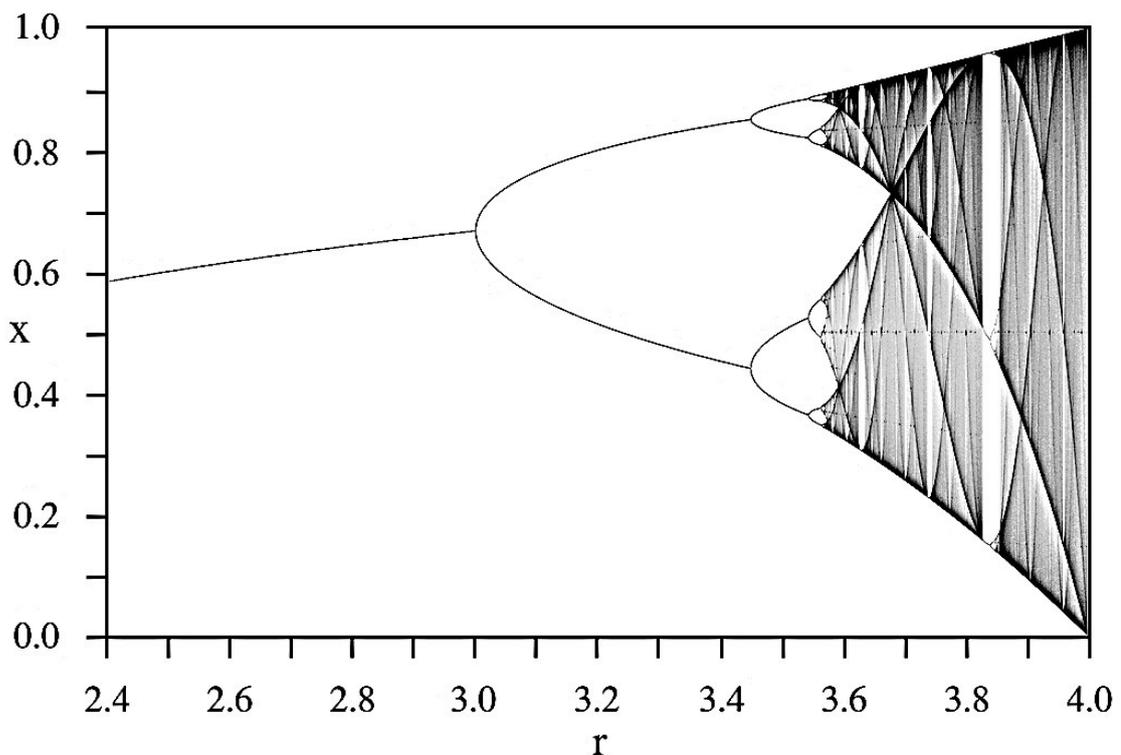
A medida que  $r$  va aumentando la bifurcación se separa más y luego cada una se divide nuevamente. Como la duración del ciclo o periodo se duplica, se le conoce como

bifurcación de periodo doble. Si  $r$  aumenta hay más periodos de duplicación de la bifurcación y llevan a ciclos de 8, 16, 32, 64 y luego cuando  $r_c$  toma un valor fijo se llega al caos.

La población nunca se estabiliza en absoluto sube y baja como si fuera al azar. Aquí no hay un patrón, no hay repetición, pero si sabemos las condiciones iniciales exactas podríamos calcular los valores exactamente. Ahora a medida que  $r$  aumenta el orden regresa, existen periodos estables en medio del caos, cuando  $r_1$  toma un valor hay un periodo estable de  $t_0$  años. Así sucesivamente, después de ir aumentando  $r$  habrá caos y encontraríamos también periodos estables indefinidamente.

**Figura 4**

*Diagrama de bifurcación para la aplicación logística*

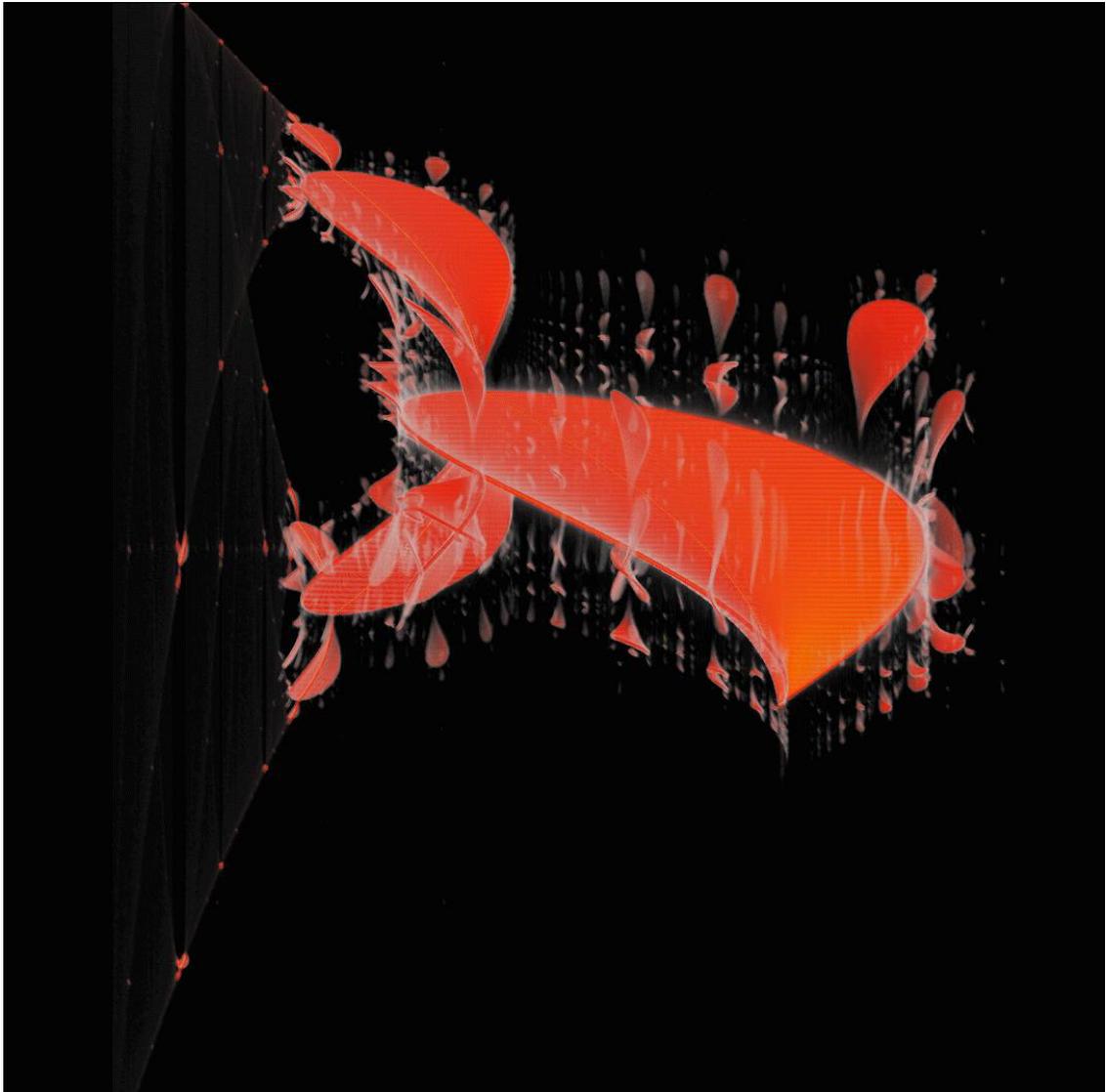


*Nota.* Se muestra los valores encontrados asintóticamente como puntos fijos, órbitas periódicas o atractores caóticos, de los períodos de órbitas estables de 1 a 2 a 4 a 8, etc. Tomado de <https://ztfnews.wordpress.com/2014/12/19/los-numeros-de-feigenbaum/>

Al analizar este gráfico podemos notar la bifurcación que se parece a un fractal, si aumentamos la visión del gráfico podemos notar que se repiten consecutivamente.

**Figura 5**

*Conjuntos en 3D de Mandelbrot*



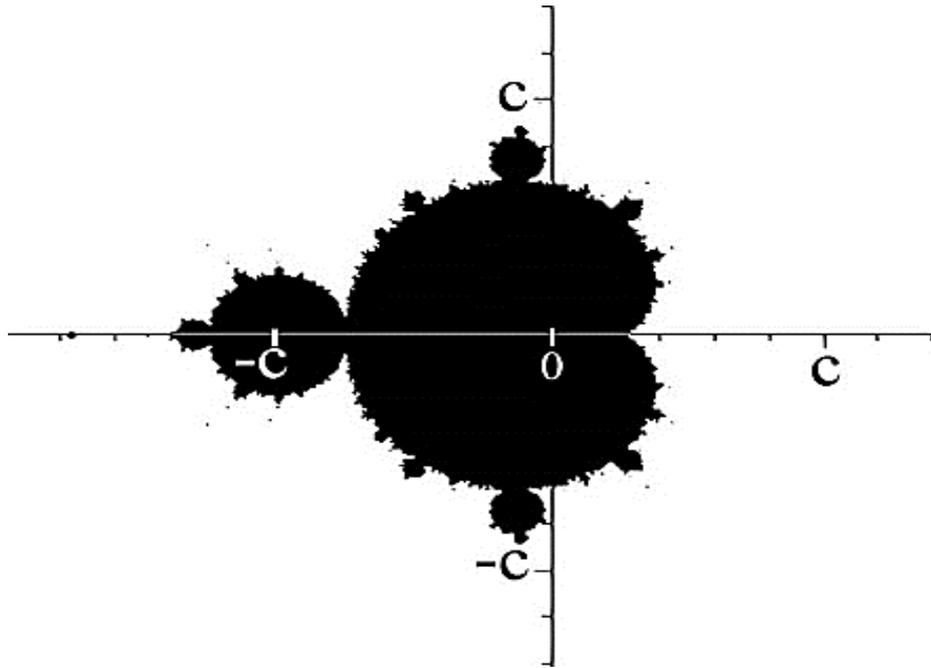
*Nota.* Los conjuntos de Mandelbrot se originan iterando una función  $Z_{n+1}$  en un plano complejo. Además, son objetos matemáticos que tienen la propiedad de auto semejanza, es decir se replican indefinidamente. Tomado de: <https://github.com/jonnyhyman/Chaos>

El diagrama de bifurcación es parte del conjunto de Mandelbrot. Analicemos el conjunto de Mandelbrot con la siguiente función:  $Z_{n+1} = (Z_n)^2 + c$ , escogen un número  $c$  (como ejemplo  $c = 1$ ) en el plano complejo luego empezamos con  $Z_n = 0$  y luego iteramos varias veces si diverge hasta el infinito, entonces el número  $c$  no es parte del conjunto de Mandelbrot, es decir está fuera del conjunto de la gráfica mostrada arriba. Que sucede si el valor ahora es  $-c$  (como ejemplo  $c = -1$ ), podríamos encontrar que la función  $Z_{n+1} =$

$(Z_n)^2 + c$ , oscile entre  $c$  y  $-c$ , entonces la solución será finita. Por lo tanto  $-c$  es parte del conjunto de Mandelbrot. Si rotamos el conjunto de Mandelbrot encontraremos el diagrama de bifurcación.

**Figura 6**

*Los fractales en términos numéricos*



*Nota.* Un “medallón” una parte del conjunto de Mandelbrot. <http://www-old.dma.fi.upm.es/docencia/cursosanteriores/99-00/segundociclo/sistdin/sdmandelbrot.html>. Tiene modificaciones del autor.

Lo que nos muestra es que todos los números en el cardiode principal terminan estabilizándose en un valor constante, pero los números en el bulbo principal terminan oscilando entre dos valores y en el siguiente bulbo terminaran oscilando entre cuatro valores o periodos y así siguiendo la regla ( $2^n, n = 0,1,2,3 \dots$ ) hasta que llegemos a la parte caótica y esto ocurre en lo que se llama la aguja del conjunto de Mandelbrot. Si seguimos rotando, encontraremos un “medallón” que es una versión más pequeña del conjunto de Mandelbrot, eso corresponde a la ventana de estabilidad del grafico de bifurcación en un determinado periodo. Todos los bulbos que están fuera del cardioide principal también tienen ciclos periódicos. Si miramos en el eje  $Z$  también oscilan entre los mismos valores el cardioide principal.

¿Tendría aplicación práctica en la economía?<sup>32</sup> Sí. Las sociedades, a lo largo del tiempo, entran en estados estables por uno, dos o tres periodos y luego, se genera el caos. En dicha situación, bajo ciertas condiciones, podríamos modificar los parámetros y volverlo a estabilizar, considerando que no se podría concluir aun que esta sería la solución definitiva para cualquier fenómeno social o biológico que evolucione en el tiempo, pero, con esto, estaríamos dando un paso adelante tratando de superar lo que Popper, en su obra *La miseria del historicismo*<sup>33</sup>, nos quería mostrar que: “No podemos predecir, por métodos racionales o científicos, el crecimiento futuro de nuestros conocimientos científicos.” (Popper, 2006, p. 12), luego considera que:

por otra parte, puede haber tendencias que sean de carácter «dinámico»; por ejemplo, el aumento de población. Puede, por tanto, sospecharse que Mili pensaba en estas tendencias cuando hablaba de «leyes de sucesión». Y esta sospecha queda confirmada por Mill mismo cuando describe su ley histórica de progreso como una propensión. (Popper, 2006, p. 135)

Es por estas presunciones que consideramos viable proponer en economía una metodología desde el punto de vista de los sistemas complejos.

Según Chaparro y Escot,

aplicando los métodos de control del caos, puede mejorarse la eficacia de las acciones de las autoridades económicas, en la medida en que, efectuando leves variaciones en sus instrumentos de política, se estabilizarían variables económicas cuyas fluctuaciones aperiódicas e irregulares provengan de un proceso no lineal. (Chaparro & Escot, 2014, p. 144)

Se aplica el método OGY que se presentó en el artículo de Ott, Grebogi y Yorke (1990) donde se expuso por primera vez un procedimiento de control, para situaciones de caos. La hiperinflación y las reglas de política monetaria (la regla de Taylor que solo era concebida como una regla practica en temas de política económica) tiene fundamentación teórica en las técnicas de control de sistemas caóticos. La cuestión aquí nos indica que, si un sistema sale de su estado de equilibrio pasando a comportarse caóticamente, luego

---

<sup>32</sup> En su artículo, *El control de sistemas dinámicos caóticos en economía: aplicación a un modelo de hiperinflación*, de Gabriela Chaparro y Lorenzo Escot, publicado el año 2014. Utilizan el método propuesto por Ott, Grebogi y Yorke (1990) (método OGY), el cual busca controlar el caos de un sistema perturbando algunos de sus parámetros. Utilizo la función logística y el modelo de hiperinflación (Punita, 2011) para estabilizar los precios en el periodo uno.

<sup>33</sup> Analiza primero a las doctrinas antinaturalistas del historicismo y luego a los naturalistas para pasar a las críticas respectivas. Todavía no podemos determinar en absoluto que haya leyes de la evolución, pero sí podemos afirmar que racionalmente nos estamos aproximando a ella.

necesitamos estabilizadores como el método OGY para regresar a su estado estable modificando algunos parámetros que presenta el sistema no lineal. Lo interesante de estos métodos son que con la teoría tradicional ortodoxa se dice que el modelo no tiene solución y que habría que modificar las variables usadas. El fin de la aplicación práctica de la economía que es la predicción. Finalmente, Chaparro y Escot muestran una crítica a los modelos tradicionales:

este resultado contrasta con lo que propugna la teoría tradicional ortodoxa, que ha rechazado por completo este tipo de instrumentos de política de *stop and go*, basándose, entre otras, en la hipótesis de expectativas racionales, las cuales, de hecho, se tornan inconsistentes cuando se utilizan modelos de comportamiento caótico. (Chaparro & Escot, 2014, p. 144)

El otro problema es todavía los rezagos de la falsación en economía como metodología para la explicación y predicción en economía, por ello la escuela austriaca en la actualidad liderado por el economista Huerta de soto (2004) en su libro *Estudios de economía política*, se hace la siguiente pregunta:

### **1.5.1 ¿Por qué falla la falsación en economía? Según la Escuela Austriaca**

Partimos de una hipótesis lo comprobamos con la realidad, si es correcta, se acepta la hipótesis provisionalmente y si no se refuta. La crítica, sería que el criterio de falsación es una proposición no falsable empíricamente (metafísica) y, por lo tanto, no es científico según el propio criterio de Popper. Según Huerta de Soto, los objetos de investigación de la economía (ideas que crean los seres humanos sobre sus fines y medios) no son observables directamente, solo pueden interpretarse con una teoría previa. Estos son: a) la economía no trata sobre cosas, sino sobre ideas, b) la economía estudia fenómenos complejos no *ceteris paribus*, c) las leyes económicas no pueden contrastarse empíricamente, y d) en el mundo de la acción humana no hay relaciones constantes. Por lo tanto, el método de la economía es el apriorístico-deductivo.

Lo expuesto anteriormente nos invita a proponer una metodología de acuerdo a las necesidades de una economía, visto desde el punto de vista de la complejidad. Para nuestro análisis de los modelos DSGE, hemos cubierto la ortodoxia y heterodoxia económica, que no proponen nuevas metodologías para las políticas económicas que realizan los bancos centrales.

## CAPÍTULO 2

### PROBLEMAS EPISTEMOLÓGICOS DE LA PREDICCIÓN EN LOS MODELOS DE EQUILIBRIO GENERAL DINÁMICO Y ESTOCÁSTICO (EGDE).

El principal problema de la economía es su relación entre teoría abstracta y observación empírica, en un contexto en el que los científicos en economía crean un modelo estrictamente abstracto, como la teoría del equilibrio general<sup>34</sup>, y este modelo tiene que replicar los fenómenos de la realidad económica. Muchas veces tienen que adaptarse a los supuestos básicos como estabilidad, unicidad y existencia. La cuestión es que surgen dos problemas fundamentales; a) ¿Los seres humanos son cambiantes en el tiempo? Sí. Toman decisiones de acuerdo a un contexto determinado, entonces los modelos abstractos no toman en cuenta dichos cambios, porque están basados en la epistemología de las ciencias naturales, principalmente, de la física; b) ¿Cómo se puede modelar dichos cambios? Una de las posibles soluciones sería tomar datos y observaciones como series de tiempo, *panel data*, minería de datos, entre otros. Pero resulta que no es suficiente al momento de predecir fenómenos económicos, como ocurrió con la crisis del 2008 en EE.UU. La econometría, que es la conjunción de la teoría económica, la estadística y la matemática, sufrió fuertes críticas por los años ochenta con la obra *A history of econometrics* de Epstein. Luego, se introducen los modelos abstractos bayesianos para tratar de ampliar más el análisis en las predicciones de los fenómenos económicos. Pero los resultados fueron adversos en varios campos de la econometría.

Una posible solución sería la Econofísica, que es el estudio de la teoría y métodos de la física aplicados a fenómenos económicos utilizando procesos estocásticos, dinámicas no lineales y sistemas complejos. Pero su principal problema es que su ontología son los fenómenos físicos que ocurren en la naturaleza y tienen serias deficiencias al momento de aplicarlos al comportamiento humano y la toma de decisiones. Si consideramos que los seres humanos somos como partículas atómicas que, al interactuar en promedio tienden al equilibrio o tienden a un estado de equilibrio, sería un problema seguir modelando fenómenos económicos bajo dichos presupuestos. Por otro lado, una cuestión es su comportamiento individual y otra es su comportamiento en grupo. No obstante, se

---

<sup>34</sup> Basado en el modelo Arrow-Debreu.

podría dar una posible solución aplicando teoría del caos y cómo controlarlos cuando sus estados de estabilidad cambian por ciclos o periodos.

Considero que una posible solución al problema planteado sería un modelo basado en agentes (MBA), pero en el sentido siguiente: crear algoritmos de comportamiento individual por persona con sistemas computacionales para determinados grupos sociales y económicos (estratos sociales) y luego verificar sus patrones de conducta bajo ciertos algoritmos. Luego, modelarlos con una “Generación de algoritmos que obtienen clústeres de segmentos de trayectorias de manera dinámica (...) una vez obtenidos (...) es posible actualizar la generación de estos clústeres si nuevas trayectorias son adheridas al procesamiento, y, (...), no es necesario procesar todo” (Cabrera, 2016, p. 10). Cuando se desarrolle más la ciencia, en un futuro, utilizaremos los *biopatrones* que se retroalimentarán cada instante de tiempo y con ello se harán pronósticos económicos más eficientes. ¿Cómo realizaríamos dichos *biopatrones* aplicados a las ciencias sociales? Inicialmente, se proponen la teoría del caos y los sistemas de control para volverlos a su estado de singularidad. Lo otro sería aplicar la geometría algebraica propuesta por Oscar Zariski y la uniformización local, para lo cual tomamos el concepto de *valorización*, que es una manera general de resolver problemas asintóticamente. Hironaka (1964) prueba el *teorema de resolución de singularidades de variedades algebraicas* (una generalización del concepto de superficie de Zariski) *en característica cero*. Además, el lenguaje de esquemas permite estructurar una inducción en un espacio determinado. Abhyankar (1969) propone la teoría de las ramificaciones donde una singularidad puede tener una valoración.

Estos son algunos alcances de la geometría algebraica para crear algoritmos basados en agentes. Pues, las singularidades serían los puntos fijos que necesitamos con múltiples equilibrios en la interacción entre agentes económicos. Pero hasta este momento sería una teoría abstracta que, aplicada a la teoría del caos, podría darnos importantes avances en la dinámica de los sistemas sociales.

Antes de realizar simulaciones con los modelos EGDE, primero tendríamos que generar clústeres de segmentos de trayectorias dinámicas y, en un futuro, tener *biopatrones* de conducta para modelarlos en los sistemas EGDE. Pero surge un problema epistemológico importante: los modelos EGDE están basados en los llamados agentes representativos, y en la literatura actual se están desarrollando los modelos de agentes heterogéneos (MAH),

donde cada individuo tiene una dotación diferente de recursos, aunque inicialmente todos parten con las mismas dotaciones. No obstante, surgiría un problema más: los resultados obtenidos por los modelos EGDE de política económica solo serían válidos para un instante de tiempo, pues los datos variarían en un horizonte temporal y con ello los resultados del modelo también cambiarían. Finalmente, se están desarrollando los modelos de agentes heterogéneos de la Nueva Economía Keynesiana (HANK), donde también se podría aplicar las singularidades de Hironaka para resolver el problema principal de la economía dinámica, la predicción.

## 2.1 Naturaleza de las observaciones empíricas en economía dinámica

Las observaciones empíricas que se aplican en economía son herederas de la física, como lo señala Focardi en su artículo; *Is economics an empirical science? If not, can it become one?*

El operacionalismo rechaza la idea de que existen cantidades definidas a priori que podemos medir con diferentes métodos (eventualmente aproximados). Argumenta que el significado de un concepto científico está en cómo lo observamos (o medimos). El operacionalismo ha sido criticado sobre la base de que la ciencia, en particular la física, utiliza términos abstractos como "masa" o "fuerza", que no están directamente vinculados a un proceso de medición. (...) Esta crítica no invalida el operacionalismo, pero requiere que el operacionalismo como principio epistemológico sea interpretado globalmente. El significado de un concepto físico no viene dado por un solo proceso de medición, sino por toda la teoría y por el conjunto de todas las observaciones. Este punto de vista ha sido defendido por muchos filósofos y científicos, incluidos Feyerabend, Kuhn y Van Orman Quine. (Focardi, 2015, p. 2)

Esto se convierte como en una especie de laboratorio económico, pero sin “ratones”, y suena paradójico, pues en la ciencia económica no se trabaja como en la física o la química.

Según Johansson, tenemos que tomar en cuenta un espacio de razones y causas:

Un problema central de la epistemología siempre ha sido analizar cómo el mundo externo se relaciona con nuestras creencias. Éste es sólo un aspecto del problema cuerpo-mente. Wilfrid Sellars lo ha formulado como una cuestión de la relación entre el espacio de las causas (es decir, el mundo externo) y el espacio de las razones, nuestro mundo interno. (...) Muy pronto uno se da cuenta de la profunda verdad del fraseo de Sellars: nuestros términos se pueden dividir en dos categorías, los que pertenecen al espacio de las razones y los que pertenecen al espacio de las causas y parece no haber puente entre estos dos tipos de términos. (Johansson, 2021, p. 82)

Nuestro autor tampoco resuelve el problema del “puente” entre los dos espacios, pues no considera a los conceptos físicos como sistemas complejos. En economía podría darse este paso interesante, pero no funcionaría si es que seguimos la misma línea de la tradición ortodoxa en la metodología de la economía. La evidencia empírica a menudo se utiliza para relacionar el problema mente-cuerpo, pero no resuelve el problema. Un conjunto de datos y un estado de cosas, todo puede llamarse evidencia (Johansson, 2021).

Las observaciones empíricas, principalmente desde los años 70, han sido árbitro de los modelos EGDE, es decir, intentan replicar la realidad bajo los modelos de equilibrio general, además de tratarlos con sistemas computacionales y analizar los comportamientos de sus variables en el tiempo. Klaus Jaffé nos indica en su libro *¿Qué es la ciencia? Una visión interdisciplinaria* lo siguiente:

El uso de la evidencia experimental, como árbitro de cualquier disputa, es lo característico de la ciencia y el motor de su progreso. Razón y lógica son parte del método científico, pero debido a la aceptación (consciente o no) de la limitación de nuestra mente, en ciencia el experimento se sobrepone a la razón individual. Esta única relación entre razón y experimento conduce a una definición única de objetividad en ciencia. Por objetividad entendemos el diferenciar el yo del objeto de estudio. En la ciencia moderna, no es tanto la distancia entre el sujeto y el objeto de estudio lo que define el grado de objetividad, aunque una distancia mayor ciertamente ayuda a la objetividad; es la falsación lo que operacionalmente define a la objetividad. (Jaffé, 2008, p. 69)

Concordamos con Jaffé en la limitación de la mente<sup>35</sup>, pero cuando dice, “la ciencia del experimento supera la razón individual”, es algo discutible, pues en la historia de la ciencia se ha notado que las cuestiones empíricas se muestran después de aplicar ciertos conocimientos teóricos y luego se corrobora con la realidad para dar el veredicto final. En economía se da un ejemplo de este tipo, primero, la teoría abstracta como teoría de juegos bayesianos es meramente matemática y luego se hacen las aplicaciones a algún caso concreto de la realidad, como las políticas económicas de los bancos centrales, donde juegan el BCRP, las empresas privadas, el sector externo y la naturaleza, según Harsanyi (1967). En la misma línea de investigación, Selten (1965) propone que, si un jugador

---

<sup>35</sup> Alcances y limitaciones en la relación *mente-cerebro*. Sobre la naturaleza mental existen tres teorías: Reduccionismo: intenta reducir los procesos mentales al cerebro; Funcionalismo: Para Dennett, la mente es lo que hace el cerebro; Fenomenología: niegan que la mente se reduzca al cerebro (Maslin, 2009).

(empresas privadas) hace un movimiento no creíble, porque no es óptimo, se va eliminando del juego para lograr el equilibrio en subjuegos.

Jaffé quiere decir que solo es posible realizar cálculos, que es una parte de lo mensurable, por lo tanto, esto restringe la naturaleza de lo abstracto para dar paso a lo empírico. Consideramos que lo que propone Jaffé es reduccionista, pues se resolvería ampliando el análisis que no solo está basado en cálculo, sino también en medir los fenómenos económicos complejos bajo la teoría del caos con algunos trabajos recientes de geometría algebraica de Hironaka y sus extensiones. Otro ejemplo importante de la relevancia de las observaciones empíricas es la que plantea Joshua Angrist en el MIT, quien tuvo influencia en el instituto J-PAL creado por Esther Duflo y Abhijit Banerjee (ambos premios Nobel de Economía 2019) para estudiar el desarrollo y la pobreza desde un enfoque experimental, es decir, reducir la pobreza mediante políticas públicas, pero que estén basadas en evidencia empírica.

Banerjee y Duflo (2011) publicaron el libro *Poor Economics*, donde fundamentan que, para minimizar o reducir la pobreza, se debe realizar controles aleatorios, que consiste en formar grupos de poblaciones estudiadas y no estudiadas con estadísticas similares. Se han obtenido buenos resultados, pero se siguen utilizando los conceptos de estadística matemática para sus trabajos.

Considero que es un avance importante, pero si aplicase teoría del caos con controles a sus trabajos, obtendría mejores resultados, pues la pobreza es dinámica, además, es singular por periodos y caótica en otros periodos. Lo que hacen Banerjee y Duflo (2011) es dar una solución particular para periodos específicos donde la pobreza se desborda. Pero su propuesta no tiene una ontología sistemática de cómo empezar y tratar la pobreza de manera general. Y no solo se trata de reducir la pobreza, o como Banerjee y Duflo le llaman, “mitigar la pobreza”, sino de entender su dinámica. Por ejemplo, se considera de uso común que observando datos y aplicando la estadística matemática podríamos resolver problemas de pobreza, pero pretender resolverlo primero en Latinoamérica o países africanos y a si consecutivamente no tendría mucho impacto en la pobreza mundial. La pobreza debe tratarse como sistema complejo, no con casos aislados.

Finalmente, los modelos EGDE no están en una base firme con respecto a los datos que usa y la forma cómo los usa, pues operan de manera restrictiva, basados solo en la estadística matemática.

## 2.2 Econofísica y Econometría.

En la historia del pensamiento económico desde la escuela clásica en adelante podemos notar que la base para entender la economía es que usamos la metodología de la filosofía natural del siglo XVIII y se consideraba, desde entonces, que los presupuestos de la física también eran válidos para la economía. Muchas teorías económicas, como la escuela neoclásica, tienen un principio físico como el principio de correspondencia ideado por Samuelson. Niels Bohr y el principio de Le-Chatelier aplicado a finanzas con el movimiento browniano. Los principios de maximización y minimización de Lagrange para encontrar óptimos tanto para el consumidor y el productor. La ley de la oferta y la demanda son como sistemas de vectores que van en direcciones diferentes, que en un punto se anulan cuando la suma de sus fuerzas nos da cero y se logra el equilibrio. Consideramos que bajo los conceptos de la física clásica newtoniana<sup>36</sup> se han forjado muchos supuestos teóricos de la economía. Luego se pasó a estudiar muchos temas económicos con procesos estocásticos. Posteriormente, se tomó como referencia a la mecánica cuántica para resolver problemas de predicción, como los modelos Black-Scholes en finanzas para determinar el precio de los activos financieros. No solo se estudia la econofísica, también está la biofísica, la astrofísica y la geofísica. Empezaremos a definir que es econofísica, según Sergio Focardi:

El término Econofísica fue acuñado en 1995 por el físico Eugene Stanley. La econofísica es un esfuerzo de investigación interdisciplinario que combina métodos de la física y la economía. En particular, aplica técnicas desde la física estadística y la dinámica no lineal al estudio de datos económicos y lo hace sin la pretensión de ningún conocimiento a priori de los fenómenos económicos. (Focardi, 2015, p. 8)

Marcelo Ribeiro se plantea la misma pregunta clave sobre la econofísica:

¿Qué es la econofísica? Si se trata simplemente del uso de métodos físicos para investigar problemas económicos, ¿en qué se diferencia la econofísica, si es que se diferencia, de la economía ortodoxa convencional? Si es realmente diferente del pensamiento económico neoclásico dominante, ¿es la econofísica simplemente otro enfoque no dominante o heterodoxo de los problemas económicos? ¿Puede la econofísica contribuir a la comprensión

---

<sup>36</sup> Las variables se trabajan en tiempo continuo, son deterministas, cumplen ciertas regularidades bajo ciertas condiciones de espacio y tiempo, son dinámicas, y buscan explicar todos los fenómenos de la realidad física.

de los fenómenos económicos de una manera diferente a la economía misma, sin importar si esta comprensión proviene de las tradiciones ortodoxas o heterodoxas? (Ribeiro, 2020, p. 3)

Estas preguntas nos llevan a pensar que se podría dar solución a los problemas generados por los fenómenos económicos. Si bien es cierto que la econofísica está más cerca de los sistemas complejos, porque también es interdisciplinaria, su problema principal es su técnica matemática, pues no toma en cuenta la teoría del caos y de control para realizar sus predicciones, y solo está referenciada en las técnicas de la mecánica cuántica y los procesos estocásticos. Podemos darnos cuenta que los problemas vienen desde la economía y que los métodos analíticos provienen de la física. Decir que hasta el momento ningún modelo econofísico ha demostrado tener más poder de predicción que un modelo económico estándar, esto es en parte falso, ya que la ley de la inversa del cubo para la distribución de las fluctuaciones de los precios de acciones e índices bursátiles es un ejemplo claro del tema.

