



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

LA DINÁMICA FRACTAL DE LA INFLACIÓN EN MÉXICO; UN ANÁLISIS FRACTAL SOBRE LA NATURALEZA DEL PROCESO INFLACIONARIO, DESDE LA DÉCADA DE LOS SETENTAS AL 2018.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA SEMINARIO CURRICULAR

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA:

CARLOS AVIUD VÁZQUEZ VIDAL

ASESOR

LIC. RAMÓN HUMBERTO CÓRDOVA AQUINO

SANTA CRUZ ACATLÁN, ESTADO DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE.

Introducción.....	1
Capítulo 1. Concepciones tradicionales del proceso inflacionario.	2
1.1. Postura del Banco Central y la inflación monetaria.	3
1.2. Determinantes de la inflación a largo plazo.....	4
1.3. Determinantes de la inflación a corto plazo.	9
1.4. El Modelo de Inflación Objetivo (MIO).	10
1.5. Teorías heterodoxas sobre la inflación.....	12
Capítulo 2. Sistemas complejos y dinámica fractal	14
2.1. El pensamiento complejo en la ciencia.	14
2.2.1. No-linealidad 16	
2.2.2. Flujos 18	
2.2.3. Diversidad..... 19	
2.2.4. Marbetes o etiquetas. 21	
2.2.5. Modelos internos..... 21	
2.2.6. Bloques de construcción. 22	
2.3. Definición de un sistema complejo 22	
2.4. El pensamiento complejo en economía 26	
2.5. Dinámica de los sistemas complejos..... 29	
2.6. La economía mexicana como un sistema complejo adaptativo. 33	
2.6. Fractales 35	
2.6.1. Autosimilitud..... 41	
2.6.2 Autoafinidad 41	
2.6.3 Multifractales..... 44	
2.6.4 Leyes de potencia..... 44	
2.6.5 Exponente de Hurst..... 45	
2.6.7 Aplicaciones del Exponente de Hurst en series de tiempo 47	
Capítulo 3. Aspectos metodológicos de la inflación en México 49	
3.1. Consideraciones finales..... 51	
Capítulo 4. Modelo del proceso fractal de la inflación. 52	
4.1. Fractales inflacionarios 57	
4.2. Causas de la naturaleza fractal de la inflación en México 59	
Conclusiones.....	63
Bibliografía.....	65

Índice de figuras

<i>Figura 1. Curva de Phillips</i>	7
<i>Figura 2. Estados de fase de un sistema</i>	30
<i>Figura 3. Mapa epigenético</i>	31
<i>Figura 4. Conjunto de Cantor</i>	36
<i>Figura 5. Triangulo de Sierpinsky</i>	37
<i>Figura 6. Curva de Koch</i>	38
<i>Figura 7. Desarrollo de la curva de Koch</i>	39
<i>Figura 8. Conjunto de Mandelbrot</i>	40
<i>Figura 9. Feedback machine</i>	42
<i>Figura 10. Ejemplo de feedback machine</i>	42
<i>Figura 11. Inflación mensual en México 1969-2018</i>	52
<i>Figura 12. Distribución de potencia en la inflación</i>	53
<i>Figura 13. Exponente de Hurst</i>	54
<i>Figura 14. Resultados de la regresión</i>	55
<i>Figura 15. Ecuación de Hurst</i>	55
<i>Figura 16. Autosimilitud en la inflación</i>	57
<i>Figura 17. Feedback machine en la inflación</i>	57
<i>Figura 18. La gran ola de Hokusai</i>	59
<i>Figura 19. Red de interacción sectorial inflacionaria</i>	60
<i>Figura 20. Histograma de grado</i>	61
<i>Figura 21. Inflación intersectorial</i>	62

Introducción.

En los últimos 50 años se ha experimentado, alrededor del mundo un boom en el desarrollo de la ciencia. Esto ha permitido un adelanto tecnológico que se ha visto en un mayor uso de los ordenadores para la resolución de problemas complejos. La combinación de estos dos factores, ha contribuido ampliamente en el desarrollo de la ciencia económica. Así, es posible un mayor manejo y procesamiento de los datos económicos para su entendimiento, y con ello diseñar e implementar en forma eficiente la política económica. Sin embargo, la falta de marcos analíticos, que permitan aplicar estas nuevas herramientas de análisis de datos, a los fenómenos económicos, dificulta la tarea del economista.

Más recientemente, el desarrollo de las ciencias de la complejidad ha permitido la elaboración de marcos conceptuales, que permiten el análisis de los fenómenos económico-sociales, dentro de un marco teórico coherente. Permitiendo el aprovechamiento de técnicas de análisis sofisticadas, mejorando con ello el entendimiento de la naturaleza de los procesos económicos.

La presente investigación, tiene el objetivo de desarrollar un marco de análisis para un fenómeno económico, desde el enfoque de los sistemas complejos. A través de aplicar el paradigma de la complejidad, al análisis del fenómeno económico inflacionario. Utilizando herramientas estadísticas y de redes, utilizadas en las ciencias de la complejidad.

La investigación se encuentra compuesta de 4 capítulos. La primera parte se compone por una breve descripción de la postura oficial respecto al proceso inflacionario. Para después describir el marco conceptual que será pilar de la presente investigación, a saber: el enfoque de los sistemas complejos, así como la teoría y aplicación de fractales. En el tercer capítulo, se abordan los aspectos metodológicos del Índice Nacional de Precios al Consumidor, como variable a analizar, comentando su construcción y como será analizada la inflación en la presente investigación. En el último capítulo, se presentan los resultados de aplicar la metodología fractal a la serie de tiempo de la inflación de 1969 a 2018, así como la

aplicación de un análisis de redes, para explorar las causas de la fractalidad de la inflación. Por último, se presentan las conclusiones generales de la presente investigación.

Capítulo 1. Concepciones tradicionales del proceso inflacionario.

En ésta investigación se clasificará como concepciones tradicionales del proceso inflacionario, a todo el grupo de interpretaciones ya sean teóricas o prácticas, para el caso de los modelos econométricos, que aborden el problema inflacionario desde un enfoque determinista, de acuerdo a la clasificación del método que se utiliza para describir un sistema de ecuaciones, clasificación que de acuerdo a (Bertuglia & Vaio, 2005) se compone por:

- ❖ **Determinista:** describe mecanismos desde el enfoque clásico en el sentido estricto de la palabra, utilizando métodos de resolución de ecuaciones, tales como el de Newton, Leibtniz, Lagrange, Euler, Laplace. Los cuales siguen las leyes de la mecánica clásica.
- ❖ **Indeterminación cuántica:** describe mecanismos a partir de sistemas de ecuaciones diferenciales que siguen métodos de resolución como tales como el de Bohr, Heisengberg, Schrodinger y Dirac.
- ❖ **Caos determinista:** Describe mecanismos que se estudian a partir de relaciones que siguen un patrón de caos determinista, el cual puede describirse a partir de ecuaciones como las de Lorenz¹, Smale, Yorke.

De acuerdo con la clasificación anterior, aquellos marcos de análisis que encuentren en el proceso inflacionario una causa única, que es transmitida a partir de relaciones deterministas entre un conjunto de variables, pueden ser clasificados como sistemas deterministas.

La explicación del proceso inflacionario en el conjunto de las concepciones tradicionales, está basada en el método de la física clásica, que consiste en definir un par de variables

¹ Como se verá más adelante, las ecuaciones de Lorenz parten de la definición de atractores extraños como objetos fractales, los cuales son los causantes del caos en un sistema.

relacionadas de manera lineal, tal que las leyes de la física newtoniana definen su dinámica. Tal relación la encontramos inmediatamente en la concepción de equilibrio general, pero veremos a continuación que es un grupo bastante grande que independientemente de su postura ante el problema inflacionario sigue un método reduccionista en su interpretación.

Para cuestiones prácticas, en este capítulo se presenta un bosquejo general de la postura del banco central en México (Banxico), respecto al problema inflacionario, dado que es el responsable de llevar a cabo el diseño y aplicación de la política inflacionaria en el país, con el objetivo de estudiar los determinantes a través de los cuales Banxico define la naturaleza inflacionaria en México. Así, tomando como punto de partida la postura de la autoridad monetaria, se revisarán los principales postulados teóricos que hay en el tema.

1.1. Postura del Banco Central y la inflación monetaria.

El Banco de México (Banxico) es la autoridad central en México, encargada de llevar a cabo el diseño de la política inflacionaria en el país, así como definir los determinantes de la inflación y los mecanismos a través de los cuales se ejecuta la política monetaria, con el fin de mantener estable la variación de los precios en el interior de la economía, es decir, mantener un nivel estable de inflación.

Durante gran parte del siglo pasado, el banco central en México no tenía un esquema a seguir, tal como lo tiene hoy en día, respecto a las decisiones de política monetaria que se tomaban. Sin embargo, como demuestra (Bazdresch, 1978), la política monetaria respondía a tres objetivos principales: a) una alta tasa de crecimiento anual para el producto real (entre 6.5 y 7.5 %); b) una “baja” tasa de inflación (entre 2.5 y 4.5% al año) y c) mantenimiento de la estabilidad del tipo de cambio del peso con el dólar.

De tal forma que previo al establecimiento de las metas de inflación, la política monetaria estaba orientada en función de las necesidades del Estado, y su objetivo de promover el desarrollo económico. Los estudios de la época se enfocaron más hacia los temas de eficiencia económica (Solís, 1978).

No es, sino hasta 1982 que se manifiesta la deficiencia del modelo de crecimiento económico sostenido, con el estallido de la crisis de deuda, la cual derivó de una acumulación de desequilibrios de la balanza de pagos; generando una reestructuración del sistema financiero mexicano, que a su vez, sembró las condiciones estructurales para la siguiente crisis en 1994 (Correa, Mayo-Agosto 2010).

De acuerdo con (Martinez, Sanchez, & Werner), a partir de la crisis de 1994, Banxico comienza a transitar de manera gradual, hacia un esquema de metas de inflación, iniciando con medidas a corto plazo, que responden a las críticas hechas hacia la institución, tales como la falta de certidumbre y transparencia de la política monetaria.

Este proceso de transición se acelera a partir de 1999, cuando Banxico anuncia por primera vez, un objetivo de metas de inflación a mediano plazo, basado en el Índice de Precios al Consumidor (IPC). Es a partir de este año, que la inflación se vuelve el objetivo primordial de la política monetaria en México (Ros & Galindo, 2006).

Definiendo el proceso inflacionario como el “aumento sostenido y generalizado de los precios de los bienes y servicios de una economía a lo largo del tiempo” (Banxico, 2012), sin considerar al incremento de un único bien o servicio como un proceso inflacionario.

1.2. Determinantes de la inflación a largo plazo.

Una vez definido el fenómeno inflacionario, se identificaron a partir de postulados teóricos, los determinantes de la inflación, en torno al horizonte temporal que pudiera afectar la variación de los precios, ya sea en el corto o largo plazo. Entre los determinantes de largo plazo destacan (Banxico, 2012):

- a) Exceso de dinero: si las autoridades correspondientes crean dinero más allá de lo que el público demanda, el crecimiento de la oferta de dinero aumenta, lo cual conlleva a un aumento en el nivel de precios y, por lo tanto, a un incremento en la inflación.

- b) Déficit fiscal: cuando el sector público gasta más dinero del que recibe, se dice que está en déficit. Dicho déficit puede ser financiado con préstamos del banco central, aumentando de esta forma la base monetaria. Ello provoca que haya más dinero en la economía y que se incremente el nivel de precios; por lo tanto, aumenta la inflación.
- c) Políticas inconsistentes: aun cuando las políticas para mantener el nivel de precios sean aparentemente correctas, existe la posibilidad de que algunas de ellas generen cierta inercia sobre la inflación. Así, la indexación de algún determinante de la inflación, a la inflación pasada, podría generar que ésta se perpetúe. Un ejemplo de lo anterior, es cuando los salarios se indexan a la inflación del año pasado y, si dicha inflación fuese alta, lo anterior generaría una espiral inflacionaria.

Los tres determinantes de la inflación a largo plazo, surgen a partir de la postura teórica ortodoxa, principalmente a partir de la base teórica de la concepción clásica de la economía, de acuerdo con (Contreras, 2014). La cual suele entenderse en el análisis económico, como la distinción analítica entre variables nominales y variables reales, enfatizada por los fundadores británicos y escoceses de la tradición del siglo XVIII².

La dicotomía clásica es la percepción de la economía como un sistema que dicotomiza los valores de equilibrio y, todas las variables reales son independientes del nivel absoluto de precios. En tal sistema, el dinero es un velo (Giraldo, 2006), esto implica la existencia de dos manifestaciones de la economía que no guardan relación alguna, por una parte, tenemos la existencia de la economía real, y por otra parte, se encuentra la economía en términos monetarios.

² De entre los economistas que más aportes hicieron en la perspectiva clásica de la economía, podemos rescatar a David Hume, y Jean-Baptiste Say, a quien se le reconoce la muy proclamada "Ley de Say".

Esta división de la economía entre el sector real y el monetario, la desarrolla Irving Fisher en un modelo matemático, que después será conocido como la teoría cuantitativa del dinero, en la cual se propone la siguiente igualdad (Trevithic, 1975):

$$MV = PT$$

Donde:

M=masa monetaria

V= velocidad de circulación el dinero

P=Nivel de precios

T= Nivel de transacciones correspondientes al nivel de ingreso de equilibrio.

La ecuación de Fisher, es la relación entre el nivel de precios y la masa monetaria en un determinado momento. Esta relación se construye suponiendo que el nivel de velocidad del dinero en circulación es constante, y determinado por la remuneración de los factores, al igual que el nivel de transacciones, el cual corresponde al nivel de ingreso de equilibrio.

Dados este par de supuestos, se deduce que si la velocidad de circulación del dinero, así como el nivel de transacciones son constantes, ante un incremento de 100% de la masa monetaria, se generará un incremento en el mismo sentido y en la misma magnitud en el nivel de los precios (Mankiw.M, 2006).

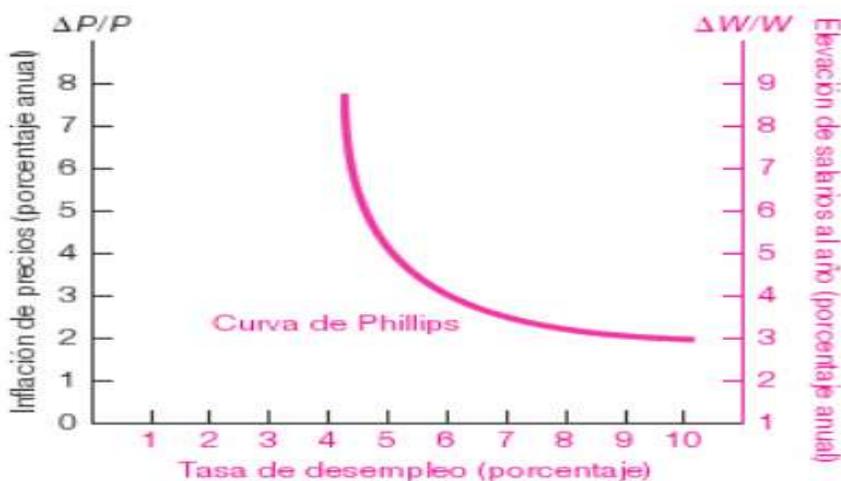
Estas son las bases teóricas que permiten comprender los puntos “a” y “b” de los determinantes a largo plazo de la inflación en México, de acuerdo a la autoridad monetaria. Dados estos fundamentos, podemos ver la relación entre un incremento del nivel del circulante y, un incremento del nivel de precios, independientemente de la fuente de este desequilibrio entre la oferta y la demanda de dinero, ya que siempre que la economía se encuentre en un punto de equilibrio, un incremento de la oferta monetaria por arriba del nivel, que permite saldar las transacciones, generará un proceso inflacionario. De este razonamiento, se establece una relación lineal para los determinantes de la inflación a largo

plazo entre dos variables: el nivel de precios, y el nivel de circulante, siempre y cuando se cumplan los supuestos de la ecuación de Fisher, mencionados arriba.

El punto “c” de los determinantes de la inflación a largo plazo es una de las posturas más importantes para estudiar el fenómeno inflacionario por sus implicaciones prácticas, pero sobre todo por su impacto en las relaciones económicas reales tales como las relaciones salariales.

La base fundamental para comprenderlo, es la curva de Phillips, la cual propone un trade-off entre la tasa de desempleo y la tasa de inflación. Dicha relación se postula debido a las presiones que los trabajadores, a través de los sindicatos, generan sobre el incremento de los salarios y el nivel de empleo, lo que se traduce en un incremento del nivel general de precios (Samuelson, 2005).

Figura 1. Curva de Phillips



Fuente: *Macroeconomía con aplicaciones a Latinoamérica*, de Paul A. Samuelson, y Whiliam D. Nordhaus.

Este análisis fue estudiado por (Friedman, El papel de la política monetaria, 1970), añadiendo la dinámica del tiempo en el trade-off, entre el nivel de precios y el nivel de desempleo, lo que implicó introducir al modelo de la curva de Phillips, las expectativas respecto al proceso inflacionario.