Por otro lado, Anirban Chakraborti, Ioane Muni Toke, Marco Patriarca y Frédéric Abergel, consideran que:

En la década de 1940, Majorana se había interesado científicamente por los sistemas financieros y económicos. Escribió un artículo pionero sobre la analogía esencial entre las leyes estadísticas en física y en ciencias sociales (di Ettore Majorana (1942); Mantegna (2005, 2006)). Sin embargo, durante las décadas siguientes, sólo unos pocos físicos como Kadanoff (1971) o Montroll y Badger (1974) tuvieron un interés explícito por la investigación en sistemas sociales o económicos. No fue hasta la década de 1990 que los físicos comenzaron a recurrir a este tema interdisciplinario y, en los últimos años, han realizado muchos intentos exitosos para abordar problemas en varios campos de las ciencias sociales (por ejemplo, de Oliveira et al. (1999); Stauffer et al. (2006); Chakraborti et al. (2006)). En particular, en Economía y Finanzas Cuantitativas, la investigación en física ha comenzado a ser complementaria a los enfoques más tradicionales, como las finanzas matemáticas (estocásticas). (Chakraborti, Toke, Patriarca & Abergel 2010, pp. 1-2)

Como podemos notar, no existe ninguna aplicación a los modelos EGDE; lo que se puede entender es que está relacionado con economía y finanzas. Uno de los problemas que ha tenido los modelos EGDE es que no se ha tomado en cuenta el sector financiero en sus modelos, aunque en la actualidad se está poniendo énfasis en esos problemas. Podríamos considerar que los modelos de EGDE tendrían mejor rendimiento en sus predicciones si es que se toma en cuenta la econofísica con la teoría del caos y el control de sistemas dinámicos no lineales. Entonces:

... la econofísica aborda los problemas económicos desde un conjunto muy diferente de puntos de vista teóricos y supuestos adoptados por los economistas. La lista de estos temas incluye temas como la econofísica estadística y la teoría cinética de los gases cuando se aplica a los agentes económicos o los principios de la dinámica de sistemas complejos ... (Ribeiro, 2020, p. 19).

La econometría tiene una fuerte influencia de la filosofía de Popper mediante el economista Jacob Marschak, quien considera la falsación de la hipótesis como motor de corroboración de una teoría. Dichos esfuerzos fueron seguidos por Tjalling Koopmans, que también pertenecía a la Comisión Cowles. Dichos autores infundieron en la teoría econométrica las ideas de *La lógica de la investigación científica* y *La miseria del historicismo*, convirtiéndolas en la panacea del campo económico (Redman, 1995).

Pero, como nos muestra Focardi, la econometría tiene cierta relación con la econofísica:

La econofísica obviamente se superpone a la disciplina más tradicional de la econometría. De hecho, es difícil separar los dos de una manera significativa. La econofísica también se superpone a la economía basada en mercados artificiales formados por muchos agentes que interactúan. Quizás una característica distintiva de la econofísica es su interdisciplinariedad, aunque se puede argumentar razonablemente que cualquier modelo cuantitativo de fenómenos financieros o económicos comparte técnicas con otras disciplinas. Otro rasgo distintivo es su búsqueda de leyes universales; la econometría es más oportunista. (Focardi, 2015, p. 8)

En la actualidad, tenemos técnicas estadísticas para la predicción de fenómenos económicos relativamente distintas de la econometría y la econofísica:

Los más exitosos son el método LASSO, cuando delimitamos la suma de valores absolutos de los parámetros, y los métodos EN y CLOT en los que esta suma se combina con la suma de los cuadrados. (...) el éxito empírico de estos métodos mostrando que son los únicos que son invariantes con respecto a las transformaciones naturales, como la escala que corresponde a la selección de una unidad de medida diferente. (Thach, Kreinovich, & Duc, 2021, p. 37)

Lo interesante de esta técnica es la evidencia empírica que nos brinda dando mejores resultados que los modelos tradicionales de econometría. El problema sería enlazarlo con el modelo basado en agentes y utilizarlo, una vez creado, al algoritmo de cada agente que se está trabajando, y, posteriormente, introducir la teoría del caos y los controles ante fenómenos inesperados. También podría ayudar a replicar mejor los fenómenos económicos bajo el modelo de EGDE.

Finalmente, como tema a discutir tenemos la Macroeconometría<sup>37</sup> que sirve de soporte a los modelos EGDE. Además, estudia las simulaciones o cálculos de las consecuencias que podría tener una política fiscal o monetaria; estos son: a) los ciclos económicos a corto plazo, donde analiza una variable muy importante que es la brecha producto,<sup>38</sup> y b) el crecimiento económico que estudia la evolución del producto Bruto Interno (PBI) a largo plazo. Su aplicación se da en políticas económicas contracíclicas o procíclicas por parte del MEF (Ministerio de Economía y Finanzas) y el BCRP (Banco Central de Reserva del Perú) de acuerdo con la coyuntura económica, por ejemplo, las fases expansivas grandes, generarían inflación. El MEF y el BCRP realizan proyecciones macroeconómicas que ayudan a tomar medidas de política de manera anticipada<sup>39</sup>. El MEF necesita saber qué instrumento de política fiscal es efectiva, por ejemplo, modificando el gasto de gobierno o los impuestos. Para ello, se puede aplicar una metodología denominada los Vectores Autoregresivos (VAR)<sup>40</sup>.

La econometría de series de tiempo son variables que evolucionan en el tiempo. Se utilizan técnicas como descomposición de una variable macroeconómica para saber su ciclo (corto plazo, transitorio) y tendencia (largo plazo, permanente). La macroeconometría utiliza técnicas y metodologías que se usan en estadística e ingeniería, como los filtros H-P, Baxter-King, Cristiano-Fitzgerald y filtros de Kalman estado espacio. También usa el análisis univariado y multivariado de series estacionarias<sup>41</sup> y no estacionarias<sup>42</sup>, y modelos estados espacio y de cambios de régimen<sup>43</sup>. El problema fundamental es que estas técnicas son muy restrictivas, pues realizan solo comparaciones

---

<sup>37</sup> Estudia la unión entre la teoría macroeconómica y la econometría de series de tiempo. Utiliza conceptos como PBI (Es la producción de bienes y servicios finales de los agentes residentes de un país en un periodo determinado) y sus determinantes como el consumo, la inversión, gasto de gobierno, exportaciones e importaciones. Los datos utilizados son las series de tiempo de dichas variables a estudiar, son información pasada, que se busca proyectar hacia el futuro y realizar políticas de gobierno como, atenuar los ciclos económicos, política cambiara, control de la inflación, tasa de desempleo entre otros. La macroeconomía en el corto plazo estudia los ciclos económicos y en el largo plazo el crecimiento económico.

<sup>38</sup> Es la diferencia porcentual entre el PBI (lo que está produciendo) y el PBI potencial (lo que podría producir).

<sup>39</sup> Aquí ya se encuentra el germen de la predicción en economía que trataremos en el siguiente tema.

<sup>40</sup> Según Alfonso Novales: "Un VAR es un modelo de ecuaciones simultaneas formado por un sistema de ecuaciones de forma reducida sin restringir. Que sean ecuaciones de forma reducida quiere decir que los valores contemporáneos de las variables del modelo no aparecen como variables explicativas en ninguna de las ecuaciones." (Novales, 2017, p. 2)

<sup>41</sup> AR, MA, ARIMA, ARFIMA. Test de raíz unitaria: KPSS, ADFgls, Test M, ADF. Respectivamente.

<sup>42</sup> FAVAR, SVAR, BVAR, VAR, VARX. MCE, VEC que son algunos de los modelos de cointegración.

<sup>43</sup> LSTAR, ESTAR, SETAR y TAR que son determinísticos y los MS-AR, MS-VEC, MS-VAR que son estocásticos.

entre variables y los impactos que tengan entre ellas. La razón de la no aplicabilidad para predecir fenómenos complejos que emergen de la interacción entre agentes que actúan en la realidad económica hace que la predicción sea muy deficiente y sustancialmente vacía. Al respecto, Aris Spanos en su artículo *Methodology of Macroeconometrics* sostiene que “el paradigma DSGE da lugar a modelos estructurales estimados que están, tanto estadísticamente como sustancialmente, mal especificados, lo que arroja evidencia poco confiable que contribuye muy poco al aprendizaje real de los datos sobre los fenómenos macroeconómicos” (Spanos, 2021, p. 1). Otra metodología usada son los modelos macroeconómicos bayesianos, que usan los datos observados y a partir de ahí se crean las hipótesis. Su problema radica en que los datos observados son válidos para un instante de tiempo determinado, y esos datos, si los observamos bajo el enfoque de los sistemas complejos, serían cambiantes y no emergentes, con lo cual se llega a una predicción que sirve solo para un instante de tiempo, y pasado dicho tiempo, ya no tiene aplicación, pues la información usada ya formó otro sistema que tiene otra interpretación.

Al respecto Aris Spanos, sostiene:

La valoración general es que el paradigma DSGE da lugar a modelos estructurales estimados que están tanto estadísticamente como sustancialmente mal especificados, lo que arroja evidencia poco confiable que contribuye muy poco, si acaso, al aprendizaje real de los datos sobre los fenómenos macroeconómicos. Un contribuyente principal a la falta de confiabilidad de la evidencia es la perspectiva econométrica tradicional de ver el modelado empírico como un ajuste de curvas (modelos estructurales), guiado por supuestos de términos de error improvisados y evaluado sobre la base de la bondad del ajuste. Lamentablemente, un ajuste excelente no es necesario ni suficiente para la confiabilidad de la inferencia y la confiabilidad de la evidencia resultante. Las recomendaciones sobre cómo mejorar la confiabilidad de la evidencia empírica giran en torno a un marco de modelado más amplio basado en modelos (sin ajuste de curvas), que atribuye roles cardinales tanto a la teoría como a los datos sin socavar la credibilidad de ninguna de las fuentes de información. (Spanos, 2021, p. 1)

Otra metodología usada son los modelos macroeconómicos bayesianos que usa los datos observados y a partir de ahí se crean las hipótesis. Su problema radica en que los datos observados son válidos para un instante de tiempo determinado, esos datos si lo observamos bajo el enfoque de los sistemas complejos, serían cambiantes y no emergentes, con lo cual se llega a una predicción que sirve solo para un instante de tiempo y pasado dicho tiempo ya no tiene aplicación, pues la información usada ya formó otro sistema que tiene otra interpretación.

Por lo tanto, siguiendo a Aris Spanos concluimos:

El mayor enemigo de aprender de los datos sobre los fenómenos macroeconómicos no es la ausencia de un marco de modelado empírico alternativo y más coherente, sino la ilusión de que imponer modelos estructurales altamente formales a los datos puede dar lugar a dicho aprendizaje solo porque su construcción y ajuste de curvas, confiar en herramientas aparentemente sofisticadas. Lamentablemente, la aplicación de herramientas sofisticadas a un modelo EGDE estadísticamente y sustancialmente mal especificado no hace nada para restaurar la confiabilidad de la evidencia que se deriva de él. (Spanos, 2021, p. 1)

Si el problema es modelar ciertos fenómenos económicos, el modelo EGDE con un alto grado de abstracción al final usa los datos como medio, no como un fin, y hay que considerar que debemos tener en cuenta que la información en periodos cortos de tiempo cambia y los modelos EGDE también cambiarían, por lo tanto, no replicarían la realidad económica. Un reto importante para la macroeconometría sería tratar los modelos bajo los conceptos de los sistemas complejos, principalmente, el tema de *emergencia*.

El proyecto *Big Data*<sup>44</sup> consta de dos problemas fundamentales; a) no tiene un cuerpo científico como base; b) considera que, mientras más información se procese a tiempo real, esto hará que las predicciones se aproximen más a los fenómenos económicos. Podemos tener una cantidad suficiente de datos acumulados en una fracción de segundo, pero el problema está en que los sistemas emergentes cambian y están relacionados entre ellos, por lo tanto, los datos no podrían replicar empíricamente la realidad económica. Los algoritmos genéticos<sup>45</sup> inicialmente fueron utilizados en biología y cumplen con algo muy similar a los sistemas complejos como son los operadores genéticos de cruce y mutación, pero estos sistemas son de naturaleza estocástica, mientras que la teoría del caos está basada en términos determinísticos.

---

<sup>44</sup> Es la administración de grandes volúmenes de datos que se procesan en corto tiempo y a partir de ello se puede tomar decisiones más certeras. *Big Data* ha dado cabida a la llamada ciencia de datos, “que se usa de forma genérica para hacer referencia a la serie de técnicas necesarias para el tratamiento y manipulación de información masiva desde un enfoque estadístico e informático.” (Hernández-Leal, Duque-Méndez, & Julián Moreno-Cadavid, 2017, p. 3). Aunque, “Big Data no trata solo de grandes volúmenes de datos, sino que incluye otras dimensiones significativas en el tratamiento de datos, como son la variedad, velocidad y veracidad.” (Hernández-Leal, Duque-Méndez, & Julián Moreno-Cadavid, 2017, p. 22).

<sup>45</sup> Si los problemas son complejos, entonces se definen algoritmos genéticos con métodos de búsqueda estocásticos que nos conduzcan a encontrar soluciones óptimas. Utilizando datos del mismo problema como guía de búsqueda, los algoritmos genéticos están dentro del campo de análisis de los algoritmos evolutivos (Hernández-Leal, Duque-Méndez, & Julián Moreno-Cadavid, 2017).

### 2.3 Una posible concepción epistemológica de la predicción en ciencias naturales y sociales

El problema de la predicción científica ha sido y sigue siendo discutido desde inicios del siglo XX. El principal problema de la predicción es considerar que se puede establecer con exactitud y precisión el futuro. Si tenemos un tiempo  $t$ , el problema es saber que sucederá en  $t + 1$ ,  $t + 2$ ,  $t + 3$ , y así sucesivamente. Considero que allí empieza el problema de la predicción, es decir, si estando en el tiempo  $t$ , cómo podemos estar seguros de llegar a  $t + 1$  o si es el tiempo  $t + 2$  o  $t + k$ . Podemos considerar que la causalidad podría ser una solución.  $A$  es causa de  $B$ . La inducción y la deducción podrían darnos pistas a una posible solución de este problema. La inducción ha sido criticada por Popper y la deducción es la que muchos científicos naturales como sociales utilizan al momento de dar pronósticos a futuro. En economía se utilizan modelos económicos-matemáticos como la teoría del consumidor, que predice tu consumo, ahorro e inversión en el futuro. En situaciones de *emergencia* eso no ocurre, porque si en un momento determinado  $t$  existe un máximo, en otro momento  $t + 1$  ya no es un máximo, sino que puede ser mínimo, y el momento  $t + 2$ , lo que sucedía en  $t + 1$  o en  $t$ , podría considerarse como un comportamiento no racional. Muchas cosas nuevas que surgen de la interacción de agentes en un tiempo  $t$ , queremos explicarlos en un tiempo  $t + 1$ , pero podría ocurrir que estamos en un tiempo  $t + k$ , cuando necesitamos la información de lo predicho en un tiempo  $t + k - j$ .

Al querer predecir lo que podría suceder en el futuro estamos cayendo en lo que denominó “predicción científica miope”.

Supongamos que tenemos un animal que solo percibe la naturaleza en dos dimensiones, es decir, el plano, solo conoce la izquierda y la derecha, y luego de un periodo largo de evolución conoce lo que es adelante y atrás, y con ello vive suficientemente en la naturaleza. Quiere saber cómo podría alimentarse; si su alimento está a su izquierda, lo cazarán en el periodo ( $t$ ) y sobrevivirá por lo menos un día más ( $t + 1$ ), por lo que hay un atisbo de predicción que es la sobrevivencia. Pero esto no es causalidad; el hecho de cazar y luego sobrevivir no se debe analizar como un concepto de causa y efecto en sentido estático. Según Bunge (1997), existe un triple significado de la causalidad: causación, principio causal y determinismo causal. Considero que en este caso hay una causalidad dinámica (si tenemos una causa  $A(t)$  podría ocurrir un efecto  $B(t + k)$ ), notamos que no

es inmediato, sino tendríamos que esperar  $k$  periodos para que ocurran determinados fenómenos, tanto naturales como sociales, y principalmente, económicos), pero esto tiene problemas en lo que denomino causalidad caótica<sup>46</sup> (si tenemos una causa  $X(t)$  podríamos esperar un efecto  $B_i(t \pm k)$ , donde  $i = 1,2,3, \dots n$  e indica los  $n$  efectos que se podrían dar y  $t \pm k$  podría considerarse como los efectos que se podrían repetir de lo que ya había sucedido en periodos anteriores; pero estas cuestiones de hechos en la realidad natural o social no han sido tratados de esta manera). Este animal podría sobrevivir sin cazar hasta un tiempo determinado o podría darse el caso que guarde su alimento, ya sea enterrándolo o de otra manera para comer después, y con eso, en la causa no solo estaría el acto de cazar, sino otros fenómenos emergentes que previamente no han estado en nuestro análisis racional.

Si el animal en cuestión no encuentra alimentos tan solo con moverse en un plano (de solo dos dimensiones), entonces la predicción sería que este animal morirá o que, según Darwin, se extinguirá, porque no está apto para la sobrevivencia. Creo que no se podría inferir de esa manera, pues existe una dimensión más que nuestro animal desconoce, ya que los alimentos están arriba de él o debajo del mismo. Nuestro animal no conoce el espacio en tres dimensiones. Por lo tanto, este sería el problema epistemológico de la predicción.

A los seres humanos nos pasaría lo mismo, pues solo aprendemos y conocemos en tres dimensiones, a lo sumo en cuatro dimensiones incluyendo al tiempo. Pero las cuestiones de predicción tendrían que extenderse en nuestro análisis en  $n$  dimensiones (en general a infinitas dimensiones en espacios euclidianos y no euclidianos), y así tendríamos una mejor perspectiva del futuro.

Nuestro análisis anterior nos lleva a la siguiente pregunta: ¿es la predicción una prueba científica? Según Wenceslao González, se puede considerar lo siguiente:

la predicción podría ser una prueba, pero no la prueba única de una ciencia. Así, la predicción es un requisito de la ciencia en general (y, por tanto, de la economía en tanto que ciencia), pero no es una característica intrínseca de la ciencia misma.

---

<sup>46</sup> Este análisis se hace solo en el caso de los sistemas complejos determinísticos. Si queremos ampliar a sistemas complejos estocásticos, podríamos generar nuevas *emergencias*, es decir, sub-emergencias o cuasi-emergencias. Que nos indica que los efectos dentro de un sistema dinámico complejo estarían acotados bajo las reglas de la estadística y los procesos de Wiener, martingalas y el movimiento browniano.

(...) la predicción es un demarcador débil: es un factor que puede garantizar la naturaleza científica del lenguaje, estructura, conocimiento, método, ... Si la predicción fuera un demarcador fuerte, las "barreras" reales entre ciencia y no ciencia deberían moverse para excluir posiciones generalmente consideradas como científicas (como la teoría de la evolución por selección natural, que ha sido utilizada en la gran lista de evolucionismos posteriores, presente en casi cualquier ciencia social). (Gonzalez, 2015, p. 20)

Estamos de acuerdo con González en que la predicción solo es una condición necesaria, pero no suficiente, pero mientras no entendamos bien cuáles son los problemas epistemológicos de la predicción (como hemos mostrado en los párrafos anteriores), seguiremos considerando que no es del todo importante. Mientras no resolvamos el "problema de las dimensiones epistemológicas" seguiremos considerando a la predicción como uno de los problemas más importantes de la ciencia.

Por último, según la ciencia cognitiva y los enfoques neurocientíficos para el procesamiento predictivo tenemos una posible respuesta a nuestro problema mente-cerebro y la predicción:

El enfoque de PP<sup>47</sup> ve al cerebro como un motor de predicción: el cerebro combina las señales sensoriales de la realidad con sus expectativas o creencias previas sobre la forma en que el mundo es para formar su mejor conjetura de qué causó esas señales (cf. Clark 2013a, 2016). Hay propuestas aproximadas de cómo el cerebro puede implementar PP (Bastos et al. 2012, Brodski et al. 2015, Engel y Singer 2001, Friston 2010, Wacongne et al. 2011), (...) se asume que el cerebro no percibe el sonido ni la luz: lo que percibimos es su mejor suposición de lo que hay en el mundo (Mendonça, Curado, & Gouveia, 2021, p. 106).

Esto nos lleva a ampliar nuestro proceso de conocimiento a múltiples dimensiones que todavía, en este caso, el cerebro no logra comprender. Estamos tratando un tema como la predicción sin tener en cuenta ciertas limitaciones que tiene el cerebro y sus procesos, entonces ¿cómo podemos obtener buenas predicciones si no conocemos todos los procesos de nuestro cerebro? Se asume que la mente está fuera de nosotros como mecanismo para ampliar y crear nuevas ideas, pero en la actualidad todavía no encontramos el puente que enlace la mente con el cerebro. Si se lograra, entonces las predicciones serían más certeras y podríamos avanzar en el estudio de todos los

---

<sup>47</sup> Denominado "teoría de la cognición de codificación predictiva" o procesamiento predictivo, el primero es la refutación de la llamada doctrina dominante o tradicional del cerebro. El cerebro es considerado como un órgano pasivo que solo está determinada por la percepción externa de los sentidos (Mendonça, Curado, & Gouveia, 2021).

fenómenos tanto naturales como sociales de forma unificada, y no solo eso, sino que la interacción que se generaría entre lo natural y lo social abriría nuevas luces de cómo entender los fenómenos naturales y sociales como sistemas complejos.

#### **2.4 Popper, Kuhn y Lakatos: la cuestión de la predicción de los modelos EGDE en economía**

Quien tuvo mayor influencia en la metodología de la economía es Popper, aunque él considero en su libro *La miseria del historicismo* lo siguiente:

La idea de que una predicción puede influir sobre el suceso predicho es muy antigua. Edipo, en la leyenda, mata a su padre, a quien nunca había visto, y esto era el resultado directo de la profecía que hizo que su padre le abandonase. Esta es la razón que me hace sugerir el nombre de «Efecto de Edipo» para la influencia de la predicción sobre el suceso predicho (o, más generalmente, para la influencia de una información sobre la situación a la que la información se refiere), sea esta influencia en el sentido de hacer que ocurra el suceso previsto, sea en el sentido de impedirlo (Popper, 2006, p. 27).

Es cierto que el «Efecto de Edipo» se puede manifestar en alguna situación de los fenómenos económicos y sus modelos bajo el enfoque de los sistemas complejos, sobre todo, porque dicho efecto podría considerarse como un tipo de *emergencia* que podría ocurrir en la realidad económica. Pero esto no invalida que, en economía, no pueda hablarse por completo de predicción. Si tomamos otros enfoques, como los sistemas complejos, podemos notar que el efecto Edipo de Popper se disuelve y se resuelve.

Popper nos dice que hay una especie de profecía vs. ingeniería social. La primera manifiesta que muchos economistas, incluyendo a Marx, consideran que es posible determinar el futuro bajo ciertas condiciones, cuestión con la que no está de acuerdo Popper.

En cambio, la ingeniería social, tomando en cuenta la econometría como mecanismo de predicción, es aceptado hasta ahora en los modelos tradicionales de la Nueva Síntesis Neoclásica (NSN) y los modelos EGDE. Inicialmente, las ideas de Popper influyeron en la econometría. Al conocer a Jacob Marschak, discutió el desarrollo de la econometría formulando predicciones falsables que podrían conducir a teorías generales falsables (Redman, 1995).

La predicción en economía es un tema muy complejo en el sentido que se usa según la NSN, utilizar un modelo previamente determinado en un tiempo  $t$  y luego si el modelo replica la realidad usando los datos que se toma de las estadísticas o series de tiempo, entonces se puede concluir que se podría determinar lo que podría suceder en un momento del tiempo  $t + 1$ . Los economistas queremos parecernos a los oráculos con una bola de cristal y determinar a diestra y siniestra que tenemos el futuro en nuestras manos. En términos de Popper lo denomina profecía.

Por otro lado, según Ludwig von Mises

"[predecir el futuro económico está] más allá del poder del hombre mortal" (citado en Rosenberg 1993, 53). Otros pesimistas distinguidos son Weber, Durkheim, Popper, Winch y, más recientemente, Daniel Hausman, Alexander Rosenberg, Daniel Little y Deirdre McCloskey. (Los más optimistas incluyen a Milton Friedman y Julian Reiss). (Northcott, 2018, p. 3)

Con respecto a Kuhn tenemos lo siguiente:

Los paradigmas proporcionan a todos los fenómenos, excepto las anomalías, un lugar determinado por la teoría en el campo de visión de los científicos. Pero si se adelantan nuevas teorías para resolver anomalías en la relación entre una teoría existente y la naturaleza, la nueva teoría que tenga éxito deberá permitir ciertas predicciones que sean diferentes de las derivadas de su predecesora. (Kuhn, 1994, p. 157)

Este análisis de Kuhn es la piedra fundamental de algunas teorías económicas como la NSN. En el caso de la crisis del 2008 en los EE. UU., muchas teorías, dentro de ellas los modelos EGDE, creyeron que podían predecir ciertos aspectos de una posible crisis tomando como referencia el Crack de 1929.

Posteriormente introdujeron la teoría bayesiana para tratar de resolver ciertas anomalías que surgieron en el quehacer científico. Como notamos anteriormente, la predicción fue diferente a lo mostrado por la evidencia empírica de la crisis del 2008 en los EE. UU.

Aunque se puede confundir el análisis sobre Kuhn como un mero instrumentalismo, Joseph Agassi manifiesta lo siguiente:

El caso paradigmático es el recurso al instrumentalismo: a los científicos no les gusta la visión instrumentalista de las teorías como mera *façon de parler*: son demasiado curiosos para admitir que la ciencia es meramente un instrumento de predicción. Sin embargo, cuando tienen que renunciar a la esperanza de que una buena teoría dada sea una descripción

verdadera de algunas leyes de la naturaleza, dicen que al menos es un buen predictor. Esta afirmación, lamentablemente, la toman como expresión de instrumentalismo. En cuanto a Kuhn, no era instrumentista, pero sí utilizó una idea instrumentista, e incluso de manera centralizada. Pierre Duhem dijo, dado que cuando entendemos una teoría científica literalmente es refutable y dado que la ciencia es demostrable, es mejor vaciar las teorías de su contenido y verlas como simples instrumentos de predicción. (Agassi, 2014, p. 101)

Con respecto a Lakatos, sobre la predicción y el uso y abuso que se hace de las ciencias naturales aplicadas a las ciencias sociales, se sostiene lo siguiente:

En un programa de investigación científica, como definió el término Lakatos ..., existen teoremas y supuestos "fundamentales" generalmente aceptados que no están abiertos a la investigación. Además, existen hipótesis auxiliares que pueden modificarse o abandonarse para ajustarse a la evidencia empírica disponible. (Szabó & Babuska, 2021, p. 3)

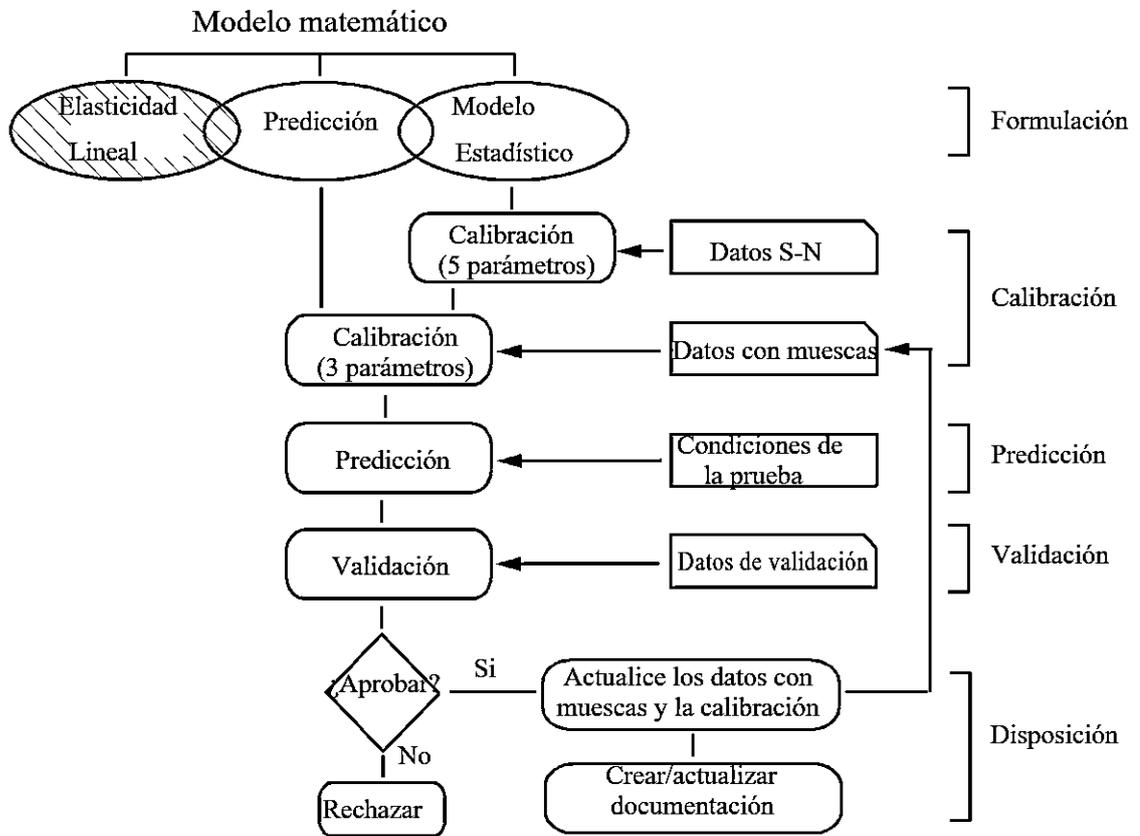
Uno de los problemas fundamentales de los modelos EGDE son sus modelos matemáticos aceptados de manera absoluta. Los hacedores de política económica monetaria usan los datos como evidencia empírica para que el modelo replique los fenómenos económicos. Se usa el programa Dynare que se instala en Matlab como un laboratorio computacional. Como podemos notar, esto quita robustez al grado de predicción de los modelos aplicados a la realidad económica, porque los fenómenos de *emergencia* dentro de la actividad económica podrían dar muestras de nuevas acciones que no toman en cuenta los modelos que se basan en la metodología de los programas de investigación científica (MPIC). Al respecto

Lakatos llamó a la sustitución o modificación de hipótesis auxiliares "cambios de problemas". Se dice que un programa de investigación es progresivo si cada cambio de problema mejora el rendimiento predictivo del modelo. En nuestro caso, que es típico de los programas de investigación en las ciencias aplicadas, el programa de investigación solo puede ser progresivo, es decir, se garantiza que el rendimiento predictivo de un modelo aumentará monótonamente. Esto se debe a que las ideas que no mejoran el rendimiento predictivo se filtran durante el desarrollo del modelo. Esto establece las condiciones para un proceso evolutivo para el desarrollo de modelos. (Szabó & Babuska, 2021, p. 3)

Los modelos EGDE toman como referencia un modelo matemático que "tiene tres partes: la primera parte, en la terminología de MPIC, que incorpora los supuestos básicos; la segunda y tercera parte incorporan las hipótesis auxiliares" (Szabó & Babuska, 2021). La metodología económica, en general, se ajusta al siguiente esquema de Barna Szabó e Ivo babuska:

**Figura 7**

*Diagrama de flujo de la metodología en ciencias naturales (Física)*



*Nota.* Este gráfico representa los pasos que deben seguir las ciencias físicas y se toma como referencia en la metodología de las ciencias económicas. Tomado de Methodology of model development in the applied sciences p. 4), por Szabó & Babushka, 2021, *Journal of Computational and Applied Mechanics*.