Este modelo, en sus fases más desarrolladas es conocido como la curva de Phillips con expectativas adaptativas. El cual define las expectativas inflacionarias, en función de las expectativas inflacionarias del año en curso, más un ajuste entre la brecha de inflación esperada y la inflación efectiva (Jeffrey & Larrain, 2002).

$$\pi_{+1}^e = \pi^e + d(\pi - \pi^e)$$

Donde el coeficiente “d” expresa el ajuste de las expectativas entre la inflación esperada y la inflación observada. Las implicaciones de este análisis son de amplia profundidad respecto al nivel de empleo; pues si definimos al nivel de desempleo como la diferencia entre un nivel de empleo natural y el nivel de desempleo deseado ($U - U_n$) entonces se establece la siguiente relación entre las expectativas y el nivel de desempleo (Jeffrey & Larrain, 2002) .

$$U - U_n = -c(\pi - \pi^e)$$

Esta igualdad expresa la relación negativa entre la tasa de desempleo y la tasa de inflación, lo que implica que para disminuir el desempleo, la diferencia entre la tasa de inflación observada y la tasa de inflación esperada, ($\pi - \pi^e$), debe ser mayor que el periodo anterior, por tanto, se deben de generar constantes “sorpresas inflacionarias”, para disminuir el desempleo por abajo del nivel natural de la economía, situación que terminaría desenvolviéndose en un espiral inflacionario (Jeffrey & Larrain, 2002).

Dicho espiral inflacionario, es generado por un incremento de las expectativas inflacionarias, por lo tanto al indexar los salarios, (que es precisamente una de las causas de la inflación establecida por Banxico), a la inflación del periodo anterior, lo que se hace es fijar un límite inferior a la inflación, lo que por inercia de las expectativas terminará en una inflación mayor a la del año pasado, lo que se traducirá en otra indexación de los salarios, que incrementa las expectativas de inflación, incrementando la inflación del siguiente año, generando una sucesión de incrementos de las expectativas, dada la indexación de los salarios que termina en un espiral inflacionario.

Este último postulado de la curva de Phillips con expectativas inflacionarias, que propone una explicación a los recurrentes espirales inflacionarios, será tratado más adelante dado el concepto de espiral inflacionario, y la relación de potencia entre el nivel de precios y el nivel de desempleo. Sin embargo, para motivos de este capítulo basta con mencionar, que el factor explicativo en la curva de Phillips aumentada con expectativas, es un desequilibrio generado por la búsqueda de disminuir el nivel de desempleo más allá de su tasa natural.

1.3. Determinantes de la inflación a corto plazo.

En el horizonte temporal a corto plazo, se destacan los siguientes determinantes de la inflación en México (Banxico, 2012):

- a) Contracción de la oferta agregada: Cuando hay un decremento en la oferta agregada debido a un aumento de los costos asociados a los procesos productivos (por ejemplo, un aumento en el precio del petrolero), las empresas aumentan sus precios para mantener sus márgenes de ganancia.
- b) Incremento de la demanda agregada: La demanda agregada es el volumen de bienes y servicios requeridos por una economía. Un incremento en la demanda agregada, mayor a los bienes y servicios que la economía puede producir, causa un aumento en los precios, ya que hay mucho dinero persiguiendo a pocos bienes.
- c) Política de inflación creíble: Considerando una economía en la cual los precios y los salarios se establecen con base en las expectativas de inflación, una política creíble del banco central, debe tener como prioridad el control de la inflación y, ayudar a anclar las expectativas que el público tiene sobre la misma.

Si comparamos la postura de Banxico respecto a los determinantes de la inflación a corto plazo con los ya mencionados, seguimos encontrando la presencia de los postulados de la teoría convencional para explicar el fenómeno inflacionario, a saber: la división de la economía en el sector real y nominal, el papel neutral del dinero, que se expresa en el punto "C" y, la curva de Phillips, en donde se le da un peso significativo a las expectativas,

tema que ha sido tratado por economistas como (Barro, 1983) y (Mishkin, 2000), haciendo énfasis en la importancia que tiene la credibilidad de los policymakers, en las expectativas de inflación de los agentes económicos.

1.4. El Modelo de Inflación Objetivo (MIO).

Para la determinación de la meta de inflación Banxico utiliza el Modelo de Inflación Objetivo (MIO), el cual de acuerdo con (Perrotini Henández), es utilizado por el nuevo consenso macroeconómico, a favor de la tesis, de que un banco central autónomo, que utiliza la tasa de interés como instrumento de política monetaria, puede alcanzar la estabilidad de precios mediante una meta de inflación, mediante la aplicación de alguna variante o extensión de la regla de Taylor, la cual se define mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

$$y_t = Y_0 - \alpha r + \varepsilon_1 = \text{Curva IS}$$

$$\pi_t = \pi_{t-1} + \beta(y_t - y^T) + \varepsilon_2 = \text{Curva de Phillips}$$

$$r_t = r^* + \phi_\pi \pi_r + \phi_y y_r = \text{Regla de Taylor}$$

Donde:

$$r_t = \text{tasa de interés real}$$

$$y_0 = \text{parte autónoma de la demanda agregada}$$

$$y_t = \text{demanda agregada}$$

$$y^T = \text{ingreso de equilibrio}$$

$$\pi_t = \text{inflación observada}$$

$$y_r = \text{brecha del producto}$$

$$\pi_r = \text{brecha de la inflación}$$

De acuerdo con (Perrotini Henández), la curva de Phillips expresa la influencia de las expectativas de los agentes económicos con la inflación, a su vez que representa una

relación de la oferta agregada con las expectativas del público respecto a las fluctuaciones futuras del producto. Por lo tanto, en la curva de Phillips, la demanda agregada se relaciona con la dinámica de la inflación, lo que explica porque en la regla de Taylor, la tasa de interés óptima y el producto óptimo se ajustan con las expectativas a futuro del producto. Más aún, si la curva de Phillips se expresa en su fase más desarrollada, es decir, con expectativas adaptativas, la política monetaria óptima admite efectos reales a corto plazo.

La regla de Taylor, como el modelo que utiliza Banxico para la determinación de una tasa de interés que permita alcanzar la estabilidad de precios, y por lo tanto el equilibrio económico. Define de manera implícita, la postura que se tiene respecto al proceso inflacionario, la cual está incorporada en la curva de Phillips para explicar, la inflación en función de las expectativas y la brecha del producto.

Derivado de anterior, el modelo de la regla de Taylor es el punto de partida para muchas de las investigaciones prácticas que tienen como objetivo modelar el proceso inflacionario, véase por ejemplo (Bailliu, Díaz, Krugel, & Miguel, 2003), (Esquivel & Raúl, 2002), (Carreño & Gonzales, 2008), (Cisneros, 2017). Lo que lleva a que las investigaciones giren en torno a dos dinámicas, por una parte, estimar el grado de significancia de cierta variable (salarios, desempleo, oferta monetaria, etc.), y por otra ver el grado de significancia de los rezagos de la serie estadística, con el fin de determinar aquellos que modelen de manera más precisa el comportamiento de la inflación.

Por otro lado, como se mencionó al principio de éste capítulo el modelo que explica la inflación en un periodo de tiempo, está compuesto por una ecuación, que explica la variación de los precios como una suma de la inflación anterior, más la brecha del producto. En este sentido, es una relación determinista entre dos variables. Más aún, de acuerdo con (Perrotini Henández), en el MIO la inflación es un fenómeno puramente monetario, y por otro lado la política monetaria no tiene efecto sobre la actividad real. Al tiempo que, la regla de Taylor supone que la trayectoria de la economía seguirá en el largo plazo, y por lo tanto no depende de la experimentada en el pasado reciente, el sistema no tiene memoria.

Las observaciones que hace (Perrotini Henández) respecto a la curva de Phillips y la regla de Taylor, serán clave dentro de esta investigación. Y en los siguientes capítulos se presenta una alternativa de análisis para el proceso inflacionario, en la cual, la memoria en el sistema es una de las características principales del fenómeno inflacionario y el sistema económico.

1.5. Teorías heterodoxas sobre la inflación.

Hay dos pilares fundamentales en la teoría heterodoxa para explicar la inflación; por una parte el margen de ganancia, y por otra la estructura de costos, dado el tipo de mercado que hay en una economía (Peter, 1984).

La perspectiva de la inflación por costos se puede atribuir a David Ricardo, quien en sus “Principios de economía política y tributación”, expone la relación entre los costos y el incremento de los precios.

Para Ricardo es el costo de producción el que debe regular en último término el precio de las mercancías, y no como se ha dicho a menudo, la proporción entre la oferta y la demanda. La proporción entre la oferta y la demanda, puede variar por un tiempo, pero solo será temporal, hasta regresar al precio de costo de producción (Ricardo, 2014). Si el precio de las mercancías está definido por el costo de producción, el incremento de sus precios de mercado, se verá transmitido a partir del incremento que se verá en la estructura de los costos.

Sin embargo, la teoría de costos se desarrolló a mediados del siglo pasado con otro giro, enfatizando más sobre la lucha de clases y su impacto en los costos de las mercancías a través de los salarios. En la cual, la inflación por costos, en realidad es una inflación de defensa de una tasa de beneficio, donde los empresarios, al ver aumentados sus costos de materia prima, mano de obra, etc., aumentan los precios para mantener una alta tasa de beneficio (Pisani, 2013).

Por otro lado, el margen de ganancia que es el otro pilar de la teoría heterodoxa de la inflación, tiene su origen en la concepción del poder monopólico de las empresas (Peter,

1984). Concepción que se le atribuye a Michael Kalecki, quien en su obra "**Teoría de la dinámica económica**", describe un sistema de precios fragmentado en dos mercados, premisa fundamental para una teoría de precios alternativa a la convencional.

(Kalecki, 1995) define dos mercados con un sistema de precios diferente para cada uno. Identifica, un mercado con un sistema de precios en un contexto de libre competencia, en el cuál el precio está determinado por la interacción de la oferta y la demanda, y se intercambian bienes como las materias primas y los productos alimenticios. Por otro lado, está el mercado de bienes acabados, en el cual el precio está determinado por los costos de la producción. La teoría de los mercados fragmentados y el precio determinado por el costo de producción, no es igual al de Ricardo. Ya que Kalecki, considera en el precio de producción, el margen de ganancia, el cual está definido por (Kalecki, 1995):

- a) El proceso de concentración de la industria
- b) El desarrollo de ventas por medio de la publicidad
- c) Las variaciones de los gastos generales en su relación con los costos primos
- d) La fuerza que ejercen los sindicatos obreros

Los elementos que definen el margen de ganancia, a su vez definen el grado de monopolio, entendiéndose a este, como la política seguida por la empresa en cuanto a fijación de su precio (Kalecki, 1995).

Kalecki define un sistema de precios, en el cuál la inflación es un problema estructural de la economía, pues se encuentra como un rasgo importante en la determinación de los precios, y no como una variación de los precios derivados de algún desequilibrio de mercado, sino que en el precio de mercado se cristaliza la inflación, a través del grado de monopolio.

Capítulo 2. Sistemas complejos y dinámica fractal

La historia del pensamiento económico va de la mano de la historia del pensamiento de la ciencia, para ser más precisos de la epistemología de la ciencia. Por ejemplo, el método clásico de la física, se adaptó rápidamente a las curvas de oferta y demanda en economía, por otra parte, conceptos de biología tal como la competencia se fueron introduciendo al brebaje cultural de la literatura económica.

Sin embargo, en las últimas décadas se ha visto un considerable rezago respecto a la revisión de nuevos métodos de investigación que han surgido en la ciencia general, métodos que se han impulsado a partir del mayor uso del ordenador, lo cual permite llevar a la práctica conceptos que antes eran impensables para la ciencia, tales como simulaciones, construcción de escenarios, así como grandes cantidades de operaciones que nos permite realizar el ordenador.

2.1. El pensamiento complejo en la ciencia.

La complejidad en cualquier área de la ciencia tiene un significado distinto, pues no es posible comparar la complejidad computacional, por ejemplo, a la complejidad social o la complejidad matemática. No es posible clasificar de manera exacta un fenómeno como complejo, pues puede suceder que la definición sea estricta en su materia y escapen rasgos fundamentales del fenómeno.

Por ejemplo, el concepto de la complejidad computacional es matemáticamente riguroso pero muy restrictivo y, dado que los objetos más complejos según esa definición son cadenas binarias al azar, ciertamente no es perceptible la definición de complejidad. Por otra parte, la definición de sistemas complejos como aquellos que tienen muchos grados de libertad, e interacciones no lineales, resulta demasiado general, ya que básicamente todo fenómeno es de esa naturaleza (Stephens, 2010).

Cada disciplina define un sistema complejo en términos de los componentes que está analizando, por lo que es muy complicado hablar de sistemas complejos en términos generales en la ciencia. Sin embargo, existen rasgos que permiten identificar a un sistema complejo, independientemente del área a través de la cual se esté estudiando dicho sistema.

Frente a esta problemática de definición e identificación, John H. Holland, reconocido como el padre de los algoritmos genéticos (Luzmila Pró, 2004), diseña en su libro: “El orden oculto; de cómo la adaptación crea la complejidad (Holland, 2004)”, una descripción respecto a los rasgos que definen a un sistema complejo, construyendo una teoría a partir de sus propiedades y mecanismos.

Partiendo de la teoría de (Holland, 2004), podemos definir 4 propiedades y 3 mecanismos que definen formalmente a un sistema complejo, pero no solo eso; sino a un sistema complejo adaptativo.

Las cuatro propiedades que componen a un sistema complejo adaptativo (SCA) son (Holland, 2004):

- Agregaciones
- No linealidad
- Flujos
- Diversidad

La propiedad de agregación es la característica básica de todos los SCA, y los fenómenos emergentes que resultan de ello, definen en gran medida los diversos grados de complejidad de cualquier sistema (Holland, 2004).

En un sentido más estricto, la agregación se define a partir de dos propiedades que constituyen a un sistema complejo. La agregación, como bloques de construcción; esto es a partir de un conjunto de elementos clasificados en una sola categoría (Holland, 2004). Tal como el Producto Interno Bruto (PIB), el cual es una agregación a partir de un conjunto definido de elementos que lo constituyen.

$$PIB = C + I + G + (X - M)$$

En segundo lugar, la agregación se debe de comprender, como el resultado de la interacción entre los elementos del conjunto, es decir; hablamos de la propiedad de emergencia (aparición) de comportamientos complejos, de tal forma que los agregados así formados pueden a su vez actuar como agentes a un nivel superior (meta-agentes), un ejemplo de este tipo de agregación es una colmena de hormigas, la cual está compuesta por agentes poco inteligentes, que al estar en conjunto forman un meta-agente, o una colmena; es decir un agente con un grado mayor de inteligencia y adaptación (Holland, 2004).

Si continuamos con el ejemplo del PIB, podemos verlo a partir de la definición de agregación, esto es como un proceso emergente definido por la interacción entre diversos agentes económicos, que en conjunto definen la producción nacional, que es un comportamiento distinto al individual.

2.2.1. No-linealidad

La propiedad de no-linealidad quizá sea una de las más importantes al hablar de sistemas complejos, pues es a través de relaciones no lineales que surgen los agregados o fenómenos emergentes.

El modelo principal de no-linealidad, es conocido como el modelo de Volterra-Lotka, el cual fue desarrollado por el biólogo americano Alfred Lotka y, el matemático Italiano Vito Volterra a mediados de los años veinte, con la finalidad de modelar la dinámica de la interacción entre dos especies. El cuál está definido por la siguiente ecuación (Bertuglia & Vaio, 2005):

$$\dot{n}_1 = k_{11}n_1 - k_{12}n_1n_2$$

$$\dot{n}_2 = k_{21}n_1n_2 - k_{22}n_2$$

Donde:

k_{11} = Tasa de crecimiento de la presa

k_{12} = Tasa de mortalidad debido al depredador

k_{21} = Tasa de reproducción del depredador (cuantos depredadores nacen por cada presa consumida)

k_{22} = Tasa de mortalidad del depredador

n_1 = Población 1

n_2 = Población 2

En la primera ecuación encontramos que la velocidad de crecimiento de la presa decrece en proporción a los encuentros, que es la parte negativa de la ecuación, y que a su vez es el factor no lineal de la ecuación. Mientras que en la segunda ecuación, se acelera el crecimiento del depredador en función del número de presas, que es la parte positiva de la ecuación, pero que depende a su vez del número de encuentros con la presa dada por la relación " $n_1 n_2$ " (Bertuglia & Vaio, 2005).

La característica principal del modelo, es que las dos poblaciones (n_1, n_2) interactúan en una relación no lineal, dada la presencia en las dos ecuaciones de los productos de las dos variables " $n_1 n_2$ ". Este término de no-linealidad representa la frecuencia con la cual la presa y el depredador se encuentran, de acuerdo a una ley de probabilidad, la cual es establecida como la proporción del producto del número total de presas, multiplicada por el número total de los depredadores, variables que a su vez están definidas por los coeficientes k_{12} y k_{21} (Bertuglia & Vaio, 2005).

Otra característica fundamental del modelo de Volterra-Lotka, es que la dinámica prevista por las ecuaciones no es de naturaleza estática, por lo que no hay puntos de equilibrio estables, sino que la población de presas y depredadores, evolucionan de acuerdo a ciclos que están en función de las relaciones no lineales, dadas por la probabilidad de encontrarse, postulado que es el punto de partida para muchos modelos de dinámica no-lineal, que van desde las interacciones de átomos o moléculas, a bolas de billar (Bertuglia & Vaio, 2005).

Lo anterior implica, que desde el enfoque de los sistemas complejos, el comportamiento de un fenómeno depende de relaciones no lineales, es decir, el impacto que tendrá una variable “x” sobre una variable “y”, no es una relación lineal, dando el surgimiento de procesos emergentes, es decir, procesos que son más que la suma de las partes.