Este es el desarrollo esquemático que siguen los modelos EGDE en la actualidad. Con respecto a la predicción, “al introducir nuevos datos fuera de los lineamientos de la calibración se prueba el poder predictivo del modelo, pero si se introduce el valor de los nuevos datos aumenta la confianza de los parámetros calibrados” (Szabó, & Babushka, 2021).

Otro problema que se podría encontrar en los modelos EGDE es el célebre ejemplo de Hesslow utilizado por Cartwright, sobre el que se puede afirmar lo siguiente:

En este ejemplo una estructura causal no se manifiesta en correlación estadística alguna, lo que impide la aplicación del principio de causa común. Por un lado, la ingestión de la píldora causa la presencia de sustancias químicas en el cuerpo humano que aumentan la probabilidad de sufrir trombosis cerebral; por otro lado, la píldora anula la posibilidad de embarazo, lo que

a su vez disminuye la probabilidad de trombosis, puesto que durante el embarazo también se generan sustancias que elevan la probabilidad de trombosis. (García-Bermejo, 2012, p. 389)

Se aplica una política monetaria expansiva con la finalidad de no caer en una recesión, pero eso, a su vez, genera inflación, y además de ello juega la naturaleza, es decir, el comportamiento no racional de los agentes económicos. Las tres situaciones conducirían a una crisis económica, sobre todo, porque se desconoce o no se toma en cuenta en el modelo los “espíritus animales” perniciosos de los ofertantes.

Por otra parte, Wenceslao J. González manifiesta que:

La economía aplicada también otorga especial relevancia a la tarea evaluativa de la predicción. Clive Granger reconoce la importancia metodológica de la predicción en el ámbito real de la economía: “la predicción juega un papel importante en el tema de la evaluación de modelos” (2012, p. 315). Considera que la predicción debe formarse a partir de un modelo teórico, que esté conectado a la toma de decisiones real, con el fin de extraer implicaciones sobre el comportamiento de la economía (Granger 2012, pp. 312 y 314). Además, la posición evaluativa de las predicciones económicas repercute en la aplicación de esta ciencia. En efecto, necesitamos evaluaciones de predicciones económicas para la formulación de políticas. (Gonzalez, 2015, p. 285)

Según Robert Northcott, existe todavía un problema entre predicción y acomodación en economía<sup>48</sup>. La predicción todavía tiene dificultades en economía. Normalmente, hay muchas formas de explicar algún acontecimiento dado, pero si no hay investigaciones complementarias particulares del problema en cuestión, los éxitos de la predicción son necesarios para reafirmar los modelos y utilizarlos en las políticas económicas del gobierno, por lo tanto, la predicción debe ser necesaria con una frecuencia incómoda (Northcott, 2018).

Finalmente, considero que, por el momento, la predicción es una condición necesaria, pero no suficiente para la explicación final de los resultados que existen en la “realidad” económica. Es importante que los aspectos empíricos y abstractos tengan el mismo peso o rango dentro de los modelos económicos. Es decir, que los modelos partan de la minería de datos y se creen algoritmos de conducta de cada evento o fenómeno y esto pueda generalizarse en un modelo teórico y abstracto de la realidad, pero lo más importante, es

---

<sup>48</sup> Varios métodos de acomodación son comunes en economía. Entre ellos, se encuentran los análisis de regresión que calibran retrospectivamente un modelo o que prueban el grado de ajuste de un modelo con los datos (Northcott, 2018).

que antes de observar los datos tengamos, en la relación mente-cerebro, las teorías o el arte de crear modelos que puedan corresponderse con la realidad, incluyendo abstracciones que provengan de otras ciencias. Por ejemplo, en matemáticas, lo propuesto por Roger Penrose con el famoso “triángulo de Penrose”, que son generadas con las geometrías imposibles del artista plástico E. C. Escher.

## CAPÍTULO 3

### LOS MODELOS EGDE: LIMITES Y PROBLEMAS EPISTEMOLÓGICOS DE LA COMPUTABILIDAD EN LA ECONOMÍA DINAMICA.

#### 3.1 La naturaleza de los objetos matemáticos en los modelos EGDE y el problema *mente-cerebro*<sup>49</sup>

Los modelos de EGDE tienen un principio fundamental que es crear modelos a priori, desde la concepción matemática y luego hacer corresponder con los hechos empíricos los resultados que se obtienen después de simularlos en los laboratorios computacionales. Entonces nos planteamos las siguientes preguntas: ¿Es un estructuralismo o platonismo la concepción matemática de los modelos EGDE? ¿Los modelos EGDE tienen límites epistemológicos y ontológicos? ¿El estudio de la mente y el cerebro nos darán luces sobre sus problemas epistémico-ontológico? ¿El problema *mente-cerebro* es un límite para el modelo EGDE?

Considero que los límites que tienen los modelos EGDE son básicamente epistémicos y ontológicos, por esa razón se generan problemas como la predicción y representar correctamente la realidad, por lo menos que tenga una base empírica y formal estructurada, considero que la base matemática fundamentada lo tiene pero la cuestión empírica tiene muchos vacíos, estos tienen una relación con las ciencias cognitivas y los objetos matemáticos, es decir el problema *mente-cerebro* que no se toma en cuenta en los estudios de los modelos EGDE. El problema *mente-cerebro* es un estudio muy complejo con grandes avances en las últimas décadas, nuestro estudio será solo de manera general e introductoria, pues el campo de análisis le corresponde a la filosofía de la mente.

#### 3.1.1 Las matemáticas y el problema *mente-cerebro*

Los problemas filosóficos de las matemáticas, son tan fascinantes para el intelecto humano que muchos filósofos, matemáticos, físicos, etc., han intentado explicar y dar posibles respuestas al origen, naturaleza y conocimiento sobre las matemáticas. Según Ravn y Skovsmose (2019) en su libro *Connecting Humans to Equations: A*

---

<sup>49</sup> Este subcapítulo es un esbozo elemental para dar fundamento epistemológico a los modelos dinámicos en economía basado en el estructuralismo matemático.

*Reinterpretation of the Philosophy of Mathematics* considera que las matemáticas son parte integral de la vida humana y social por lo tanto se debe estudiar los aspectos ontológicos, epistemológicos, sociales y éticos. En nuestro caso solo estudiaremos los aspectos ontológicos y epistemológicos. Considero que los aspectos sociales y éticos se resolverían si y solo si llegamos a consensos generalizados sobre los primeros.

Para determinar la naturaleza y posibilidad del conocimiento de los objetos matemáticos y su relación con los modelos económicos, analizaremos las posturas filosóficas como: el logicismo, formalismo, intuicionismo, platonismo y estructuralismo. Luego trataremos de llegar a la conclusión que en los extremos están los platonistas y los estructuralistas, en el intermedio están los formalistas y los logicistas, los logicistas más cercanos del platonismo y los formalistas más cercanos del estructuralismo. Me refiero en el sentido de que el logicismo fregeano también es independiente de la realidad física, por lo tanto, se podría decir que sirve de base para poner un cierto grado de comprensión de los objetos matemáticos que nos muestran los platonistas. Dejamos como principio de todo estudio matemático al intuicionismo porque es la primera forma de poder conocer el mundo de manera sensible. Estos problemas no se resolverían, solo se disolverían si es que tenemos una comprensión más precisa de la relación *mente-cerebro*, y por lo tanto también de la naturaleza de los objetos matemáticos según los platonistas. Pero el “el platonismo de Gödel se basa en una analogía entre las matemáticas y las ciencias naturales, una analogía que remonta a Russell. Se considera que las cosas matemáticas son tan objetivas como los objetos de las ciencias naturales” (Maddy, 2003, p. 76). Gödel supone que no existe el problema *mente-cerebro* en la comprensión de las matemáticas en tanto se relaciona con la naturaleza.

Los problemas de la filosofía de la mente basado en Rodriguez (2019), Kadosh-Dowker (2013) y Maslin (2009) además de su relación con la filosofía de las matemáticas son principalmente ontológicos y epistemológicos tales como: ¿Cuál es la naturaleza de los objetos matemáticos? ¿Cómo adquirimos conocimiento acerca de estos objetos? Respectivamente. Otros autores como Hamkins (2021), también plantea problemas de relaciones entre verdad, prueba y significado. Considero que el carácter absoluto del platonismo como objeto matemático, tiene existencia propia e independiente de los seres humanos sirve de base para entender la mente humana. Este último es el puente entre el realismo objetivo platónico de Penrose y el realismo físico. No basta con edificar las bases sobre cómo se construyen los conocimientos matemáticos, tampoco la “ciudad”

matemática, como proponían los estructuralistas ni reducir la matemática a la lógica, sino considerar que solo conocemos un pequeño porcentaje de cómo funciona nuestro cerebro por lo tanto nuestra comprensión de los objetos matemáticos sería mínima. Si partimos de un mundo matemático fuera del ser humano, consideraríamos que conocemos como funciona exactamente la relación *mente-cerebro*, pero esto por el momento es imposible.

Además, desde la posición epistemológica “los objetos de la matemática pura y la física teórica son epistemológicamente a la par” (Quine, 1986, p. 402). Sostengo que, dicha correspondencia entre ambos tendría como puente de conexión que es la relación epistémica *mente-cerebro*, pero este es incapaz de explicar todo lo que realmente se puede conocer, entonces nuestro cerebro lógico puede formar muchas ideas con objetos matemáticos, pero considerar que la mente se manifiesta de forma exacta con la realidad, no se puede determinar por el momento. Existen ejemplos en física teórica, la geometría no euclidiana, inicialmente de poca aplicación, posteriormente de gran uso en la teoría de la relatividad general. En economía el punto fijo de Brouwer y Kakutani, que era solo una abstracción de los puntos fijos en matemática, posteriormente pasó a ser un aporte a la teoría económica al utilizarlo para demostrar que existe equilibrio en una economía en competencia perfecta. Entonces podemos concluir que el platonismo con su independencia de los objetos matemáticos, el estructuralismo eliminativo y no eliminativo, no son independientes entre sí. Pasamos de una existencia propia de los objetos matemáticos para terminar generando estructuras matemáticas. De acuerdo con la relación *mente-cerebro* se puede conocer en un estado de tiempo determinado y esto es representado por estructuras generales, es decir, las relaciones de los elementos dentro de un sistema que es creado por la relación *mente-cerebro* y con ello obtenemos conocimiento de la realidad física.

### **3.1.2 Ontología matemática**

Las preguntas que se hace Hamkins en su libro *Lectures on the Philosophy of Mathematics* son:

¿Qué es un número? ¿Qué es el infinito? - a preguntas sobre las relaciones entre verdad, prueba y significado. ¿Cuál es el papel de las figuras en el argumento geométrico? ¿Existen objetos matemáticos que no podamos construir? ¿Se pueden resolver todas las cuestiones matemáticas en principio mediante cálculo? ¿Todas las verdades de las matemáticas son verdaderas por una razón? ¿Se puede probar toda verdad matemática? (Hamkins, 2021, p. 15)

Considero que el número y el concepto de infinito, existe independientemente del ser humano pero que este solo se puede conocer tanto como se descubra el funcionamiento de la relación *mente-cerebro*. Mientras avancen los estudios de los mismos podríamos llegar a entender la naturaleza de los objetos matemáticos. Si consideramos que el mundo tiene un orden establecido por el sistema matemático platónico, podemos inferir que nuestra relación *mente-cerebro* podría conocerlo totalmente si y solo si se logre conocer absolutamente cómo funciona. Por el momento estamos todavía en proceso de conocimiento. Según Hegel: “todo lo real es racional y todo lo racional es real”, para no caer en ambigüedades sería de esta manera, toda la realidad física es racional (*mente-cerebro*) y todo lo racional (*mente-cerebro*) es realidad física. Me refiero a la realidad física en el sentido de Penrose<sup>50</sup> (2004). En su libro *El Camino a la Realidad*, necesitamos tres mundos<sup>51</sup> (matemático, físico y mental) para explicar por qué la física matemática es una herramienta tan eficaz para entender la realidad. Pero Penrose omite el problema de la relación *mente-cerebro* como puente para explicar la realidad física. Una posible solución:

al problema *mente-cerebro* solo es factible si se basa en una neurociencia cognitiva fundamentada filosóficamente: el materialismo emergentista -un postulado ontológico- sostiene que la mente es una propiedad emergente (novedad cualitativa) del cerebro; El realismo científico -postulado epistemológico- sostiene que la neurociencia cognitiva es la herramienta teórico-experimental básica que permite el acceso cognitivo tanto al cerebro como a sus procesos neurocognitivos. Consideramos que, a partir de este razonamiento filosófico, la neurociencia cognitiva adquiere legitimidad epistémica para poder emprender el estudio del proceso mental más genuinamente humano: la conciencia. (Goñi-Sáez, & Tirapu-Ustárrroz, 2016, p. 130)

### 3.1.3 Epistemología matemática

Kant manifiesta que el hombre se pregunta lo siguiente: ¿Que puedo saber? ¿Qué debo hacer? ¿Qué puedo esperar? Sostengo que también añadiríamos para nuestro trabajo las preguntas que se haría desde la epistemología matemática: ¿Es posible conocer absolutamente los objetos matemáticos? ¿Cuál sería el camino (metodología) a seguir

---

<sup>50</sup> Critica los intentos que se han hecho para tratar de mostrar cómo se construyen los conceptos matemáticos. Tiene razón en afirmar que los programas que se han ensayado (logicismo, formalismo, intuicionismo) no han sido capaces de dar respuestas claras.

<sup>51</sup> Realmente, la triple división es al menos tan antigua como Abelardo (que enseñó en París en el siglo XII), que introdujo en la solución del problema de los universales (los términos generales) la distinción entre los universales antes de las cosas, en las cosas y después de las cosas.

para lograrlo? ¿Si no se pudiera conocer cuáles serían sus alcances o límites? En la matemática aplicada ¿Es posible crear algoritmos que puedan resolver problemas matemáticos de aplicación práctica? ¿La matemática está correlacionado con la computabilidad de sus aplicaciones o son dos cosas distintas donde cada uno sigue su propio camino? Todas estas preguntas tendrías visos de solución si es que tendemos un puente entre el platonismo y el estructuralismo, partiendo del intuicionismo para poder conocer los objetos matemáticos. Considero que el estructuralismo es el lenguaje del platonismo. Entonces el lenguaje es la relación *mente-cerebro*. Si lo último no podemos conocer muy bien, entonces nuestro lenguaje tiene límites. Por lo tanto, el platonismo también lo tendría. Tomemos como ejemplo la figura geométrica del círculo con su grado de perfección considerándolo de manera abstracta, pero en la realidad física no se podría representar el círculo tal cual uno lo imagina. El problema está en la relación *mente-cerebro*.

### **3.1.4 Posturas filosóficas de las matemáticas**

#### **3.1.4.1 Logicismo**

En términos de Da Silva, “las verdades de la lógica no se pueden negar y, por lo tanto, son necesarias; también son universales. (...) Para Gauss, el conocimiento aritmético es a priori, universal y necesario, pero, el conocimiento geométrico no es a priori” (Da Silva, 2007, pp. 125-126). Por lo tanto, podemos concluir que la matemática se reduce a la lógica.

#### **3.1.4.2 Intuicionismo**

Según Posy (2020) sostiene que la matemática es una creación de la mente humana. Por lo tanto, los números y otros objetos matemáticos son meramente objetos mentales que no pueden existir a menos que existan humanos que piensen en ellos. En conclusión, se halla solo en la mente y no pueden encontrarse fuera de él.

#### **3.1.4.3 Formalismo**

Las matemáticas son solo un lenguaje y una serie de juegos basados en formulas. En respuesta a las críticas de Brouwer, Hilbert escribió: Este juego de las fórmulas nos permite expresar por completo en contenido del pensamiento de la matemática de una manera uniforme y desarrollarlo de tal forma que al mismo tiempo las interconexiones entre las

proposiciones individuales y los hechos se hacen claras. El juego de las fórmulas que tanto desaprueba Brouwer, tiene además un valor matemático, una importante significancia filosófica puesto que este juego de fórmulas se lleva a cabo según ciertas reglas definidas, en las cuales la técnica de nuestro pensamiento se expresa. Estas reglas forman un sistema cerrado que puede ser descubierto y definitivamente establecido.

#### **3.1.4.4 Platonismo**

Iniciado por Kurt Gödel entre los años 1906-1978 y en la actualidad estudiado por Roger Penrose, considerado un realista matemático. Proponen que los objetos matemáticos tienen existencia propia e independiente de los seres humanos, de modo que las leyes de la matemática son equiparables a las leyes de la naturaleza. Conuerdo con esta posición en el sentido correlacionado que hay sobre la posibilidad de la relación *mente-cerebro* para poder conocer exactamente dicha correspondencia. Los fundamentos de la matemática no pueden encontrarse en los axiomas establecidos por la mente humana sino en el ámbito donde existen los mismos objetos matemáticos. En la versión del platonismo pleno de Linsky y Zalta, la entidad matemática que postula una teoría matemática consistente tiene exactamente las propiedades matemáticas que le atribuye la teoría<sup>52</sup>.

#### **3.1.4.5 Estructuralismo**

Richard Dedekind (1831-1916), es considerado padre del estructuralismo matemático. La parte filosófica del estructuralismo considera que estudia las estructuras abstractas y patrones que se dan en la realidad física. La metodología estructuralista es la que ha dominado en el campo de las matemáticas. Según Barrow (2010) es inevitable que la realidad física sea interpretada por el estructuralismo.

Existen dos tipos de estructuralismo, eliminativo y no eliminativo: a) el primero considera que la objetividad en la matemática no necesita estar respaldada por la existencia propia de los objetos matemáticos y b) la última manifiesta que la objetividad en la matemática necesita estar respaldada por la existencia propia de los objetos matemáticos (Linnebo, 2017). Siguiendo al estructuralismo no eliminativo el problema es como relacionar de manera precisa la relación de la mente con el cerebro.

---

<sup>52</sup> Tomado de Stanford Encyclopedia of Philosophy, en la sección Philosophy of Mathematics, en el acápite 3.5 Plenitudinous Platonism.

Dedekind estableció una aritmética más abstracta que la de Peano. Con lo cual demostró su teorema de categoricidad, que establece que dos sistemas simplemente infinitos cualesquiera son isomorfos. Esto sugiere que podría ser posible eliminar los objetos matemáticos abstractos, comenzando con los números naturales, en favor de afirmaciones modales sobre la posibilidad y su necesidad. Según, Hellman y Shapiro (2019) el estructuralismo modal evita así el realismo de objetos. Para Linnebo:

“lo que está claro es que el estructuralismo modal es un competidor filosóficamente interesante del platonismo. En particular, la opinión sugiere que la objetividad matemática no necesita estar respaldada por la existencia de objetos matemáticos. En la explicación estructuralista modal, cada enunciado aritmético tiene un valor de verdad objetivo e independiente de la mente”. (Linnebo, 2017, p. 161)

Los objetos matemáticos y físicos existen independientemente. En cambio, los estructuralistas no eliminativos sostienen que los objetos matemáticos de la misma estructura tienen un tipo especial de dependencia entre sí y de su estructura. La esencia reside en número natural está en la relación con otros números naturales y no en el número mismo.

Sin embargo, una crítica sería que la concepción iterativa de conjuntos, cada conjunto depende de sus elementos y no de los demás. Considero que esta posición de no considerar la existencia propia de los objetos matemáticos y solo decir que su esencia es las relaciones que hay entre números es porque la relación *mente-cerebro* no está finamente entendida y sobre todo desarrollada.

### **3.1.5 Alcances y limitaciones en la relación *mente-cerebro***

Sobre la naturaleza mental existen tres teorías: a) Reduccionismo: Intenta reducir los procesos mentales al cerebro, b) Funcionalismo: Para Dennett, la mente es lo que hace el cerebro, c) Fenomenología: Niegan que la mente se reduzca al cerebro.

Maslin (2009) sostiene por otro lado que los dualistas consideran: Si la mente y el cerebro son tan distintos, ¿cómo pueden afectarse entre sí? Para explicar esta relación, los dualistas suelen recurrir a tres explicaciones: mente y cerebro interactúan (interaccionismo); mente y cerebro no interactúan (paralelismo); y mente y cerebro

interactúan solo en un sentido (epifenomenalismo). Kadosh C. y Dowker Ann, (2013)<sup>53</sup> científicos de la Universidad de Oxford (Reino Unido), además de practicar matemáticas, aprovechamos los avances en neurociencia, mejoraremos con creces las habilidades matemáticas humanas, además incrementar nuestra capacidad de cálculo o las destrezas aritméticas estimulando el cerebro. Rodríguez (2019) considera que los investigadores concluyeron que la visión fisicalista de la mente se corrobora de forma definitiva. Por otro lado, concluye que la conciencia es generada por la actividad del sistema nervioso y que el cerebro influencia la mente y viceversa. En la actualidad hay explicaciones alternativas que involucran interacciones en tiempo real del organismo con el ambiente. Se puede argumentar que todavía no sabemos lo que es la Consciencia, pero hay información suficiente para saber lo que probablemente no es.

### **3.1.6 Teorías y aspectos críticos del problema *mente-cerebro***

El problema central de la filosofía de la mente es el problema ontológico, aunque está muy relacionado con lo epistemológico y metodológico. En ese sentido existe dos discusiones importantes el Dualismo y el Monismo. La pregunta es si la mente es algo diferente al cuerpo, entonces es un dualismo y si es igual al cuerpo es un monismo. En la actualidad existen muchas formas de estudiar el problema mente-cerebro, aunque en un primer momento podemos decir que existe una larga discusión entre mentalistas y fisicalistas.

#### **3.1.6.1 Dualismo**

Contempla la existencia de dos mundos distintos; Platón, John C. Eccles y Descartes. Filósofos como Karl Popper, que creen en la existencia de tres mundos. Tenemos como representante importante entre los modernos dualistas naturalistas a Chalmers (Fenomenológica y psicológica).

#### **3.1.6.2 Monismo**

Hubo un cambio radical epistemológico en la forma de hacer ciencia a partir de la teoría de la evolución de Charles Darwin. Pues todo tiene una sola historia las uñas, la razón, el cerebro todos son producto de la evolución. Además, se propone que la cognición, la

---

<sup>53</sup> Estos autores no definen que es la mente solo se refieren al cerebro, entonces el trabajo es como relacionamos la mente con el cerebro.

consciencia o cualquier acto mental es exclusivamente biológico. Mi cerebro y yo somos inseparables. Yo soy lo que soy porque mi cerebro es lo que es. Luego tenemos a G. Ryle con su famoso “fantasma en la máquina pasando por el: 1) Reduccionismo: que considera que las actividades mentales no sólo necesitan el soporte material del cerebro, sino que sus leyes son reducibles a las de la neurofisiología, aunque no se haya encontrado su relación precisa. Esta opción presenta, al menos, las dos variantes siguientes a) Funcionalismo: Las actividades mentales son funciones que distintos sistemas físicos pueden realizar, por lo que se puede denominar asimismo realizacionismo físico. Es la postura del Putnam de 1960. b) Reduccionismo estricto: Considera la existencia de una especie de isomorfismo entre el cerebro y la mente. Partidarios de esta postura son el filósofo de la mente J. Kim y el filósofo de la ciencia E. Nagel, para quien la relación entre los niveles superiores e inferiores debe manifestarse a través de leyes matemáticas. 2) Eliminativismo: Los fenómenos mentales no existen o son epifenómenos de los procesos cerebrales. Aquí se sitúa P. Churchland. Y por último 3) Emergentismo<sup>54</sup>: Considera que las actividades mentales necesitan el soporte material del cerebro, pero tienen sus leyes propias no reducibles a la neurofisiología. Aquí se situarían D. Davidson, P. Davies y R. W. Sperry. Los fenómenos de emergencia está relacionado con los conceptos de autoorganización y complejidad, en oposición a los reduccionismos en filosofía de la mente. Sin duda, el fenómeno emergente que más ha interesado a psicólogos, epistemólogos y físicos es la mente, tomándolo como uno de los marcos teóricos más convenientes para poder explicar y entender cómo se relaciona la consciencia con el cerebro.

De todas las posturas mencionadas anteriormente consideramos que el emergentismo puede ser una posible solución al problema mente-cerebro en la naturaleza de los objetos matemáticos. Porque tanto las posturas logicistas, intuicionistas, formalistas, platonismo y estructuralismo, todas sin excepción son propuestas teóricas que emergen de un proceso continuo y cambio continuo de todos los agentes que interactúan en la naturaleza. La posición de Darwin considera que la historia comienza con la evolución. La pregunta sería como comienza la evolución, pues con los fenómenos emergentes entre los agentes

---

<sup>54</sup> La distinción entre emergencia débil y fuerte se examina en "Emergencia débil" de Mark Bedeau (1997) y "Emergencia fuerte y débil" en Chalmers (2006). O'Connor y Hong Yu Wong examinan estas y otras especies emergentes en su artículo de la *Enciclopedia de Filosofía de Stanford*, "Propiedades emergentes" (2015). The Routledge Handbook of Emergence (2019), editado por Sophie Gibb, Robin Hendry y Tom Lancaster, es una excelente fuente, especialmente para lectores nuevos en el tema.

que interactúan en la naturaleza y está en cerebro y en consecuencia en la mente, pero ¿la mente sería consecuencia de la evolución? No porque la suma de las partes no da el todo. Entonces, tanto cerebro como mente están unívocamente entrelazados y van de la mano juntos así Kant en su criticismo unió el racionalismo y el empirismo, de la misma forma sucede con la mente y el cerebro, son complementarios. El cerebro y la mente son dos casos particulares de los fenómenos de emergentes, en todo caso hay más cuestiones relacionadas a este problema que todavía no conocemos pues las cuestiones de emergencia son dinámicas. También podría ser una posible solución a la pregunta de Searle (1992) ¿Qué marcha mal en la filosofía de la mente?

En conclusión

si se toma en serio la conciencia, las únicas opciones son la emergencia o el pansiquismo. El tipo de emergencia que se requiere no es fácil de comprender. [...] los fenómenos emergentes serían aquellos capaces de ejercer una causalidad "descendente" de todo a parte. Sin embargo, incluso si no encuentra nada objetable en este tipo de causalidad, puede encontrar completamente misterioso cómo la conciencia puede emerger de combinaciones de ingredientes no conscientes.

La solución, dicen los pansiquistas, es suponer que las cualidades de las experiencias conscientes, o al menos algunos tipos de "conciencia", van "hasta el final". Consideran que la idea de que se puedan construir criaturas conscientes juntando componentes materiales no conscientes no es más plausible que la idea de que se pueden obtener objetos esféricos combinando partes no espaciales. Si el surgimiento de la conciencia es solo un traficante de misterios, te quedas con el pansiquismo. Que sus experiencias conscientes puedan resultar de combinaciones de partes materiales no es más misterioso que obtener objetos esféricos mediante diferentes disposiciones de esas mismas partes.

Para un pansiquista como Strawson, la elección está entre el pansiquismo y la emergencia, y realmente no hay competencia. (Heil, 2020, p. 223)

Si bien es cierto en el platonismo los objetos matemáticos son independientes de cualquier fenómeno físico y pueden estar relacionados con el emergentismo débil, mas no con el emergentismo fuerte pues existen propiedades independientes de toda observación que no están estáticos y determinados indefinidamente.

Una forma como la mente-cerebro trata de explicar cómo se puede conocer los fenómenos de la realidad es con la matemática creando nuevos modelos teóricos, principalmente

matemáticos. Considero que la matemática (en el sentido de la escuela estructuralista de Bourbaki) es un fenómeno emergente fuerte.

### **3.2 Probabilidad Vs. Lógica difusa: Algunos aportes epistemológicos a la economía dinámica en los modelos EGDE.**

Nuestra investigación en este capítulo es explorar los métodos computacionales que se estudian en economía dinámica, principalmente los modelos de equilibrio general dinámico y estocástico (EGDE) y comparar la teoría de la probabilidad con la lógica difusa. Se utiliza teóricamente en los modelos EGDE tradicionales los axiomas de probabilidad de Kolmogorov.

Nuestro análisis se centra en la lógica difusa y sus extensiones. Se aplicarán teorías como; la lógica difusa de tipo-1, tipo-2, tipo-3, el algoritmo competitivo imperialista (ACI), los conceptos de difusificador y desdifusificador. El estudio es de carácter epistémico y matemático. Las esperanzas de considerar que los modelos económicos tienen como base la teoría de probabilidad y su aplicación a los modelos EGDE predijera la crisis económica en EE.UU. del 2008 además futuras crisis, son inconsistentes. No obstante, existen otras alternativas más generales que se pueden aplicar y extender a los modelos EGDE.

#### **3.2.1 Introducción**

La teoría de la probabilidad de Kolmogorov<sup>55</sup> y la lógica difusa<sup>56</sup> son herramientas importantes para explicar fenómenos económicos, hechos sociales<sup>57</sup>, políticos y culturales. En economía por ejemplo se aplica la teoría de la probabilidad a la teoría del consumidor con incertidumbre, y esto es base para los modelos EGDE, pero esto no es suficiente porque las probabilidades son asignadas ad hoc y esto generaría que los resultados no sean óptimos ni consistentes. En los hechos sociales se aplica estadística inferencial, probabilidades que, basados en tablas estadísticas de la física o biología, no

---

<sup>55</sup> Teoría basada en axiomas de probabilidad que se cumplen ciertas condiciones mínimas que debe verificar ciertas funciones sobre un conjunto de sucesos para que se determine consistentemente sus probabilidades.

<sup>56</sup> Es un intento de aportar unos modelos que permitan avanzar en el estudio tanto de los predicados vagos como de las formas de razonamiento usuales. Las proposiciones se pueden expresar mediante predicados, que es una función del universo  $X$  en el intervalo  $[0,1]$ .

<sup>57</sup> Tiene existencia propia e independiente de las manifestaciones del individuo y se puede manifestar de manera general en toda sociedad además tiene capacidad de coacción sobre el individuo (Durkheim, 1988).

explican la realidad<sup>58</sup> social de manera coherente. En cambio, la lógica difusa se puede aplicar a muchos aspectos de la realidad como la teoría de la elección del consumidor representado por preferencias difusas y esto se puede aplicar al bienestar social que importa tanto en países subdesarrollados y desarrollados.

Mostraremos aspectos importantes como de aplicación como son; la lógica difusa de tipo-2 y mejoras intuicionistas y de lógica difusa de tipo-2 en algoritmos neuronales y de optimización. Mediante dichos métodos, la investigación que presento a continuación, nos llevara a plantear nuevos retos para la teoría económica y el bienestar social.

### 3.2.2 Teoría de probabilidades

El concepto de medida de probabilidad cuantifica la creencia sobre la ocurrencia del evento  $A \in \mathcal{F}$ . Una medida de probabilidad definida sobre un espacio medible  $(\Omega; \mathcal{F})$  es una función  $\mathbb{P} : \mathcal{F} \rightarrow [0; \infty)$  que satisface los siguientes tres axiomas, introducidos por Kolmogorov (1933):

(i)  $\mathbb{P}(A) \geq 0$  para todo  $A \in \mathcal{F}$ ;

(ii)  $\mathbb{P}(\Omega) = 1$ ;

(iii) Si  $(A_n)_{n=1}^{\infty}$  es una sucesión en  $\mathcal{F}$  con  $A_n \cap A_m = \emptyset$  para  $n \neq m$ , entonces

$$\mathbb{P}(\cup_{n=1}^{\infty} A_n) = \sum_{n=1}^{\infty} \mathbb{P}(A_n).$$

Un espacio de probabilidad es una terna  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$  constituida por un espacio medible  $(\Omega, \mathcal{F})$  y una medida de probabilidad  $\mathbb{P}$  definida sobre  $\mathcal{F}$ .