2.2.2. Flujos

El concepto de flujos se desarrolla a partir de nodos y conectores, y es tan simple como el flujo de mercancías entre fábricas, donde las fábricas son los nodos que distribuyen recursos a través de una red de distribución. Otro ejemplo de flujos en sistemas complejos, es el sistema nervioso central, donde tenemos las células nerviosas como los nodos, y las interconexiones entre las células nerviosas como vértices o conectores. En los ecosistemas, tenemos especies como nodos, y una cadena alimenticia, como mecanismo conector. Es decir, en términos generales tenemos que los nodos son procesadores, o agentes o meta-agentes procesadores, mientras que los conectores son los que determinan las posibles interacciones (Holland, 2004).

En términos de flujos, vamos a encontrar dos propiedades principales: el efecto multiplicador y el efecto reciclaje. El efecto multiplicador es muy conocido en economía, a partir del pensamiento Keynesiano, y es una parte de la ciencia económica que retomó las ciencias de la complejidad como propiedad en los sistemas. La idea central, es el efecto que ocurre si se inyecta un recurso adicional a algún nodo, que por lo general, este recurso pasa de nodo a nodo y, se va transformando a lo largo del camino, produciendo una cascada de cambios (Holland, 2004).

Un ejemplo claro del efecto multiplicador en economía, es cuando se realiza una obra de construcción, como un hospital por ejemplo. Se parte generando una inversión de bienes de construcción y trabajadores, a su vez el sector de la construcción demanda los insumos necesarios para dicha obra, mientras que los trabajadores demandan bienes y servicios con sus salarios, y así se va generando una cadena de compras-ventas, generadas por la introducción de un flujo de inversión.

La segunda propiedad del flujo, es el efecto reciclaje, que es en realidad el efecto completo de un flujo en una red. El ejemplo básico de esta propiedad consiste en una red de tres nodos, un proveedor de mineral refinado, un productor de acero y un fabricante de automoviles. Si ajustamos las medidas, de tal manera que una unidad de mineral refinado produzca una unidad de acero, que a su vez produzca una unidad de automovil, pero que ademas el productor de acero, envíe exactamente la mitad de su producción al fabricante de autos. Por lo que si tenemos 1000 unidades de mineral refinado, estas se transformaran al pasar por la red en 500 autos. Ahora, si suponemos que los automoviles son usados hasta quedar inservibles, entonces el retorno de los recursos al primer nodo es decir al proveedor de mineral refinado, sera de 500 unidades de automovil. Pero si se recicla $\frac{3}{4}$ partes del acero de los autos, de tal forma que parte de los recursos pasen por un ciclo, a través de los tres nodos, incrementando la cantidad de unidades que llegan a cada nodo, se tendría una producción de 800 automoviles, una cantidad mayor que sin el reciclaje, por lo que el reciclaje a su vez refuerza el efecto amplificador de la propiedad del multiplicador (Holland, 2004).

2.2.3. Diversidad.

El concepto de diversidad es un pilar esencial para definir un sistema complejo, y quizas sea aquel que proporciona mayor complejidad a cualquier sistema, pues es la diversidad de elementos, lo que constituye uno de los problemas principales en las ciencias, a la hora de querer analizar un fenómeno en particular.

Ejemplos de diversidad encontramos en el cerebro de los mamíferos, el cual esta formado por una panoplia de neuronas morfológicamente orgnizadas en una elaborada jerarquía de núcleos y regiones. Otro ejemplo es la ciudad de Nueva York, la cual contiene miles de distintas clases de comerciantes al mayoreo y al menudeo (Holland, 2004).

La diversidad crea la complejidad. A grandes rasgos cada clase de agente llena un nicho, el cual es definido por las interacciones que se centran sobre el agente. Por lo tanto si se crea un agujero en el sistema, o una ausencia de un agente, el sistema responderá con una

cascada de acciones de adaptación y el resultado será la creación de otros agentes (Holland, 2004).

Un ejemplo de como la diversidad crea la complejidad, se encuentra plasmado en el pensamiento de Darwin, quien hace mas de un siglo, vio en las especies esta relación entre la diversidad y la complejidad, así como la dependencia que existe entre cada una de estas, la cual definió en el siguiente extracto:

“Vemos aquí que el ganado determina en absoluto la existencia del pino silvestre; pero en diversas partes del mundo, los insectos determinan la existencia del ganado. Quizá Paraguay ofrece el ejemplo mas curioso de esto, pues allí ni el ganado vacuno, ni los caballos, ni los perros se han vuelto salvajes... pues se ha demostrado que esto se debe a que en Paraguay es muy numerosa en cierta mosca que pone sus huevos en el ombligo de estos animales cuando acaba de nacer. El aumento de estas moscas, con ser numerosas debe de estar habitualmente contrarrestado por algunos medios, probablemente otros insectos parásitos. De aquí se deduce que si ciertas aves insectívoras disminuyen en Paraguay, los insectos parásitos probablemente aumentarían, y esto haría disminuir el número de las moscas ombligeras; entonces el ganado vacuno y caballar se volvería salvaje, y esto sin duda alteraría mucho la vegetación como realmente he observado en regiones de Sudamérica; esto a su vez afectaría en gran manera a los insectos y esto como acabamos de ver afectaría a las aves insectívoras, y así progresivamente en círculos de complejidad siempre creciente.” (Darwin, 1985)

La idea aquí plasmada, define la diversidad como uno de los rasgos principales que compone a un fenómeno complejo, en este caso la diversidad de especies altamente correlacionadas, implica que ante una variación insignificante, dada la estructura de la red de especies en un ecosistema, se genera una cascada multiplicativa de efectos que van moldeando la complejidad del sistema, que a su vez define la diversidad propia de un sistema biológico.

Una de las principales características de la propiedad de la diversidad perteneciente a todo sistema complejo, es el mimetismo; el cual existe en uno de los sistemas complejos mas simbólicos: un ecosistema boscoso. En este sistema, los insectos se mimetizan con las ramas, las serpientes y hasta con las aves. Las orquídeas se mimetizan de manera exacta con una amplia gama de insectos polinizadores. Así generan la diversidad como un patrón dinámico, a menudo persistente y coherente como una ola estacionaria de un torrente de

agua, en la cual si es perturbada por una rama, ésta se repara a sí misma rápidamente una vez que el objeto perturbador ha sido retirado (Holland, 2004).

Estas son las 4 propiedades que definen cualquier sistema complejo: agregaciones, no-linealidad, flujos y la diversidad. Sin embargo, existen además mecanismos que permiten que las propiedades tengan lugar en cualquier sistema complejo, las cuales son (Holland, 2004):

- ❖ Marbetes o etiquetas
- ❖ Modelos internos
- ❖ Bloques de construcción

2.2.4. Marbetes o etiquetas.

El marbeteado o identificación por etiquetas, es la propiedad que permite generar agregaciones en un sistema complejo, funcionando como la simbolización de los agentes o los componentes de los meta-agentes o agregados. De tal forma, que facilitan la interacción selectiva y permiten a los agentes seleccionar a otros agentes u objetos, que de otra manera serían indistinguibles, generando así interacciones consistentes para la discriminación, la especialización y la cooperación (Holland, 2004).

2.2.5. Modelos internos.

De manera complementaria todo sistema complejo compuesto por meta-agentes o agentes agregados, que interactúan en un ambiente repleto de gran diversidad, como puede ser un bosque, una ciudad, un enjambre, etc. Y que interactúan a partir de señales, que les permite identificar a sus vecinos y su ambiente, necesitan a su vez un mecanismo que les permita interactuar de manera congruente con su ambiente. Este mecanismo es el modelaje interno (Holland, 2004).

El modelaje interno, es la capacidad que tienen los sistemas complejos para generar situaciones de anticipación y de predicción ante su ambiente, que en su conjunto permiten generar procesos de adaptación (Holland, 2004).

Un ejemplo de como el modelaje interno funciona, es el uso que la mariposa virrey le da al mimetismo, al momento de adquirir colores para evitar el ataque de los depredadores. Es decir, esta generando un modelo interno que le permitió anticiparse ante el medio donde habita.

Holland, identifica dos tipos de modelos internos: tacitos y manifiestos. Para el caso de los modelos internos tacitos, se refiere a una predicción implícita de algún estado futuro deseado. Mientras que los modelos manifiestos se utilizan como una base para las exploraciones explícitas, pero internas, es decir la exploración de alternativas.

2.2.6. Bloques de construcción.

Por último, el mecanismo de los bloques de construcción, es lo que permite a un agente dentro de un ambiente complejo, formar modelos internos que le permitan reaccionar y anticiparse a determinados eventos. Por lo que vamos a entender este mecanismo, como la capacidad que se tiene en un sistema complejo, para que a través de los identificadores, se pueda generar un panorama completo, que permita reaccionar adecuadamente a eventos muy específicos.

2.3. Definición de un sistema complejo

Estas son las cuatro propiedades (no-linealidad, agregación, diversificación y flujos) y los tres mecanismos (modelaje interno, bloques de construcción y marbeteo o identificación), que definen cualquier sistema complejo, y mas allá a cualquier sistema complejo adaptativo. Sin embargo, ¿Cómo podemos sintetizar de manera precisa a un sistema complejo?. A lo largo de esta exposición, se dieron distintos ejemplos que acompañaban a cada propiedad o mecanismo, ejemplos que van desde colmenas, hasta las grandes ciudades y centros de distribución.

Pero hasta este punto, no se ha dado ni una sola definición explícita, de que se entiende por un sistema complejo, esto con la intención de describir primero sus propiedades y sus mecanismos, antes de una definición que pueda restringir el concepto de complejidad.

Una primera definición de un sistema complejo, es que es un sistema compuesto por bloques constitutivos, los cuales interactúan a diversas escalas, generando así diversos procesos emergentes que tienen la propiedad de adaptarse a su medio (Stephens, 2010)³.

Por otro lado Santa Fe Institute⁴, define la perspectiva de complejidad incluyendo los sistemas complejos adaptativos como: “ An adaptative complex system is an open system, made up of numerous elements that interact with one another in a nonlinear way and constitute a single, organized and dynamic entity, able to evolve and adapt to the environment” (Bertuglia & Vaio, 2005).

Definiendo a un sistema complejo adaptativo a partir de los siguientes cinco rasgos (Bertuglia & Vaio, 2005):

1. Is made up of a large number of elements (agents) that interact reciprocally, which cannot be modelled into a linear schema; the elements are connected together in such a way that the action of each element can provoke more than one response in each of the other elements.
2. Interacts, with other adaptative complex systems, wich, as a whole, constitute the environment in wich it is immersed and to whose stimuls it reacts.
3. Acquires information on the systems that make up its environment and on the consequences of its own interaction with said systems; in other words it is sensitive to the information that it receives from the environment (environmental feedback).
4. Identifies regularities in the flow of information that it acquires, and based on such, develops a modelo (or a schema) that attempts to “explain” the regularities identified.

³ Hay que señalar que Christopher Stephens es investigador en el Centro de Ciencias de la Complejidad en C.U. y es reconocido como una autoridad respecto a temas de complejidad.

⁴ Santa Fe Institute es una organización privada sin fines de lucro situada en Santa Fe, Nueva York, fundada en 1984 dedicada expresa y exclusivamente a la investigación de sistemas complejos.

5. It acts in relation to the systems that make up its environment, on basis pf the modelo that it has developed, observes the responses and uses this information to correct and improve the model in questions; in other words, it uses the environment feedback to learn and to adapt.

Otra definición la encontramos en los aportes que realizó Stuart Kauffman (PÉREZ, 2005), quien nos define la complejidad y los sistemas complejos a partir de su propiedad emergente, como principal rasgo:

“Existen leyes fundamentales de organización que permiten el despliegue de nuevas propiedades a partir de sistemas de elementos (materiales) más básicos que cruzan cierto umbral de complejidad. Estas propiedades no son explicables a partir de las propiedades de sus constituyentes ya que son poseidas por el “todo” y a la vez, influyen sobre ese “todo” organizado” (Martínez, 2015).

Desde el estudio de las organizaciones, encontramos la definición de un sistema complejo, dada por Ackoff⁵, como un sistema constituido por un conjunto de elementos interrelacionados, formados al menos por dos elementos, y con una relación establecida entre ellos, ya sea directa o indirectamente, en donde su complejidad aumenta con el incremento del número de sus componentes (Zapata Rotundo & Jorge, 2008).

En la misma trinchera del estudio de las organizaciones, encontramos la siguiente definición construida por (Rosano, 2011)⁶: ***“Una organización es un sistema adaptativo complejo de carácter social, conformado por seres humanos como integrantes básicos que cumplen diferentes funciones en una estructura apropiada de división del trabajo, para cumplir con la misión y los objetivos que tiene el sistema”.***

Como vemos la definición anterior parte de una visión organizacional de la sociedad sin embargo, retoma conceptos tales como la división del trabajo para englobar la concepción de un sistema complejo en un ambiente económico.

⁵ Sobre sus aportes se puede consultar el siguiente trabajo:
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n9/r2.html>

⁶ Investigador en el C3 de la UNAM.

Otro aporte en la conceptualización de un sistema complejo es dada por W. Brian Arthur⁷ quien junto con Holland, fueron pioneros en la simulación basada en agentes adaptativos para el modelaje de mercados financieros. Y nos ofrece la siguiente conceptualización de complejidad: *“Common to all studies on complexity are systems with multiple elements adapting or reacting to the pattern these elements create... Such systems arise naturally in the economy. Economic agents, be they banks, consumers, firms, or investors, continually adjust their market moves, buying decisions, prices, and forecasts to the situation these moves or decisions or prices or forecasts together create... The type of systems I have described become especially interesting if they contain nonlinearities in the form of positive feedbacks. In economics positive feedbacks arise from increasing returns”* (Arthur, 1999).

De esta exposición de algunas de las principales concepciones de la complejidad, desde diferentes trincheras de la ciencia, se pueden identificar los rasgos principales de un sistema complejo, a partir de la teoría de los 7 básicos definida por Holland.

Autor	Principales rasgos	Identificación en los 7 básicos
Brian Arthur	Relaciones no lineales Procesos emergentes Adaptación Estrategías	Propiedad de agregación Propiedad de diversidad Propiedad de relaciones no lineales Mecanismo de modelos internos
Charles Darwin	Interacciones Dependencia Adaptación Retroalimentación	Propiedad de diversidad Propiedad de relaciones no lineales Mecanismo de modelos internos
Ackoff	Agentes Interacciones Caos Meta-gentes Auto-organización	Propiedad de Agregación Propiedad de relaciones no lineales Mecanismo de modelos internos
Kauffman	Procesos emergentes Interacciones no lineales Adaptación Retroalimentación	Propiedad de relaciones no lineales Propiedad de diversidad Propiedad de flujos

⁷ Investigador en Sante Fe Institute.

Lara Rosano	Auto-organización Agentes Adaptación	Propiedad de agregación Propiedad de relaciones no lineales Propiedad de flujos Propiedad de diversidad
Vertuglia y Vaio (Institute Santa Fe)	Interacciones no lineales Agentes Caos Adaptación Retroalimentación	Propiedad de agregación Propiedad de relaciones no lineales Propiedad de diversidad Mecanismo de modelos internos Propiedad de flujos
Stephens	Bloques de construcción Adaptación	Propiedad de agregación Propiedad de diversidad

Elaboración propia

Por lo tanto, puede observarse que indistintamente de que tan rigurosa sea la definición de un sistema complejo, este lo podemos identificar fácilmente a partir de sus propiedades y sus mecanismos que lo definen, mas que tener una definición exacta de que se entiende por sistema complejo. Tener una definición puede ser restrictiva o puede ser demasiado flexible para el problema en cuestión, y variara en función de la ciencia que este aplicando el paradigma de la complejidad para un fenómeno en concreto. De esta reflexion, se desprende que en esta investigación se definirá a un sistema complejo, con base en las 4 propiedades y, 3 mecanismos definidos anteriormente, mas que entender un concepto que pueda llegar a restringir el concepto del sistema complejo a estudiar.

2.4. El pensamiento complejo en economía

Como se vio en el apartado anterior, la complejidad es un enfoque a través del cual se pueden estudiar distintas situaciones, desde la aparición de una nueva especie en un ecosistema, hasta la formación de estrategias por parte de los accionistas en el momento de especular.

Una vez que hemos definido la complejidad y los rasgos que componen a un sistema complejo, podemos ver la presencia de este enfoque a lo largo de la historia del pensamiento económico, desde Adam Smith, hasta Shumpeter o Keynes.

Al filósofo Adam Smith, se le reconoce por construir un enfoque completo de un sistema social, de manera científica. Pero aún más allá, se ha identificado en su libro “La teoría de los sentimientos morales”, un discurso propio de la teoría de la complejidad, al describir como un proceso emergente, las reglas y normas sociales, un proceso que emerge de la interacción entre los individuos, quienes se van adaptando a las circunstancias, a partir de un conjunto de reglas que se van definiendo de manera dinámica. Por lo que, su análisis se vuelve clave para entender la evolución de las instituciones y las normas sociales. (Elsner, Heinrich, & Schwardt, 2015).

Otro economista que es reconocido por incluir en su análisis económico un discurso propio de la complejidad, es Thomas R. Malthus. Al haber desarrollado una analogía del proceso de evolución biológico, con el desenvolvimiento económico-social (Elsner, Heinrich, & Schwardt, 2015).

Como se ha descrito a lo largo de esta exposición, uno de los mecanismos más importantes que permiten comprender la aparición de procesos emergentes, es la diversidad, y lo que esta implica. Mecanismo que fue ejemplificado en esta investigación, con un fragmento de la obra del biólogo Darwin.

Dado lo anterior, uno de los principales rasgos del análisis complejo en economía, es la emergencia de eventos espontáneos, los cuales surgen a partir de una cadena de eventos que suceden uno tras otro, que a su vez son generados por individuos descentralizados.

El siguiente economista en la lista del pensamiento complejo en economía es Karl Marx, quien de acuerdo a (Elsner, Heinrich, & Schwardt, 2015), fue pionero en el análisis complejo en economía. Por el desarrollo del concepto del modo de producción de capitalista. En la teoría de Marx, se describe un ambiente de competencia entre capitalistas, quienes buscan elevar su tasa de ganancia. Pero a su vez, ésta competencia genera una lucha por el poder socioeconómico. Dadas estas características, es considerado como el modelo de mayor dinámica, pero también como un sistema con múltiples contradicciones, y por lo tanto de mayor complejidad. El cual está definido por la contradicción principal del modo de producción capitalista, que es la propiedad privada (Elsner, Heinrich, & Schwardt, 2015).

Uno de los rasgos del pensamiento de Marx, en la cual se presenta la característica de complejidad; es la formación de la tasa de ganancia media, la cual se forma como un proceso emergente, en un ambiente de competencia entre gentes no-organizados, y con fines individuales.

Este tipo de procesos, son denominados como procesos sinérgicos. La sinergia es directamente el resultado de una visión holística del sistema, en la cual el fenómeno colectivo esta generado por un proceso emergente. De manera más precisa, la sinergia económica, luce como una formación espontanea de una nueva estructura macroscópica, asociada a procesos discontinuos, y muestra como las partes de un sistema económico pueden organizarse a sí mismos en nuevas estructuras en ciertos periodos de inestabilidad (Bertuglia & Vaio, 2005).

Por lo tanto, vemos como la formación de la tasa de ganancia media, que es piedra angular en la teoría marxista, es precisamente un caso de sinergia económica, al ser un evento formado por periodos inestables de competencia, generando un proceso emergente a nivel macro que se concretiza en la formación de la tasa de ganancia media.

Otro economista que introduce el análisis complejo en el desarrollo de su pensamiento es J.K. Galbraith, quien inicia una de sus obras con la siguiente aclaración: “Estos cambios o la mayoría de ellos se han discutido mucho. Pero el contemplarlos aislados, como suele hacerse, minimiza su efecto. Están relacionados los unos con los otros como causas y efectos. Todos ellos son parte de una matriz de cambio todavía más amplia. Y esta matriz ha sido, en sus efectos en la sociedad económica, más que la suma de sus partes” (Galbraith, 1967).

Galbraith, está haciendo referencia a los cambios que surgen después de la adopción del modo de producción fordista, y como el cambio tecnológico va modificando las condiciones económicas. Si prestamos atención, Galbraith describe esta matriz de cambios en el mismo sentido en el cual Darwin describe el impacto de una especie sobre otra. Más aún, con el concepto de sinergia económica, podemos comprender de manera compleja el pensamiento de Galbraith.

Por último, Shumpeter, quien es reconocido al igual que Keynes, como economistas que desarrollan sus principales teorías, a partir del concepto de sinergia económica. Para el caso particular de Shumpeter, se ha discutido el impacto que tiene la innovación económica a través de los cambios cualitativos que genera en la economía. Es decir, visto como un ejemplo de proceso emergente, al igual que el desarrollo del multiplicador del gasto, comúnmente llamado multiplicador keynesiano (Bertuglia & Vaio, 2005).

Este breve recorrido del pensamiento económico en términos de complejidad, fue necesario para mostrar que el pensamiento complejo siempre ha estado presente en el estudio de los fenómenos económicos, y que más que una necesidad, es fundamental estudiar los problemas económicos, a partir del enfoque de la complejidad. Con la finalidad de describir, a través de una perspectiva holística, la gran complejidad que trae un evento económico como es la inflación.

2.5. Dinámica de los sistemas complejos

Hasta este punto, hemos desarrollado el discurso en términos de qué es un sistema complejo, y qué rasgos lo definen. Así como los mecanismos que permiten generar los procesos emergentes, seguido de ejemplos de distintas disciplinas. Sin embargo, hemos dejado para este capítulo el tema de la dinámica de un sistema complejo, con la finalidad de comenzar con la discusión de la presente investigación.

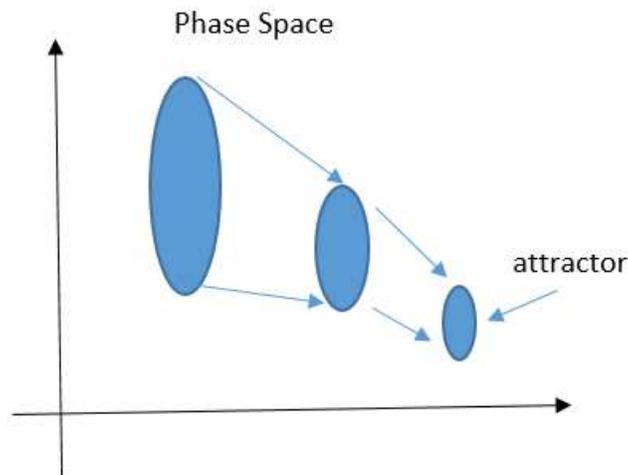
Un sistema complejo ya sea adaptativo o no, está caracterizado por encontrarse en un estado muy particular, el cual es conocido, como al borde del caos. Esta es la principal característica de la dinámica de un sistema complejo, la cual define la inestabilidad del sistema.

Sin embargo, la dinámica de un sistema puede contener numerosos estados, los cuales son generados por diferentes atractores, y cada uno de estos atractores, se encuentra caracterizado por su propia cuenca de atracción. Y en general, durante la evolución de un sistema, la complejidad toma la forma intermedia; esto es en un estado entre equilibrio

estable y el caos. Es decir, es una situación en la cual el sistema presenta diferentes comportamientos (Bertuglia & Vaio, 2005).

En terminos generales, un atractor se va a definir como: “ is a particular region in the phase space (a subset of the phase space) that a dynamical system tends to reach during the course of its evolution” (Bertuglia & Vaio, 2005).

Figura 2. Estados de fase de un sistema



Fuente: “Nonlinearity, chaos, and complexity, the dynamics of natural and social systems” de Cristoforo Sergio Bertuglia y Franco Vario.

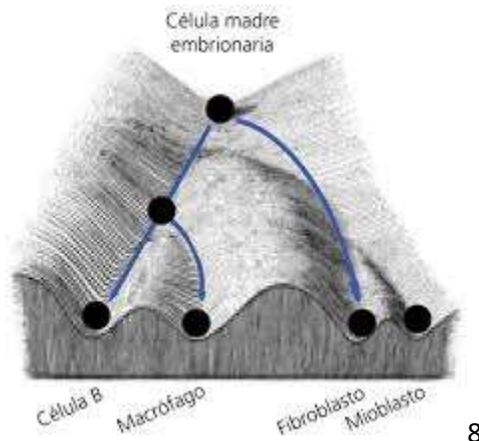
La dinámica de un sistema puede contener numerosos estados, los cuales son generados por diferentes atractores, y cada uno de estos atractores está caracterizado por su propia cuenca de atracción.

Dado la anterior, podemos decir que la dinámica del sistema, es la trayectoria que sigue su estado a través el tiempo, que se puede representar por un diagrama de estados, llamado también diagrama de fase (Rosano, 2011).

Uno de los modelos más famosos sobre la dinámica de un sistema, a partir de la trayectoria de sus estados hacia diversos atractores, es el modelo de Conrad Waddington, con su metáfora de los paisajes epigenéticos.

En esta metáfora, la célula madre embrionaria, puede considerarse como una pequeña canica, que está a punto de rodar cuesta abajo por un terreno con varias colinas y valles. Dependiendo de la condición inicial, la canica puede rodar por un valle o por otro, terminando en un sumidero del que no podrá salir. De esta manera Waddington se imagina al desarrollo embrionario como un proceso dinámico que tiene diversos atractores y diferentes rutas para llegar a ellos (Aldana, 2011).

Figura 3. Mapa epigenético



Fuente: "Criticalidad, Robustez y Evolución en Redes Genéticas" de Maximiliano Aldana

La dinámica de los sistemas complejos estará en función de los atractores que existen en el sistema, y de estos dependerá la región en la cual se encuentre el sistema. En general, de acuerdo con (Rosano, 2011), podemos encontrar 4 regiones principales en la trayectoria de la dinámica de un sistema:

1. Regiones de estabilidad puntual: estas regiones, están formadas por puntos en el espacio de estados, en los cuales la organización ya no cambia, porque encuentra o construye un atractor de su conducta, alrededor de ese particular estado, que resulta un atractor inercial que aprende a evocar y en el que se asienta.

⁸ Imagen extraída de:

https://www.google.com.mx/search?q=paisaje+epigenetico+de+waddington&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjy5mcg_HeAhUIbKwKHdsuCqYQ_AUIDigB&biw=1458&bih=692#imgsrc=r_iGOR8seo1NYM:

2. Regiones de estabilidad periódica: Donde la organización pasa por una secuencia de “n” estados, regresando al estado inicial y repitiendo la secuencia indefinidamente, por ejemplo, los ciclos agrícolas.

3. Regiones de caos: en las que el comportamiento de la organización es totalmente irregular, y no predecible por la incertidumbre en las condiciones iniciales, por lo que no es estable. El caos con sus trayectorias impredecibles, es la fuente de la creatividad y variedad de la naturaleza y en la dinámica social. El caos se refiere a las organizaciones y no a sus integrantes. Lo impredecible, lo diverso, lo variado crea la novedad, y la novedad es la autora de un nuevo orden, al dar soluciones nuevas a problemas complejos.

4. Regiones al borde del caos. En ellas la organización, aunque está al borde del caos, tiene la suficiente estabilidad para almacenar información, procesarla y aprender de ella. Este balance entre orden y caos le permite cambiar de manera ordenada y auto-organizarse sin intervención externa. Su complejidad es un estado híbrido que está entre la estabilidad y el caos.

Estas regiones componen la dinámica de un sistema a través del tiempo, y cada una de ellas, como podemos ver, depende del tipo de atractor hacia el cual se dirija el sistema, en general podemos encontrar dos tipos de atractores (Bertuglia & Vaio, 2005):

- 1) Atractores que mantengan la misma dinámica del sistema, es decir que no presente sensibilidad a las condiciones iniciales del sistema, y permita continuar con la misma dinámica interna del sistema.

- 2) Atractores extraños. Un atractor extraño es un subconjunto de puntos en el espacio de fase del sistema, que es fundamentalmente diferente a los objetos pertenecientes a la geometría Euclidiana. Es un objeto geométrico caracterizado por una dimensión que no es un número entero, en otras palabras; los atractores extraños son objetos fractales (Bertuglia & Vaio, 2005).

Por lo tanto, la dinámica de un sistema complejo está definido por los estados de fase, a través de los cuales pasa un sistema dependiendo de los atractores en el medio, sin embargo, el atractor más importante en la dinámica de sistemas complejos, es el atractor extraño, el cual es un objeto fractal y es el responsable de definir el estado del sistema.

2.6. La economía mexicana como un sistema complejo adaptativo.

Llegado a este punto, se cuenta con las herramientas teóricas para describir las propiedades y mecanismos que definen a la economía mexicana como un sistema complejo adaptativo. Partiendo de la definición que hace (Rosano, 2011), para definir los integrantes básicos del sistema económico mexicano, a saber: “Una organización es un sistema adaptativo complejo de carácter social, conformado por seres humanos como integrantes básicos que cumplen diferentes funciones en una estructura apropiada de división del trabajo, para cumplir con la misión y los objetivos que tiene el sistema”.

Se definen los 4 mecanismos que componen al sistema económico mexicano. Primero las personas como integrantes básicos se agregan en bloques de construcción, o agregados sociales, partiendo de la agregación de individuos formando: familias, grupos étnicos, grupos sociales, agregados georreferenciados (población de un estado, municipio y/o colonia en particular), agentes institucionales, etc. Estos agregados, pueden formarse ya que los individuos como agentes básicos, procesan los estímulos y el medio a través de modelos internos, tal como señala (Holland, 2004), modelos que a partir de identificadores, procesan el fenómeno económico-social, para poder reaccionar de una manera determinada, para así cumplir diferentes funciones en una estructura de división del trabajo, que permite a su vez el funcionamiento completo del sistema.

Estos mecanismos funcionan a través de las 4 propiedades elementales de todo sistema complejo. Primero, la formación de los agregados sociales define estructuras económico-sociales, lo que permite la organización en distintos niveles de la sociedad. A su vez, esta agregación de individuos va generando diferentes estructuras de redes, lo que se conoce

en la literatura como redes multicapa, es decir, sistemas de redes que contienen más de un nivel de profundidad (Zapata Rotundo & Jorge, 2008), en este sentido, la agregación individual va generando redes familiares, redes de amistad, redes comerciales, redes institucionales, así como redes internacionales. Que derivan de la interacción de la agregación de individuos.

La interacción de los agentes en estas redes va generando efectos no lineales entre los estímulos y las respuestas que reciben y emiten los agentes en los distintos niveles, tal como lo establece (Holland, 2004), estos efectos no lineales, se explican por el efecto multiplicador que tiene sobre la red un estímulo, el cual no se transfiere de manera lineal de un punto a otro en la red, sino que es un proceso que muta y cambia a partir de la retroalimentación de la respuesta de los agentes. Efecto que se propaga a partir de los flujos e intercambios entre los agentes y sus agregados.

El efecto emergente de la interacción en redes a distintos niveles económico-sociales es la diversidad en el sistema económico-social de México. Sin embargo, hasta ahorita hemos definido, la economía mexicana como un sistema complejo, pero aún no hemos definido su estado de complejidad. Sino, únicamente sus propiedades y mecanismos, es decir, hemos definido el sistema en un estado estático.

La complejidad es una trayectoria en la cual se encuentra un sistema, la cual sigue un comportamiento al borde del caos, es decir un caos determinista. Éste estado de fase le permite evolucionar a medida que va aprendiendo de los patrones del caos del sistema. Por lo tanto, para que la trayectoria del sistema se encuentre en una fase al borde del caos, deben existir atractores fractales que atraigan la trayectoria del sistema a estados de caos determinista.

Un sistema, puede tener más de un atractor extraño que atraiga la trayectoria del sistema a un estado al borde del caos, generando su diversidad y complejidad. Sin embargo, la presente investigación se limita a probar si la inflación, medida como la variación de los precios a través del tiempo, comparte propiedades fractales y por lo tanto es uno de los

atractores extraños que atrae la dinámica del sistema económico, a un estado al borde del caos.

2.6. Fractales

El objeto de estudio del análisis fractal, es el estudio de la escabrosidad, de lo irregular y lo tortuoso; elementos que definen a un fractal como un patrón o forma cuyas partes evocan el todo (Mandelbrot, 2010). En la naturaleza basta mirar con atención los árboles, las nubes, los ríos para encontrar una rica variedad de fractales naturales.

Mandelbrot, reconocido como el padre de los fractales, nació el 20 de noviembre de 1924 en Polonia, y se doctoro en matemáticas por la Universidad de Paris en 1952. Es conocido como el creador de la geometría fractal, por ser el primero en definir tal rama de las matemáticas, así como realizar sus principales aplicaciones en diversos campos, que van desde la economía, hasta los efectos especiales.

Antes de Mandelbrot, los fractales ya existían teóricamente, sin embargo eran considerados “monstruos” matemáticos, simplemente chistes o aberraciones matemáticas, a las cuales se llagaba si se realizaba cierta iteración (Mandelbrot, 2010).

Uno de los fractales más antiguos es el polvo de Cantor, que lleva el nombre de Georg Cantor, matemático germano-ruso del siglo XIX, que obligó a cambiar radicalmente la manera de pensar a los matemáticos respecto del infinito y los conjuntos (Mandelbrot, 2010).

El conjunto de cantor, es una muestra típica de paradoja y a la vez uno de los fractales más sencillos. Parte de una simple línea recta: una recta continua. Su generador, es la misma línea con el tercio medio suprimido, generando la siguiente regla: remplazar las líneas cada vez más cortas, por generadores cada vez más porosos (Mandelbrot, 2010).

Figura 4. Conjunto de Cantor

FIGURA 1



FIGURA 2



FIGURA 3



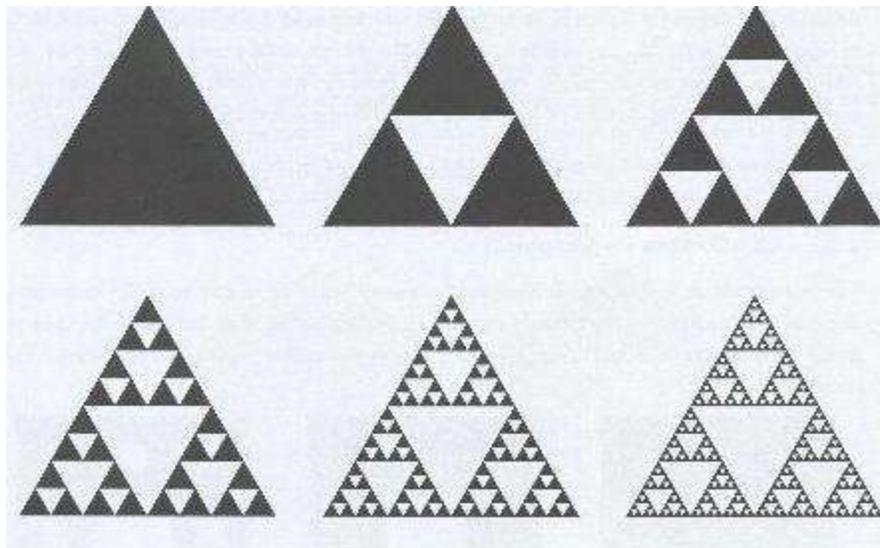
Fuente:https://www.google.com.mx/search?q=polvo+de+cantor&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUK Ewjb_4LTofHeAhUxja0KHUgVCgQQ_AUIDigB&biw=1458&bih=692#imgrc=fnP8JCdnAMmk-M:

Como puede observarse, después de ir iterando la misma regla, se llega a lo que se conoce como el polvo de cantor, o puntos infinitos que en realidad son rectas de un tamaño infinitamente pequeño.