Kosheleva, Shary, Xiang y Zapatrin (2020) en su libro *Beyond Traditional Probabilistic Data Processing Techniques: Interval, Fuzzy etc. Methods and Their Applications*, consideran que es relevante tener en cuenta las incertidumbres al procesar los datos. Las técnicas utilizadas tradicionalmente asumen que conocemos las distribuciones de probabilidad de los errores de medición y estimación. La variable lingüística o lenguaje

---

<sup>58</sup> Se refiere a un mundo que ya existe independiente de nosotros que se puede entender mejor no solo con la lógica clásica sino con las lógicas no clásicas como: Lógica difusa, paraconsistente, polivalentes deónticas entre otros. Puede ser que la lógica clásica nos ha hecho ver una mínima parte de la realidad y nos ha sesgado por miles de años. La lógica se puede usar en un espacio de infinitas dimensiones cada dimensión es una variable a tomar y un conjunto de variables o estados son parte de un tipo de lógica, propongo estudiar la topología y aplicar para que estos casos que pueden utilizarse en los problemas del hombre. Una de estas es la lógica difusa.

natural es imprecisa, como "mucho más pequeño que 0,1" o "aproximadamente 0,1"; este es el caso de incertidumbre difusa. Nuestro trabajo es pasar de enfoques probabilísticos tradicionales a sistemas difusos complejos.

### 3.2.3 Lógica difusa de tipo-1, tipo-2 y tipo-3

Estamos de acuerdo con el pluralismo lógico para entender los fenómenos económicos complejos, por ello consideramos que en los modelos económicos se “introducen la noción de “caso”; la idea general es que las oraciones no son verdaderas per se, sino verdaderas en un “caso” (en un mundo, un modelo, (...), etc.). Una oración es lógicamente verdadera cuando es verdadera, en cualquier *caso*” (Tajer, 2016, p. 289). Además, Beall y Restall (2006, p. 29) plantean que “la conclusión  $c$  se sigue de las premisas  $P$  si y solo si en todo caso  $x$  en que las premisas  $P$  son verdaderas, la conclusión  $c$  es verdadera”<sup>59</sup>. Si los *casos* son modelos consistentes y completos entonces, tenemos la lógica clásica, sin embargo, no siempre se obtiene la lógica correcta, por ello necesitamos los requisitos de formalidad, normatividad y necesidad, este último preserva verdad en todos los mundos posibles (Tajer, 2016). Por lo tanto la lógica difusa es un buen modelo para representar la realidad económica porque no solo empieza su construcción con la lógica clásica, sino que, en el transcurso de la evolución del sistema dinámico, puede tener cambios imprevistos que se podrían modelar ya que, incluyendo los requisitos de formalidad, normatividad y sobre todo de necesidad, podemos aplicar a todos los mundos posibles de la realidad económica. Entonces ¿Qué tipo de lógica no clásica usamos? La lógica difusa de tipo-1, tipo-2 y tipo-3.

Según Wang (1994) define que los sistemas difusos son “aquellos sistemas que tienen relación con los términos difusos y la lógica difusa. (...) se le puede clasificar en tres categorías: Sistemas puros de lógica difusa (Tipo-1), Sistemas difusos Takagi-Sugeno (Tipo-2), y Sistemas Difusos con difusificador y desdifusificador (Tipo-3)” (Cepeda-Negrete, 2011, p. 9). Además, la lógica difusa tiene dos sentidos: a) Sentido amplio, teoría de conjuntos difusos y aplicaciones b) sentido estrecho, razonamiento aproximado, basado en la lógica multivaluada (distintos valores, pero no tiene relación directa con los conjuntos difusos, calculo con múltiples valores infinitos).

---

<sup>59</sup> Lo denominaremos “esquema general”.

### 3.2.4 Lógica difusa de tipo-1

Basándonos en Cepeda-Negrete (2011) la base de reglas difusas consiste en una colección de reglas del tipo *Si...Entonces* y la máquina de inferencia difusa utiliza estas reglas para mapear los conjuntos difusos del universo de entrada  $U \subset R^n$  a los conjuntos difusos en el universo de salida  $V \subset R$ . Las reglas difusas del tipo *Si...Entonces* tienen la siguiente forma:

$$R^l: \text{Si } x_1 \text{ es } F_n^l \text{ y } \dots \text{ y } x_n \text{ es } F_n^l \text{ entonces } y \text{ es } G^l$$

donde  $F_i^l$  y  $G^l$  son conjuntos difusos,  $\underline{x} = (x_1 \dots x_n)^T \in U$  y  $y \in V$  son las variables lingüísticas de entrada y salida respectivamente, y  $l = 1, 2, \dots, M$ .

Los operadores lógicos donde  $\mu_A(x)$  representa el valor de membresía de  $x$  al conjunto difuso  $A$ .

$$\text{NOT: } 1 - \mu_A(x)$$

$$\text{AND: } \mu_A(x) \cap \mu_B(x) \text{ T-norma}$$

$$\text{OR: } \mu_A(x) \cup \mu_B(x) \text{ T-conorma}$$

Se utilizan básicamente los operadores AND y OR. La proposición del tipo AND se llama también una T-norma o norma triangular. Una proposición del tipo OR se llama también una T-conorma o co-norma triangular. Zadeh (1965) propuso que para la T-norma se utiliza el mínimo de los dos valores de membresía presentes en la proposición, mientras que para la T-conorma se utilizara el máximo.

### 3.2.5 Lógica difusa de tipo-2

La principal distinción y característica de este sistema se encuentra en las reglas. Aunque la regla tiene la forma *Si ...Entonces* el producto de la inferencia de esta regla no es un conjunto difuso. En su lugar, la regla produce una función lineal de las entradas. A continuación, se muestra la estructura.

$$L^l: \text{Si } x_1 \text{ es } F_n^l \text{ y } \dots \text{ y } x_n \text{ es } F_n^l \text{ entonces } y^l = C_0^l + C_1^l x_1 + C_n^l x_n$$

donde  $F_i^l$  son conjuntos difusos,  $C_i$  son parámetros reales,  $y^l$  es la salida del sistema debido a la regla  $L^l$ , y  $l = 1, 2, \dots, M$ . Las entradas son conjuntos difusos y la salida es una

combinación lineal de los valores que entran. Los operadores lógicos donde  $\mu_A(x)$  representa el valor de membresía de  $x$  al conjunto difuso  $A$ . Teniendo un vector real de entrada  $\underline{x} = (x_1 \dots x_n)^T$  la salida  $y(\underline{x})$  de un sistema tipo-2, Takagi-Sugeno, es un promedio de las ponderaciones de las  $y^l$ :

$$y(\underline{x}) = \frac{\sum_{l=1}^M \omega^l y^l}{\sum_{l=1}^M \omega^l}$$

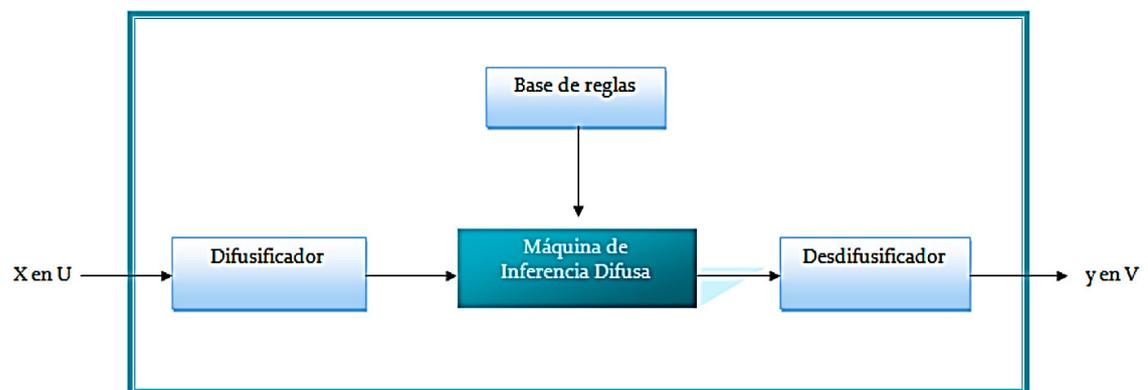
donde la ponderación  $\omega^l$  se aplica para todo el rango permitido de valores en la regla  $L^l$ , la salida es calculada como  $\omega^l = \prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i)$ . Una ventaja primaria e importante de este tipo de sistema, es que nos proporciona un conjunto de ecuaciones lineales para poder estimar la salida del sistema.

### 3.2.6 Lógica difusa de tipo-3

Estos sistemas mantienen la estructura de un sistema puro de lógica difusa como base del sistema, la diferencia está en que las entradas al sistema son valores numéricos reales. La gran mayoría de los problemas en el área de la economía se rigen por valores numéricos tanto en entrada como en la salida, sobre todo en sistemas de control. La parte principal de este sistema es que es un sistema de lógica puro, existe un marco flexible para la integración del conocimiento, lo que no es posible en los sistemas del Tipo 2. Una ventaja es que existe variedad para esbozar la difusificación y la desdifusificación.

**Figura 8**

*Modelo difuso de tipo-3*



*Nota.* Sistema difuso con difusificador y desdifusificador. Tomado de *Modelado de Sistemas Difusos de Múltiples Entradas y Salidas*. Cepeda-Negrete, J. (2011).

### 3.2.7 Una aplicación a la economía

Una vez desarrollado la teoría de la probabilidad axiomática y los tres tipos de lógica difusa pasaremos a mostrar sus diferencias.

Mencionamos brevemente la lógica probabilística, señalando similitudes y diferencias con la lógica difusa. Deseamos analizar con información del siguiente tipo.

- Es probable que la regla de elección de preferencias de Enrique sea superior al 50 por ciento.
- La regla de elección de Enrique probablemente esté entre 50 y 100 por ciento.
- La mayoría de personas prefiere trabajar que estudiar.
- Por lo general, los economistas conocen todos los campos de las economías.
- Pocos consumidores no cumplen con la regla de Orlovsky.
- Si la economía peruana es afectada por la Covid-19, es probable que se genere una recesión.

Toda la información presentada es incierta. Los enunciados contienen cuantificadores, y estos cuantificadores no son los habituales en la lógica de primer orden, como  $\exists$  y  $\forall$ . Tiene otros cuantificadores como pocos, la mayoría y normalmente. Extender la lógica proposicional a la lógica de primer orden no es suficiente. Pero es muy común en la mayoría de personas y debe modelarse si deseamos que las máquinas imiten el comportamiento y el razonamiento humano. Necesitamos una herramienta adicional como la teoría de la probabilidad. Propositiones como las anteriores surgen con frecuencia en el pronóstico del equilibrio en economía y por lo tanto evitar las crisis económicas. Por ejemplo, un hecho como, si no se regula los mercados entonces generara una crisis económica, puede resultar incierto para hacedor de política (BCRP y MEF), ya que lo que puede observar no es la no regulación de los mercados, sino lo que observa son las señales que genera la no regulación. La relación entre señales y crisis económica, generalmente expresada como proposiciones condicionales de la forma, si señales, entonces crisis económica, también es incierta. Sin embargo, un hacedor de política u otro, experto, puede asignar su, grado de creencia, en la verdad de tal proposición. La subjetividad de esta asignación es inevitable.

La lógica probabilística es un enfoque para razonar con este tipo de información incierta. Al considerar los grados de creencia en la verdad de las proposiciones como

probabilidades subjetivas, uno puede pensar en usar el cálculo estándar de probabilidades para implementar una, lógica, de información incierta. La posibilidad de asignar probabilidades a las proposiciones se debe al hecho de que el conjunto de todas las clases de proposiciones de equivalencia, forma un álgebra booleana, por lo que es un dominio adecuado para las medidas de probabilidad. Por ejemplo, tiene algún sentido asignar a la proposición, los precios suben o bajan, la probabilidad de 0,90, y a la proposición los hombres se comportan racionalmente, la probabilidad de 0,01. La asignación de probabilidades es, por supuesto, subjetiva y puede provenir de muchas fuentes: opiniones de expertos, sentido común, etc. De modo que los cuantificadores se manifiestan en asignaciones de probabilidad. Nuestro propósito es explicar algunos puntos relevantes que son algo similares a la lógica difusa. Esta nueva herramienta matemática ha surgido de los requisitos de aplicaciones prácticas para situaciones inciertas, por ejemplo, en sistemas las decisiones y relaciones causales. Es decir, proposiciones de la forma:

$p$ : La economía tiene la propiedad  $p$

$p \Rightarrow q$ : si  $p$  entonces  $q$

uno cuantifica los grados de creencia por las probabilidades  $\mathbb{P}(p)$  y  $\mathbb{P}(p \Rightarrow q)$ . La implicación  $p \Rightarrow q$  no debe interpretarse como una implicación material clásica de dos valores. El razonamiento probabilístico es la siguiente. Dado un conjunto de reglas y hechos, junto con sus probabilidades, se procede a construir una medida de probabilidad conjunta sobre un conjunto adecuado de eventos relevantes (un álgebra booleana de proposiciones), que permitirá el cálculo de probabilidades de eventos de interés.

Puesto que las probabilidades toman valores en el intervalo unitario  $[0,1]$ , la lógica probabilística tiene varios valores. Su sintaxis es la misma que la de la lógica clásica de dos valores. Para cada proposición  $p$ , hay dos conjuntos de mundos posibles, aquellos en los que  $p$  es verdadero y aquellos en los que  $p$  es falso. Sin conocer el mundo real, uno tiene que considerar la probabilidad de que un sea verdadero como un valor de verdad de  $p$ . Obviamente, esta es una generalización de la lógica clásica.

### **3.2.8 Aplicación en los modelos (EGDE), basado en las reglas de elección con preferencias difusas**

Según Díaz (2006), definimos una familia de reglas de elección binarias, para  $\alpha \in [0,1]$ .

Si  $\alpha \leq \frac{1}{2}$  es conocido como la Regla  $M_\alpha$ ; por otro lado, si  $\alpha = 1$  nos referimos a la regla

de Orlovsky. Desde que los valores diferentes de  $\alpha$  son consistentes con un orden de preferencia dado de un individuo, es posible que dos agentes con preferencias idénticas puedan terminar haciéndolas diferentes. Esta situación demuestra un resultado interesante.

Dado que las preferencias son difusas entonces podemos aplicar y extender el análisis a la lógica difusa de tipo-1, tipo-2 y tipo-3, para encontrar equilibrios en una economía con el modelo (EGDE).

Pues en economía una de las razones de porque no pudimos predecir la crisis del 2008 en EE. UU. fue porque los modelos estaban basados en las lógicas clásicas, en las probabilidades y la metodología popperiana. Los modelos de equilibrio general dinámico y estocástico (EGDE) son métodos computacionales que su razonamiento siguen lógicas clásicas, entonces la lógica difusa, los tres tipos, resolverían el problema.

A) Si aplicamos a los modelos (EGDE) la lógica difusa de tipo-1, con solo utilizar operadores como NOT, AND y OR, los resultados que se obtendrían serian explicados como:

Considere que:

$V(p)$ : El sistema económico está basada en la regla de elección de preferencias difusas.

$V(q)$ : La mayoría puede pagar las hipotecas subprime.

$V(s)$ : Se desata la crisis económica.

Asignando sus valores de acuerdo con los datos y experiencia que tenemos sobre la crisis del 1929, podemos modelarlo como  $V(p) = 0.3$ ,  $V(q) = 0.8$  y  $V(s) = 0.5$  para calcular el grado de verdad de la siguiente proposición:  $(p \wedge q) \rightarrow s$

Analizando su equivalente:

$$(p \wedge q) \rightarrow s \Leftrightarrow \neg(p \wedge q) \vee s$$

$$\Leftrightarrow \neg(\min(V(p), V(q))) \vee V(s)$$

$$\Leftrightarrow \neg(\min(0.3; 0.8)) \vee V(s)$$

$$\Leftrightarrow \neg(0.3) \vee (0.5)$$

$$\Leftrightarrow \max((0.7) \vee (0.5))$$

$\Rightarrow$  el valor de veracidad  $V((p \wedge q) \rightarrow s)$  es (0.7)

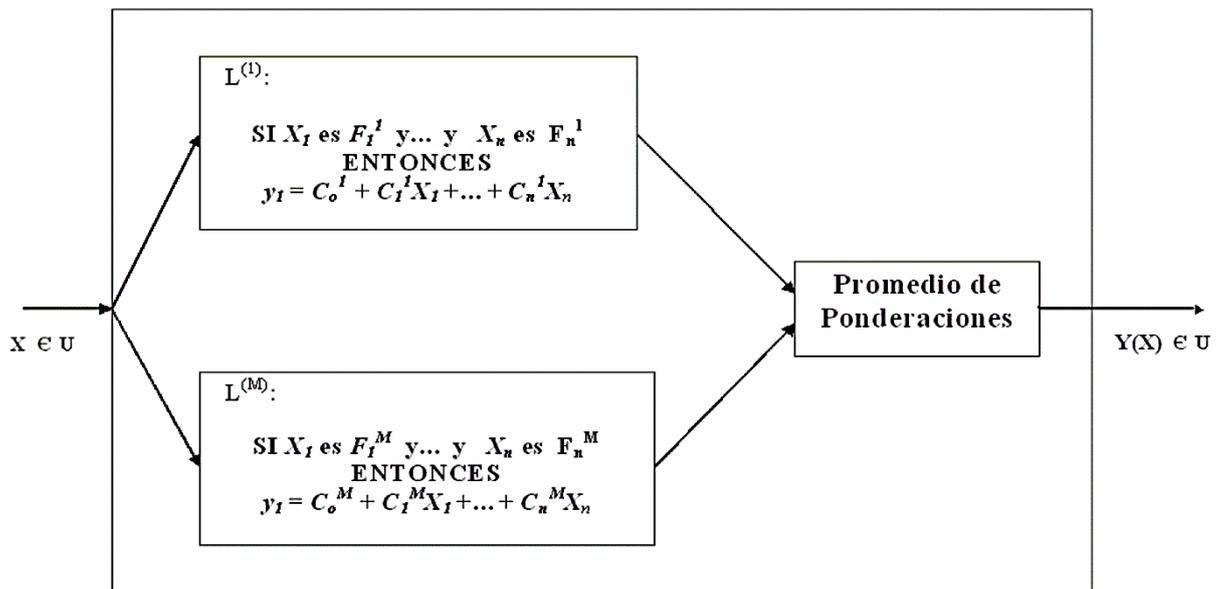
Este resultado se interpreta como que la crisis se dará en un 70 por ciento, pues su valor de veracidad es de 0.7.

**B)** Si aplicamos la lógica difusa de tipo-2, tendríamos que, el producto de la inferencia de esta regla no es un conjunto difuso. En su lugar la regla produce una función lineal de las entradas. Las entradas son conjuntos difusos y la salida una combinación lineal de valores que entran. Estos siguen un tipo-2, Takagi-Sugeno, es decir un promedio de las ponderaciones de todas las situaciones que podrían ocurrir.  $y^l$  nos daría varias situaciones en el resultado final de la predicción de la crisis. Dada la entrada  $\underline{x}$ , además de sus ponderaciones  $\omega^l$  serían como el peso que tendría cada situación de aspectos de la crisis que se desea predecir.

Lo importante es que nos da un conjunto de ecuaciones lineales, cada una representando lo que podría ocurrir en una crisis dados el conjunto de entrada, de esa manera poder estimar y predecir la crisis económica.

**Figura 9**

*Modelo difuso de tipo-2*



*Nota.* Sistema difuso del tipo Takagi-Sugeno. Tomado de *Modelado de Sistemas Difusos de Múltiples Entradas y Salidas*. Cepeda-Negrete, J. (2011).

Los editores Oscar Castillo, Patricia Melin y Janusz Kacprzyk (2020) en su libro *Intuitionistic and Type-2 Fuzzy Logic Enhancements in Neural and Optimization Algorithms: Theory and Applications*, y en un capítulo I denominado: Parameter Adaptation in the Imperialist Competitive Algorithm Using Generalized Type-2 Fuzzy Logic, escrito por los autores; Emer Bernal, Oscar Castillo y José Soria and Fevrier Valdez, definen con respecto al algoritmo competitivo imperialista (ACI) lo siguiente:

Atashpaz-Gargari y Lucas propusieron el algoritmo competitivo imperialista (ACI) en 2007. El algoritmo está inspirado en el imperialismo, donde todos los países más poderosos aspiran a hacer colonia a los países menos poderosos y así absorberlos. En el área de las metaheurísticas, el algoritmo competitivo imperialista toma como base el progreso político social a diferencia de otras metaheurísticas o algoritmos evolutivos. (Bernal, Castillo, Soria & Valdez, 2020, p. 9)

Tomamos los sistemas difusos tipo-2 generalizados para el ajuste dinámico de los parámetros del ACI<sup>60</sup>, y tomamos un sistema difuso tipo-1 como base para ampliar nuestra propuesta utilizando sistemas lógicos difusos generalizados de tipo-2. El ACI se basa en el concepto de imperialismo en el que los empresarios<sup>61</sup> más fuertes intentan tomar el control, pues existe, debilidad de las instituciones.

El algoritmo está inspirado en el imperialismo, donde todos los empresarios más poderosos aspiran a tener el control a las instituciones y así absorberlos. En el algoritmo ACI se utiliza una población generada aleatoriamente, en este contexto los individuos se consideran empresarios. Los empresarios que tengan mayor poder serán considerados como empresarios imperialistas y el resto como instituciones en manos del imperialismo. Las instituciones se dividen entre los países imperialistas en función de su valor de poder o aptitud. Luego que la población se dividió en imperialista e instituciones débiles, las instituciones débiles comienzan a moverse hacia el empresario imperialista y esto se conoce como proceso de asimilación. Las instituciones débiles se mueven  $x$  distancia hacia los empresarios imperialistas, donde  $x$  es un número aleatorio que se genera para determinar una distribución uniforme en el intervalo  $(0, \beta d)$ .

---

<sup>60</sup> Utiliza una distribución de probabilidad a la Kolmogorov. Nuestro trabajo es utilizar los ACI con la lógica difusa de tipo-2.

<sup>61</sup> Me refiero a funcionarios, políticos y banqueros que son los culpables del colapso económico experimentado en 2008 en Estados Unidos, asegura un informe de la Comisión Investigadora de la Crisis Financiera de EE.UU. Fuente: BBC Mundo

$$X \sim U(0, \beta d)$$

donde  $\beta$  es un número en el rango de 1-2 y  $d$  es la distancia entre las instituciones débiles y los empresarios imperialistas.

C) Si aplicamos la lógica difusa de tipo-3, la difusificación, es el proceso que transforma un conjunto difuso a un conjunto clásico. Por ejemplo, aplicado a los modelos (EGDE) basado en la regla de elección de preferencias difusas, se puede dar las reglas diseñadas para decidir cuánto debe regular el estado la economía, pueden resultar en, disminuir la regulación (33 por ciento), mantener la regulación (40 por ciento), aumentar la regulación (80 por ciento). Difusificación es la interpretación de los grados de pertenencia de los conjuntos difusos en una decisión específica o valor real. El método de difusificación más simple pero menos útil es elegir el conjunto con la membresía más alta, en este caso, aumentar la regulación (80 por ciento), ya que tiene una membresía de 80 por ciento, e ignorar a los demás, y convertir este 80 por ciento, a algún número. El problema con este enfoque es que pierde información. Las reglas que exigían disminuir o mantener la regulación del gobierno, bien podrían no haber estado allí en este caso. Podemos trabajar también cuando los tres estados de la regulación suman 100 por ciento en este caso aproximariamos a la teoría de la probabilidad difusa.

La desdifusificación tiene varios métodos entre ellos se puede aplicar a los modelos EGDE.

- Centro de equilibrio en el mercado: La salida nítida es el equilibrio en la economía y de la unión de las salidas de las reglas.
- Centro de sumas: La salida nítida es el equilibrio de la economía de las salidas de las reglas. En este método se cuentan dos veces (o más veces) los traslapes entre las funciones de membresía de las reglas. Este es el método más utilizado en control difuso.
- Métrica: La salida nítida es el promedio ponderado por su métrica de los equilibrios en la economía y de las funciones de membresía de las salidas de las reglas.
- Centro del mercado, con fallas de mercado: La salida nítida es el equilibrio de la economía ampliando el mercado a casos de fallas de mercado y es convexa de la unión de la salida de todas las reglas.
- Primer máximo: La salida nítida es el primer valor de los máximos de su métrica.

- Ultimo máximo: La salida nítida es el último valor de los máximos de su métrica.
- Centro del máximo: La salida nítida es el promedio de las salidas del primer máximo y último máximo de los equilibrios en la economía.

Nos podemos dar cuenta que pueden darse muchos equilibrios, lo importante es encontrar su métrica. Cosa que los modelos de (EGDE) clásicos no pueden, pues se supeditan a encontrar solo un equilibrio, (existencia, unicidad y estabilidad), la lógica difusa de tipo-3 considera la existencia y estabilidad múltiple, pero la unicidad no se podría cumplir por el método del centro del máximo, que nos dice que hay por lo menos un primer máximo y un último máximo, para lograr el bienestar de la población.

### **3.3 Los límites epistemológicos de los modelos EGDE y agentes heterogéneos denominados HANK.**

Los inicios de los modelos de agentes heterogéneos<sup>62</sup> en la economía están basados en el libro *Tableau Économique* de Turgot. Considera que la sociedad se divide en clases; terratenientes, trabajadores estériles y campesinos. Los tres formaban parte del circuito económico que generaba riqueza dentro de un país. Aunque Marx formulaba sus críticas al sistema capitalista desde una mirada de agentes heterogéneos. Sus seguidores como Kalecki, Kaldor y Pasinetti, formalizaron un modelo donde se toma en cuenta a capitalistas y trabajadores para saber cómo se repartan los ingresos dentro de una economía capitalista. La propuesta de Keynes considera que los modelos económicos deben estar basados en agregaciones, tanto para el consumo y la producción. Luego un cambio de metodología en la forma de estudiar la macroeconomía se tomó en cuenta el supuesto de los modelos de agentes representativos<sup>63</sup> (AR), agregación de Gorman<sup>64</sup>, microfundamentación de macroeconomía, además se asume los mercados Arrow-Debreu,

---

<sup>62</sup> Se estudia a los consumidores, firmas, gobierno y sector externo, tanto en macroeconomía como en finanzas. Supongamos que en un país existen empresas grandes y pequeñas, se deduce que ante shocks externos la empresa grande seguiría operando y las pequeñas quebrarían, en los modelos EGDE no se discute estos problemas porque asumen AR. Otras cuestiones son si la desigualdad puede cambiar con los ciclos económicos, el pago de tributos con agentes ricos y pobres afectan el bienestar macroeconómico.

<sup>63</sup> Muchas veces se comete la falacia de composición, “post hoc”, fracaso en mantener el resto constante (Samuelson, 2006). Agregaría la falacia del *reductio ad absurdum* en ciencias sociales, principalmente en economía. El método de reducción al absurdo consiste en suponer que el resultado a demostrar es falso y llegar a una contradicción. Estos problemas existen en teoría económica en sentido general sobre todo en cuestiones de demostraciones formales y argumentativas, asumiendo lógicas clásicas. En sistemas complejos basados en lógicas no clásicas, es decir en situaciones emergentes no se cumpliría dichas conclusiones que son válidas en la lógica clásica.

<sup>64</sup> No todas las funciones de utilidad cumplen con dicha condición.

donde hay shocks idiosincráticos<sup>65</sup>. Los individuos pueden contratar un seguro, dado los diferentes riesgos según los mercados completos, es decir para cada tipo de riesgo existe un seguro, todos asumen el riesgo, además de un seguro universal, por lo tanto, los shocks idiosincráticos desaparecen. Posteriormente aparecen los modelos agentes heterogéneos (HA) tomando como base teórica la Nueva Economía Keynesiana (NK) dando vida a los modelos HANK. Pero “Ljungqvist y Sargent (2004) bautizaron esta clase de modelos como "modelos de Bewley" porque Truman Bewley (1983) fue el primero en explorar las propiedades de equilibrio de estas economías” (Kaplan & Violante, 2018, p. 169). Aunque ya había intentos en la década de los 70 de Heckman y Daniel McFadden asumiendo heterogeneidad transversal en microeconometría. Estudios

recientes de esta literatura (por ejemplo, Heathcot, Storesletten y Violante 2009; Guvenen 2011; Quadrini y Rios-Rull 2015; Benhabib y Bisin de próxima publicación; De Nardi y Fella 2017), uno se sorprende por el hecho de que si bien se han utilizado habitualmente modelos de agentes heterogéneos para estudiar cuestiones relativas a la desigualdad de ingresos y riqueza, la redistribución, la movilidad económica y las reformas fiscales, hasta hace poco no se habían utilizado mucho para estudiar los ciclos económicos. Creemos que la razón es doble: complejidad computacional y un resultado conocido como "agregación aproximada". (Kaplan & Violante, 2018, p. 170)

Estos autores trataron problemas como la distribución de los ingresos. Asumir mercados perfectos y completos entonces no habría ningún problema con la distribución y si las hay entonces el gobierno se encargaría de la redistribución. En la práctica de economías social de mercado se dan estas situaciones. Otros autores como Rao Ayagari, Mark Huggett, Per Krusell, Anthony Smith, Ayse Imrohroglu, Hugo Hopenhayn y Marc Melitz se preguntan: ¿Qué pasaría con la distribución<sup>66</sup> de los ingresos con agentes heterogéneos,

---

<sup>65</sup> Cada agente tiene accidentes, crisis económicas personales y diferentes situaciones emergentes.

<sup>66</sup> Dejar claro que la discusión es una cuestión formal o positiva mas no la normativa o ética. Lo último hay trabajos desde la sociología, pero formalmente no se ha trabajado. Si cambiamos a los modelos sistemas complejos se podría trabajar con los dos sin ningún problema, porque en situaciones de emergencia se podría tomar en cuenta las cuestiones éticas (en que no es una actividad científica), pero bajo algoritmos de comportamientos altamente desarrollados, usando biopatrones de conductas se podría tratar las cuestiones éticas como es justo que haya pobreza en un país donde hay crecimiento económico, se trataría también temas de desigualdad en la distribución no solo numéricamente sino también normativamente. En situaciones de emergencia los seres humanos nos adaptamos a las circunstancias de acuerdo al contexto en que vivimos, por ejemplo, en situaciones de peligro económico asumimos sin ningún problema acciones altamente racionales que nos llevan a altos costos sociales inicialmente para luego beneficiarnos socialmente de las medidas o políticas que se dan en el gobierno de turno. Esta situación falla porque no conocemos algoritmos de comportamiento en los gobernantes para solucionar un problema, entonces entraría la cuestión ética como Adam Smith lo menciona, en algún momento los empresarios se juntan para pactar precios y beneficiarse del mercado, esto afecta la libre competencia y la riqueza de las naciones. Hay

durante los ciclos económicos? ¿Una sociedad desigual afecta a la efectividad de las políticas económicas? Estas preguntas no responden efectivamente los modelos EGDE. El problema fundamental de los modelos EGDE es que toman en cuenta a los agentes económicos de manera homogénea. Considerar que todos los agentes tienen las mismas características de consumo y producción incluido el gobierno es un total despropósito intelectual. Desde la crisis económica de 1929 hasta el descalabro económico del 2008 en EE.UU. se han usado los modelos RANK, que ha sido la guía por excelencia en la metodología que usan los bancos centrales en casi todo el mundo. En los modelos de EGDE el mayor problema es imponer modelos formales a los datos, creyendo que la construcción y ajuste de curvas se basan en herramientas cuasi-sofisticadas, lo que importa es un marco de modelado empírico alternativo (Spanos, 2021). En efecto el punto de quiebre fue la última crisis económica del 2008. Fue un duro golpe a la teoría económica y sobre todo a la predicción en las ciencias sociales. Los agentes que interactúan en la realidad económica son heterogéneos o de comportamiento heterogéneo, vale decir que las personas de ingresos diferentes generan impactos diferentes en los modelos de EGDE. Se encontró empíricamente que los modelos HANK y los mercados incompletos, replican mejor la realidad, al considerar diferentes tipos de ingresos en las familias. Al respecto

la Gran Recesión volvió a colocar el consumo, la renta y la distribución de la riqueza en el centro del análisis de los ciclos económicos y socavó esta percepción. Los economistas empezaron a darse cuenta de que se necesitaban dos ingredientes fundamentales para un análisis coherente de las fluctuaciones y la política de estabilización: 1) heterogeneidad de los hogares; y 2) un marco que pueda adaptarse a las deficiencias de la demanda agregada. En respuesta, varios macro-investigadores optaron por abordar esta brecha de la manera más natural: combinando características clave de modelos de agentes heterogéneos y modelos neokeynesianos. (Kaplan & Violante, 2018, p. 171)

Uno de los problemas por los que no se usaba los modelos RANK creados en los años 80, eran los problemas computacionales -la maldición de las dimensiones- no existía suficiente tecnología para hacer correr los modelos con varias variables. Además, existían

---

un alto componente ético, pero se reemplaza por las leyes o normas establecida por el gobierno. Cuando el problema de fondo está en la eticidad de los agentes que interactúan. Cada individuo tiene algoritmos de comportamiento básicos que en un inicio sería igual para el modelo económico. En el tiempo van cambiando y van transformándose en función a sus propios intereses, aunque sigan una línea racional. Pero la neurona espejo que es la empatía que nos hace seres humanos, podría analizarse bajo algoritmos de comportamiento y generar cuestiones en función del bienestar macroeconómico.

estudios que indicaban que los modelos RANK daban los mismos resultados que los primitivos modelos HANK. Lo que se gana es la simplicidad de los modelos a cambio de complejidad y precisión. También implementar un sistema computacional con modelos de agentes heterogeneos en los bancos centrales generaban altos costos de operación.

En los aspectos teóricos, tanto económicos como matemáticos, también había cierta complejidad, pero hasta cierto punto eran superables. Se usaba la ecuación de Fokker-Plank y ecuaciones en derivadas parciales que también necesitaban del uso de computadoras para encontrar una solución por aproximación, ya que no era posible resolverlos analíticamente. Otro problema que había es cierta complejidad para trabajar los modelos HANK en tiempo discreto, por lo que en la actualidad se pasó a trabajar en tiempo continuo. Este no permite mayor rapidez y muchas propiedades matemáticas para poder explicar mejor la evolución temporal de la función de densidad de probabilidad de manera aleatoria, como en el movimiento browniano.

El problema en la actualidad en cuestiones metodológicas es aplicar los modelos HANK o los MBA. Surge el mismo problema que había entre los modelos RANK y HANK, es decir, los MBA son extremadamente complejos en sentido matemático y computacional como para que sean aplicados por los bancos centrales en sus políticas macroeconómicas. También la teoría económica, matemática y métodos numéricos que están en desarrollo en la actualidad. Puntualmente tenemos que, en la última década, existe una variedad amplia de métodos computacionales como; “mezclas de proyección y perturbación, mezclas de métodos de diferencias finitas y perturbación, cuadrículas adaptativas dispersas, expansiones de caos polinomiales, aprendizaje automático y linealización con funciones impulso-respuesta” (Kaplan & Violante, 2018).

Por otro lado, ha surgido un tercer método que son los modelos TANK propuesto por Jordi Galí. Este modelo trata de buscar una reconciliación entre los modelos HANK y RANK. Los modelos TANK tratan de utilizar los EGDE tradicionales con sus herramientas y métodos computacionales que son accesibles y hasta cierto punto fáciles de calcular. Además, buscan la heterogeneidad con dos tipos de hogares denominados como "no restringidos" o "restringidos", al respecto Davide Debortoli y Jordi Galí, consideran que

habiendo hecho esa distinción, identificamos tres dimensiones de heterogeneidad que explican las diferencias en las fluctuaciones agregadas entre una economía HANK y su

contraparte agente representativa (RANK, para abreviar): (i) cambios en la brecha de consumo promedio entre hogares restringidos y no restringidos, (ii) variaciones en la dispersión del consumo dentro de los hogares no restringidos, y (iii) cambios en la proporción de hogares restringidos. Mostramos que los tres factores anteriores se capturan a través de "cuñas" aditivas que aparecen en una ecuación de Euler linealizada logarítmicamente para el consumo agregado, y que determinan el comportamiento diferencial de una economía HANK en relación con su contraparte RANK. (Debortoli & Galí, 2018 p. 2)

Notamos que a Gali le interesa en gran medida los resultados computacionales al usar la ecuación de Euler linealizada, tratando de evitar las funciones de densidad de la ecuación de Fokker-Plank. Por lo demás, tienen características similares entre los modelos HANK y RANK.

Tomando en cuenta la predicción como una de las condiciones necesarias, pero no suficientes para las ciencias sociales, considero que debe haber un viraje en la metodología de la economía hacia los HANK. Este modelo nos aproxima de manera importante al análisis cuantitativo de los MBA con resultados importantes en la economía, como, por ejemplo, la heterogeneidad en los ingresos del consumidor y los modelos de mercados incompletos.

Por otro lado, aproximarnos más a la realidad tiene sus costos. Lo que ganábamos en simplicidad lo perdemos en replicar mejor la realidad. Ahora estamos en el dilema de mayor complejidad (MBA) o menor simplicidad con los modelos (RANK). Aquí intervienen dos factores importantes: a) problemas computacionales, y b) los métodos numéricos para resolver los problemas complejos. En la actualidad, existen avances muy importantes en ambos casos (*Mean Field Games* propuesto por Yves Achdou, Pierre Cardaliaguet, François Delarue, Alessio Porretta Filippo Santambrogio en el año 2019), pero todavía está en proceso para lograr el objetivo final, que es utilizar los MBA en las ciencias sociales, principalmente, en la economía.

Por último, los MBA son una buena herramienta metodológica para las aplicaciones en economía. Los sistemas complejos y la teoría del caos por fin tienen una metodología desarrollada para ser aplicados a las ciencias sociales y naturales.

No obstante, todavía los MBA no es la panacea que necesita los sistemas complejos, le falta integrar los algoritmos de predicción que es importante para pronosticar en las ciencias económicas.

### 3.4 Aspectos epistemológicos de economía dinámica su computabilidad y simulación

Las ciencias naturales y sociales buscan algo en común que son las predicciones de sus fenómenos físicos y económicos respectivamente, además están íntimamente relacionadas con temas computacionales y simulaciones que

siempre han jugado un papel en la economía, ya sea teoría económica pura o cualquier variante de macroeconomía y microeconomía aplicada, especialmente orientada a las políticas, o lo que se ha venido llamando cada vez más economía empírica o experimental. Los cálculos y las simulaciones también son intrínsecamente dinámicos. Este tríptico – computación, simulación y dinámica– tiene sus bases naturales, principalmente como resultado de los desarrollos en los apuntalamientos matemáticos en las potencialidades de la computación, utilizando la tecnología digital. [...] el reconocimiento de que, cada vez más, el desarrollo de la teoría económica parece ir de la mano con los avances en la teoría y la práctica de la computación, que es, a su vez, un catalizador para alejarse de una dependencia excesiva en cualquier tipo de matemática para la formalización de entidades económicas que sea inconsistente con los fundamentos matemáticos, metodológicos y epistemológicos de la teoría de la computación. (Velupillai & Zambelli, 2015, p. 1)

Como podemos tratar los problemas computacionales en la actualidad, en el libro de Shu-Heng Chen, Mak Kaboudan y Ye-Rong Du, titulado *The oxford handbook of computational economics and finance* considera según N. J. Zabusky (2005) citado por Vela Velupillai, que

Ulam utilizó por primera vez la "sinergesis"<sup>67</sup> en el contexto de la "Máquina de cómputo como ayuda heurística" en la investigación matemática ... Este fue un nuevo modo de trabajo [...] A partir de la "sinergesis" formulé el enfoque visiométrico [...] Visiometrica es el proceso de producir imágenes convincentes en 2D y 3D y gráficos de escala de parámetros (normalizados) para desarrollar la intuición y ayudar en la formación de modelos matemáticos. (Chen, S.-H., Kaboudan, M. & Du, Y.-R., 2018, p. 715)

Se propone unir la matemática con la computación y simulación para retroalimentarse entre los dos al momento de hacer teoría tanto económica como matemática, es decir de la sinergesis hacia la visimetría. ¿Qué es la visimetría? Según Zabusky (2005)

es el proceso de: Visualización, proyección, identificación y yuxtaposición de estructuras coherentes amorfas en evolución y antecedentes estadísticos en conjuntos de datos multidimensionales masivos. El objetivo es producir imágenes convincentes y gráficos

---

<sup>67</sup> Son fenómenos que resultan de las interacciones entre las partes de un sistema dinámico determinista.

específicos con escalas de parámetros (normalizados) para la construcción de la intuición y la matematización. (Chen, S.-H., Kaboudan, M. & Du, Y.-R., 2018, p. 722)

Además, uno de los problemas y retos más importantes del siglo XXI son los temas de computabilidad de los sistemas dinámicos en economía. Se usan computadoras cuánticas y analógicas que usan códigos binarios. Aunque la primera es más rápida en realizar los cálculos que la segunda, aún tienen problemas ontológicos y epistemológicos desde su construcción tanto teórica matemática y su computabilidad. Por ello nos hacemos las siguientes preguntas: ¿Las computadoras basadas en algoritmos podrán descifrar los secretos que esconde la naturaleza? ¿Pero cómo podría hacerlo si nuestra mente es finita y queremos descubrir cuestiones no finitas? ¿Sería un problema de la mente-cerebro? ¿Qué nos asegura que sea verdadero lo que intentamos descubrir o crear? ¿Las computadoras son una extensión mental o cerebral de la forma como queremos entender y descubrir la naturaleza? ¿La máquina de Turing será una condición necesaria y suficiente para nuestros propósitos de entender cómo funciona y opera la naturaleza computacional? ¿La propuesta de la incompletitud de Gödel, terminara con nuestros sueños de lograr un mundo computabilizable? Algunas respuestas a estas preguntas consideran que

la economía computable trata, al menos en parte, de delinear los límites entre los procesos efectivos y no efectivos. Sin embargo, no debe olvidarse que la noción de "eficaz" se basa en la aceptación de la tesis de Church-Turing. [...] Gerald Kramer buscó mostrar la incompatibilidad formal de los supuestos subyacentes al comportamiento racional y las "capacidades finitas de procesamiento de información que poseen los tomadores de decisiones reales" [...] En otras palabras, si la última idea se encapsula formalmente en el dispositivo de un autómata finito, la pregunta es si el comportamiento anterior es posible, o si un autómata finito puede mostrar un comportamiento racional [...] en la teoría económica formal. (Velupillai, 2000, p. 41)

Formalmente lo podemos tratar el resultado negativo de Kramer de la siguiente manera "para un conjunto infinito numerable de alternativas  $H$  y  $J$ , la clase de todos los subconjuntos finitos de  $H$ , una racionalización de una función de elección  $R$  por  $R$  no puede realizarse mediante una automatización finita" (Velupillai, 2000, p. 41). Los métodos de Kramer se pueden modificar para obtener el resultado con una máquina de Turing. Entonces bajo este contexto se puede estudiar la racionalidad limitada en un dispositivo de un autómata finito. En los estudios de *La vida mental de algunas máquinas* de Putnam quería desacreditar la idea de que el "problema tradicional mente-cuerpo"

tenía que ver con la subjetividad humana, pero si consideramos una comunidad de autómatas finitos cada uno dotado de una función de preferencia racional. Según la lógica inductiva las máquinas pueden considerarse agentes racionales, entonces las máquinas - autómatas finitos - pueden comportarse de manera que maximicen la utilidad esperada en el sentido tradicional, pero, según el resultado de Kramer, su premisa es falsa. Sin embargo, simplemente modificando la premisa de los autómatas finitos a las máquinas de Turing, Putnam pudo preservar la sustancia de su análisis (Velupillai, 2000). Por otro lado

es obvio que cualquier función de elección [...] que no sea al menos computacionalmente viable es, en un sentido muy fuerte, económicamente irracional. A menos que el cálculo sea trivial, i. e., no implica ningún cálculo en absoluto y, por lo tanto, es completa y precisa sin el uso de ninguna máquina de Turing, las opciones prescritas por una función de elección computacionalmente no viable solo pueden implementarse mediante procedimientos computacionales que hacen una de dos cosas: (a) el cálculo no se detiene y no converge, o (b) el cálculo se detiene en una elección no óptima. (Lewis, 1985, p. 45)

Una demostración de que las preferencias no se pueden generar de manera efectiva no implica necesariamente que las preferencias no existan: solo significa que los métodos computacionalmente viables no tienen acceso a ellas (Velupillai, 2000, p. 43).

Por otro lado, la propuesta de Gödel solo opera en la aritmética de Peano de los números naturales y no se ha extendido a los números reales y menos a los complejos. Pues, sería la primera traba teórica que tenemos que superar para continuar nuestro proceso de computar los sistemas dinámicos. Hilbert consideraba que cualquier problema matemático sería resuelto o bien demostrando su solución o demostrar su imposibilidad de la solución. La propuesta de Gödel, refuta la posición de Hilbert y con ello nuestras esperanzas de encontrar una solución completa a los problemas teóricos primero y luego los computacionales. ¿Cómo podemos extender el teorema de la incompletitud de Gödel por lo menos a los números reales? Si es posible hacerlo entonces podríamos superar la propuesta de Gödel y entonces abriríamos un campo más completo sobre los problemas computacionales. Si no se puede extender a los reales tendríamos que seguir utilizando técnicas aproximadas de computabilidad y simulación que nos han traído problemas epistemológicos y ontológicos muy profundos. Esto nos lleva a repensar

la visión de Hilbert de un algoritmo universal para resolver teoremas matemáticos requería una unificación de la lógica, la teoría de conjuntos y la teoría de números. Este proyecto fue

iniciado por Frege, desviado por Russell, reparado por Whitehead, descarrilado por Gödel, restaurado por Zermelo, Frankel, Bernays y von Neumann, sacudido por Church y finalmente demolido por Turing. Por lo tanto, decir que el interés por los métodos algorítmicos en matemáticas o el progreso en la lógica fue engendrado por la computadora es erróneo. (Cohen, 1991, p. 323)

Nuestro campo de análisis es la economía, por ello tenemos las siguientes preguntas: ¿Es posible computar la interacción entre seres humanos, y los grupos que se forman entre ellos? ¿Será posible realizar simulaciones de dichos comportamientos? ¿La predicción de los fenómenos económicos será posible con sistemas computacionales avanzados? Los modelos de EGDE tienen sus límites computables porque suponen agentes homogéneos. Existen problemas computacionales muy complejos si extendemos a modelos de agentes heterogéneos.

La computación alude al estudio científico que se fundamenta sobre sistemas automáticos para el manejo de información, que pueden realizarse por medio de herramientas pensadas para dicho fin. Entonces podemos decir que,

toda simulación es un cálculo; cada cálculo es un proceso dinámico. Nos hacemos la siguiente pregunta: ¿Cuál es el estado epistemológico de un proceso dinámico?  
¿Qué se puede calcular? ¿Qué se puede simular? [Filosofía] ¿Qué se debe hacer [para calcular, para simular]? [Metodología] ¿Qué podemos esperar [de un cálculo, de una simulación]? [Epistemología]. Según Kant nos preguntamos: ¿Qué es el hombre? Y este ¿Qué puedo saber? ¿Qué debo hacer? y ¿Qué puedo esperar? (Velupillai, 2012, p. 4)

Las simulaciones basadas en métodos computacionales requieren de estudio muy basto de fundamentación matemática, por lo tanto, Churchland (1981) considera que todo conocimiento tiene que cumplir tres condiciones; creencia, verdad y justificación. Lo que ocurre con los sistemas computacionales es que se cree todas las simulaciones y resultados que se obtienen comparándolo con la evidencia empírica. Hay una cierta justificación en los resultados, pero son solo de naturaleza empírica y no teórica matemática, por lo menos como base. El problema es si los resultados que obtenemos son verdaderos, aunque asumamos verdad por coherencia o por correspondencia, aunque parece que todavía estamos imbuidos en la teoría de la verdad por correspondencia y en forma matemática por la concepción semántica de la verdad de Tarski<sup>68</sup>.

---

<sup>68</sup> Aunque tienen sus críticas al momento de aplicar a las ciencias naturales a pesar de todos los esfuerzos realizados por Donald Davidson.

Velupillai (2012) en su artículo *The Epistemology of Simulation, Computation and Dynamics in Economics*<sup>69</sup>, considera que

La debilidad de aplicar modelos de equilibrio general a cuestiones de política es doble: en primer lugar, proporcionan pruebas no constructivas más que constructivas de la existencia del equilibrio; es decir, muestran que existen equilibrios, pero no proporcionan técnicas mediante las cuales los equilibrios se puedan determinar realmente. En segundo lugar, la existencia per se no tiene importancia política. Solo pueden emplearse de esta manera si pueden hacerse constructivos (es decir, usarse para encontrar equilibrios reales). La extensión de los teoremas de punto fijo de Brouwer y Kakutani en esta dirección es lo que subyace en el trabajo de Scarf con los algoritmos de punto fijo. (Velupillai, 2012, p. 3)

Podemos entender que los equilibrios que se encuentra en el modelo de equilibrio general son abstractos, como los puntos fijos de Brouwer y Kakutani y no proporciona métodos para saber cuáles y como se encuentra dichos equilibrios en la práctica.

Finalmente, tenemos el famoso problema de Fermi-Pasta-Ulam<sup>70</sup> que para Zabusky se inicia la transición de la sinérgesis hacia la visiometría.

### **3.4.1 Teorías económicas basadas en teorías de la computación**

Existen cinco campos en teoría micro y macro que son:

- a) Teoría del equilibrio general computable (EGC) y sus extensiones, Teorías del equilibrio competitivo recursivo (RCE) y del equilibrio general dinámico estocástico (DSGE): la tradición de Scarf, b) Modelado de equilibrio general computable: la tradición de Johansen-Stone (Johansen 1974; Dixon y Parmenter 2009), c) Economía computacional basada en agentes (ver Tesfatsion 2006; Epstein 2006), d) Economía del comportamiento clásica (CBE, a diferencia de MBE, economía del comportamiento moderna; ver Kao y Velupillai 2015) y, e) Economía computable. (Chen, S.-H., Kaboudan, M. & Du, Y.-R., 2018, p. 719)

Además, consideramos cinco tipos de economía sin base teórica computacional: a) Economía clásica del comportamiento (CBE), b) Teoría del equilibrio general computable (CGE), c) Economía Computacional (CE), d) Economía computable y

---

<sup>69</sup> Trabajo presentado en el 4º Congreso mundial de la sociedad de simulación social. Universidad Nacional De Chengchi, Taipei, Taiwán 4-7, septiembre, 2012.

<sup>70</sup> Actualmente denominado, Fermi–Pasta–Ulam–Tsingou. Es una aparente paradoja en la teoría del caos, donde en muchos sistemas físicos complejos daba como resultado comportamientos periodicos en lugar de un comportamiento ergódico.

constructiva (CCE) y, e) Economía y finanzas computacionales basadas en agentes (ABCEF).

Se divide la economía del comportamiento en una versión "moderna" y una versión "clásica": MBE y CBE, respectivamente. CBE está apuntalado de manera computacional. CGE forma el "NÚCLEO" de RCE que, a su vez, es la base de DSGE. La macrodinámica endógena es, desde el punto de vista de mi investigación actual, parte de CCE. (Velupillai, 2012, p. 5)

### **3.4.2 Cinco tipos de teorías de la computación**

Consideremos que son los siguientes: “a) Variedades de matemática constructiva y análisis constructivo (CMCA), b) Teoría de la computabilidad y variedades de análisis computable (CTCA), c) Análisis de intervalos (IA), d) Computación real (RC) y, e) Análisis numérico (NA)” (Velupillai, 2012, p. 6).

### **3.4.3 Déficit epistemológicos e incompletitud**

En ciencias económicas tenemos los modelos CBE, CCE, CGE, CE y ABCEF y los modos de computación son; CMCA, CTCA, IA, RC y NA. Los modelos CBE y CCE están relacionados con CMCA, CTCA y IA. CGE, CE y ABCEF están relacionados con NA (Velupillai, 2012). Como podemos notar lo que denominamos computación real (RC) no están relacionados con ninguno de los modelos en ciencias económicas.

Entonces tenemos que realizar algoritmos basados en sistemas complejos, que evolucionan y cambian en el tiempo, de lo contrario no se podría lograr explicar mejor los fenómenos sociales. Además; cada simulación es un cálculo, cada modo de computación es un proceso dinámico. Por lo tanto, nos preguntamos ¿Cuál es el estado del sistema dinámico del análisis numérico? Para responder a esta pregunta tenemos que considerar que

La informática en realidad no es una ciencia. No estudia objetos naturales. Tampoco es, como podría pensar, matemáticas; aunque utiliza el razonamiento matemático de manera bastante extensa. Más bien, la informática es como la ingeniería: se trata de hacer que algo haga algo, en lugar de lidiar con abstracciones. La informática nos alienta a hacer preguntas sobre los límites de la computabilidad, sobre lo que podemos y no podemos saber sobre el mundo que nos rodea". (Feynman, 1996, p. xiii)

El déficit epistemológico está en indecidibilidad del conocimiento algorítmico de la computación real (RC) y la incompletitud del conocimiento tácito lo denominamos incompleteness epistemológica. “Reconsideraré el conocimiento humano comenzando por

el hecho de que podemos saber más de lo que podemos decir” (Polanyi, 1967, p. 4). “¡El principio aquí es que puedes saber mucho más de lo que puedes demostrar! Desafortunadamente, también es posible pensar que sabes mucho más de lo que realmente sabes. De ahí la frecuente necesidad de pruebas” (Richard Feynman, 2000, p. 90).

Según Velupillai (2012) tenemos aquí ejemplos de conocimiento, tanto de tipo más intelectual como más práctico; tanto el conocimiento como el poder de los alemanes, o el saber qué y el saber cómo de Gilbert Ryle. Estos dos aspectos del conocimiento tienen una estructura similar y ninguno está presente sin el otro.

- El conocimiento algorítmico y el conocimiento tácito pueden encapsularse en los formalismos de CBE y CCE, pero no en CGE, CE o ABCEF. Por lo tanto: la imposibilidad de discutir los déficits epistemológicos o la incompletitud en CGE, CE o ABCEF.
- Esto se debe a que CGE, CE y ABCEF no están sujetos al Precepto 1 de Turing: De la insuficiencia de la razón sin el apoyo del sentido común.

Velupillai (2011) en su artículo *Non-Linear Dynamics, Complexity and Randomness: Algorithmic Foundations*, considera cinco tipos de sistemas dinámicos en economía:

- 1) Ecuaciones diferenciales ordinarias (lineales y no lineales): EDO: estándar y no estándar.
- 2) Ecuaciones diferenciales parciales (lineales y no lineales): PDE.
- 3) Ecuaciones diferenciales estocásticas (lineales, no lineales y parciales) SDE.
- 4) Diferencias dinámicas mixtas-Ecuaciones diferenciales.
- 5) Ecuaciones en diferencias (lineal y no lineal).

Siguiendo a Velupillai (2011) todos los modelos macro dinámicos conocidos de las teorías del ciclo económico endógeno, de cualquier persuasión teórica económica, pueden derivarse, por aproximaciones, linealizaciones, etc., ya sea ad hoc o no, de la siguiente ecuación canónica:

$$F[t, u(t), u(t - \omega_1) \dots, u(t - \omega_m), u'(t), u'(t - \omega_1), \dots, \dots, u^{(n)}(t), u^{(n)}(t - \omega_1), \dots, u^{(n)}(t - \omega_m)] = 0$$

Esta es una ecuación diferencial-diferencia de orden  $n$  y es función de  $1 + (m + 1) + (n + 1)$  variables. Las funciones  $F$  y  $u$  son funciones reales,  $w_i \in \mathbb{R}$  y  $n \in \mathbb{Z}$ . En general, incluso si hay soluciones analíticas disponibles, digamos para el caso especial de EDO, por ejemplo, a través del Teorema de existencia de Cauchy-Peano, o para la ecuación diferencial no lineal de segundo orden del tipo Rayleigh-van der Pol por un atractivo para el teorema de Poincaré-Bendixson, sus estados computacionales, computables y constructivos son muy dudosos.

Esto hace que la simulación, que es intrínsecamente también computacional, pero no necesariamente teórica de números, no tenga sentido.

### 3.4.4 Un modelo dinámico no lineal keynesiano, simulación y aproximación

Siguiendo a Velupillai (2011) consideramos la siguiente ecuación, que representa un modelo clásico de acelerador multiplicador no lineal keynesiano de la dinámica del ingreso nacional, y:

$$\varepsilon y'(t + \theta) + (1 - \alpha)y(t + \theta) = O_A(t + \theta) + \phi[y'(t)] \dots (1)$$

Ahora, hay al menos seis formas diferentes de investigar soluciones para esta ecuación diferencial-diferencia no lineal.

En modos analíticos antiguos son:

- I. Análisis real
- II. Análisis no estándar
- III. Análisis computable
- IV. Análisis constructivo

Gráficamente, es decir, en términos de la geometría del comportamiento dinámico, como suele hacerse en la teoría cualitativa de ecuaciones diferenciales;

Mediante una serie de supuestos económicamente "justificables", (1) se redujo a:

$$\varepsilon \dot{y}(t + \theta) + (1 - \alpha)y(t + \theta) = \phi[\dot{y}(t)] \dots (2)$$

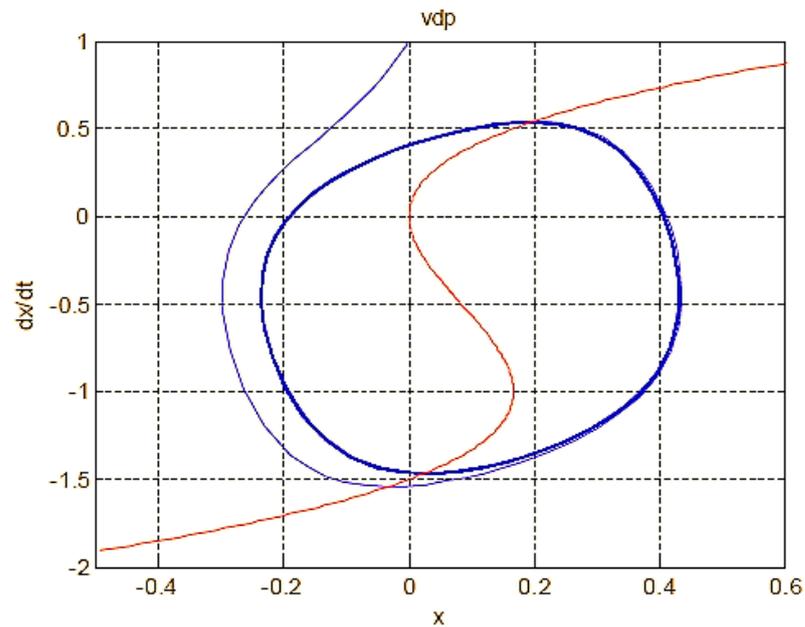
Luego, "aproximado" por:

$$\varepsilon \dot{\theta} \dot{y} + [\varepsilon + (1 - \alpha)\theta] \dot{y} - \phi(\dot{y}) + (1 - \alpha)y = 0 \dots (3)$$

Para lo cual la "solución" geométrica, en el plano de fase es:

**Figura 10**

*Representación cualitativa de la solución de una ecuación diferencial*



*Nota. Tomado de tomado del libro de (Zvonkin & Shubin, 1984)*

### **3.4.5 Reclamaciones sobre la computabilidad: computación basada en agentes para economía y finanzas**

Las siguientes dos afirmaciones se hacen, en relación con ABCEF, en Leigh Tesfatsion y Kenneth L. Judd (ed.), 2006. *Computational Economics Manual*, Elsevier, vol. 2:

- "Los métodos computacionales basados en agentes proporcionan la única forma en que se pueden explorar las capacidades de autorregulación de los modelos dinámicos complejos para avanzar en nuestra comprensión de la dinámica adaptativa de las economías reales".
- "Como profesor de matemáticas (así como de economía), aprecio la belleza de las matemáticas clásicas. Sin embargo, las matemáticas constructivas también son hermosas y, en mi opinión, el tipo de matemática adecuado para economistas y otros científicos sociales. La matemática constructiva difiere de la matemática clásica en su interpretación estricta de la frase existe para significar uno puede construir. Las pruebas constructivas son algoritmos que, en principio, pueden reformularse como programas de computadora". (Velupillai, 2012, p. 20)

La primera afirmación es absurda y no puede fundamentarse desde ningún punto de vista serio. El segundo, en un capítulo titulado, Agent-Based Computational Economics: A

Constructive Approach to Economic Theory, no tiene nada que ver con modelar nada en ABCEF; de hecho, es vago, hasta el punto de la falta de sentido, en su caracterización de matemática constructiva, especialmente en el significado de construcción. Aparte de estos problemas, no hay conciencia alguna de que existen al menos cinco modos de computación, y si uno es superior a otro modo, para un propósito, y viceversa para otro objetivo, no está claro, y al menos dos tipos de dispositivos informáticos, analógico y digital.

### 3.4.6 Los déficits epistemológicos y la incompletitud en la computabilidad de los sistemas dinámicos en economía.

Los déficits epistemológicos son básicamente cinco:

- I. ¿Qué son máquinas, mecanismos, cálculos y algoritmos?
- II. ¿Qué tan interdependientes son las respuestas a las cuatro sub preguntas anteriores?
- III. ¿Cuáles son las limitaciones de los mecanismos?
- IV. ¿Puede una máquina, encapsulando mecanismos, conocer sus limitaciones?
- V. ¿Puede una simulación, encapsulada dentro de un mecanismo, exhibir sus propias limitaciones?
- VI. ¿Puede un sistema dinámico, realizado con el mecanismo que implementa una computación, demostrar sus propias limitaciones? (Velupillai, 2012, p. 22)

La (s) respuesta (s) dependen de manera crucial de los teoremas de incompletitud de Gödel, la máquina de Turing y el famoso resultado de Turing sobre la no solución del problema de detención para las máquinas de Turing (o: la insolubilidad del décimo problema de Hilbert).

Por ello reflexionemos el siguiente caso ocurrido el 25 de febrero de 1991 unos misiles Patriot de la instalación militar en Dahrahn no pudo interceptar un misil Scud, porque había un error en la aritmética informática que provoco un error de cálculo de casi 700 metros matando veintiocho militares (Hayes, 2003). Al respecto Velupillai se pregunta

¿Cuál fue este trágico "error en la aritmética informática"? Es simplemente que la fracción binaria para la fracción decimal  $10^{-1} = 0.1$  no termina:

$$10^{-1} = (0.1)_{10} = (0.0001100110011\dots)_2 = (0\ 0011\ 0011\ 0011\dots)_2$$

Es decir, la fracción decimal, en su notación binaria, cicla y es indeterminada y tendrá que ser truncada con consecuencias impredecibles, a menos que se incluya un análisis de

aproximación serio en el software que trunca automáticamente para alguna instrucción predeterminada. Pero existe otra alternativa, en el caso de las trampas debidas a la naturaleza discreta y finita de la computadora digital y su aritmética. Esta alternativa sería utilizar un análisis de intervalo, en el que un "intervalo de números reales se trata como un nuevo tipo de número, representado por un par de números reales, es decir, sus extremos derecho e izquierdo" (Moore 1966, p. vii). Si tales números se hubieran utilizado en el software que se incorporó al funcionamiento del software de control mencionado anteriormente, el error se habría eliminado. (Chen, S.-H., Kaboudan, M. & Du, Y.-R., 2018, p. 749)

Finalmente, este caso no solo ocurre en las ciencias físicas sino también en la económicas y las finanzas, problemas basados en la aritmética informática que no están incorporados en los softwares informáticos como Stata, Phyton, E-views y otros. En todo caso se podría aplicar “un enfoque diofántico para la teorización y el modelado económicos, bien puede ser apropiado [...] desde el punto de vista de la computabilidad, y de ahí la importancia de la simulación para ayudar a resolver algunos de los acertijos” (Chen, S.-H., Kaboudan, M. & Du, Y.-R., 2018, p. 750).