Otro de los fractales, que antiguamente eran considerados como “bromas” matemáticas, es el triángulo de Sierpinsky. Hace más de un siglo, el matemático polaco Waclaw Sierpinsky estudió de pasada algunas formas peculiares, construcciones estrafalarias que evocaban curvas infinitamente largas dentro de cuadrados finitos. Su interés en ellas era puramente teórico (Mandelbrot, 2010).

El fractal, parte de una forma básica (el iniciador), en este caso el triángulo negro que se presenta en la siguiente imagen, y después se encuentra el generador o la plantilla para construir el fractal; en este caso es el triángulo original pero reducido a la mitad en anchura y altura, y clonado por triplicado para dejar un espacio triangular interior en el triángulo negro original. Ahora solo hay que remplazar cada triángulo sólido con una versión apropiadamente reducida del generador, generando la última figura de la imagen (Mandelbrot, 2010).

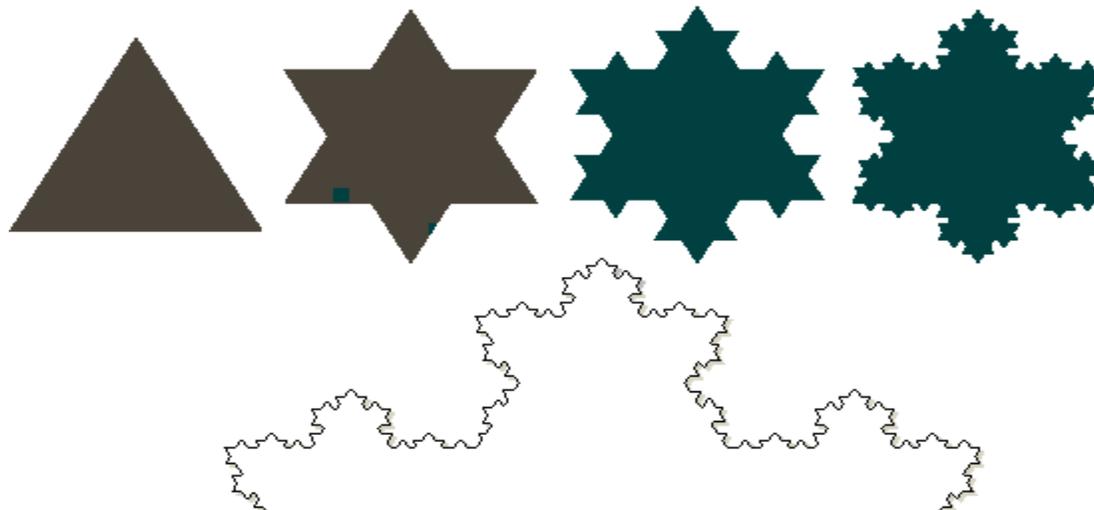
Figura 5. Triangulo de Sierpinsky



Fuente:http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/geometria_fractal/proyectos/movimiento_browniano/triangulo.jpg

En la galería fractal, también encontramos la curva de Koch, la cual fue diseñada por el matemático suizo Helge von Koch, quien en 1904 describió una construcción que recordaba a un copo de nieve, con bordes dentados y formas simétricas. Sin embargo, al igual que los fractales ya mencionados, esta construcción tenía una finalidad únicamente matemática. Uno de los principales rasgos de la curva de Koch, es que su contorno es de longitud infinita pero muestra una forma continua (Mandelbrot, 2010).

Figura 6. Curva de Koch

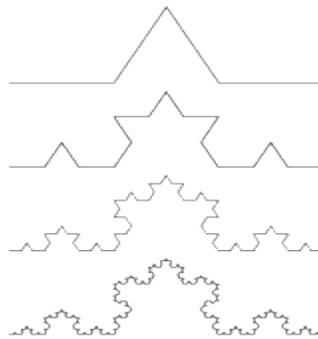


Fuente: https://1.bp.blogspot.com/xqrNALKw5VA/Wgnf52NK8OI/AAAAAAAAAFhc/FQhhwj2zcgcvZogCBC96LH_ACv705pGMgCLcBGAs/s1600/Koch.gif

Estos fueron los objetos matemáticos que llevaron a Mandelbrot a pensar en una nueva geometría, y en general en una nueva rama de las matemáticas para estudiar procesos complejos, a la cual denominó fractales.

¿Pero qué es lo que tienen en especial estas formas geométricas? Lo que tienen en común estas formas, es su dimensión y es la piedra angular en la teoría de fractales. La dimensión fractal es una medida numérica de la “escabrosidad” de un objeto. Por ejemplo, la figura de arriba (curva de Koch) ¿Qué longitud tiene? Si, para empezar, se toma una regla cuya amplitud sea un tercio de la del objeto, se obtendrá la primera línea triangular de la figura de abajo.

Figura 7. Desarrollo de la curva de Koch



Fuente: <http://www.epsilon.es/material/historia/008-frac-kochb.gif>

Si luego se acorta la regla a un tercio, como el diagrama inferior, la longitud estimada será mayor (de hecho, cuatro tercios mayor), porque ahora la regla puede introducirse en más cavidades de la curva. Si se continúa el proceso de acortar la regla y medir, en cada paso la longitud medida se multiplicará por $\frac{4}{3}$. Por lo tanto la dimensión fractal de la curva de Koch se define como el logaritmo de 4 dividido por el logaritmo de 3 (Mandelbrot, 2010).

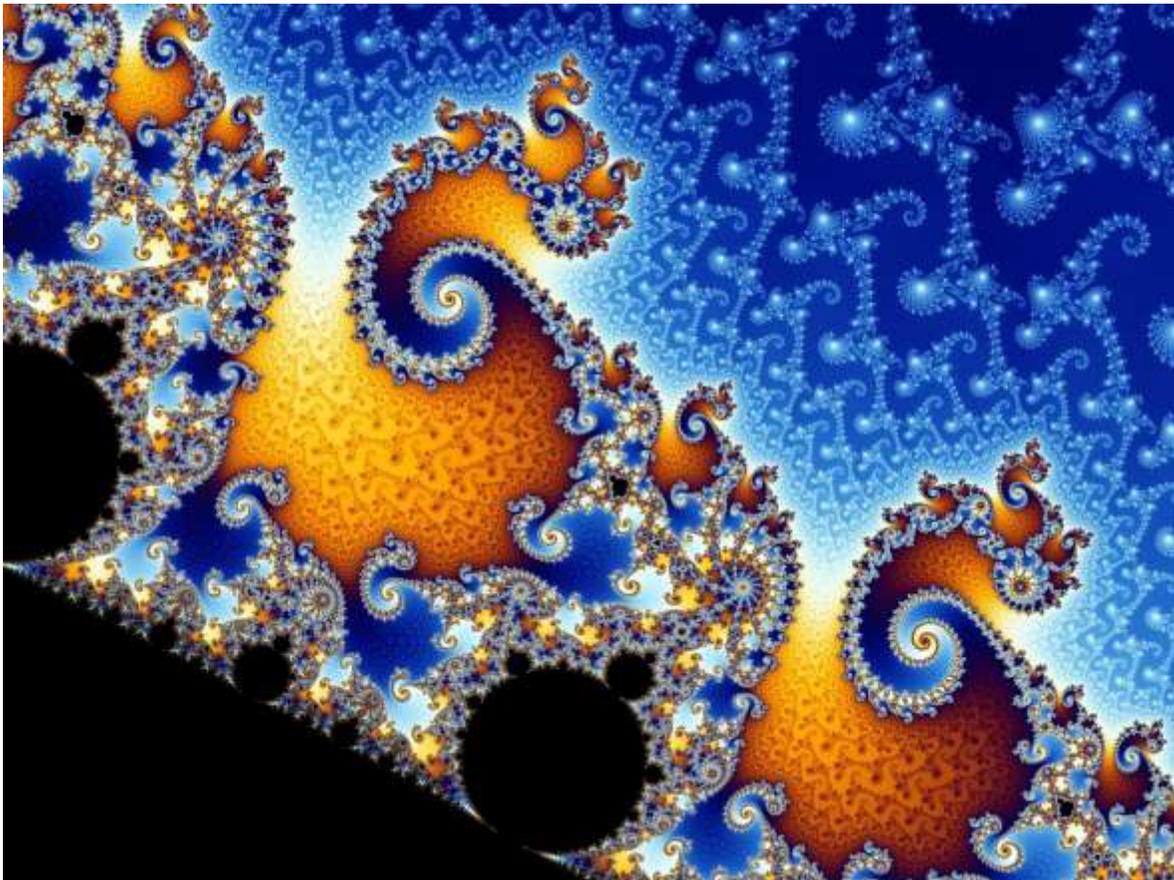
Lo que tienen en común este conjunto de objetos fractales, es que podemos ver que cada uno de ellos está compuesto por partes más pequeñas que evocan a la totalidad. Tal como el conjunto de Cantor, si se le aplica zoom al polvo de Cantor se sigue viendo el patrón de la recta seccionada, en el caso del triángulo de Sierpinsky es más notoria esta propiedad, al ver que el objeto está compuesto por partes más pequeñas que son iguales al fractal completo. En la curva de Koch encontramos el mismo patrón en cada lado del objeto fractal.

De esto se deduce que un fractal es un patrón o forma cuyas partes evocan el todo y, por lo tanto, que **“la geometría fractal va a consistir en identificar patrones repetitivos de alguna clase, analizarlos, cuantificarlos y manipularlos: es una herramienta a la vez analítica y sintética. El patrón puede tomar muchas formas. Puede ser una forma concreta que se repite a escalas sucesivamente menores, como en el caso del helecho o la coliflor. Puede ser una pauta estadística abstracta, como la probabilidad de que un cuadrado particular de una trama sea blanco o negro, como la probabilidad de que un punto en el espacio esté ocupado por una estrella o el vacío. La pauta puede aumentar o disminuir de escala, comprimirse o retorcerse, o ambas cosas. La manera en que ésta se repite puede estar estrictamente definida por una regla determinista; o puede dejarse al azar”** (Mandelbrot, 2010).

La forma en que se van a generar los objetos o patrones fractales es a partir de dos propiedades de los fractales: autosimilitud y autoafinidad.

Estas dos propiedades las podemos observar, en el que quizás es el fractal más famoso: el fractal de Mandelbrot. La importancia del conjunto de Mandelbrot, es que ilustra las profundas conexiones entre la geometría fractal y la teoría del caos. Empleando un simple bucle retroactivo matemático, para producir una asombrosa variedad y complejidad de resultados. Ya que, si aumentamos una parte de él, como si usáramos un microscopio aumenta la complejidad (Mandelbrot, 2010).

Figura 8. Conjunto de Mandelbrot



Fuente: https://www.google.com/search?q=conjunto+de+mandelbrot&sxsrf=ACYBGNQ51avHPxcZCB0ikOVJYW7N69i3Q:1573707737511&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiUurKV9ujAhURWqwKHQZRAnAQ_AUIEigB&biw=1366&bih=576#imgrc=nhgQgfoeEc

2.6.1. Autosimilitud

Se dice que un fractal es autosimilar cuando cambian de escala en la misma manera en todas direcciones, son como un zoom que comprime o expande todo de manera uniforme, tal como una buena copia a distinta escala (Mandelbrot, 2010).

Los fractales pueden tener tres tipos distintos de autosimilitud (Maldonado, 2017):

1. Autosimilitud exacta: este es el tipo más restrictivo de autosimilitud, ya que exige que el fractal parezca idéntico a diferentes escalas. A menudo se encuentra en fractales definidos por sistemas de funciones iteradas.
2. Cuasi-autosimilitud: exige que el fractal parezca aproximadamente idéntico a diferentes escalas. Los fractales de este tipo contienen copias menores y distorsionadas de sí mismos.
3. Autosimilitud estadística: se exige que el fractal tenga medidas numéricas o estadísticas que se preserven con el cambio de escala.

2.6.2 Autoafinidad

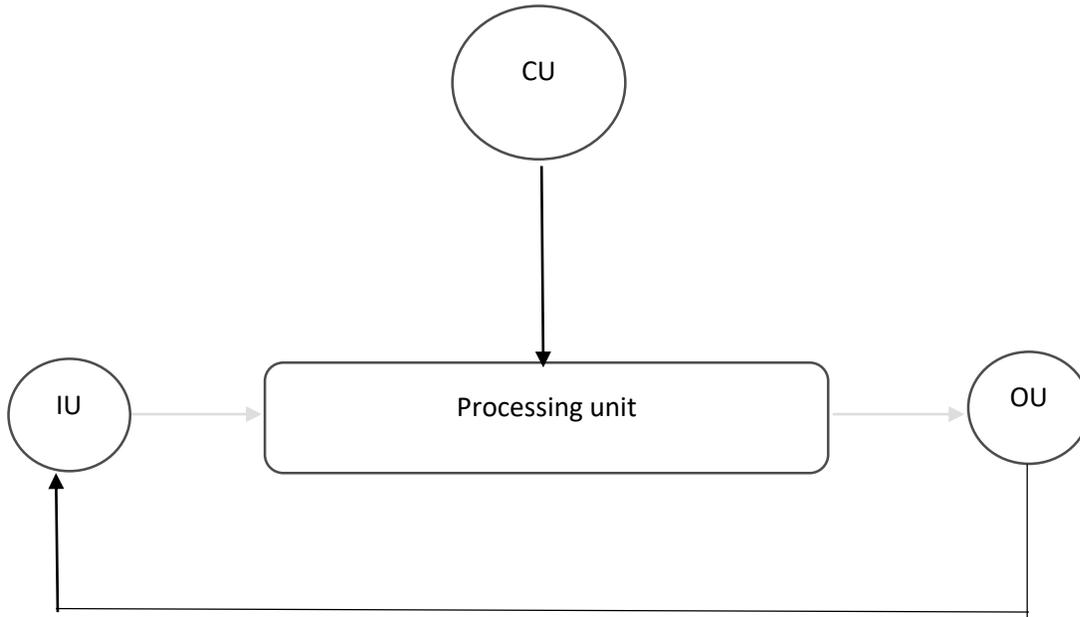
Aquellos objetos o patrones que al cambiar de escala cambie más hacia una dirección que en otra, son considerados autoafines. Son como una fotocopia que se expande más de un lado que hacia el otro (Mandelbrot, 2010).

Por otro lado, la autoafinidad estadística describe los procesos que al cambiar la escala temporal, se obtiene un proceso cuyas distribuciones sólo difieren de las del proceso original en la escala espacial (Maldonado, 2017).

Existen dos propiedades que permiten la generación de los procesos de autoafinidad y autosimilitud, las cuales forman a los procesos fractales, estas dos propiedades son la retroalimentación y la iteración (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998)

Sin embargo, ambas propiedades funcionan en un mismo sentido y son las leyes de la dinámica fractal, las cuales permiten generar procesos autoafines y autosimilares, y está representado por el siguiente modelo (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998).

Figura 9. Feedback machine

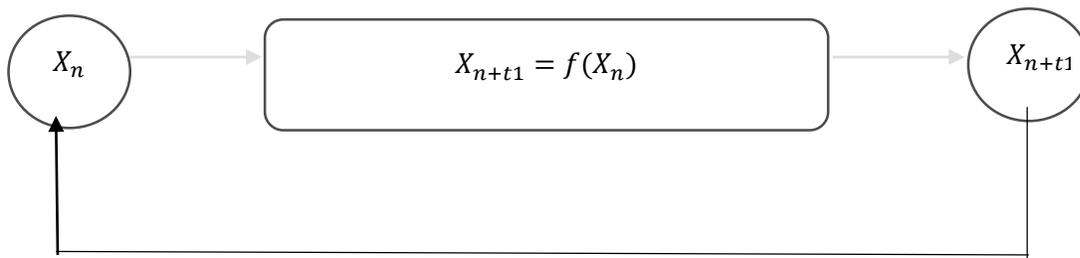


Elaboración propia en base en: (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998).

La máquina de retroalimentación está compuesta por tres unidades de almacenamiento; IU: input unit, OU: output unit, CU: control unit y, una unidad de procesamiento. La cual va a funcionar a partir de la retroalimentación en cada ciclo o iteración del proceso.

Un ejemplo de este esquema se encuentra en la siguiente ecuación:

Figura 10. Ejemplo de feedback machine



Elaboración propia con base en: (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998).

Donde $f(X_n)$ puede ser cualquier función, sin embargo una función que caracteriza a una familia de ecuaciones representativas de los procesos fractales es (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998):

$$X_{n+t1} = g(X_n, X_{n-1})$$

Dentro de esta función se encuentra la ecuación que genera los números de Fibonacci, que está representada por:

$$g(X_n, X_{n-1}) = X_n + X_{n-1}$$

La cual surge de un problema conocido, como el problema de los conejos, el cual comienza con un par de conejos en el tiempo cero, después de un mes el par de conejos madura y después de otro mes consiguen otro par de conejos, y así sucesivamente. Por lo tanto, se puede establecer las siguientes igualdades (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998):

$$J_{n+1} = A_n$$

$$A_{n+1} = A_n + J_n$$

Donde, J_{n+1} la cantidad de conejos jóvenes en el periodo "n+1" será igual a la cantidad de conejos adultos en el periodo "n". Y, por lo tanto, la cantidad de conejos en el periodo "n+1" es igual al número de conejos adultos en el periodo "n" más la cantidad de conejos jóvenes en el mismo periodo.