## CAPÍTULO 4

### LOS SISTEMAS COMPLEJOS Y SUS LIMITES

Consideramos que aplicar los métodos de las ciencias naturales en las ciencias sociales en economía era un total despropósito, pues se estudian seres individuales que tienen procesos de interacción distintos y sus conductas son muy diferentes. Por lo tanto, no cumplen cierta regularidad, para lograr predecir y resolver problemas estrictamente sociales y sobre todo en economía dinámica. Por tal motivo la economía de la complejidad puede darnos una luz sobre este camino muy abrupto que ha tenido la epistemología de las ciencias sociales. En particular la economía dinámica, basada en los modelos EGDE. Pues no lograron predecir por ejemplo la crisis económica en EE.UU. del año 2008. Los modelos tradicionales en economía dinámica están basados en la estadística matemática y sus variantes. Si tomamos a los fenómenos complejos en economía bajo los lineamientos de los métodos heterodoxos, en particular los Modelos Basados en Agentes (MBA) y más restrictivo aun; aplicar los Modelos de Agentes Heterogéneos (MAH) a la macroeconomía de las políticas económicas que realizan los bancos centrales de los gobiernos de muchos países, sería una gran avance en no solo replicar los fenómenos de la realidad económica sino, predecir principalmente las crisis económicas que es uno de los principales problemas de la economía y la sociedad en general.

Nuestro propósito es aplicar las nuevas metodologías de los sistemas complejos a la economía y tratar de utilizar como los MBA para cuantificar y tener datos de las diversas variables económicas y poder tomar decisiones acertadas en las políticas económicas de los diversos países.

Llevar a nuevos campos metodológicos, epistemológicos, ontológicos y éticos la economía dinámica será uno de los pilares fundamentales de esta tesis. Es decir, lo que se busca es una nueva forma de entender los fenómenos de la realidad económica. Pues los modelos agregados en economía tienen serias limitaciones que podrían ser superados con situaciones de emergencia basado en gentes autónomos (análisis no lineales con multinivel).

Analizaremos también las diferentes escuelas económicas que de alguna forma trataron de reconocer la heterogeneidad de los fenómenos económicos, principalmente de la escuela clásica hasta los modelos de la nueva síntesis neoclásica con fricciones

financieras. Se requiere de una interdisciplinariedad en las ciencias sociales interconectadas con otras ciencias, para poder resolver el problema epistemológico que tiene la teoría económica ortodoxa.

Por último, también tratamos de dar un modelo formal donde se cumple los sistemas complejos y otros donde todavía aún tiene limitaciones. Además, dejar abierta la pregunta de ¿si los sistemas complejos son o no buenos mecanismos de entender la naturaleza de los fenómenos económicos, en casi todos los campos de la teoría económica?

#### **4.1 Cuestiones de Complejidad en las ciencias naturales**

Se entiende complejidad no como algo caótico ni desordenado sino como entrelazamiento o entretejido. Todos los objetos y seres vivos son interdependientes, por lo tanto, no se estudiar cualquier fenómeno de la realidad de manera aislada.

Según Lloyd (2001) existe una dificultad para describir completamente el sistema. Algunos ejemplos destacados que se cuantifican en bits son; información, entropía, complejidad algorítmica o contenido de información algorítmica, longitud mínima de la descripción, información de Fisher, entropía de Renyi, longitud del código (sin prefijo, Huffman, Shannon-Fano, corrección de errores, Hamming), información de Chernoff, dimensión, dimensión fractal y complejidad Lempel-Ziv. La otra cuestión también está relacionada el grado de organización como la; a) dificultad para describir la estructura organizacional, ya sea corporativa, química, celular, etc. Y la b) cantidad de información compartida entre las partes de un sistema como resultado de su estructura organizativa.

Las interacciones entre agentes generan información nueva. Las condiciones iniciales tratado en la metodología tradicional de las ciencias están determinadas previamente. ¿Pero qué sucede si no tenemos las condiciones iniciales? Tendríamos problemas con la predicción de los sistemas dinámicos tratados. Existe relevancia en la interacción de sus componentes si podemos, aunque no del todo predecir los resultados de sus componentes. Por ejemplo, un juego de suma cero, de ajedrez, entre otros. Entonces nos preguntamos ¿qué es la complejidad?, Karoline Wiesner y James Ladyman dicen

En un trabajo reciente, hemos desarrollado un marco para comprender la "complejidad" que es aplicable a las ciencias naturales y sociales. Hemos destilado una lista de características que exhiben los sistemas complejos; algunas características son exhibidas por todos los sistemas complejos, algunas solo por sistemas complejos funcionales o vivos. Distinguimos entre condiciones de complejidad y productos de complejidad. En pocas palabras, los

productos son las propiedades "emergentes" que surgen debido a las muchas interacciones desordenadas entre las muchas partes y la retroalimentación de interacciones previas en sistemas que están abiertos al medio ambiente de alguna manera. Estas últimas son las "condiciones para la complejidad" (numerosidad de elementos e interacciones, desorden, retroalimentación, desequilibrio). (Wiesner & Ladyman, 2020, p. 1)

Esta definición nos trae un problema de *condiciones de complejidad*; Numerosidad de elementos, Numerosidad de interacciones, Trastorno, No equilibrio (apertura) y Realimentación. Y los *productos de complejidad*; No linealidad, Autoorganización, Robustez del orden, Anidamiento, Robustez de función, Comportamiento adaptativo, Modularidad y Memoria (Wiesner & Ladyman, 2020, p. 2). No todos los productos están presentes en todos los sistemas complejos, como casos particulares solo están presentes en sistemas complejos funcionales o vivos, además es sistemas complejos no vivos también se presentan diferentes problemas (Wiesner & Ladyman, 2020). Aunque podría darse el caso que los sistemas complejos no vivos se comporten como los funcionales, esto traería otra dificultad que los autores no mencionan, pero reducir a que se comportan de manera similar es caer en el reduccionismo de siglos anteriores de la ciencia. Después de todo aparecería un nuevo problema parecido a la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad general. Lo importante es que estos sistemas complejos tanto funcionales como no vivos son dos estructuras de la *supercomplejidad* que se generan en los sistemas dinámicos, pero que tienen solución porque se podría tomar a ambos como situaciones emergentes que interaccionan y dan nueva información relevante de los fenómenos de predicción. Por otro lado

existe una distinción importante entre el orden de un sistema complejo y el orden producido por un sistema complejo. Un ejemplo de orden producido por un sistema complejo es un copo de nieve producido por el sistema meteorológico y climático. Los sistemas complejos son siempre dinámicos, pero a menudo producen un orden estático. Otro ejemplo de un sistema complejo que produce orden es una colmena de abejas; el orden de la colmena son los patrones autoorganizados de distribución del trabajo, por ejemplo; el orden (estático) producido por la colmena son panales de miel con su intrincada estructura hexagonal. (Wiesner & Ladyman, 2020, p. 1)

Un problema importante de un sistema complejo es que no podemos predecir a priori los fenómenos de la realidad natural y social, hasta que conozcamos algunas interacciones mínimas para poder empezar el análisis del sistema dinámico en cuestión.

Por lo tanto, la predicción está limitada a la cantidad de información mínima que podamos obtener del sistema dinámico. Bajo un enfoque ortodoxo de la ciencia tradicional sus limitaciones son epistémicas y ontológicas. Pues no podemos conocer la realidad económica más que con modelos basados en agentes agregados y la estadística matemática. Y el problema ontológico es que no toma en cuenta en su proceso de interacción a los sistemas dinámicos como cambios continuos y no lineales.

#### **4.1.1 Relación entre la Ciencia y la complejidad**

Según Warren Weaver en su artículo *Science and complexity*, presenta tres puntos importantes en la discusión de los sistemas complejos: a) Problemas de simplicidad, b) Problemas complejidad desorganizada y c) Problemas complejidad organizada, que analizaremos a detalle y daremos algunos alcances y límites de su presupuesto en temas de complejidad.

##### **4.1.1.1 Problemas de simplicidad**

Se llama problemas de simplicidad al reduccionismo que había en las ciencias en general entre los siglos XVII, XVIII y XIX porque reducían los fenómenos observados a básicamente dos, o tres variables relevantes, considerando todo lo demás constante. Aun y cuando se tomó esa iniciativa para hacer ciencia “nos trajeron el teléfono y la radio, el automóvil y el avión, el fonógrafo y las imágenes en movimiento, la turbina y el motor Diesel, y la moderna central hidroeléctrica” (Weaver, 1948, p. 536). Claro, aunque ya se había estudiado las máquinas a vapor, todavía la termodinámica no se aparecía como una teoría más general que podría explicar los fenómenos complejos de la realidad física. Debido a la forma básica de procesar información en los tres siglos mencionados además de los métodos de cómputo para encontrar soluciones se fue paulatinamente dejando de lado los fenómenos complejos para pasar a un tratamiento de un par de variables relevantes en los modelos de la medicina, física, química y sobre todo en la biología. En

la ciencia física antes de 1900 se ocupaba en gran medida de *problemas de simplicidad* de dos variables; mientras que las ciencias de la vida, en las que estos problemas de simplicidad no son tan a menudo importantes, aún no habían adquirido un carácter altamente cuantitativo o analítico. (Weaver, 1948, p. 537)

En la actualidad las aplicaciones a la biología han dado un vuelco importante en como el COVID-19 y los eritrocitos desde los fractales, según Stanisław Sieniutycz

la investigación llevada a cabo en el ámbito de las complejidades y los sistemas complejos dibuja una perspectiva básica que se deriva en gran medida de la estrecha interacción entre la mecánica estadística, la termodinámica y la dinámica no lineal. [...] que atraviesan bifurcaciones y dinámicas caóticas. Por lo tanto, la importancia del descubrimiento de Mandelbrot de que los fractales ocurren ampliamente en la naturaleza difícilmente puede exagerarse. Sin embargo, las investigaciones más recientes en el campo de los eritrocitos se concentran en sus cambios perjudiciales causados por las infecciones sanguíneas por coronavirus en el organismo humano, [...] SARS-CoV-2. En biología, las formas de los órganos o incluso la forma de un organismo en su conjunto pueden mostrar que la estructura auto-similar es la propiedad principal de un objeto con geometría fractal. El estudio de Grasman et al. (2003) se ocupa de la naturaleza multifractal de los árboles arteriales en los que la ramificación de los vasos se repite a un nivel cada vez más detallado hasta diámetros de vasos mínimos de aproximadamente 6 mm en el lecho capilar. (Sieniutycz, 2021, pp. 109-110)

#### **4.1.1.2 Problemas de complejidad desorganizada**

Estudiosos de los fenómenos físicos como Josiah Willard Gibbs, quisieron dar un paso adelante al utilizar múltiples variables para explicar los sistemas dinámicos, “es decir, los científicos físicos, con los matemáticos a menudo a la vanguardia, desarrollaron poderosas técnicas de teoría de la probabilidad y de mecánica estadística para abordar lo que podría denominarse problemas de complejidad desorganizada” (Weaver, 1948, p. 537). Por ejemplo, tenemos una gran mesa de billar con millones de bolas rodando por su superficie, según la estadística podemos realizar análisis cuantitativo tomando la media, varianza, covarianza y están independiente, idénticamente distribuidos (i.i.d.), un problema sería el comportamiento individual de las bolas de billar, pero eso no importa, lo que importa es su comportamiento en su conjunto, entonces la predicción solo estaría sujeta a los procesos estadísticos tomados en su conjunto. Por lo tanto “toda la estructura de la física moderna, nuestro concepto actual de la naturaleza del universo físico y de los hechos experimentales accesibles que lo conciernen se basan en [...] conceptos estadísticos (Weaver, 1948, p. 537).

#### **4.1.1.3 Problemas de complejidad organizada**

No se trata de utilizar necesariamente la estadística matemática para explicar los fenómenos como la complejidad organizada porque están dados por múltiples interacciones como un todo orgánico. Por ello nos preguntamos

¿Qué hace que una onagra se abra cuando lo hace? ¿Por qué el agua salada no satisface la sed? ¿Por qué una cepa genética particular de microorganismos puede sintetizar dentro de su diminuto cuerpo ciertos compuestos orgánicos que otra cepa del mismo organismo no puede fabricar? [...] ¿Es un virus un organismo vivo? ¿Qué es un gen y cómo se expresa la constitución genética original de un organismo vivo en las características desarrolladas del adulto? ¿Las moléculas de proteínas complejas "saben cómo" duplicar su patrón, y es esta una pista esencial para el problema de la reproducción de los seres vivos? (Weaver, 1948, p. 539)

Las guerras mundiales fueron un fenómeno emergente basado en la competencia, que impulso muchos fenómenos complejos que hicieron crecer los “dispositivos, en flexibilidad y capacidad, se parecen más a un cerebro humano que a los dispositivos informáticos mecánicos tradicionales del pasado. Tienen memorias en las que se pueden almacenar grandes cantidades de información” (Weaver, 1948, p. 541). Y lo otro es la aplicación de métodos matemáticos a los asuntos militares.

Finalmente, Rolando García considera que los argumentos de Edgar Morin son muy interesantes pero muy segado de los sistemas complejos al considerar que, en primer lugar

no hubo tal "ruina de la física clásica". En segundo lugar, "la complejidad de la física nueva" no se caracteriza por el "obscurecimiento, desorden, incertidumbre y antinomia". Dicho de otra manera, ni la física de Newton está en ruinas, puesto que se sigue aplicando para lanzar un misil que destruya la casa de un supuesto terrorista, ni "la física nueva" (suponiendo que Morin se refiera a la Relatividad y a la Mecánica Cuántica) "emergió como obscurecimiento y desorden". (García, 2006, p. 20)

Considero que no solo la posición de Edgar Morin es la de la criticar al racionalismo cartesiano manifestando que los sistemas complejos tienen su origen en la deficiencia racionalista de explicar ciertos fenómenos emergente del mundo físico y social, pues si todo el conocimiento tiene su origen en la razón entonces porque hay fenómenos que no estaban previamente establecido por la racionalidad.

Establecemos la racionalidad compleja, pues esta incluiría la explicación que podría dar la razón a sí misma, pues a final de cuentas hasta los fenómenos complejos si son científicos tienen que ser explicados racionalmente en sentido amplio mas no estrictamente en el racionalismo cartesiano. Pues razón y experiencia se retroalimentan, esto nos llevaría al criticismo kantiano, considero que es con Kant el comienzo de los sistemas complejos, pues diferencia entre fenómeno y noúmeno, lo que no se puede conocer “la cosa en sí” puede generar fenómenos que si se podrían conocer. Esto seria

los fenómenos emergentes, pero habría un límite en la posición de Kant, que las cuestiones de emergencia no son producto de las interacciones de las partes que dan nuevos conocimientos de los fenómenos estudiados, sino simplemente como se nos presenta en formas *a priori* de la sensibilidad y del entendimiento aplicadas a las intuiciones empíricas. Por lo tanto, la teoría de los sistemas complejos en la actualidad considera que existe una relación entre fenómenos y noúmenos pues ambas se corresponden, pero, como el todo es mayor a la suma de las partes, sería un gran avance en la teoría del conocimiento para encontrar el noúmeno de Kant. Pues en los fenómenos emergentes no existe lo adicional o aditivo, la agregación, pues según Aristóteles, el todo es mayor a la suma de las partes.

#### **4.2 La teoría de la verdad por correspondencia y los sistemas complejos**

Los seres humanos a largo de la historia queremos obtener conocimiento de todos los hechos y las cosas. Churchland (1981) considera que todo conocimiento tiene que cumplir tres condiciones; creencia, verdad y justificación. El punto que tenemos que analizar es el problema sobre la verdad por correspondencia<sup>71</sup> de ahora en adelante (VC), principalmente considerar que: **La relación de correspondencia es muy misteriosa: parece llegar a las regiones más distantes del espacio (¿más rápido que la luz?) Y del tiempo (pasado y futuro). ¿Cómo podría explicarse tal relación dentro de un marco naturalista? ¿Qué relación física podría ser?** La VC es misteriosa según Fodor (1989) porque, los principales portadores de la verdad son las oraciones mentales del lenguaje del pensamiento, una teoría de la VC de este tipo será un derivado de la psico-semántica. Por lo tanto, entramos a planos psicológicos que hacen más problemática nuestro campo de análisis de la VC<sup>72</sup>. Otro problema que lo hace muy misteriosa es que de entrada se tiene que aceptar la *obviedad*<sup>73</sup> de la correspondencia entre lo semántico y lo hechos. Pues no se discute la naturaleza ni ontología de lo semántico y los hechos como tal, simplemente son conceptos hasta cierto punto vacíos e incompletos lo que los convierte en misterioso. Con respecto a que la VC se considera tiene que estar representado en todo y en todas partes, es más se considera que ontológicamente se

---

<sup>71</sup> Existen muchas versiones de la teoría de la verdad por correspondencia, literalmente no existe como tal (David, 2018).

<sup>72</sup> Esto formaría parte del problema mente-cerebro basado en Rodríguez (2019), Kadosh-Dowker (2013) y Maslin (2009).

<sup>73</sup> Es un argumento a favor de VC son de; Descartes, Kant y James. Además, de Bourget y Chalmers. (Stanford Encyclopedia of Philosophy)

cumple además su naturaleza *obvia*. Podemos darnos cuenta que la VC nos abre el camino a los sistemas complejos que estuvo en el pasado y estará en el futuro, pues del presente no se puede decir nada porque, por ejemplo, “Ahora tiene hambre”. El tipo no es ni verdadero ni falso; un *token*<sup>74</sup> de este tipo es verdadero o falso, dependiendo del tiempo y del referente de “él” (David, 2018, p. 247). La respuesta está en que los conocimientos parten de situaciones emergentes, de la interacción de las partes tanto en la mente como en la práctica científica. Con respecto la VC llega a regiones más distantes **¿más rápido que la luz?** El CERN, ha descubierto que hay algo que se mueve más rápido que la luz: los neutrinos<sup>75</sup>. La posibilidad de que el neutrino sea más rápido que la luz “no concuerda con las leyes de la naturaleza” que son consideradas actualmente como ciertas. Por lo tanto, lo verdadero basado en los hechos de la naturaleza tendría un duro golpe pues no se corroboraría cuestiones semánticas con hechos.

Si las oraciones son portadores primarios de verdad, las relaciones de correspondencia son también misteriosas igual que las relaciones semánticas de la verdad. Según David (2018), esto genera un problema aún más complejo ¿Pueden explicarse en términos de relaciones naturales (causales) o deben considerarse como aspectos irreductiblemente no naturales de la realidad? Considero que según Bunge (1997) habría que diferenciar los términos, causación, principio causal y determinismo causal o causalismo. Considero que la VC está dentro del marco del *causalismo*, que considera la validez universal del principio causal, por ejemplo, “Todo tiene una causa” y los portadores primarios de verdad dentro de la *causación*<sup>76</sup> y los portadores secundarios de verdad dentro del *principio causal*<sup>77</sup> la VC es un causalismo determinista, por esto tiene sus serias críticas como lo propuesto por el neutrino que viaja a mayor velocidad que la luz. Si bien es cierto la naturaleza nos demuestra muchas veces que estamos equivocados en nuestras

---

<sup>74</sup> Su traducción es, testimonio.

<sup>75</sup> ¿Hay algo más veloz que la luz? Los neutrinos, según el CERN. Elena Sanz. <https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/ihay-algo-mas-veloz-que-la-luz-los-neutrinos-segun-el-cern> Este es un claro ejemplo de los modelos en física que se toman como simplificaciones de la realidad, pues solo se estudia una de las partes y no las interacciones entre todas las partes de un todo. El ejemplo de los neutrinos se tomaría como un caso que dados ciertas condiciones podría emerger ciertas partículas que podrían viajar a mayor velocidad que la luz. Con esto se podría dar luces para superar el problema del antirrealismo científico de Laudan (1981), además del enfoque de Fahrbach (2009) refutando el antirrealismo de Laudan con un contraejemplo como la tabla periódica, que no ha cambiado en la historia de la ciencia hasta ahora. Laudan considera que las teorías de las ciencias naturales, para un determinado momento son plausibles, pero en el tiempo pasan a la historia como por ejemplo la teoría del flogisto.

<sup>76</sup> Es todo nexo causal particular por ejemplo una llama dada y una quemadura particular.

<sup>77</sup> También denominado “Ley causal” como, ejemplo, la misma causa siempre produce el mismo efecto.

concepciones de verdad, la forma inicial de conocerla es mediante la mente-cerebro, conceptos semánticos y otros que nos ayuden a descubrir lo que esconde la naturaleza. La verdad está en la naturaleza. Otro aspecto sería considerar que las concepciones de la verdad están fuera de la naturaleza, es decir concordaría con la tesis dualista de Descartes. En consecuencia, a la VC le interesa no lo semántico ni los hechos por separado sino la relación que hay entre ellos.

La relación física que debería tener es considerar según Roger Penrose (1996) que la mente está representada o reducida a un cerebro-cuántico que une diferentes perspectivas y en diferentes espacios y tiempos, también relaciones causales bajo diferentes dimensiones. Sería una posible solución a los problemas de la VC. Otro problema es distinguir VC basadas en objetos y hechos. La primera considera que algo es verdadero si el predicado este contenido en el sujeto como; todo cuadrado tiene cuatro lados iguales y rectos. Muchos portadores de verdad carecen de relación sujeto-predicado, como, por ejemplo, condicionales, disyunciones, además de cuestiones morales y éticas. La segunda teoría de la verdad basada en hechos no necesariamente tiene que tener la estructura sujeto-predicado como, por ejemplo, la bola es roja. La confusión y el misterio continua, pues no se define correctamente a los hacedores de verdad.

Entonces si consideramos que el hacedor de verdad hace verdadero al portador de verdad entonces existen otras objeciones que son los enunciados; Si  $x$  es un  $\phi$ <sup>78</sup>, entonces,  $x$  es verdadera sí y solo si  $x$  se corresponde con algún hecho;  $x$  es falso sí y solo si  $x$  no se corresponde con ningún hecho. Estos enunciados pueden ser aplicados en algunos casos de la ciencias matemáticas y físicas, como por ejemplo lo propuesto por Galileo, al considerar que las verdades de la ciencia se dan a partir de la correspondencia entre las ideas (teoría) y los hechos que cumplen con dicha y teoría. Según Rasmussen (2014) considera que hay dos problemas principales el problema de emparejamiento y el *Slingshot*<sup>79</sup>, por ello considera: “que un problema profundo y persistente con las defensas contemporáneas de la teoría de la correspondencia es que no han explicado adecuadamente la naturaleza de las *piezas de realidad*<sup>80</sup> a las que se supone que

---

<sup>78</sup> Este símbolo está relacionado con los portadores de verdad que son las creencias, hechos, cosas, oraciones-caso y las proposiciones.

<sup>79</sup> Es el problema de explicar cómo las proposiciones que son lógicas o semánticamente equivalentes podrían corresponder a diferentes cosas

<sup>80</sup> Por ejemplo, el descubrimiento de los neutrinos que viajan más que la velocidad de la luz.

corresponden las proposiciones verdaderas” (Rasmussen, 2014, p. 60). Otro problema es el propuesto por Donald Davidson “la principal dificultad es encontrar una noción de hecho que explique algo” (Davidson, 1969, p. 748).

Una posible defensa de la VC es la correspondencia como isomorfismo entre los portadores de la verdad y los hechos debidamente analizados, pues esto evita asignar objetos extraños a frases como "el vaso está medio lleno", "el mal de" y "el actual presidente de Perú"; pero el punto de vista permanece comprometido con hechos lógicamente complejos y con objetos lógicos correspondientes a las constantes lógicas. Uno de sus críticos principales es Austin (1950), rechaza el enfoque del isomorfismo diciendo que un enunciado en su conjunto se correlaciona con un estado de cosas mediante convenciones lingüísticas arbitrarias sin reflejar la estructura interna de su correlativo (Visión, 2004). Se evita el problema de los hechos divertidos, pero se descuida la sistematización. Otras objeciones a la teoría de la correspondencia son; a) “El gran Hecho<sup>81</sup>” sostiene que la teoría de la correspondencia está en quiebra porque no puede evitar la consecuencia de que todas las oraciones verdaderas corresponden al mismo hecho y b) la teoría de la verdad sin acceso independiente a la realidad. Por un lado, los deflacionistas<sup>82</sup> y los teóricos de la identidad pueden ser, y suelen ser, realistas metafísicos mientras rechazan la teoría de la correspondencia. Al respecto David Marlam (1996) considera que el *desquotationalist*<sup>83</sup>:

no emplea abiertamente ningún aparato conceptual misterioso (predicados misteriosos), es decir, no emplea abiertamente recursos ontológicos o ideológicos misteriosos. Pero parece que sí emplea algún aparato gramatical bastante misterioso (cuantificadores y variables misteriosos) que hace que su propia definición de la verdad de la oración sea difícil de entender. Incluso se puede cuestionar si la definición es gramatical, si logra decir algo. Una definición de correspondencia, por exagerada que sea, es claramente inteligible en un nivel gramatical básico. ¿Podría ser razonable renunciar a una definición que sea al menos gramaticalmente inteligible en aras de una ensalada deflacionaria de símbolos de palabras? (David, 1996, p. 78)

Otros autores contemporáneos como Heck (2021) y Bacon (2019): el primero considera “abrazar la semántica del lenguaje natural y rechazar disquotation conceptual” (Heck,

---

<sup>81</sup> Véase *The Correspondence Theory of Truth* en Stanford Encyclopedia of Philosophy.

<sup>82</sup> Sostienen que las teorías de la correspondencia deben desinflarse; que sus nociones centrales, correspondencia y hecho (y sus parientes), no juegan un papel legítimo en una explicación adecuada de la verdad y pueden eliminarse sin pérdida.

<sup>83</sup> Disquotation significa destitución.

2021, p. 41). El segundo propone “una visión en la que hay varias relaciones lenguaje-mundo estrechamente relacionadas que desempeñan el papel de "expresión semántica", ninguna de las cuales es más central para la teorización semántica que otra” (Bacon, 2019, p. 1). Por lo tanto, hay una mayor propensión en aceptar a la semántica como campo de análisis en las teorías de la verdad.

Los otros críticos de la VC son los coherentistas, pragmatistas y la concepción semántica de la verdad de Tarski. Considero que Tarski apoya, sobre todo semánticamente a la concepción de la VC<sup>84</sup>, además Donald Davidson aplica la propuesta de Tarski a problemas de las ciencias naturales.

Para Tarski la verdad está al nivel del metalenguaje (nombre de la oración) y no en el lenguaje objeto, por ejemplo: “La nieve es blanca<sup>85</sup>” es verdad si y solo si la nieve es blanca<sup>86</sup>. Es importante diferenciar el estado de cosas<sup>87</sup> y el estado de hechos<sup>88</sup>. Tarski analiza sobre el estado de hechos, es decir acontecimientos y eventos. Considero que la teoría de Tarski es importante tanto para un correspondentista y un coherentista. Necesitamos que la oración sea verdadera y tener un bicondicional, además si el nombre y la oración, ambas se satisfacen, entonces se dice que es verdadera. Pero existe un problema fundamental en la visión de Tarski sobre la verdad, solo se usa para ciencias abstractas y no para ciencia naturales. Aunque Davidson lo quiso aplicar la teoría de Tarski aún no hay progreso en este campo.

El pluralismo alético en su forma contemporánea es una posición relativamente joven. Iniciado por Crispin Wright (1999) y luego fue desarrollado en una forma algo diferente por Lynch (2009). Por ejemplo, matar es moralmente incorrecto, pero hay entran a tallar varias cosas en diferentes espacios y tiempo como el dominio físico, biológico y ético. Estas son proposiciones mixtas como se podrían decir que son verdaderas. Una posible solución es considerar al *cerebro-cuántico*. Lo otro es que se interpretan los estados mentales como estados funcionales.

---

<sup>84</sup> Aunque el profesor Carlos Alvarado en su libro *Epistemología* considera que la teoría de Tarski “viene a ser una versión más sofisticada, por así decirlo de la teoría de la correspondencia” (Alvarado, 2005, p. 103). Pero el mismo Tarski no se compromete estrictamente con la teoría de la correspondencia.

<sup>85</sup> Lenguaje objeto.

<sup>86</sup> Metalenguaje.

<sup>87</sup> Multiplicar las cosas, es solo una convención. (Notas de clase del profesor Cristian Barturen)

<sup>88</sup> Es menos comprometido con el estado de cosas. (Notas de clase del profesor Cristian Barturen)

Finalmente considero que las teorías de la verdad deben basarse en el enfoque de los sistemas complejos, en situaciones “emergentes<sup>89</sup>” principalmente la teoría de la verdad por correspondencia (en todas sus versiones), que en la actualidad dominan tanto en ciencias naturales y sociales.

Finalmente, según, Markus Eronen,

el emergentismo se divide en emergentismo débil, diacrónico, estructural y sincrónico. [...] la única forma de emergentismo realmente significativa para la filosofía de la mente<sup>90</sup> es el emergentismo sincrónico. La característica definitoria del emergentismo sincrónico es la irreductibilidad, en el sentido de inanalizabilidad conductual o funcional. En la reseña histórica, el énfasis principal estaba en *The Mind and its Place in Nature*, de C. D. Broad, que es, con mucho, la obra más importante del viejo emergentismo. [...] el argumento del emergentismo del nuevo qualia. El argumento fue este: a) La reducción es explicativa solo cuando revela los mecanismos causales que cumplen el papel causal de la propiedad reducida, es decir, solo si sigue el modelo funcional de reducción, b. Las características esenciales de los qualia no son capturadas por sus roles causales, y c. Las propiedades que no pueden reducirse explicativamente son propiedades emergentes. Por tanto, los qualia son propiedades emergentes. Creo que este es un argumento bastante sólido. Quizás su punto más débil sea la premisa a, porque el modelo funcional es todavía bastante nuevo y solo uno de varios modelos de reducción diferentes. En los casos de la temperatura y el gen, el modelo funciona bien, pero ¿qué pasa con la reducción de, digamos, la economía o las ciencias sociales? ¿El modelo describe adecuadamente el proceso real de reducción en las ciencias? ¿Son sus otros modelos de reducción los que podrían llamarse explicativos?

### **4.3 Los sistemas complejos en ciencias sociales.**

Cambiar de metodología es importante para las ciencias sociales, principalmente si los modelos de la NSN en economía no predijeron la crisis del 2008 en los EE.UU. o por lo menos no dieron ninguna posibilidad e indicios de un remoto hundimiento económico a nivel global. Dichos cambios deberían ser que “en lugar de intentar encontrar un modelo analítico formal, con una solución formal para estos fenómenos complejos, la teoría de la

---

<sup>89</sup> Es el surgimiento de estructuras, patrones y propiedades nuevas y coherentes durante el proceso de autoorganización en los sistemas complejos. Además, la suma de las partes no da el todo, en contra de la posición aristotélica que el todo es la suma de las partes. Si aceptamos las situaciones de emergencia entonces la teoría de la VC caería por su propio peso y se extendería el análisis a otros campos nuevos de como encontrar la “verdad” de la verdad.

<sup>90</sup> También aplicable a la filosofía de la ciencias naturales y sociales, pues considero que los avances científicos empiezan con el problema de la filosofía de la mente. Principalmente el problema *mente-cerebro*.

complejidad busca patrones que se desarrollan cuando los procesos no lineales se repiten durante largos períodos de tiempo” (Colander, 2000, p. 3). Empezar el análisis económico partiendo del equilibrio estable<sup>91</sup> y único, era común en los medios académicos antes de la crisis económica del 2008 en EE.UU. También se considera que las variables a tratar son lineales o linealizables, dado que se ganaba velocidad y bajos costos computacionales.

Con los sistemas complejos se parte de desequilibrios que son base para propiedades emergentes que se forman entre los agentes heterogéneos. Además, los sistemas se comportan intrínsecamente de manera no lineal, trayendo consigo complejidad computacional<sup>92</sup> y dinámica<sup>93</sup>.

Entonces que leyes o patrones deben seguir los sistemas económicos complejos, estas son las:

leyes de probabilidad estadística. Se refieren a grandes grupos de actores y no pueden reducirse a leyes de actores individuales. La complejidad permite que aspectos de la realidad puedan surgir del azar y de la ley de los grandes números. Aunque los componentes individuales de un sistema complejo son caóticos e indeterministas, y el movimiento de los individuos dentro del cuerpo puede parecer aleatorio, la suma de las partes, el todo, puede ser determinista. Este determinismo estructural socava el desarrollo de una microfundación<sup>94</sup> deductiva del agregado. Significa que los compuestos de elementos de componentes más pequeños son indecomposables<sup>95</sup> y deben tratarse como una entidad separada y no como la suma de sus partes. A medida que los sistemas complejos evolucionan, pueden surgir nuevos patrones, y estos patrones pueden adquirir existencia y vida propias. (Colander, 2003, p. 3)

---

<sup>91</sup> Si se desestabiliza la economía existe la posibilidad que regrese a su estado estable original o a un nuevo estado estable

<sup>92</sup> Se generan algoritmos que se obtiene de manera recursiva, que tiene su origen en la máquina de Turing, donde aparece la complejidad computacional y, por lo tanto, los fenómenos económicos podrían ser computables mediante los Modelos Basados en Agentes (MBA). En macroeconomía y política económica los modelos basados en agentes heterogéneos son principalmente los modelos HANK. El mercado en economía es una compleja red de algoritmos muy bien estructurados y bajo los sistemas complejos hasta cierto punto predecible, pero no del todo.

<sup>93</sup> Se basa en situaciones de emergencia y auto-organización, pues cada situación nueva emerge de la interacción entre los agentes, en términos de la escuela austriaca son situaciones espontaneas. En el enfoque evolutivo contiene conceptos de la ecología, biología y la neurología.

<sup>94</sup> También se le denomina microfundamentación.

<sup>95</sup> Significa que es incapaz de descomponerse en partes. Ejemplo, en economía comúnmente se trata con variables agregadas, pero con los modelos (HANK) el todo no se puede descomponer en sus partes porque cada parte es totalmente distinto de los demás. Por lo tanto, los modelos dinámicos en economía no se pueden tratar como agregaciones en todas sus variables. En algebra abstracta hay una diferencia entre idencomponible e idenconposible, lo último es un caso particular del primero.

Con respecto al uso de las estadísticas y las probabilidades tienen ciertas críticas muy importantes que podría considerarse como los límites más apremiantes de la ciencia de la complejidad, es decir se debería proponer otro tipo de matemáticas propias de las ciencias de la complejidad, así como la teoría de juegos que son propias de la economía. ¿Pero qué tipo de matemáticas deberían ser? ¿Se deben crear nuevas estructuras algebraicas<sup>96</sup> para los sistemas complejos? O desarrollar lo máximo posible las herramientas estadísticas y probabilistas que tenemos y buscar extender el campo a las ciencias sociales.

Algunos autores consideran que la ciencia de la complejidad está mal definida y está queriendo ser la ciencia del todo (Horgan, 1995). Esto es imposible pues existe una consiliencia entre la ciencia de la complejidad y el teorema de incompletitud de Gödel<sup>97</sup>. Pues los sistemas complejos técnicamente son de origen matemático y probabilístico. Pero en ciencias sociales los sistemas complejos tienen sus propios fundamentos para las interacciones entre los agentes.

#### **4.3.1 Características de los sistemas complejos sociales.**

Según Martín Hilbert (2013) los rasgos más importantes de la complejidad son: a) conexión: relacionado al análisis de redes sociales, b) interdependientes: “Paisajes” adaptativos, c) diversidad: Entropía y variedad requerida, d) adaptación: Procesamiento de información, e) dependientes del camino: Bordeando el caos, f) emergente: modelos basados en agentes autónomos, no linealidad y multinivel.

#### **4.3.2 Breve origen de los sistemas complejos en economía**

Se puede encontrar rasgos importantes de fenómenos complejos en Adam Smith cuando nos dice que, en una economía competitiva, los individuos buscan sus propios beneficios, conducido por una *mano invisible*, a promover un fin que no formaba parte de su intención, frecuentemente fomentará el interés de la sociedad (Smith, 1776). Se entiende como los agentes interactúan unos con otros generando un fenómeno de emergencia que

---

<sup>96</sup> La Teoría de Grupos, anillos y cuerpos, sirven de gran ayuda en diferentes campos de la química, como: Teorías de enlace y mecánica cuántica, estructura molecular y propiedades físicas y espectroscopía.

<sup>97</sup> Si la ciencia de la complejidad explicaría todo, entonces habría contradicciones en sí mismo porque se determinaría que los fenómenos ya no son emergentes sino determinísticos, además Gödel demostró que cualquier conjunto de axiomas que podamos postular como base de las matemáticas será absolutamente incompleto pues ninguno de esos conjuntos de axiomas podría demostrar jamás su propia coherencia, por lo tanto, los sistemas complejos no podrían explicar todo.

sería el propio beneficio de los agentes sin desearlo implícitamente y con ello lograr el bienestar total de la sociedad. En Smith se combinan la moral, la jurisprudencia y lo económico. Si Smith hubiera aceptado la teoría económica como un fenómeno complejo sería mucho más preciso su análisis económico, aunque se dio cuenta que eso sucedía en la realidad, siguiendo el orden natural que predominaba en la filosofía de su época considero que todo sistema natural seguía un orden económico determinista. Por ello considero que, ante fenómenos emergentes como la coalición de empresarios para controlar los precios de los bienes, esto solo tendría un camino que la jurisprudencia debería solucionar. Es decir, las sanciones penales sería una posible solución ante fenómenos emergentes (control de precios) y con esto se lograría el equilibrio deseado en una economía. Otra cuestión son los llamados rendimientos crecientes<sup>98</sup> en economía que son muy problemáticos tratar hasta la actualidad.

El clérigo Tomas Malthus, considera que “el tema interesante para comprender la economía estaba en los procesos iterativos. Sus ideas sobre la población fueron centrales en el desarrollo de las ideas de Darwin, que tiene un estrecho vínculo con la perspectiva de la complejidad” (Colander, 2003, p. 37). Malthus es importante al menos en un punto en economía de la complejidad pues relaciona los sistemas evolutivos de selección natural en el proceso de la cantidad de alimentos que se producen linealmente y su relación con el crecimiento exponencial de la población, pronosticando que en algún momento la población excederá a la cantidad de alimentos y generaría hambruna y miseria.

Considero que no sería un sistema complejo la visión de Malthus pues existen otros factores que no tomo en cuenta al momento del análisis como la tecnología y la innovación que contradice su teoría de la población. Pues tomo los rendimientos decrecientes como base y dejo de lado los rendimientos crecientes que serían la tecnología y la innovación, que podrían explicar mejor la dinámica de la población y como impacta en la economía principalmente en los salarios de los trabajadores que serían también fuente de la pobreza. El problema de Malthus es considera que todo estudio económico sigue una lógica matemática bien estructurada, pues en este caso no habría desempleo.

---

<sup>98</sup> Se da técnicamente cuando multiplicamos por una constante  $k$  a la función de producción y luego se obtiene una cantidad mayor que la producción original. Sea  $k > 0$ ,  $f(kx_1, kx_2) > kf(x_1, x_2)$ . Por ejemplo, un caso de tecnología que presenta rendimientos crecientes a escala es un oleoducto.

El economista deductivo David Ricardo, si bien es cierto sistematizó y logró un rigor lógico a las propuestas de Smith no se relacionaría con los sistemas complejos porque dejó de lado lúgubre (para la época) teoría de los rendimientos crecientes para pasar a los rendimientos decrecientes que al final de cuentas fue el precursor de la productividad marginal de la escuela neoclásica. Además, fue el que insistió en la necesidad de buscar un equilibrio en un sistema económico, con lo que se aleja considerablemente de la complejidad económica.

El filósofo y economista John Stuart Mill, propuso una teoría más cercana a los fenómenos sociales y humanistas “trazó una distinción entre las leyes sociales de distribución y las leyes técnicas de producción. Con estas intuiciones se alejó de la teoría del valor trabajo, pero no la abandonó” (Colander, 2003, p. 38).

Considera que lo social y lo económico están íntimamente ligado. “Su enfoque en las leyes sociales de la distribución fue un avance importante en el reconocimiento de la complejidad de la economía” (Colander, 2003, p. 38). El problema fundamental es encajar en un mundo complejo a un hombre que se modela en un sistema simple. La cuestión es tratar al ser humano como un sistema complejo con modelos complejos como los MBA.

Carlos Marx se relaciona con la complejidad “no solo por su análisis formal, sino también por su análisis informal de la clase y su énfasis en que la racionalidad de los individuos está determinada por la situación social que los rodea” (Colander, 2003, p. 38). Pero tiene un problema que es la incapacidad que tiene para determinar que los sistemas sociales evolucionan y no puede haber últimos grados de relaciones sociales de producción o paraísos económicos, donde se garantizan todo el bienestar de la población.

Aunque para Martin Hilbert (2013), diferencias meramente cuantitativas más allá de cierto punto resultan en cambios cualitativos, se podrían encontrar fenómenos complejos en dicho análisis. Considero que el estudio crítico de Marx a la escuela clásica lo hace desde la base de la proto-complejidad, pero sus predicciones sobre como llegaría y terminaría en una sociedad comunista son muy discutibles.

León Walras propuso una teoría de equilibrio general donde había un subastador (llamado después) walrasiano<sup>99</sup>, dado su teoría altamente formal y matemática deja casi nada para el análisis complejo en economía, además de su no relación con lo social en economía.

El padre de la microeconomía Alfred Marshall, “rechazó cualquier especificación simple de equilibrio general y en la Nota 21 de Principios argumentó que el verdadero fundamento de la economía agregada se encontraba en la termodinámica, una idea que lo ubica claramente en la perspectiva de la complejidad” (Colander, 2003, p. 39).

El austriaco Friedrich von Hayek, consideraba que en los fenómenos económicos se daban situaciones de espontaneidad propia de la praxeología, esto se puede interpretar como fenómenos complejos en economía, aunque no hizo un desarrollo sistemático ni formal de los sistemas complejos dio grandes avances en la explicación de las interacciones sociales en economía. Hayek considera “que la “complejidad organizada” depende de la “manera en que los elementos individuales están conectados entre sí” al menos tanto como las propiedades individuales de los agentes en el sistema” (Colander, 2003, p. 40).

El padre de la macroeconomía moderna John Maynard Keynes esta más cercano de la llamada complejidad en economía pues su “cuestionamiento de la econometría, su énfasis en la no-ergodicidad de la economía y su trabajo sobre la probabilidad, todos pueden considerarse positivos desde una perspectiva de complejidad” (Colander, 2003, p. 40). Aunque en materia de política económica seguía un modelo estático simple, basado en algunas variables relevantes como el consumo la inversión y el gasto del gobierno, (todas ellas variables agregadas)<sup>100</sup>. Charles Babbage y John von Neumann, principalmente este último es el creador de la teoría de los autómatas y sistemas auto replicantes. Los autómatas pueden ser naturales como el sistema nervioso y los artificiales como las computadoras entonces concluimos que aquí empieza el núcleo de la teoría de la

---

<sup>99</sup> Cada agente calcula la demanda de un bien a cada precio aun subastador y luego esto sirve para fijar el precio de un bien, para asegurar que la oferta sea igual a la demanda total de todos los agentes.

<sup>100</sup> También tenemos a Emile Durkheim, propone que la corriente colectiva es el todo, pero cada una de las partes son solo una chispa que podría encender a todos, pero no siempre se puede lograr esto pues, la suma de las partes no es el todo. Por otro lado, tenemos a Jean-J. Rousseau considera que la suma de voluntades particulares es igual a la voluntad de todos, pero diferente a la voluntad general, esa es la idea de democracia de Rousseau.

complejidad, pero fue abandonado en ciencias sociales principalmente en economía hasta los inicios de 1970.

### **4.3.3 El Instituto Santa Fe y la complejidad en economía**

Fue Kenneth Arrow el iniciador de la academia de la complejidad en términos modernos pues propone a Brian Arthur que investigue la economía bajo otros métodos más generales para tratar los fenómenos económicos en un futuro. Se propone la dinámica no lineal, los procesos estocásticos no lineales, la computación basada en agentes y la propia teoría computacional. Esta nueva forma de hacer teoría económica

tiene sus raíces, por supuesto, en el pensamiento complejo tal como se desarrolló en la década de 1970 en grupos en Bruselas, Stuttgart y Ann Arbor. Y tiene sus raíces en el trabajo de investigadores individuales en universidades como Stanford y MIT. Pero en su forma económica actual, surgió en gran parte del trabajo en el Instituto Santa Fe. A fines de la década de 1980, un pequeño grupo de investigadores del naciente Instituto Santa Fe comenzó a considerar sistemáticamente la economía como un sistema complejo en evolución. (Arthur, 2014, p. x)

Los economistas que eligió Arrow para su proyecto fueron Larry Summers, Tom Sargent, José Sheinkman y William (Buz) Brock. Y en los que eligió Phil Anderson estaban John Holland, David Ruelle, Stuart Kauffman y David Pines. La discusión se centraba básicamente en la linealidad de las variables económicas y la estabilidad de la economía. Se propuso la teoría del caos como eje central de análisis en la teoría económica, pero no se prestó mucha importancia, pero Arthur propuso algo que dominaba muy bien los llamados rendimientos crecientes que autores anteriores no lo terminaron de estudiar bajo el enfoque de los sistemas complejos. Arthur propone el problema del Farol:

Había música irlandesa los jueves por la noche y si el bar no estaba demasiado lleno era agradable, si el bar estaba lleno, mucho menos. Se me ocurrió que, si todos pronosticaban que muchos vendrían en una noche determinada, no vendrían, negando ese pronóstico; y si todos predijeran que vendrían pocos, vendrían, negando también ese pronóstico. Los pronósticos racionales, las expectativas racionales, serían auto-negables. No había forma de formar expectativas racionales que funcionaran adecuadamente. (Arthur, 2014, p. xvi)

Dicho artículo paso desapercibido pues casi ningún economista lo uso para explicar fenómenos económicos, pero los “los físicos Damien Challet y Yi-Cheng Zhang de la Universidad de Friburgo introdujeron una versión del problema basada en la teoría de juegos como el juego de las minorías” (Arthur, 2014, p. xvi).

#### **4.3.4 Formación de la economía de la complejidad bajo la tecnología**

Según Arthur se puede formar un algoritmo para la formación de la economía:

1. Aparece una nueva tecnología. Se crea a partir de determinados existentes y entra en la colección activa como elemento novedoso.
2. El nuevo elemento está disponible para reemplazar tecnologías y componentes existentes en tecnologías existentes.
3. El elemento novedoso establece más "necesidades" o nichos de oportunidades para tecnologías de apoyo y arreglos organizativos.
4. Si las viejas tecnologías desplazadas se desvanecen del colectivo, se eliminan sus necesidades auxiliares. Los nichos de oportunidad que brindan desaparecen con ellos, y los elementos que a su vez los llenan pueden volverse inactivos.
5. El elemento novedoso pasa a estar disponible como un componente potencial en tecnologías adicionales, elementos adicionales.
6. La economía, el patrón de bienes y servicios producidos y consumidos, se reajusta a estos pasos. Los costes y los precios (y, por tanto, los incentivos para las nuevas tecnologías) cambian en consecuencia. (Arthur, 2014, p. 19)

Con estas seis proposiciones considera que se forma una parte de la economía capitalista, iniciado por la maquina a vapor, pasando por la locomotora de ferrocarril hasta determinar los precios e incentivos de la economía. Esto tiene una pequeña acotación y ¿cómo se crea en nuestras mentes estas tecnologías? Por necesidad. Entonces la necesidad entre agentes crearía la tecnología para dar paso a fenómenos complejos de creación y producción de bienes y servicios en la economía. Por ello se explica también que de estas situaciones de emergencia aparecen las propias teorías que puedan explicar también estos fenómenos complejos de la producción. Por lo tanto, el cambio en economía “es parte en gran medida de un cambio más amplio en la ciencia misma. Todas las ciencias son cada vez más procedimentales, más algorítmicas, más turingescas; y menos basada en ecuaciones, menos continua, menos newtoniana que antes” (Arthur, 2014, p. 25). Para Brian Arthur (2021) en su artículo *Foundations of complexity economics* considera que en la escuela neoclásica los agentes actúan como robots diseñados para realizar una acción específica sin posibilidad a realizar otras acciones, mientras que para los sistemas complejos los agentes interaccionan de manera evolutiva, aprenden de su pasado y se adaptan al medio donde residen.

#### **4.3.5 La complejidad y la política económica**

Lo que importa es “cultivar” instituciones mas no controlar la economía ni intervenir cuando esta le va mal. Si se cumple dicha condición los agentes interactúan y se forman

fenómenos emergentes, como lo mencionado líneas arriba con la aparición de la maquina a vapor y sus consecuencias. Pero Richard H. Thaler and Cass R. Sunstein consideran que

el paternalismo libertario, un enfoque que preserva la libertad de elección pero que autoriza a las instituciones públicas y privadas a orientar a las personas en direcciones que promoverán su bienestar. Es probable que se produzca algún tipo de paternalismo siempre que tales instituciones establezcan acuerdos que prevalecerán a menos que las personas decidan afirmativamente lo contrario. En estas circunstancias, el objetivo debe ser evitar efectos aleatorios, arbitrarios o dañinos y producir una situación que pueda promover el bienestar de las personas, adecuadamente definida. (Thaler & Sunstein, 2000, p. 179)

¿funcionaria los sistemas complejos con el paternalismo libertario? Un primer paso sería “cultivar” instituciones. Solo en ese caso sería aplicable a los sistemas complejos. Pero las instituciones se crean en la interacción de agentes. Mas no como un todo centralizado que controla toda la economía. Por ejemplo, Cajamarca es la ciudad con menos delincuencia en el Perú, pues sus “instituciones” emanan de la interacción de sus agentes y con ello resuelven sus problemas internos. Micro conductas para macro conductas.

Según Cockshott y Nieto (2017) consideran que los riesgos que corre la política económica basado en el comunismo y el capitalismo a ultranza, serian que en la actualidad (me refiero al primero) se está creando un campo denominado ciber-comunismo, pues las nuevas tecnologías de la información permiten acumular información, procesarla y computarla, por lo tanto, el comunismo sería posible de manera cibernética.

La teoría de la complejidad hace que la planificación sea casi imposible de aplicarse a la economía. Aunque estos argumentos serian posiblemente hayekianos<sup>101</sup>, considero que no es necesario poner límites a estas posturas teóricas, pues en situaciones de emergencia puede darse la posibilidad muy remota, pero se puede dar que la economía se vuelva más humana y se genere bienestar para la mayoría, es decir el socialismo, el comunismo y el capitalismo sería simplemente casos particulares de los fenómenos complejos que se pueden generar a lo largo de la historia.

---

<sup>101</sup> La imposibilidad del socialismo se asemeja al teorema de incompletitud de Gödel. Aunque epistemológicamente es viable, pero tengo mis serias dudas en considerar que una propiedad matemática se pueda aplicar a sistemas sociales completos como el socialismo. Si se entiende como que bajo ciertos axiomas se puede construir un edificio matemático sólido y resolver todos los problemas matemáticos con sus propios axiomas, pues esto es imposible según Gödel. Análogamente tampoco podría construirse un socialismo que su funcionamiento sea eterno e inmutable en el tiempo.

#### 4.4 Una posible aplicación matemática de MBA<sup>102</sup> en sistemas complejos sociales

En este caso proponemos en economía de la complejidad, el aprendizaje de modelos de ecuaciones diferenciales a partir de simulaciones de modelos estocásticos basados en agentes.

Los modelos que se podrían aplicar según su complejidad computacional y estocasticidad serían la simulación extensa de Monte Carlo o modelos de ecuaciones diferenciales de grano grueso, para predecir el resultado esperado o promedio del modelo basado en agentes.

Sin embargo, ambos enfoques tienen limitaciones, ya que el cálculo extenso de modelos complejos basados en agentes puede ser inviable y los modelos de ecuaciones diferenciales de grano grueso pueden fallar en describir con precisión la dinámica del modelo en ciertos regímenes de parámetros.

Proponemos que los métodos del campo del aprendizaje de ecuaciones proporcionan un enfoque prometedor, novedoso y unificador para el análisis de modelos basados en agentes. El aprendizaje de ecuaciones es un campo de investigación reciente de la ciencia de datos que tiene como objetivo inferir modelos de ecuaciones diferenciales directamente a partir de los datos. Usamos este tutorial para revisar cómo se pueden usar los métodos de aprendizaje de ecuaciones para aprender modelos de ecuaciones diferenciales a partir de simulaciones de modelos basados en agentes.

Demostremos que este marco es fácil de usar, requiere pocas simulaciones de modelos y predice con precisión la dinámica del modelo en regiones de parámetros donde los modelos de ecuaciones diferenciales de grano grueso no lo hacen. Destacamos estas ventajas a través de varios estudios de caso que involucran dos modelos basados en agentes que son ampliamente aplicables a los fenómenos biológicos: un modelo de nacimiento-muerte-migración comúnmente usado para explorar experimentos de biología celular y un modelo susceptible-infectado-recuperado de propagación de enfermedades infecciosas. (Nardini, Baker, Simpson, & Flores, 2021, p. 1)

Los modelos de aprendizaje en biología y economía tienen recientes avances en materia teórica y aplicada. A partir de los datos que tenemos se obtiene una ecuación diferencial

---

<sup>102</sup> Una posible definición es que los MBA son las diferentes formas de computabilidad, modelación y simulación de los comportamientos e interacciones de los individuos cuando las organizaciones son heterogéneas. Lo que se busca es deducir patrones que emergen de comportamientos regulares que se dan en un conjunto determinado. Los ABM tienen sus orígenes en la década de 1950 pero se hizo más aplicable con los avances computacionales a partir de los años 90 del siglo pasado.

que replique mejor la realidad y realice predicciones más certeras que los modelos de simulación Montecarlo y modelo de agente de grano grueso.

En economía tendría muchas aplicaciones como tratar nacimiento-muerte-migración en el mundo empresarial, es decir creación y destrucción de las empresas en sentido de Joseph Alois Schumpeter. Además, se pueden aplicar a los modelos de agentes heterogéneos en macroeconomía considerando que las economías son susceptibles a crisis económicas como la del 2008 en EE.UU. y esté afecta a otras economías como la nuestra (Perú), para luego recuperarse de la propagación de la crisis, es decir antes de que estalle la crisis ya se estaría recuperando la economía sin llegar al fondo de la crisis.

Las políticas económicas tanto fiscales como monetarias también podrían tener asidero con el modelo de aprendizaje con ecuaciones diferenciales.

Un método alternativo para predecir el comportamiento emergente de un ABM consiste en derivar modelos de ecuaciones diferenciales (DE) para aproximar la salida de ABM. Pero

cada ABM tiene una ecuación maestra que se puede derivar directamente de las reglas del modelo. Hay muchos enfoques para simplificar esta ecuación maestra y aproximar su dinámica con modelos DE más manejables. Las aproximaciones de modelos DE más comúnmente utilizadas para ABM son modelos de campo medio ... También son posibles formulaciones alternativas a los modelos de campo medio, ... Los modelos de campo medio describen la evolución de la densidad de población a lo largo del tiempo (y posiblemente el espacio) y pueden derivarse aproximando las interacciones agente-agente con densidades de agentes promediadas localmente. (Nardini, Baker, Simpson, & Flores, 2021, p. 2)

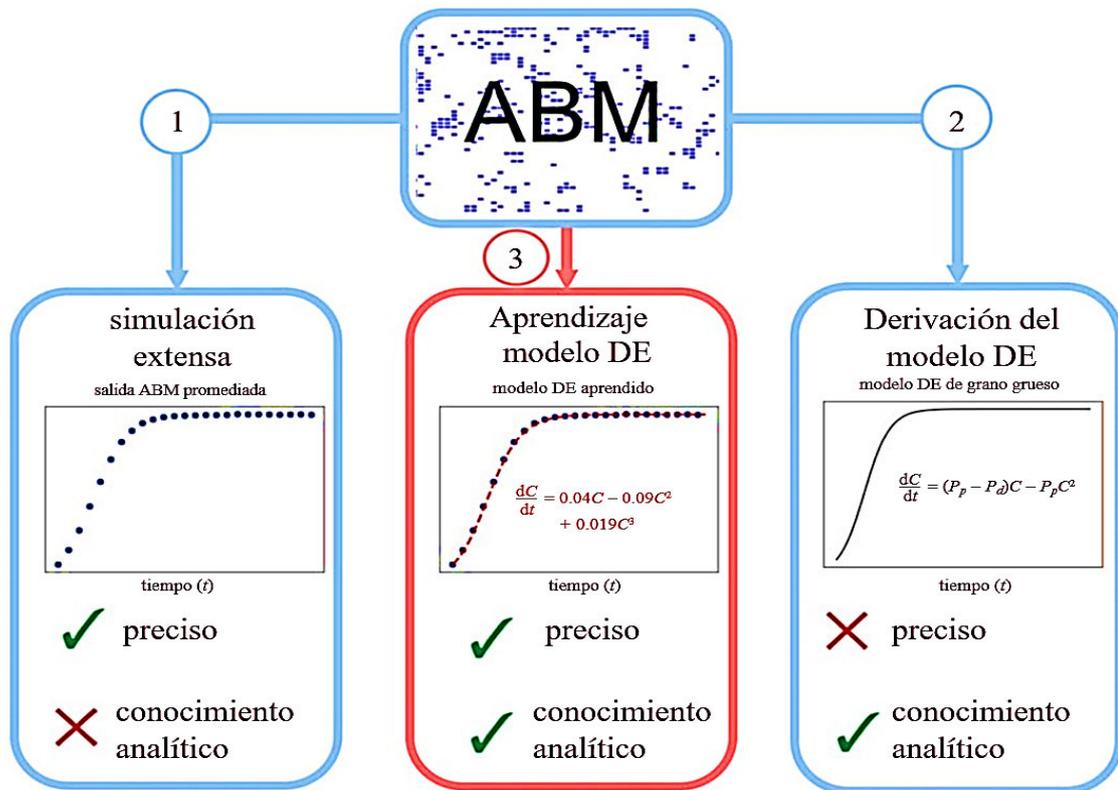
En ABM y aplicaciones prácticas en política económica tenemos los modelos:

DE de campo medio a menudo son fáciles de resolver (ya sea analítica o numéricamente), por lo que brindan una alternativa ventajosa a la simulación extensa del ABM. Además, estos modelos DE son aptos para técnicas analíticas (incluyendo bifurcación, onda viajera, análisis de perturbaciones), que pueden usarse para predecir cómo cambiará la salida de ABM en respuesta a variaciones en los valores de los parámetros. (Nardini, Baker, Simpson, & Flores, 2021, p. 2)

Analizando las ventajas de los modelos de simulación Monte Carlo o de grano grueso comparado con nuestro modelo de aprendizaje con ecuaciones diferenciales tenemos el siguiente grafico:

**Figura 11**

*Comparaciones de tres modelos basado en agentes*



*Nota.* Tomado de Nardini, J., Baker, R., Simpson, M., & Flores, K. (2021) en su artículo, *Learning differential equation models from stochastic agent-based model simulations*.

Analizando el cuadro podemos considerar que en primera instancia los modelos de simulación extensa tienen una salida ABM promediada y el de derivación del modelo DE no hay precisión en la predicción en muchos regímenes de parámetros. Por lo tanto, los modelos DE se puede aprender de los datos que tenemos, utilizando técnicas de aprendizaje de ecuaciones<sup>103</sup>.

El aprendizaje de ecuaciones (EQL) tiene como objetivo inferir el modelo de sistemas dinámicos que mejor describe un conjunto determinado de datos (Brunton, Proctor, & Kutz, 2016). En términos cuantitativos se pueden recuperar con precisión modelos DE a partir de datos ruidosos simulados artificialmente de modelos DE. En la actualidad puede usarse para ayudar en el desarrollo de modelos DE para aproximar la dinámica de ABM en sistemas complejos.

<sup>103</sup> Son estocásticos y discretos.

Los ABM y su aplicación a las ciencias sociales principalmente a la macroeconomía es decir a las políticas económicas de un país tienen las siguientes características:

a) Agentes con sus percepciones y capacidad de toma de decisiones ... b) Los agentes ambientales se encuentran a menudo en un entorno en el que interactúan con otros y donde estas interacciones afectan su acción y también el entorno mismo. c) Reglas y acciones. Por ejemplo, la teoría del umbral de Granovetter ... las personas siguen una norma siempre que un cierto umbral de personas en su vecindario la sigan ... d) Estructura macro. La ... transición de micro a macro permite que ABM sea una poderosa herramienta explicativa. Al ajustar los parámetros en el nivel micro, se puede examinar el efecto del nivel macro. (Steinbacher, Raddant, & Karimi, 2021, pp. 3-4)

Con respecto a la crisis financiera del 2008 en EE.UU. es un fenómeno eminentemente complejo “su dinámica es difícil de predecir debido a la interconexión e interdependencia de sus partes que dan lugar a no linealidades, puntos de inflexión, ciclos de adaptación y retroalimentación (...) ABM (...) los agentes son racionales limitados, interactuantes y heterogéneos” (Steinbacher, Raddant, & Karimi, 2021, p. 10). Autores como Pellizzari y Westerhoff (2009), Ladley (2015) y Kovaleva & Iori (2015) hicieron diversas aplicaciones y se considera que “los MBA han sido útiles no solo para identificar los mecanismos que conducen a inestabilidades en los mercados financieros, sino también para evaluar políticas diseñadas para mitigarlos” (Steinbacher, Raddant, & Karimi, 2021, p. 10).

Aunque los MBA tienen sus límites, en la actualidad se ha avanzado bastante en la computabilidad, y simulación. La computación Bayesiana Aproximada, la simulación Monte Carlo, la simulación de grano grueso y los DE con aprendizaje mediante los datos son muy prometedores en su aplicación a las ciencias sociales principalmente a la economía, existen pocos trabajos sobre el tema. La cuestión es cambiar de metodología, epistemología y la ontología para entender los fenómenos complejos en economía.