Si definimos los valores iniciales de, $J_0=1$ y $A_0=0$; esto es que en el inicio, o mes uno, sólo haya un par de jóvenes conejos, y ni un par de conejos adultos. Por lo tanto $J_n = A_{n-1}$ Pues la pareja de jóvenes conejos en el periodo "n" será igual a la cantidad de conejos adultos en el periodo anterior. De forma tal que (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998):

$$A_{n+1} = A_n - A_{n-1}$$

Ahora si le damos los valores iniciales del problema, es decir que $A_0 = 0$ y $A_1 = 1$, esto es que en el periodo cero, solo está el primer par de conejos jóvenes, en el periodo 1 apenas maduro nuestro par de conejos. Para el segundo periodo hay un par de conejos adultos y

un par de conejos jóvenes, para el tercer periodo hay dos pares de conejos adultos y un par de conejos jóvenes, y así sucesivamente generando la sucesión de Fibonacci:

0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89,144,233 ...

Y si vemos la tasa de la generación de sucesiones como: A_{n+1}/A_n obtenemos el número áureo, o el número de la divinidad, y es uno de los fractales más significativas en estadística por su sencillez (Peitgen, Jurgens, & Saupe, 1998).

Este número ha inspirado a filósofos, matemáticos, astrónomos, ya que es señalado como la proporción divina, que se encuentra desde el crecimiento de la población de conejos, en el crecimiento de los espirales de una concha, en el crecimiento de las galaxias, en la proporción del cuerpo humano, en diversas pinturas y obras de arte, entre muchos casos.

2.6.3 Multifractales

Un proceso multifractal es un fractal, pero con la diferencia de que tiene más de una razón escalar en el mismo objeto, de manera que una parte de éste se reducen rápidamente y otras lentamente. En términos generales, un fractal es como un objeto definido en blanco y negro: los puntos pertenecientes al conjunto fractal se muestran en negro y el resto se deja en blanco, mientras que los multifractales se acercan más al funcionamiento real de muchos aspectos de la naturaleza, al contener tonalidades de gris (Mandelbrot, 2010).

2.6.4 Leyes de potencia

Las leyes de potencia son ante todo la característica principal en el análisis del comportamiento fractal en las series estadísticas. Un fractal, es un patrón o fenómeno que carece de escala, es decir se comporta de la misma manera independientemente de la escala con la que se le mida. Por ejemplo, un fenómeno que se comporte a través del tiempo, independientemente de la escala temporal: días, semanas, meses o años. El comportamiento del fenómeno será el mismo.

Las leyes de potencia, son usados para describir eventos en los cuales una variable aleatoria alcanza valores altos con poca frecuencia, mediante que los valores medianos o pequeños son muchos más comunes (Aljure & Gallejo, 2010).

Mandelbrot llega a esta conclusión al analizar los precios del algodón en los Estados Unidos. Lo que advierte Mandelbrot, es que el comportamiento de la variación de los precios del algodón, eran grandes y pequeñas mezcladas en un mismo crisol mercantil (Mandelbrot, 2010). Es decir, periodos de estabilidad en los precios, y momentos turbulentos. Sin embargo, presentando un patrón que se repite independientemente de la escala temporal con la cual se observa, incluso una vez descontado el componente estacional.

2.6.5 Exponente de Hurst

El análisis fractal de series de tiempo, parte de la ecuación propuesta por Albert Einstein para describir el movimiento browniano de una partícula en un medio líquido, definido por la siguiente ecuación (Mandelbrot, 2010):

$$R = K\sqrt{T}$$

Donde:

R= distancia recorrida

T=tiempo

K=constante arbitraria.

Esta ecuación la reescribió el hidrólogo Hurst, para estudiar la memoria a largo plazo en el río Nilo, reescribiendo la ecuación como:

$$\left(\frac{R}{S}\right) = Cn^H$$

Donde:

(R/S) = proceso de rango reescalado

C= constante de proporcionalidad

N= número de datos por intervalo

H= es el coeficiente de Hurst

Ecuación que en términos prácticos es aplicada de la siguiente manera:

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = \log C + H \log n$$

Con esta ecuación definimos el valor de Hurst, como una ecuación lineal entre el rango reescalado de cada partición, y el logaritmo del número de datos contenidos en cada partición.

Los pasos para la construcción del rango reescalado son (Aguilar, 2014):

1. Se divide la serie en intervalos de igual número de datos; el número de intervalos lo llamaremos en adelante particiones, de tal forma que el número de particiones por el número de datos en el intervalo sea igual al tamaño de la serie total. Al variar el número de particiones, se obtiene cada vez la serie dividida en intervalos de igual número de datos; si la serie tiene características autoafines, sin importar el tamaño de los intervalos, debe conservar las mismas características.
2. En cada partición, para cada uno de los intervalos: 1) Calcular la media y la desviación estándar. 2) Determinar la variación de cada dato con respecto a la media y acumular las diferencias. 3) Se establece el rango restando del dato mayor el menor. 4) Se divide el rango por la desviación estándar, obteniendo el rango estandarizado.

Los resultados son interpretados como (Aguilar, 2014):

- ❖ Si $H < 0$ se trata de series anti persistentes con reversión a la media. Es decir, si la serie ha estado arriba de un determinado valor que hace las veces de media de largo plazo en el periodo anterior, es más probable que esté abajo en el periodo siguiente y viceversa, por lo que se considera que esta serie presenta ruido rosa.
- ❖ Si $H = 0.5$ los datos son independientes y se considera que no hay memoria. Se trata de una serie aleatoria que cumple con todas las características del movimiento browniano estándar y presenta ruido blanco.

- ❖ Si $H > 0$ la serie es persistente, refuerza la tendencia. Es decir, si la serie estaba arriba (o abajo) de su media de largo plazo en el periodo anterior, lo más probable es que continúe arriba (o abajo) en el periodo siguiente, por lo que se considera que la serie presenta ruido negro y esto aparece generalmente en procesos cíclicos de largo plazo.
- ❖ Si $H = 1$, la serie es determinística.

2.6.7 Aplicaciones del Exponente de Hurst en series de tiempo

La literatura respecto a la aplicación del exponente de Hurst en series temporales se concentra principalmente en la aplicación al mercado bursátil. Tenemos por ejemplo los trabajos de (Juan Benjamín Duarte Duarte, 2014), encontrando persistencia en las series temporales de los principales activos financieros, con un valor del exponente de Hurst de 0.6 en promedio. (Aguilar, 2014) hizo un análisis del exponente de Hurst, para el tipo de cambio en el periodo 1992-2011, encontrando un valor de 0.65 para el periodo analizado, con lo cual concluye que el tipo de cambio es una serie de tiempo persistente la cual debe ser estudiada con otro tipo de modelos que no sean los convencionales. (Juárez, 2007) en su tesis doctoral, describe el comportamiento fractal de las principales variables financieras del mercado mexicano y norteamericano (IPC, DJI, TDC, TDCUS), encontrando que estas presentan un valor del exponente de Hurst persistente. (Karla Soria B., 1991), identificaron un exponente de Hurst de 0.65 para el Índice General de Precios de las Acciones de la Bolsa de Comercio de Santiago. (José Isrrael Villagómez-Bahena, 2009), encontraron en promedio un exponente de Hurst de 0.7 para un portafolio de acciones del mercado mexicano, el cual fue estimado por la metodología de Hurst. (Niño, 2014), encontró en variables financieras colombianas un exponente de Hurst de 0.6, afirmando la persistencia en las series de tiempo. (José, 2016) estimó para Colombia el exponente de Hurst, para el caso del indicador WTI para el petróleo, estimando un exponente de Hurst de 0.55, que es de los más bajos para tipo de series financieras, que se acerca más al ruido blanco. En otras aplicaciones (Delgado & Delgado, 2011), aplicaron la metodología del rango reescalado para el cálculo

del exponente de Hurst en una superficie topológica, estimando un exponente de Hurst de 0.64, para distintos perfiles topográficos.

Las principales investigaciones de la aplicación del exponente de Hurst, son aplicaciones a las series de tiempo a través de la metodología del rango reescalado. Pero, por otro lado, se identifica que las investigaciones son de carácter puramente estadístico, sin darle una explicación teórica sobre los resultados, que es principalmente el objetivo de esta investigación, explicar teóricamente la naturaleza fractal de la inflación, a partir del enfoque de los sistemas complejos.

Capítulo 3. Aspectos metodológicos de la inflación en México

Antes de pasar a la aplicación del modelo se dará una breve descripción respecto a la metodología de la construcción del Índice Nacional de Precios al Consumidor, que es la variable base para el estudio de la inflación. Con la finalidad de conocer las características de la variable de estudio.

La inflación en México es estudiada como la tasa de variación del Índice de Precios al Consumidor (IPC), el cual era diseñado por BANXICO, hasta la entrada en vigor de la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (LSNIEG)⁹, publicada el 16 de abril del 2008 en el Diario Oficial de la Federación, en la cual se contempla la transferencia en la elaboración y publicación de los índices de precios del Banco de México al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), siendo éste último el encargado de tal responsabilidad a partir de julio del 2011 (BANXICO, 2011).

El INPC se elabora dando seguimiento a los precios de una canasta de bienes y servicios, representativa del consumo de los hogares en un momento dado del tiempo. En la determinación de la canasta de consumo se utiliza como principal fuente de información la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) que recaba el INEGI.

Encuesta, que para la segunda quincena del año 2010 se trabajó con una muestra de 83,500 bienes y servicios específicos y 283 genéricos, para los cuales se cotiza su precio en 46 ciudades, cubriendo al menos una ciudad por cada entidad federativa (BANXICO, 2011).

El IPC se divide en Específicos, Genéricos, Subíndices e Índice General. Los específicos son productos o servicios que cuentan con gran detalle en su descripción, incluyendo marca y/o modelo, por ejemplo, alguna cerveza de marca “x” que contiene “y” mililitros, vendida en la tienda “z”. Mientras que los genéricos agrupan productos específicos con características

⁹ Ley disponible en el siguiente vínculo:
<http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/marcojuridico/LSNIEG.pdf>

similares y constituyen la menor ponderación dentro del índice general, por ejemplo cereales en hojuelas (BANXICO, 2011).

La diferenciación de los productos, permite estudiar la inflación a través de diversos conceptos, tales como pueden ser; por área geográfica, por productos, por estrato del ingreso, por mencionar algunos. Así como facilitar el análisis en cuanto a identificar la fuente originaria de la inflación.

Los componentes del INPC general son los siguientes:

Índice Nacional de Precios al Consumidor y Componentes (En porcentaje)	
Concepto	Ponderación
Índice General	100
Subyacente	76.74
Mercancías	34.52
Alimentos, Bebidas y Tabaco	14.82
Mercancías No Alimenticias	19.7
Servicios	42.22
Vivienda	18.74
Educación	18.36
Otros servicios	5.13
No Subyacente	23.26
Agropecuarios	8.47
Frutas y verduras	3.66
Pecuarios	4.82
Energéticos y Tarifas Autorizadas por el Gobierno	14.78
Energéticos	9.51
Tarifas Autorizadas por el Gobierno	5.28

Elaboración propia con base en el documento de Banco de México disponible en el siguiente vínculo:
http://web.uaemex.mx/feconomia/CICE/Archivos/Catedra_BM/Inflacion.pdf

La ponderación de los componentes, es respecto a lo que representan del gasto de las familias de acuerdo a la ENIGH. A su vez, la descomposición del índice en subyacente y no subyacente es para identificar aquellos productos que por la estructura del mercado en particular pueden llegar a ser muy volátiles, tal es el caso de los bienes y servicios que se encuentran en el índice no subyacente, mientras que aquellos que son más representativos del proceso inflacionario se encuentran en el índice subyacente. Sin embargo, esta

descomposición no descarta el análisis del proceso inflacionario en el índice general, o en alguno de sus componentes, por lo contrario, facilita el análisis para resaltar ciertos aspectos muy particulares.

La herramienta estadística que se utiliza para la construcción del IPC, es el índice de Laspeyres (Banxico, 2012).

$$L = \frac{\sum_i p_i^t * q_i^0}{\sum_i p_i^0 * q_i^0}$$

Donde:

p_i^t es el precio del bien “i” en el periodo “t”

p_i^0 es el precio del bien “i” en el periodo inicial o base

q_i^0 es la cantidad del bien “i” en el periodo inicial o base

Cabe destacar que en el índice de Laspeyres, la cantidad es fijada en el periodo inicial o base, de acuerdo al año en que se definió el patrón de consumo de la población de acuerdo a la ENIGH del año 2010, con esto adquiere la cualidad de representatividad de las preferencias de los consumidores medida en una canasta representativa del gasto del consumo de los hogares.

2.1. Consideraciones finales

La construcción del INPC pasa por un proceso largo y bien constituido para llegar al resultado final, y dada la amplitud que abarca la encuesta, y la cantidad de productos que se encuentran dentro de esta, se considera que esta es muy representativa respecto a los patrones de consumo de las familias en México.

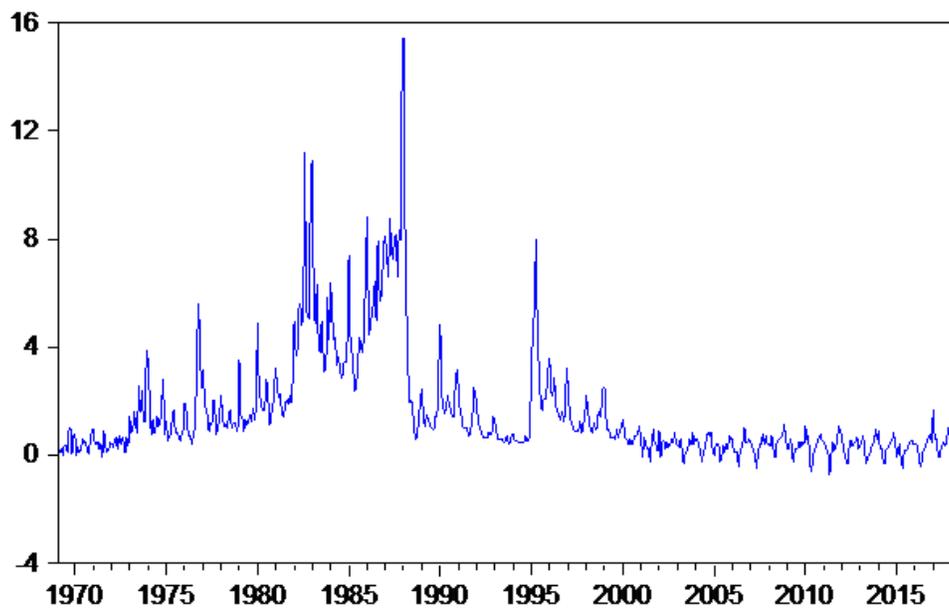
Por otro lado, el objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento de la inflación en el tiempo, a partir del enfoque de los sistemas complejos. Por lo cual, se utilizará el INPC como la variable que permite medir el proceso inflacionario. Es decir, se analizará un fenómeno económico, pero desde el enfoque de los sistemas complejos. Lo que implica que si bien, es un fenómeno económico, a este se le aplicará un análisis de complejidad,

definiendo el proceso generador del comportamiento de la inflación, como un proceso emergente.

Capítulo 4. Modelo del proceso fractal de la inflación.

El análisis del coeficiente de Hurst, para determinar la fractalidad de la inflación en México se aplicó para el periodo de 1969 al 2018, con la finalidad de obtener un rango demasiado significativo y con grandes cambios en el tiempo, como es el régimen y los objetivos de política monetaria. Esto con la intención de verificar que exista un proceso autosimilar en la serie de la inflación en la economía mexicana.

Figura 11. Inflación mensual en México 1969-2018



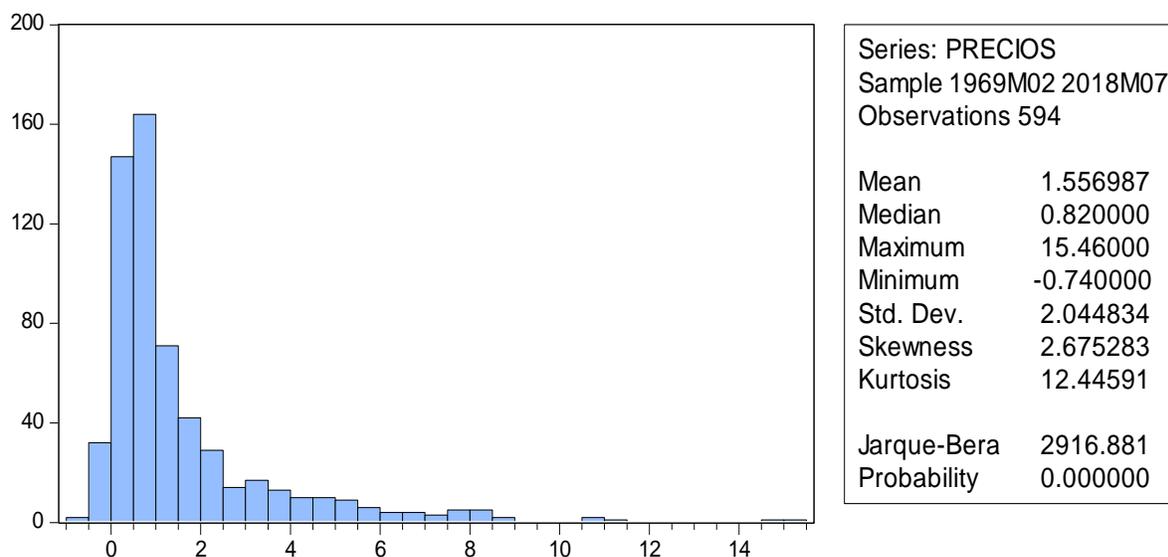
Fuente: elaboración propia con base en datos del Banco de Información Económica del INEGI

El grafico 11 representa la evolución de la inflación desde 1969 hasta el 2018. Se puede observar una dinámica bastante irregular, sin embargo, con un patrón muy marcado respecto a su comportamiento, recordando al modelo de simulación de turbulencia de Mandelbrot¹⁰.

¹⁰ Ver (Mandelbrot, 2010)

La distribución de frecuencia de la serie mensual de la inflación muestra rasgos de distribuciones de leyes de potencia. Se observan pocos valores con alta frecuencia, seguido de mayor cantidad de valores con menor frecuencia. Es decir, momentos turbulentos seguidos de momentos de estabilidad. Lo que implica dos situaciones; la presencia de grandes incrementos de precios, seguidos de eventos con variaciones más moderadas.

Figura 12. Distribución de potencia en la inflación



Fuente: elaboración propia con base en datos del Banco de Información Económica del INEGI

El cálculo del exponente de Hurst, se calculó con base en la metodología del rango reescalado, explicado anteriormente. Primero se trabajó la serie completa, a la cual se le determinó el rango reescalado, para después ir fraccionando la base de datos hasta generar una partición de tamaño 11, dado que la base de datos de la inflación es mensual, esto implica bloques de tamaño de 11 meses.

Este proceso, implicó ir fraccionando la serie e ir determinando su rango rescalado para cada bloque temporal de tamaño, por lo que para la última partición se realizaron 99 cálculos de 99 particiones, la base de datos consta de 594 observaciones. Una vez obtenido el rango rescalado, se obtiene el promedio de cada partición el cual se vuelve un par de puntos para realizar el modelo de cálculo del exponente de Hurst.

Se debe de tener en mente, que el proceso de rango rescalado, se lleva a cabo para ver la invariancia de escala de la serie de tiempo. En caso de presentar invariancia de escala a medida que se va fraccionando la serie, se estaría en presencia de características estadísticas fractales.

Figura 13. Exponente de Hurst

N	ln(n)	lnR/S
594	6.38687932	5.12971777
297	5.69373214	4.49200402
198	5.28826703	3.70350537
148	4.99721227	3.57434121
118	4.77068462	3.2688571
99	4.59511985	3.13338541
84	4.4308168	3.07044158
74	4.30406509	2.71199884
66	4.18965474	2.76278638
59	4.07753744	2.69364861
49	3.8918203	2.43778485
45	3.80666249	2.51740217
33	3.49650756	2.1654968
22	3.09104245	1.95121351
11	2.39789527	1.26440101
6	1.79175947	0.8286501

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del proceso de rango reescalado.

Como se ve en la tabla del exponente de Hurst, la partición más pequeña fue de 6 valores, que corresponde a un análisis de cada 6 meses para observar la invariancia del proceso inflacionario, comenzando con una muestra de 594 observaciones correspondientes a 48 años. Una vez obtenido el par de puntos que componen la muestra para el exponente de Hurst, se pasó a estimar la siguiente regresión:

$$\log\left(\frac{R}{S}\right) = \log C + H \log n$$

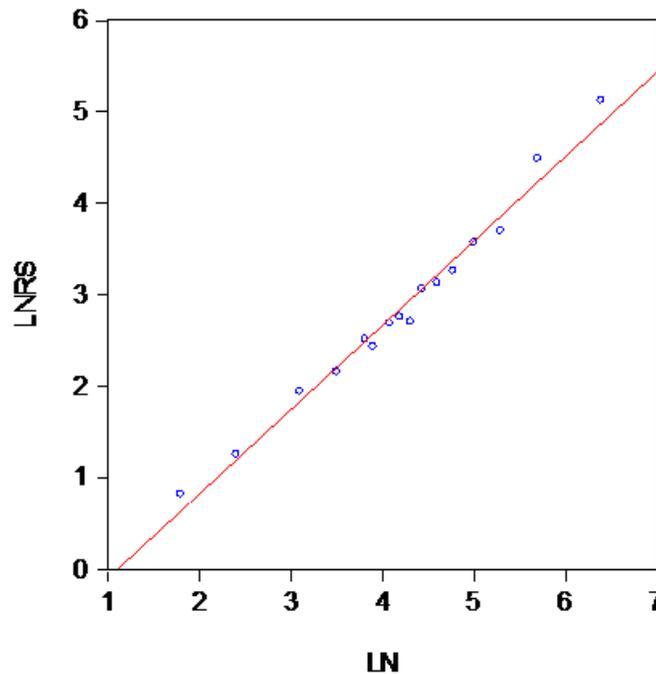
Figura 14. Resultados de la regresión

Included observations: 16

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN	0.921498	0.033540	27.47455	0.0000
C	-1.014244	0.145894	-6.951938	0.0000
R-squared	0.981791	Mean dependent var	2.856602	
Adjusted R-squared	0.980490	S.D. dependent var	1.084990	
S.E. of regression	0.151548	Akaike info criterion	-0.819359	
Sum squared resid	0.321535	Schwarz criterion	-0.722786	
Log likelihood	8.554874	Hannan-Quinn criter.	-0.814414	
F-statistic	754.8509	Durbin-Watson stat	1.158842	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fuente: elaboración propia con base en el par de puntos obtenidos por el proceso del rango rescalado

Figura 15. Ecuación de Hurst



Fuente: elaboración propia con base en el par de puntos obtenidos por el proceso del rango rescalado

El exponente de Hurst para la serie temporal de la inflación en el periodo que va de 1960 a 2018 fue de 0.92. Resultado que se encuentra entre 0.5 y 1, rango que es parte de movimientos brownianos con naturaleza persistente o, mejor conocidos como ruido negro.

La naturaleza de la inflación en México es de carácter fractal; independientemente del periodo de estudio, el comportamiento será el mismo, con un alto grado de autosimilitud estadística.

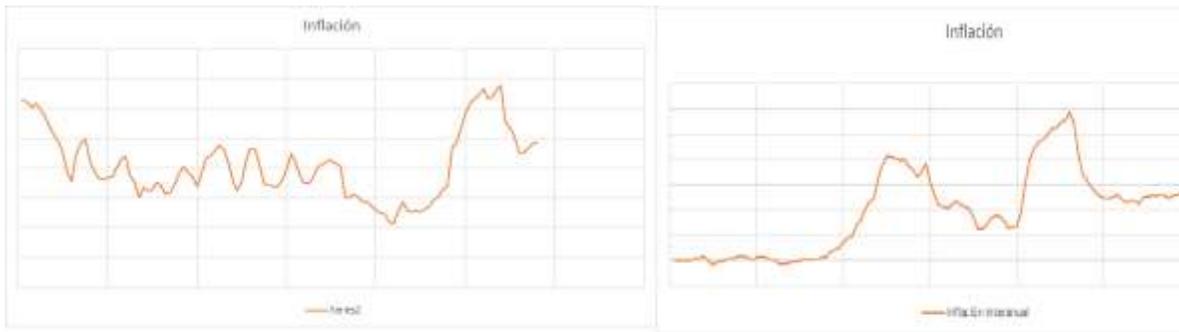
Con estos resultados se pueden afirmar varias implicaciones respecto al proceso inflacionario. Primero, que al compartir características fractales se puede aceptar la hipótesis de la presente investigación, afirmando que la inflación es parte de los atractores que generan diversidad en el sistema, al atraerlo a un estado al borde del caos. Pero también podemos afirmar que el comportamiento de la inflación es independiente del régimen monetario. Aún con un cambio estructural en la conducción de la política monetaria, la naturaleza del proceso inflacionario continuó siendo el mismo.

Estos resultados, contrastan con el análisis tradicional en un periodo tan largo, y en el cual se presenta un cambio estructural tan grande, como el que atraviesa la economía mexicana a finales del siglo pasado, no sólo en términos de política monetaria, sino en términos de toda la política económica. La naturaleza de la inflación, no depende de las variables de control que están determinadas por el marco conceptual que predomina en la autoridad monetaria.

Por ejemplo, abajo, se presentan dos gráficos de la inflación interanual en México, si omitimos los valores de los ejes, es imposible poder identificar cual representa a cual periodo, simplemente parece algo caótico, que es precisamente el rasgo fractal de la inflación.¹¹

¹¹ Este tipo de análisis de comparación estática es muy utilizado en la literatura fractal, más en el área de finanzas.

Figura 16. Autosimilitud en la inflación



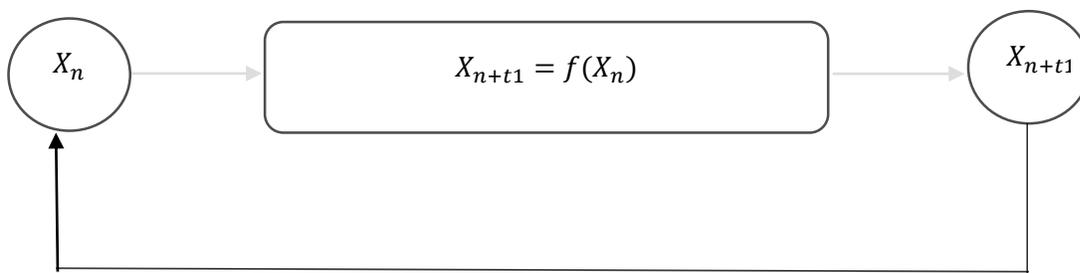
Fuente: elaboración propia con base en la variación del INPC obtenida del BIE para distintos años.

4.1. Fractales inflacionarios

Al construir la base de datos para estimar el exponente de Hurst, se identificó que el valor estandarizado de la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la partición, tiene aproximarse al número áureo.

Los hallazgos muestran que el proceso que genera la inflación, es un proceso de retroalimentación e iteración, muy común en la naturaleza, como es el crecimiento de las galaxias. Este comportamiento es definido en esta investigación como mareas o fractales inflacionarios, que hacen referencia a periodos de tiempo en los cuales la dinámica de la inflación va a estar explicada por un fractal generado por el siguiente mecanismo:

Figura 17. Feedback machine en la inflación



Sin embargo, este mecanismo no ocurre para todo el periodo, el número aureo comienza a surgir a partir de la segunda partición, por lo que al trabajar con la serie completa no muestra ningún patrón en su comportamiento. Sin embargo, a medida que vamos

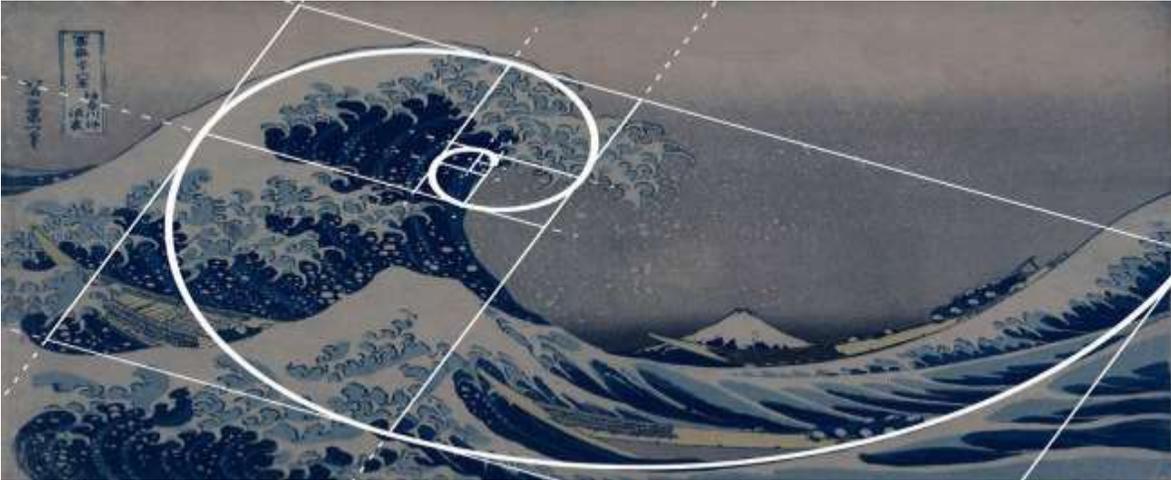
fraccionando la serie, se va aproximando al número aureo. Si comenzamos con la segunda partición comienza a aproximarse a un valor de 1.7, ya para el análisis en tres particiones, comienza a surgir el valor de 1.6, al sacar la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo, estandarizados en cada bloque. Si bien sólo es una aproximación, comienza a surgir a medida que vamos partiendo la serie, e incluso llega a emerger constantemente el valor de 1.6 en las particiones de la serie. Esto implica la existencia de fractales inflacionarios, u olas inflacionarias en las cuales su naturaleza esta explicada por el número áureo. Los fractales inflacionarios, son periodos de tiempo en los cuales la naturaleza de la inflación sigue un patron bien definido, aunque parezca caotico. Para particiones de tiempo mas pequeñas la aproximación del número aureo desaparece, por lo que al hablar de periodos de tiempo de 6 meses u 11 meses, es más complicado encontrar el patron del fractal inflacionario.

En el corto plazo la inflación es aparentemente aleatoria, es el caos total, que va generando diversidad en la dinámica económica, sin embargo, de este desorden o estado de caos en la variación de los precios, surge un proceso emergente o un fractal inflacionario, el cual tiene una naturaleza que se aproxima al número áureo, por lo tanto, es orden dentro del caos.

Este análisis además arroja una importante muestra, pues al tratarse de un proceso de caos determinista que surge de procesos aleatorios, entonces señala que el análisis correcto de la dinámica de la inflación debe de ser un análisis multifractal. Pues existen dos fractales interactuando, por una parte, está el oleaje inflacionario determinado por un fractal de característica determinista, que gobierna todo el periodo, el cual se encuentra fragmentado en olas o fractales inflacionarios, definidos por un mecanismo simple de retroalimentación, e iteración, aproximado a la ecuación de la sucesión de Fibonacci. Por otro lado, un fractal aleatorio que gobierna la variación de los precios en el corto plazo, el cual se va agregando al oleaje inflacionario de manera aleatoria.

Entonces, lo que vemos es un caso de fractales en la economía, el cual puede entenderse de manera más precisa, si vemos la siguiente pintura de la gran ola de Hokusai.

Figura 18. La gran ola de Hokusai



Fuente: <http://japonbarcelona.com/literatura/blog/wp-content/uploads/2017/02/gran-ola-proporcion-aurea.jpg>

Si se ve la imagen, los fractales inflacionarios pueden entenderse visualmente a través de la gran ola de Hokusai, donde el número áureo define la forma de la gran ola, sin embargo, sobre esta tenemos cientos de olas más pequeñas, las cuales emulan el comportamiento aleatorio de la inflación en el corto plazo. Lo que representa la parte del fractal aleatorio, que a su vez se encuentra sobre un oleaje de fractales deterministas.

4.2. Causas de la naturaleza fractal de la inflación en México

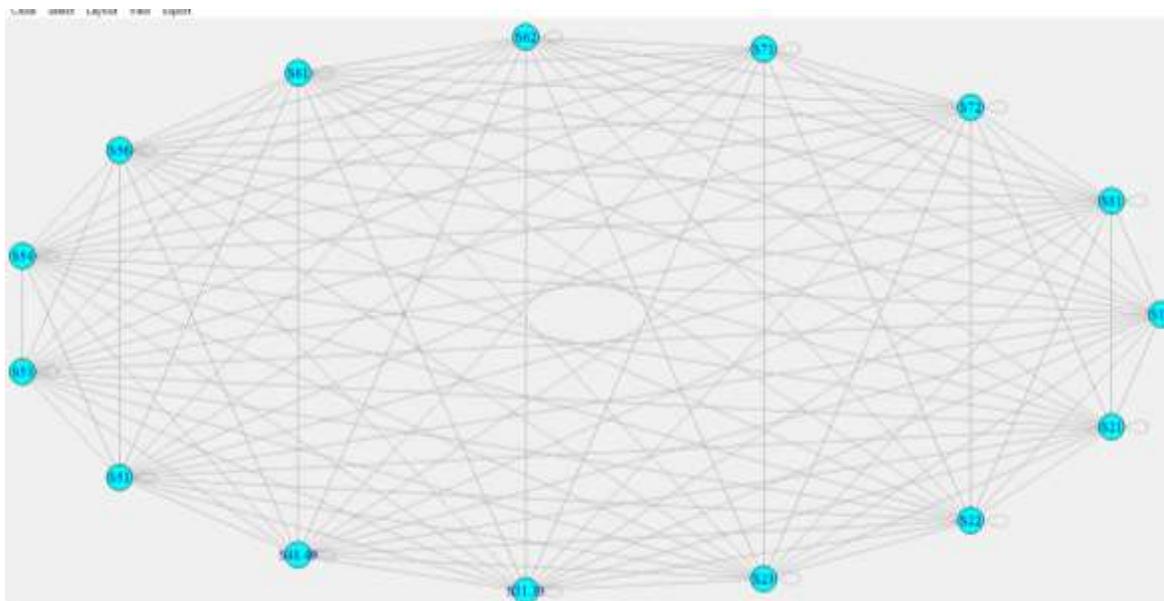
Una vez identificado la inflación como un atractor extraño, que orienta la dinámica del sistema económico mexicano a un estado de complejidad, puede estudiarse su origen a partir de las propiedades de los sistemas complejos. Como se ha descrito en esta investigación, un fractal estadístico es un proceso autosimilar a través del tiempo, esto implica, que el mecanismo generador del fractal estadístico se retroalimenta originando memoria a muy largo plazo, en un ambiente aleatorio a corto plazo. Esto pudiera ser posible gracias a las propiedades de los sistemas complejos, como el mimetismo y el efecto amplificador y reciclaje. Recordando que el mimetismo es una propiedad que proporciona diversidad en un sistema, al replicar patrones existentes, pero con características particulares. Es decir, la propiedad que tienen los agentes dentro del sistema para replicar

patrones, los cuales son generados por procesos emergentes. Como menciona (Holland, 2004), al definir la diversidad como un “patrón dinámico, a menudo persistente y coherente como una ola estacionaria de un torrente de agua.”