## CONCLUSIONES

En esta investigación, se ha tratado el problema de los modelos EGDE y la NEC desde la posición crítica de la epistemología y la metodología de la economía. Desde tal posición crítica, se indicó que dichos modelos toman como referencia a la epistemología de las ciencias naturales, con el fin de aplicarla a las ciencias sociales, a pesar de que Popper realizó un análisis crítico sobre los pronaturalistas y los antinaturalistas en las ciencias sociales. También, se señaló la crítica de Kuhn a Popper y la visión lakatosiana de la economía. Asimismo, vimos la crítica de Lucas a la metodología de la macroeconomía aplicando las expectativas racionales, y que no muestran avances en los grados de predicción de los fenómenos macroeconómicos. Además, se explicó que las teorías económicas, antes de la Nueva Economía Clásica (NEC), no tomaban en cuenta, en su metodología, los aspectos microeconómicos en la macroeconomía. Justamente, esto último tiene problemas graves, porque, bajo este fundamento, no se logró predecir la crisis económica en EE.UU. del año 2008. Por otro lado, se manifestó que, cuando se aplica el modelo EGDE como base para la escuela de la NSN, tampoco rinde frutos importantes para los problemas de crisis económicas. De igual forma, se insistió que, para la Escuela austriaca, los seres humanos, en el ámbito de sus acciones, no son simples receptores y perfectas máquinas de cálculo y optimización. Proponemos que las políticas económicas de los gobiernos tomen un nuevo rumbo con respecto a su metodología para replicar, predecir los fenómenos económicos, tomando como base la teoría de los sistemas complejos. Aunque se admite la posibilidad que los modelos EGDE estén basados en la teoría del caos, como soporte teórico y epistémico. Por lo tanto, bajo la crítica realizada a la ortodoxia y heterodoxia en economía, proponemos la metodología de los sistemas complejos y la teoría del caos para resolver los problemas antes planteados. A modo de ejemplo, el fenómeno de la hiperinflación, que en una economía afecta la estabilidad económica, desde la propuesta aquí defendida, podría ser modificado en sus parámetros y sacarlo de su estado caótico para volverlo estable en un determinado periodo, y así, sucesivamente. En general, esta propuesta concibe que los individuos y las sociedades podrían modelarse bajo la teoría de los sistemas complejos como; la bifurcación, los fractales y la teoría del caos.

Con respecto a los problemas de la predicción sostenemos las siguientes conclusiones: a) hay que tener en cuenta que, para realizar simulaciones de los modelos EGDE, primero tendríamos que generar algoritmos que obtienen clústeres de segmentos de trayectorias

de manera dinámica para incorporarlos en los modelos EGDE, b) la pobreza debe ser tratada como sistema complejo, no con modelos o situaciones aisladas como los mostrados por Esther Duflo y Abhijit Banerjee. Además, los modelos EGDE no están en una base firme con respecto a los datos que usan y la forma cómo se usan, de manera restrictiva, basados solo en la estadística matemática, c) la macroeconomía bajo enfoques bayesianos y no bayesianos, además de la econofísica, no toman en cuenta el problema de la "teoría de la cognición de codificación predictiva" o procesamiento predictivo, y d) muchos modelos y teorías de la predicción caen en lo que llamo "predicción científica miope". Es decir, tratan solo los problemas de los fenómenos económicos en  $n$  dimensiones (normalmente para  $n = 1,2,3,4$ ). Una posible solución sería extender el ámbito a un sistema complejo de infinitas dimensiones. Según la MPIC de Lakatos, un programa de investigación es progresivo si cada cambio de problema mejora el rendimiento predictivo del modelo, por lo tanto, los modelos deben tener un proceso evolutivo. Considero a esto un modelo MPIC ingenuo, porque no incorpora los problemas de la teoría de la cognición de codificación predictiva ni los sistemas complejos.

Si tomamos en cuenta los sistemas complejos nos preguntamos cual es la naturaleza de los objetos matemáticos en los modelos EGDE y el problema mente-cerebro. La pregunta surge inmediatamente ¿cómo podemos afirmar según el platonismo que los objetos matemáticos existen independientemente? Solo conocemos que nuestra compleja maquinaria de miles de millones de neuronas se comunica entre ellos. Esto demuestra que no podemos afirmar que hay conocimiento absoluto de los objetos matemáticos, pero considero que todo conocimiento es evolutivo por lo tanto si habrá posibilidad conforme pase el tiempo de conocer con mayor certeza. Mientras tanto, el estructuralismo no eliminativo considera que solo la esencia de los números son solo las relaciones entre ellos. Pero la vertiente eliminativa considera que la objetividad de las matemáticas no tiene que estar respaldada necesariamente por la existencia propia de los objetos matemáticos. Por lo tanto, el acto de conocer implica que debe haber un isomorfismo entre el platonismo y la relación *mente-cerebro*, pero lo último está todavía en desarrollo y lo primero es solo una afirmación a priori. En consecuencia, considero como caso particular del platonismo al estructuralismo. Los objetos de la matemática pura y la física teórica son epistemológicamente a la par. Sostengo que, dicha correspondencia entre ambos tendría como puente de conexión que es la relación epistémica *mente-cerebro*,

pero este es incapaz de explicar todo lo que realmente se puede conocer, entonces nuestro cerebro lógico puede formar muchas ideas con objetos matemáticos pero la esencia del asunto no se puede conocer. Pasamos de una existencia propia de los objetos matemáticos para terminar generando estructuras matemáticas. Pero como dijimos no podemos conocerlo totalmente porque el cerebro no está desarrollado para hacerlo, eso no quiere decir que no exista, solo que tiene límites. En consecuencia, los modelos EGDE tienen límites serios para poder replicar la realidad, bajo los fundamentos de la naturaleza de los objetos matemáticos y los problemas que existen entre la mente y el cerebro. Una posible conexión con del problema mente-cerebro sería con la teoría de probabilidades de Kolgomorov que tiene como fundamento los modelos (EGDE) y busca explicar que solo debe existir un equilibrio en la economía, no genera buenos resultados de predicción, como es el caso de la crisis económica en EE. UU. 2008. La teoría de elección con preferencias difusas siguiendo la Regla de Orlovsky nos brindan un buen acierto en la toma de decisiones del consumidor, este análisis es básico para poder encontrar múltiples equilibrios en la economía. Pues la lógica difusa representa mejor los resultados de predicción como los de tipo-1, tipo-2 y tipo-3. La lógica difusa de tipo-1, con solo utilizar operadores como NOT, AND y OR, los resultados que se obtendrían nos dirían que la crisis se dará en un 70 por ciento, pues su valor de veracidad es de 0.7. La difusa de tipo-2, Takagi-Sugeno, nos daría un promedio de las ponderaciones de todas las situaciones que podrían ocurrir. Lo importante es que nos da un conjunto de ecuaciones lineales, cada una representando lo que podría ocurrir en una crisis dados el conjunto de entrada, de esa manera poder estimar y predecir la crisis económica. La lógica difusa de tipo-3. La difusificación, nos puede decir cuando una economía de debe disminuir la regulación, mantenerla o aumentarla. La desdifusificación, nos dice que hay por lo menos un primer máximo y un último máximo, para lograr el bienestar de la población. En conclusión, la lógica difusa de los tres tipos puede explicar y predecir mejor las crisis económicas.

Por otro lado con respecto a los modelos EGDE tenemos que tener en cuenta otras críticas como: a) Para realizar simulaciones de los modelos EGDE, primero tendríamos que generar algoritmos que obtienen clústeres de segmentos de trayectorias de manera dinámica para incorporarlos en los modelos EGDE, b) Los modelos EGDE no están en una base firme con respecto a los datos que usan y la forma cómo se usan, de manera restrictiva, basados solo en la estadística matemática, c) La macroeconometría bajo enfoques bayesianos y no bayesianos, además de la econofísica, no toman en cuenta el

problema de la "teoría de la cognición de codificación predictiva" o procesamiento predictivo, d) Muchos modelos y teorías de la predicción caen en lo que llamo "predicción científica miope". Es decir, tratan solo los problemas de los fenómenos económicos en  $n$  dimensiones (normalmente para  $n = 1,2,3,4$ ). Una posible solución sería extender el ámbito a un sistema complejo de infinitas dimensiones, e) considerar que todos los agentes tienen las mismas características de consumo y producción incluido el gobierno es un total despropósito intelectual. Por ello los modelos HANK son una posible alternativa en términos cuantitativos hacia algo más general que son los MBA, f) Por último, falta integrar los algoritmos de predicción en los MBA para lograr hasta cierto punto un avance importante en las ciencias sociales.

Los modelos HANK, RANK y MBA tienen un problema con respecto a la teoría de la verdad por correspondencia, pues considero los siguientes puntos relevantes en la crítica a la metodología en economía: a) La Escuela de Bourbaki, tuvo como representante a Gerard Debreu, que axiomatizó la existencia de un punto de equilibrio en una economía perfectamente competitiva, b) Dados los modelos matemáticos altamente formales esto es verdad si se corresponde con hechos económicos (es decir replican la realidad lo más próximo posible, claro usando los datos y procesándolos), c) Debreu no considera que se tienen que crear modelos abstractos y luego corresponderlos con la realidad, sino más bien la matemática es un lenguaje, una forma de entender los fenómenos económicos de manera precisa, clara y poder a partir de ahí sacar conclusiones importantes en teoría económica, d) Pero según el teorema de Sonnenschein-Mantel-Debreu, manifiesta que la realidad no parte necesariamente de un equilibrio, se puede partir de diversas situaciones que pueden dar diversos equilibrios y no necesariamente un único equilibrio, e) Las teorías semánticas de la verdad, a su vez, proporcionan a uno las herramientas teóricas necesarias para investigar modelos de teorías axiomáticas de la verdad y con motivaciones para ciertas teorías axiomáticas, f) Considero que las matemáticas son el lenguaje preciso, claro y riguroso con lo cual se puede establecer teorías económicas más robustas y aplicadas a la realidad económica, g) Los axiomas y teoremas junto con los datos procesados a tiempo real tienen que ir de la mano en un mismo sentido y tienen que ser modificadas ante nuevas situaciones emergentes propias de las interacciones entre los agentes.

Nuestra propuesta es aplicar una nueva metodología en economía como los sistemas complejos y su principal herramienta los MBA con aprendizaje. Se ha mostrado

comparativamente tres casos; a) simulación extensa, que es la forma tradicional de hacer simulación de variables a tiempo real, donde se logra precisión pero no hay un amplio conocimiento analítico de los fenómenos económicos, b) derivación del modelo DE de grano grueso, donde no hay precisión pero si un amplio conocimiento analítico de los fenómenos económicos, y c) el modelo de aprendizaje DE, donde se logra precisión y un amplio conocimiento analítico de los fenómenos económicos. Por lo tanto es un aporte a las ciencias económicas y un cambio metodológico en el quehacer de los bancos centrales, con lo cual superamos las críticas a los modelos económicos ortodoxos en la teoría económica actual.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abhyankar, S. (1969). *Resolution of singularities of algebraic surfaces*. Oxford University Press.
- Achdou, Y., Cardaliaguet, P., Delarue, F., Porretta, A. & Santambrogio, F. (2020). *Mean Field Games*. Springer.
- Agassi, J. (2014). *Popper and his popular critics: Thomas Kuhn, Paul Feyerabend and Imre Lakatos*. Springer.
- Alvarado, C. (2005). *Epistemología*. Mantaro.
- Attanasio, O. (2015). Frank Ramsey's a mathematical theory of saving. *The Economic Journal*, Doi: 10.1111/ecoj.12229
- Argandoña, A., Gamez, C. & Mochon, F. (1996). *Macroeconomía avanzada I*. McGraw-Hill.
- Arthur, W. (2021). Foundations of complexity economics. *Nature Reviews Physics*. <https://doi.org/10.1038/s42254-020-00273-3>
- Arthur, W. (2014). *Complexity and the Economy*. Oxford University Press.
- Bacon, A. (2019). Radical Anti-Disquotationalism. [https://andrew-bacon.github.io/papers/Radical%20 Anti-Disquotationalism.pdf](https://andrew-bacon.github.io/papers/Radical%20Anti-Disquotationalism.pdf)
- Banerjee, A. & Duflo, E. (2011). *Poor Economics. A Radical Rethinking of the Way to Fight Global Poverty*. Public Affairs.
- Barrow, J. D. (2010). *100 essential things you didn't know you didn't know: math explains your world*. W. W. Norton & Company.
- Beall, C. & Restall, G. (2006). *Logical Pluralism*. Oxford University Press.
- Bunge, M. (1997). *Causalidad: El principio de la causalidad en la ciencia moderna*. Editorial Sudamericana.
- Blanchard, O. (2016). ¿Tienen futuro los modelos DSGE? *Revista de Economía Institucional*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rei/v18n35/v18n35a02.pdf>

- Blanchard, O. & Johnson, D. (2013). *Macroeconomics*. 6th Edition. Pearson.
- Blaug, M. (1985). *La metodología de la economía o cómo explican los economistas*. Alianza Editorial.
- Bedau, W. (1997). Weak emergence. *Philosophical Perspectives*.  
<https://doi.org/10.1111/0029-4624.31.s11.17>
- Boland, L. (2016). Philosophy of Economics versus Methodology of Economics. *Studia Metodologiczne*. DOI: 10.14746/sm.2016.36.1
- Boumans, M. (2005a). *How economists model the world into numbers*. Routledge.
- Boumans, M. (1999b). Built-In Justification. *Models as mediators*.  
 doi:10.1017/cbo9780511660108.005
- Brunton, S., Proctor, J. & Kutz, J. (2016). Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517384113>
- Cabrera Crot, L. E. (2016). *Búsqueda dinámica de patrones sobre trayectorias* [Tesis para optar el grado académico de Magíster en Ciencias de la Computación]. Universidad del Bío-Bío. Facultad de Ciencias Empresariales. Departamento de Sistemas de Información.  
[http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1765/1/Cabrera\\_Crot\\_Luis\\_E\\_milio-.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1765/1/Cabrera_Crot_Luis_E_milio-.pdf)
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press.
- Castillo, O., Melin P., & Kacprzyk J. (2020). *Intuitionistic and Type-2 Fuzzy Logic Enhancements in Neural and Optimization Algorithms: Theory and Applications*. Springer.
- Cepeda-Negrete, J. (2011). *Modelado de Sistemas Difusos de Múltiples Entradas y Salidas*. (Tesis de Licenciatura. Universidad de Guanajuato). Recuperado de <https://www.aacademica.org/jcepedanegrete/7.pdf>
- Colander, D. (2003). *Complexity and the history of economic thought: Perspectives on the history of economic thought*. Routledge.

- Cockshott, P., & Nieto, M. (2017). *Ciber-comunismo: Planificación económica, computadoras y democracia*. Editorial Trotta.
- Chalmers, D. J. (2006). Strong and Weak Emergence. In P. Davies & P. Clayton (eds.), *The Re-Emergence of Emergence: The Emergentist Hypothesis From Science to Religion*. Oxford University Press.
- Chakraborti, A., Toke, I., Patriarca, M. & Abergel, F. (2010). Econophysics: Empirical facts and agent-based models. *Quantitative Finance*. <https://arxiv.org/abs/0909.1974>
- Chakraborty, S. (2021). Scientific Conjectures and the Growth of Knowledge. *J. Indian Counc. Philos.* <https://doi.org/10.1007/s40961-021-00231-z>
- Chaparro, G. & Escot, L. (2014). El control de sistemas dinámicos caóticos en economía: aplicación a un modelo de hiperinflación. *Finanz. polit. econ.* <http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2015.7.1.7>
- Churchland, P. (1981). Eliminative Materialism and the Propositional Attitudes. *The Journal of Philosophy*. <https://doi.org/10.2307/2025900>
- Cohen, D. I. A. (1991). The superfluous paradigm. In J. Johnson and M. J. Loomes (Eds.), *The Mathematical Revolution Inspired by Computing*. Oxford University Press.
- Chen, S., H., Kaboudan, M., & Du, Y., R. (2018). *The oxford handbook of computational economics and finance*. Oxford University Press.
- Da Silva, J. (2007). *Filosofías da matemática*. Editora UNESP.
- David, M. (1996). *Correspondence and disquotaton: An essay on the nature of truth*. Oxford University Press.
- Davidson, D. (1969). True to the Facts. *Journal of Philosophy*. <https://doi.org/10.2307/2023778>
- D'Alessandro, M. (2013). Contribuciones críticas a la epistemología de la economía. Indagación a los fundamentos filosóficos de la ciencia económica. (Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires.) Recuperado

de [http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tesis/1501-1225\\_DAlessandroMM.pdf](http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/tesis/1501-1225_DAlessandroMM.pdf)

- Debortoli, D., & Galí, J. (2018). Monetary Policy with Heterogeneous Agents: Insights from TANK models. *Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra Economics Working Papers*. [https://crei.cat/wp-content/uploads/2020/05/dg\\_tank\\_july2018-1.pdf](https://crei.cat/wp-content/uploads/2020/05/dg_tank_july2018-1.pdf)
- Díaz, R. (2006). *La elección del individuo*. (Tesis de maestría. PUCP). Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/590>
- Dimitrakos, T. (2020a). Scientific Mind and Objective World: Thomas Kuhn Between Naturalism and Apriorism. *Erkenn*. <https://doi.org/10.1007/s10670-018-0025-5>
- Dimitrakos, T. (2020b). Reconstructing rational reconstructions: on Lakatos's account on the relation between history and philosophy of science. *European Journal for Philosophy of Science*. <https://doi.org/10.1007/s13194-020-00293-x>
- Durkheim, É. (1988). *Las reglas del método sociológico y otros escritos sobre filosofía de las Ciencias Sociales*. Alianza Editorial.
- Eronen, M. (2004). Emergence in the philosophy of mind. (Tesis de Maestría. Departamento de Filosofía de la Universidad de Helsinki). <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/19580/emergenc.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Fernández-Villaverde, J. (2010). The Econometrics of DSGE Models. *SERIEs*. <https://doi.org/10.1007/s13209-009-0014-7>
- Feynman, Richard P. (2000), *Feynman Lectures on Computation*. Westview Press Inc.
- Febrero, R. (1995). Lucas y el galardón a las expectativas racionales: Una nota. Documento de trabajo 9515. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Complutense de Madrid.
- Friedman, M. (2010). A post-Kuhnian approach to the history and philosophy of science. *The Monist*. <https://doi.org/10.5840/monist201093430>

- Focardi, S. M. (2015). Is economics an empirical science? If not, can it become one? *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. <https://doi.org/10.3389/fams.2015.00007>
- Fodor, J. (1975). *The Language of Thought*. Harvard University Press.
- Galindo, H. y Montesinos, A. (2018). *Macroeconomía dinámica: Modelos de ciclos económicos reales*. Volumen 1. Fondo Editorial – EDUNI.
- García-Bermejo, J. C. (2012). *Sobre la economía y sus métodos*. Editorial Trota.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. GEDISA.
- Gertler, M., & Kiyotaki, N. (2010). Financial Intermediation and Credit Policy in Business Cycle Analysis. *Handbook of Monetary Economics*. doi:10.1016/B978-0-444-53238-1.00011-9
- Goodfriend, M. & King, R. (1997). The new neoclassical synthesis and the role of monetary policy. *NBER macroeconomics annual*. <https://www.nber.org/system/files/chapters/c1>
- Goni-Saez, F, & Tirapu-Ustarroz, J. (2016). El problema mente-cerebro (I): fundamentos ontoepistemológicos. *Rev. Neurol*, 63(3), 130-139. <https://doi.org/10.33588/rn.6303.2016230>
- González, W. (2015). *Philosophico-methodological analysis of prediction and its role in economics*. Springer.
- Glanzberg, M. (2018). *The oxford handbook of truth*. Oxford University Press.
- Hamkins, J. (2021). *Lectures on the Philosophy of Mathematics*. The MIT Press Cambridge.
- Harsanyi, J. (1967). Games with Incomplete Information Played by “Bayesian” Players, I–III Part I. The Basic Model. *Management Science*. <https://doi.org/10.1287/mnsc.14.3.159>

- Hausman, D. (2020). "Philosophy of Economics", The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/economía/>>.
- Hayek, F. (1955). *The Counter-Revolution of Science: Studies on the abuse of reason*. The Free Press of Glencoe Collier-Macmillan Limited.
- Heck, R. (2020). Disquotationalism and the Compositional Principles. *Department of Philosophy Brown University*. <https://philarchive.org/archive/HECDAT>
- Heil, J. (2020). *Philosophy of Mind: A Contemporary Introduction*. Fourth Edition. Routledge.
- Hellman, G. & Shapiro, S. (2019). *Mathematical Structuralism*. Cambridge University Press.
- Hodgson, G. (1993). *Economics and Evolution: Bringing life back into economics*. University of Michigan Press.
- Hernández-Leal, E., Duque-Méndez, N., & Moreno-Cadavid, J. (2017). *Big Data: una exploración de investigaciones, tecnologías y casos de aplicación*. *TecnoLógicas*. <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v20n39/v20n39a02.pdf>
- Hironaka, H. (1964) Resolution of singularities of an algebraic variety over a field of characteristic zero. *Annals of Mathematics*. <https://doi.org/10.2307/1970547>
- Horgan, J. (1995). From Complexity to Perplexity: Can Science Achieve a Unified Theory of Complex Systems? *Scientific American*. [sci-hub.se/10.1038/scientificamerican0695-104](http://sci-hub.se/10.1038/scientificamerican0695-104)
- Huerta de Soto, J. (2004). *Estudios de economía política*. Unión Editorial.
- Hutchison, T. (1938). *The significance and basic postulates of economic theory*. Macmillan.
- Jaffé, K. (2008). *¿Qué es la ciencia? Una visión interdisciplinaria*. Fondo editorial de la UIGV.
- Janssen, M. (2006). Microfoundations. *Instituto Tinbergen*. <https://ssrn.com/abstract=901163> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.901163>

- Jardim, E., Lichand, G. y Gala, P. (2009). Microfundamentos da Macroeconomia: notas críticas. *Estudos Econômicos (São Paulo)*. <https://doi.org/10.1590/S0101-41612009000400006>.
- Johansson, L.-G. (2021). *Empiricism and Philosophy of Physics*. Springer.
- Jones, C. (2014). *Macroeconomics*. W.W. Norton & Company Ltd.
- Kadosh, C. & Dowker, A. (2013). *The Oxford Handbook of Numerical Cognition*. Oxford Library of Psychology.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*. DOI: 10.1126/science.7455683
- Katouzian, H. (1982). *Ideología y Método en Economía*. Blume Ediciones.
- Kaplan, G., & Violante, G. L. (2018). Microeconomic Heterogeneity and Macroeconomic Shocks. *Journal of Economic Perspectives*. Volume 32, Number 3—Summer 2018—Pages 167–194. <https://doi.org/10.1257/jep.32.3.167>
- Kirman, A. (1992). Whom or What Does the Representative Individual Represent? *Journal of Economic Perspectives*. <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.6.2.117>
- Kocherlakota N. (2010). Modern macroeconomic models as tools for economic policy. [https://www.minneapolisfed.org/~media/files/pubs/region/10-05/2009\\_mplsfed\\_annualreport\\_essay.pdf](https://www.minneapolisfed.org/~media/files/pubs/region/10-05/2009_mplsfed_annualreport_essay.pdf)
- Kosheleva O., Shary S., Xiang G. & Zapatrin R. (2020). *Beyond Traditional Probabilistic Data Processing Techniques: Interval, Fuzzy etc. Methods and Their Applications*. Springer.
- Kuhn, T. (1994). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Landreth, H., & Colander, D. (1998). *Historia del Pensamiento Económico*. CECSA.
- Lewis, A. A. (1985). On Effectively Computable Realizations of Choice Functions. *Mathematical Social Sciences*.

- Linnebo, Ø. (2017). *Philosophy of Mathematics*. Princeton University Press.
- Lucas, R. (1972). Expectations and the neutrality of money. *Journal of Economic Theory*.  
[https://doi.org/10.1016/0022-0531\(72\)90142-1](https://doi.org/10.1016/0022-0531(72)90142-1)
- Latsis, S. (1976). *Method and Appraisal in Economics*. University Press Cambridge.
- Lucas, R. (1976). Econometric policy evaluation: A critique. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*. [https://doi.org/10.1016/S0167-2231\(76\)80003-6](https://doi.org/10.1016/S0167-2231(76)80003-6)
- Llanos, M. 2009. *Epistemología de las Ciencias Sociales*. Fondo Editorial de la UNMSM.
- Lloyd, S. (2001). Measures of complexity: a nonexhaustive list. *IEEE Control Systems*.  
doi:10.1109/mcs.2001.939938
- Maddy, P. (2003). *Realism in mathematics*. Clarendon Paperbacks. Oxford University Press.
- Maslin, T., (2009) *Introdução à Filosofia da Mente*. 2ª edição. Artmed.
- Martin Hilbert. (2013, 31 de octubre). 1 CCSSCS: Introducción y Características de los Sistemas Complejos Sociales [Archivo de Video]. Youtube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=c6\\_K\\_t0LLww](https://www.youtube.com/watch?v=c6_K_t0LLww)
- Mendonça, D., Curado, M., & Gouveia, S. (2021). *The philosophy and science of predictive processing*. Bloomsbury academic.
- Miao, J. (2014). *Economic Dynamics in Discrete Time*. The MIT Press
- Morles, V. (2002). Sobre la metodología como ciencia y el método científico: un espacio polémico. *Revista de Pedagogía*.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-97922002000100006&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-97922002000100006&lng=es&tlng=es)
- Mouchot, C. (1996). *Méthodologie économique*. Hachette supérieur.
- Muth, J. (1961). Rational Expectations and the Theory of Price Movements, *Econometrica*.  
<http://links.jstor.org/sici?sici=0012-9682%28196107%2929%3A3%3C315%3AREATTO%3E2.0.CO%3B2-G>

- Nardini, J., Baker, R., Simpson, M., & Flores, K. (2021). Learning differential equation models from stochastic agent-based model simulations. *J. R. Soc. Interface.* <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0987>
- Niiniluoto, I., Sintonen, M., & Wolenski, J. (2004). *Handbook of epistemology*. Springer-science+business media, b.v.
- Northcott, R. (2018). Prediction versus accommodation in economics. *Journal of Economic Methodology.* <https://philarchive.org/archive/NORPVA>
- Nguyen H., Walker, C., & Walker, E. (2019). *A First Course in Fuzzy Logic*. Fourth Edition. Taylor y Francis, CRC Press.
- Ott, E., Grebogi, C., & Yorke, J. (1990). Controlling Chaos. *Physical Review Letters.* <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.64.1196>
- Pacheco, M. (2003). Los aportes de Lucas a la economía. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico.* [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2074-47062003000100007&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-47062003000100007&lng=es&tlng=es)
- Palau G. (2002). *Introducción filosófica a las lógicas no clásicas*. Gedisa.
- Penrose, R. (1996). *Las sombras de la mente: Hacia una comprensión científica de la consciencia*. Crítica.
- Penrose, R. (2004). *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*. Jonathan Cape.
- Pheby, J. (1988). *Methodology and Economics*. Ed. MacMillan Press LTD.
- Piscoya, L. (2009). *Tópicos en epistemología*. Fondo Editorial de la UIGV.
- Polany, Michael, (1967). *The Tacit Dimension*. Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Popper, K. (2006). *La miseria del historicismo*. Alianza Editorial.
- Popper, K. (1980). *La lógica de la investigación científica*. Editorial Tecnos.
- Posy, C. (2020). *Mathematical Intuitionism*. Hebrew University of Jerusalem.

- Quine, W. V. (1986). Reply to Charles Parsons. In Hahn, L. E., and Schilpp, P. A., editors, *The Philosophy of W. V. Quine*, pages 396–403.
- Rasmussen, J. (2014). *Defending the Correspondence Theory of Truth*. Cambridge University Press.
- Ravn, O. & Skovsmose, O. (2019). *Connecting Humans to Equations: A Reinterpretation of the Philosophy of Mathematics*. Springer.
- Redman, D. (1995a). La teoría de la ciencia de Karl Popper: auge y caída de la ingeniería social. *Cuadernos de economía*, Vol. 14 Núm. 23 (1995). Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Economía.
- Redman, D. (1993b). *Economics and the philosophy of science*. Oxford University Press.
- Rankin, N. (1998). How Does Uncertainty about Future Fiscal Policy Affect Current Macroeconomic Variables? *The Scandinavian Journal of Economics*. <http://www.jstor.org/stable/3440895>
- Ribeiro, M. (2020). *Income distribution dynamics of economic systems: An Econophysical Approach*. Cambridge University Press.
- Rizvi, S. (1994). The microfoundations project in general equilibrium theory. *Cambridge Journal of Economics*. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035280>
- Rodrigues, R. (2019, julio). La ciencia de la relación entre mente y cerebro. *Questão de Ciência*. <https://www.revistaquestaodeciencia.com.br/index.php/espanol/2019/07/09/la-ciencia-de-la-relacion-entre-mente-y-cerebro>
- Rothbard M. (2004a). *Man, Economy, and State a treatise on Economic principles with Power and Market Government and the Economy*. Ludwig von Mises Institute, Scholar's Edition.
- Rothbard, M. (2011b). *Economic Controversies*. Ludwig von Mises Institute.
- Selten, R. (1965). Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfrageträgheit. *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*. <http://www.jstor.org/stable/40748908>

- Sergi, F. (2017). La narrativa estándar sobre la historia de la macroeconomía: bancos centrales y modelos DSGE. *Documento presentado en la 45a reunión anual de History of Economics Society*. <https://uwe-repository.worktribe.com/output/883985/the-standard-narrative-on-history-of-macroeconomics-central-banks-and-dsge-models>.
- Searle, J. (1992). *The rediscovery of the mind*. The MIT Press.
- Sieniutycz, S. (2021). *Complexity and complex chemo-electric systems*. Elsevier.
- Sims, C. (2006). Macroeconomics and Methodology. *Journal of Economic Perspectives*. <https://www.pauldeng.com/pdf/Sims%20macro%20and%20methodolgy.pdf>
- Steinbacher, M., Raddant, M., & Karimi, F. (2021). Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*. <https://doi.org/10.1007/s43546-021-00103-3>
- Spanos, A. (2021). Methodology of Macroeconometrics. *Economics and finance*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190625979.013.175>
- Stiglitz, J. (2017). Where Modern Macroeconomics Went Wrong. *National Bureau of Economic Research*. <http://www.nber.org/papers/w23795>
- Szabó, B. & Babushka, I. (2021). Methodology of model development in the applied sciences. *Journal of Computational and Applied Mechanics*. <https://www.researchgate.net/publication/351005554>
- Tajer, D. (2015). Contra el pluralismo lógico modalista. *Revista de Filosofía de la Universidad del Norte, eidos*. <http://dx.doi.org/10.14482/eidos.25.7048>
- Thach, N., Kreinovich, V., Trung, N. (2021). *Data Science for Financial Econometrics*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-48853-6>
- Thaler, R., & Sunstein, C. (2003). Libertarian Paternalism. *American Economic Review*. <https://doi:10.1257/000282803321947001>
- Trillas, E., Alsina, C., & Terricabras, J. (1995). *Introducción a la lógica borrosa*. Editorial Ariel.

- Velupillai, K. & Zambelli, S. (2015). Simulation, computation and dynamics in economics. *Journal of Economic Methodology*. <http://dx.doi.org/10.1080/1350178X.2015.1004933>
- Velupillai, K. (2000). *Computable Economics*. Oxford University Press.
- Velupillai, K. (2011). Non-Linear Dynamics, Complexity and Randomness: Algorithmic Foundations. *Journal of Economic Surveys*. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-6419.2010.00668.x>
- Velupillai, V. (2012). The epistemology of simulation, computation and dynamics in economics. *Algorithmic social sciences research unit*. [http://www.assru.org/files/Keynote\\_Epistemology\\_Simulation.pdf](http://www.assru.org/files/Keynote_Epistemology_Simulation.pdf)
- Wang, L. (1994). *Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and stability Analysis*. Prentice Hall.
- Weaver, W. (1948). Science and Complexity. *American Scientist*. <https://www.jstor.org/stable/27826254>
- Wiesner, K. & Ladyman, J. (2020). Measuring complexity. *Adaptation and Self-Organizing Systems*. <https://arxiv.org/pdf/1909.13243v2.pdf>
- Woodford, M. (2003). *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*. Princeton University Press.
- Zabusky, N. J. (2005). Fermi-Pasta-Ulam, solitons and the fabric of nonlinear and computational science: History, synergetics and visiometrics. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Sciences*. <https://doi.org/10.1063/1.1861554>
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zvonkin, A. K, & Shubin, M.A., (1984). Non-standard analysis and singular perturbations of ordinary differential equations. *Russian Mathematical Surveys*.