Dada estas propiedades, se estudiará la propagación de la inflación entre el agregado de 16 sectores económicos, para los cuales el INEGI reporta la inflación. A partir del estudio de las interacciones intersectoriales, con la finalidad de identificar propiedades autosimilares en sus interacciones, las cuales formen, a partir de comportamientos miméticos, patrones dinámicos y persistentes.

Para ello se construyó una red a partir de la elaboración de coeficientes técnicos inflacionarios¹², con la finalidad de generar una red de interacciones entre los sectores que nos permita conocer la distribución de las interacciones entre los sectores.

Figura 19. Red de interacción sectorial inflacionaria



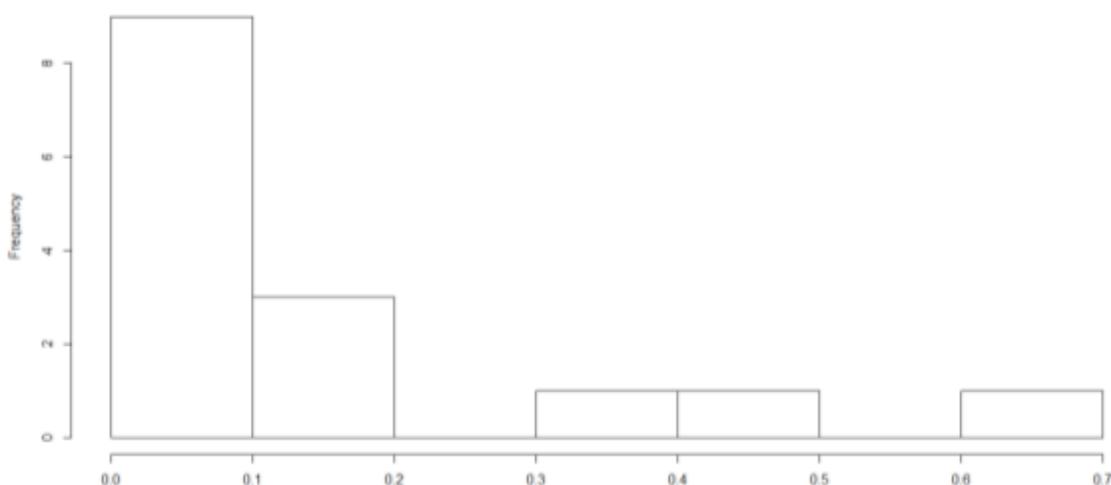
Fuente: elaboración propia con datos del índice sectorial reportada por el INEGI y la paquetería I-graph

¹² Se construyó una matriz de insumo producto, con los 16 sectores de la economía mexicana, ponderando los coeficientes técnicos con la inflación intersectorial que reporta el INEGI.

En el anterior grafo se presenta el sistema de interacciones inflacionarias en la economía mexicana, donde cada nodo representa un sector o un conjunto de sectores que se encuentran en la matriz de insumo-producto. Como puede observarse, el proceso inflacionario es un proceso interrelacionado entre sectores, donde la principal característica es la distribución del grado de interacción entre los nodos, la cual sigue una distribución de potencia.

La distribución del grado de potencia, representa sobre la estructura de una red, su distribución en términos de conexiones, de tal forma que si son conexiones aleatorias se presentará un histograma clásico de una campana de Gauss.

Figura 20. Histograma de grado



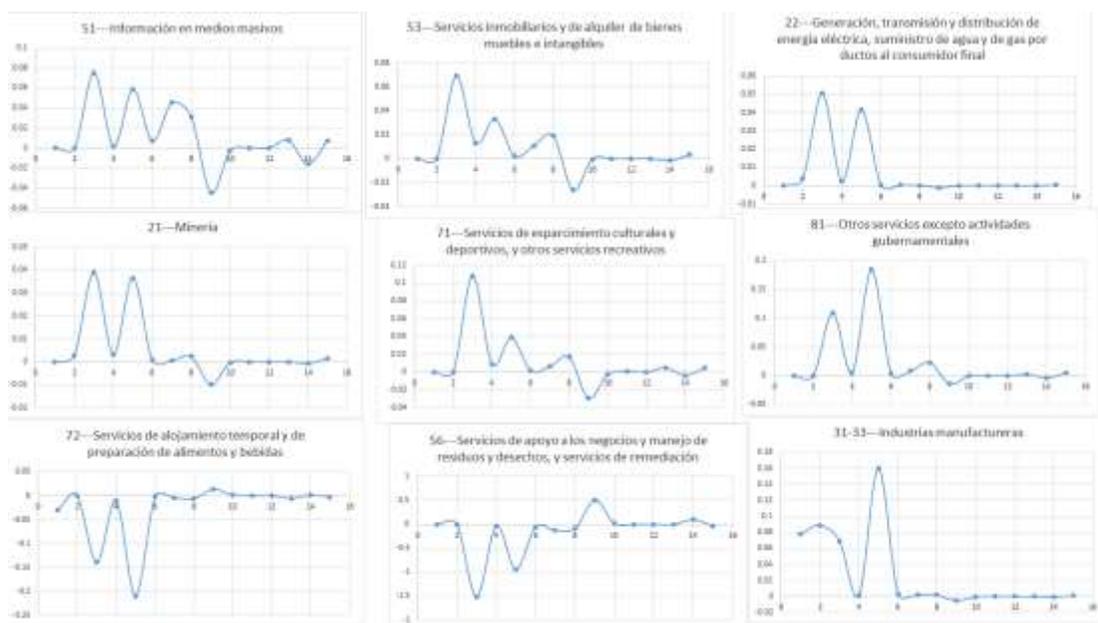
Fuente: elaboración propia con la paquetería I-graph.

Para el caso de la red inflacionaria en México, vemos una distribución de potencia en el grado de conectividad entre los sectores de la economía, lo que implica que las interacciones siguen una ley potencial, que es de acuerdo a Mandelbrot la distribución de frecuencia de un evento fractal. Entonces, lo que tenemos es que la fractalidad en el espacio temporal, a su vez es generado por las interacciones entre los sectores, los cuales interactúan a partir de una ley de potencia, esto implica grandes cambios de precios o una

marea alborotada o salvaje, seguida de un periodo de estabilidad, o en otras palabras interacciones caóticas seguidas de un orden determinista.

Esto puede verse, si se analizan las interacciones inflacionarias entre sectores, como puede verse en los siguientes gráficos, el comportamiento de la inflación se repite una y otra vez a lo largo de toda la estructura económica, con el mismo patrón siempre que exista una interacción fuerte. Esto es, hay una presencia muy marcada de un comportamiento de mimetismo en la estructura económica en México, una propiedad básica de un sistema complejo, como se analizó en una sección anterior. Por lo tanto, los fractales inflacionarios, son generados por la diversidad de la economía mexicana, en la cual el comportamiento del mimetismo es la clave para comprender la evolución de los precios en la economía mexicana.

Figura 21. Inflación intersectorial



Fuente: elaboración propia, con datos del Banco de Información Económica del INEGI

Como puede reafirmar al análisis de la distribución de la interacción en la red inflacionaria, siempre que hay una fuerte interacción, la forma en que se propaga la inflación en la economía, es autosimilar en todos los sectores.

Por lo tanto, los fractales inflacionarios son temporales, pero también están presentes en la forma en que interactúan los sectores en la economía, que está explicado por un proceso de mimetismo, que es propiedad básica de todo sistema complejo. A su vez, con esto los fractales inflacionarios son auto afines estadísticamente, pero también auto similares en su estructura definida por las interacciones.

Conclusiones

La presente investigación realizó una descripción estadística, y a partir del método de redes para probar el comportamiento fractal del fenómeno inflacionario en México. Los resultados obtenidos señalan que la economía mexicana puede estudiarse como un sistema complejo, el cual está integrado por diversos sectores heterogéneos, los cuales interactúan a través de relaciones no-lineales y siguiendo leyes de potencia. Estas características en las interacciones intersectoriales, explican la invariancia de escala en el movimiento de los precios entre los sectores. Dando la existencia de variaciones de precios más volátiles en unos cuantos sectores, los cuales amplifican el proceso inflacionario, junto a movimientos de los precios más estables.

Las implicaciones de lo anterior, es que se puede explicar la propagación de la inflación sectorial a partir de reglas muy sencillas, al seguir un comportamiento autoafin. El cual se va a expandir más, en pocos sectores. Mientras que será una propagación más estable en mayor cantidad de sectores.

Por otro lado, la naturaleza fractal de la inflación en su propagación intrasectorial, explica la persistencia a largo plazo que presenta la inflación, como serie de tiempo. Al estimarse un coeficiente de Hurst de 0.92, lo cual implica un alto grado de autoafinidad estadística en la serie. Es decir, la inflación es un proceso que se repite a distintas escalas temporales; ya sea una quincena, un mes, un año o incluso varios años. Más aun, la inflación emerge de la interacción de dos fractales; un fractal determinista a largo plazo con periodos de hasta 11 meses, y fractales aleatorios a corto plazo. Proceso que es motor de la dinámica económica,

al ser una variable que genera caos, y por lo tanto diversidad en la trayectoria y composición de la economía mexicana.

Lo anterior pudiera implicar que al frenar el atractor que atrae la trayectoria de la dinámica del sistema, se está limitando la capacidad del sistema, es decir: se congela la economía, al no permitir que la variación de los precios genere la diversidad necesaria para que se dé un estado de coevolución intrasectorial. Generando distorsiones en el proceso de aprendizaje del sistema.

Bibliografía

- Aguilar, R. R. (2014). El coeficiente de Hurst y el parámetro alpha-estable para el análisis de series financieras. Aplicación al mercado cambiario mexicano. *Contaduría y administración*.
- Aldana, M. (2011). Criticalidad, robustez y evolución en redes genéticas. En J. F. Valdés, & G. M. Mekler, *Encuentros con la complejidad* (págs. 150-177). México: Siglo XXI.
- Aljure, J., & Gallejo, A. (2010). Desigualdad y leyes de potencia. *Cuadernos de Economía*.
- Arthur, W. B. (1999). Complexity and the Economy. *Science* 2, 107-109.
- Bailliu, J., Díaz, D. G., Krugel, M., & Miguel, M. (Febrero de 2003). Explicación y predicción de la inflación en mercados emergentes: el caso de México. México, México, México.
- BANXICO. (Enero de 2011). Documento metodológico INPC. México.
- Banxico. (28 de 08 de 2012). Inflación: Causas, Consecuencias y Medición. México.
- Barro, R. J. (1983). Rules, discretion and reputation in a model of monetary policy. *Journal of monetary economics*.
- Bazdresch, C. (1978). La política monetaria mexicana. En L. S. M., *La economía mexicana*. México: Fondo de Cultura económica.
- Bertuglia, C. S., & Vaio, F. (2005). *Nonlinearity, Chaos and Complexity*. New York: OXFORD.
- Blanchard, O. (2003). *Macroeconomía*. Argentina: Mc Graw Hill.
- Carreño, M. A., & Gonzales, R. V. (Febrero de 2008). La tasa de inflación en México, 2000-2007. México.
- Cisneros, G. M. (26 de Abril de 2017). Determinantes del proceso inflacionario. Un análisis de cointegración para el caso de México, 1980-2001. México.
- Contreras, S. H. (2014). La dicotomía clásica y la política. *Economía informa* núm. 368, 68-93.
- Correa, E. (Mayo-Agosto 2010). México, crisis económica y financiera. *Análisis económico*.
- Darwin, C. (1985). *El origen de las especies*. Madrid: EDAF.
- Delgado, O. Y., & Delgado, J. R. (2011). Estimación del exponente de Hurst y la dimensión fractal de una superficie topográfica a través de la extracción de perfiles. *Geomatica*, 84-91.
- Eichner, A. S. (1984). *Economía Postkeynesiana*.
- Elsner, W., Heinrich, T., & Schwardt, H. (2015). *The microeconomics of complex economies*. Alemania: ELSEVIER.
- Esquivel, G., & Raúl, R. (20 de septiembre de 2002). Fuentes de la inflación en México 1989-2000: un análisis multicausal de corrección de errores. México, México, México.

- Friedman, M. (1970). *El papel de la política monetaria*. Boston.
- Friedman, M. (1982). Teoría de los precios. En M. Friedman, *Teoría de los precios* (pág. 25). Madrid: Alianza Editorial.
- G.S.Maddala. (1991). *Microeconomía*. McGraw-Hill.
- Galbraith, J. (1967). *El nuevo Estado industrial*. Cambridge : Ariel.
- Giraldo, P. A. (2006). La neutralidad del dinero y la dicotomía clásica en la macroeconomía. Bogota.
- Holland, J. H. (2004). *El orden oculto, de cómo la adaptación crea la complejidad*. México : FCE .
- Jefrey, S. D., & Larrain. (2002). *Macroeconomía en la economía global*. Buenos Aires.
- José Isrrael Villagómez-Bahena, F. L. (2009). Evidencias de memoria a largo plazo en rendimientos y volatilidades del mercado accionario mexicano . *XIII Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas*, (págs. 1-22). México.
- José, G. H. (2016). Estimación del exponente der Hurst y la dimensión fractal del petróleo: caso WTI. Colombia.
- Juan Benjamín Duarte Duarte, e. a. (2014). Evaluación de la memoria de largo plazo del mercado bursátil colombiano mediante el coeficiente de Hurst. *Revista Internacional Administración y Finanzas*, 1-10.
- Juárez, G. S. (2007). *Procesos Hurst y movimiento browniano fraccional en mercados fractales*. México: Instituto Tecnológico de Monterrey.
- Kalecki, M. (1995). *Teoría de la dinámica económica. Ensayo sobre los movimientos cíclicos y a largo plazo de la economía capitalista*. México : FCE .
- Karla Soria B., Z. S. (1991). Algunas estimaciones del coeficiente de Hurst para el IGPA Chileno. Chile.
- Luzmila Pró, Z. M. (2004). ALGORITMOS GENÉTICOS, SUS PROPUESTAS DE APLICACIÓN:. *Rev. investig. sist. inform.*
- Maldonado, R. M. (2017). *Contagio financiero: Modelación con fractales y cópulas desde la crisis subprime a la eurozona y su repercusión en LATAM*. México.
- Mandelbrot, B. (septiembre de 2010). *Fractales y finanzas*. Barcelona, España : Tusquets Editores .
- Mankiw, T. P. (s.f.).
- Mankiw.M, N. G. (2006). *Macroeconomía*. Mc Grawhill.
- Martínez, A. P. (2015). La obra de Stuart Kauffman. El problema del orden complejo y sus implicaciones filosóficas. *Pensando la complejidad No. VII*, 21-38.
- Martinez, L., Sanchez, O., & Werner, A. (s.f.). *Consideraciones sobre la conducción de la política monetaria y el mecanismo de transmisión en México*.

- Mishkin, F. S. (14-15 de noviembre de 2000). De metas monetarias a metas de inflación: lecciones de los países industrializados . México, Ciuda de México, Mexio.
- Niño, J. E. (2014). *Cálculo del exponente de Hurst mediante la metodología wavelets para la validación de la validación de la regla de la raíz del tiempo y su aplicación al riesgo de mercado.*
- Peitgen, H.-O., Jurgens, H., & Saupe, D. (1998). *Fractals for the classroom.*
- PÉREZ, M. A. (2005). *LA OBRA DE STUART KAUFFMAN. APORTACIONES A LA BIOLOGÍA DEL SIGLO XXI E IMPLICACIONES FILOSÓFICAS.* Madrid: FACULTAD DE FILOSOFÍA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.
- Perrotini Henández, I. (s.f.). El nuevo paradigma monetario. *Economía UNAM.*
- Peter, K. (1984). Precios . En A. S. Eichner, *Precios* (págs. 56-71). Madrid.
- Pisani, F. J. (2013). *La inflación, el caballo de troya del neoliberalismo.*
- Ros, J., & Galindo, L. M. (2006). Banco de México: política monetaria de metas de inflación . *Economía UNAM.*
- Rosano, F. L. (2011). Complejidad en las organizaciones. En J. F. Valdés, & G. M. Mekler, *Encuentros con la complejidad* (págs. 90-115). México: Siglo XXI.
- Samuelson, P. A. (2005). *Macroeconomía con aplicaciones a Latinoamerica.*
- Solís, L. (1978). La politica monetaria en México. En *Política y desarrollo.* México: Fondo de Cultura Económica.
- Stephens, C. R. (2010). Lo que no es la complejidad . En J. F. Valdés, & G. M. Mekler, *Encuentros con la complejidad* (págs. 13-45). México: siglo xxi.
- Stiglitz, J. E. (1997). *La economía del sector público.*
- Trevithic, J. A. (1975). *Economía de la Inflación* . Bogota: Buenos Aires.
- Zapata Rotundo, G. J., & Jorge, C. (2008). La complejidad de las organizaciones: aproximación a un modelo teórico . *Revista de Ciencias Sociales* , 46-62.