

A complex network diagram with numerous nodes of various colors (red, blue, green, yellow, purple, orange) connected by a dense web of thin grey lines. The nodes vary in size, and the connections form a complex, interconnected structure.

INTRODUCCION A LOS SISTEMAS COMPLEJOS ECONOMIA DE LA COMPLEJIDAD

Juan Gabriel Brida
Grupo de Investigación en Dinámica
Económica (GIDE)
Departamento de Métodos
Cuantitativos
Facultad de Ciencias Económicas y
de Administración
Universidad de la República, Uruguay

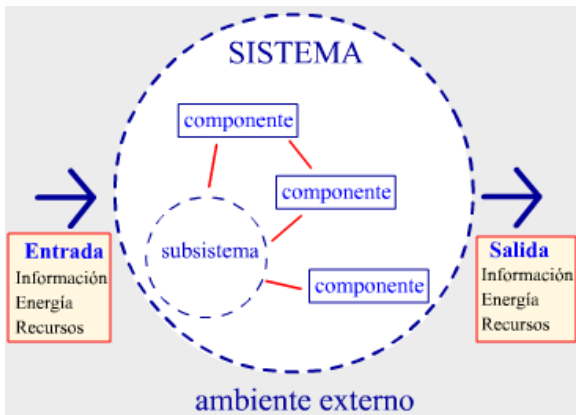
SISTEMAS

¿Qué es un sistema y cómo funciona?

Un sistema es un objeto complejo cuyas partes o componentes se relacionan con al menos alguno de los demás componentes que **funciona** como un todo a fin de alcanzar un objetivo concreto.

De aquí se desprenden dos implicaciones fundamentales:

- 1) que existe una influencia mutua entre sus elementos, de forma que el cambio experimentado en uno de ellos repercute y afecta inevitablemente al resto.
- 2) que una serie de elementos reunidos (es decir, un conjunto), que no persigue un propósito común (un objetivo), no constituye un sistema.



ELEMENTOS DE ENTRADA, PROCESO, SALIDA Y RETROALIMENTACIÓN DE UN SISTEMA. Es lo que transforma una entrada en salida, como tal puede ser una maquina, un individuo una computadora, un producto quimico, una tarea realizada por un miembro de la organización etc... Las mismas son el resultado del funcionamiento del sistema

Sistema dinámico

¿Qué es un sistema dinámico?

Un sistema dinámico es un sistema cuyo estado evoluciona con el tiempo.

El estado de un sistema está caracterizado por un cierto número de parámetros llamados variables (de estado)

En un sistema dinámico hay una variable que debe estar presente en un modo esencial: la variable tiempo.

Tiempo discreto y continuo

Sistemas dinámicos lineales y no lineales

- ¿Qué es un sistema lineal?
- ¿Qué es un sistema no lineal?
- Características de los sistemas dinámicos lineales
- El paradigma lapalciano
- Sistemas no lineales, imprevisibilidad, caos
- Lectura: *El cisne negro. El impacto de lo altamente improbable.* 591 páginas. Taleb, Nassim Nicholas. Ediciones Culturales Paidós; México, DF, 2013. ISBN: 978-607-9202-55-2.

Sistemas complejos

- Un sistema complejo está compuesto por varias partes interconectadas o entrelazadas cuyos vínculos crean información adicional no visible antes por el observador.
- En un sistema complejo es imposible hacer predicciones
- Un sistema complejo debe ser *dinámico y no lineal*
- complejidad no es sinónimo de complicación
- sistemas complejos típicos son: El tiempo atmosférico; La geodinámica: terremotos y volcanes; Los ecosistemas; Los seres vivos; Las sociedades; Las ciudades

Sistemas complejos

no existe una definición precisa de lo que es un sistema complejo, pero pueden darse algunas peculiaridades comunes:

1. está compuesto por una **gran cantidad de elementos relativamente similares**.
2. **la interacción entre sus elementos es local y origina un comportamiento emergente** que no puede explicarse a partir de dichos elementos tomados aisladamente.
3. es muy difícil **predecir su evolución dinámica futura**; o sea, es prácticamente imposible vaticinar lo que ocurrirá más allá de un cierto horizonte temporal.

Propiedades. Los Sistemas Complejos son:

1. *Conectados*: hay interacción entre los distintos elementos que crea información adicional. Estas conexiones se pueden dar en forma de redes
2. *Interdependientes*: hay una dinámica de interacción entre los elementos del sistema
3. *Numerosos*: la cantidad de elementos que lo conforman es “grande”
4. *Adaptativos*: son capaces de adaptarse a su entorno. Pueden ser evolutivos en el sentido darwiniano.

Propiedades. Los Sistemas Complejos son:

5. *Dependientes del camino*: dependiendo de la configuración inicial obtenemos distintos tipos de configuraciones dinámicas. Hay la sensibilidad a las condiciones iniciales

6. *Emergentes* (no-linealidad multi-nivel): de la interacción entre los elementos surgen propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de propiedades de los elementos típicos. Puede aparecer un “orden” a partir del “desorden”. Se observan patrones “macro-dinámicos”.

La aparición de fenómenos complejos está relacionada también con la existencia **puntos críticos y puntos de bifurcación** donde tienen lugar **cambios estructurales** que puedan inducir una **fase de inestabilidad** o criticidad donde el sistema presenta una **respuesta no-lineal** a shocks.

Characteristics of Complex Systems

A 'complex' system

Emergent behavior that cannot be simply inferred from the behavior of the components

Complex Systems

Involve:

Many Components

Dynamically Interacting

and giving rise to

A Number of Levels or Scales

which exhibit

Common Behaviors

Size Scale

Emergence

Hierarchies

Self-Organization

Control Structures

Composites

Substructure
Decomposability

A 'simple' system

Transdisciplinary Concepts

Across Types of Systems,
Across Scales, and thus
Across Disciplines

Chaos

Fine Scales Influence
Large Scale Behavior

Evolution

Time Scale

SISTEMAS COMPLEJOS NATURALES Y ARTIFICIALES

NATURALES donde los humanos no intervienen:

- Galaxias
- Evolución de las especies
- Clima

ARTIFICIALES, contruidos por el ser humano:

- Ciudades
- Economía

En ambos grupos

- Surgen estructuras emergentes espontáneas, “no previstas”:
- Congestión del tránsito
- Reagrupamientos sociales
- Crisis

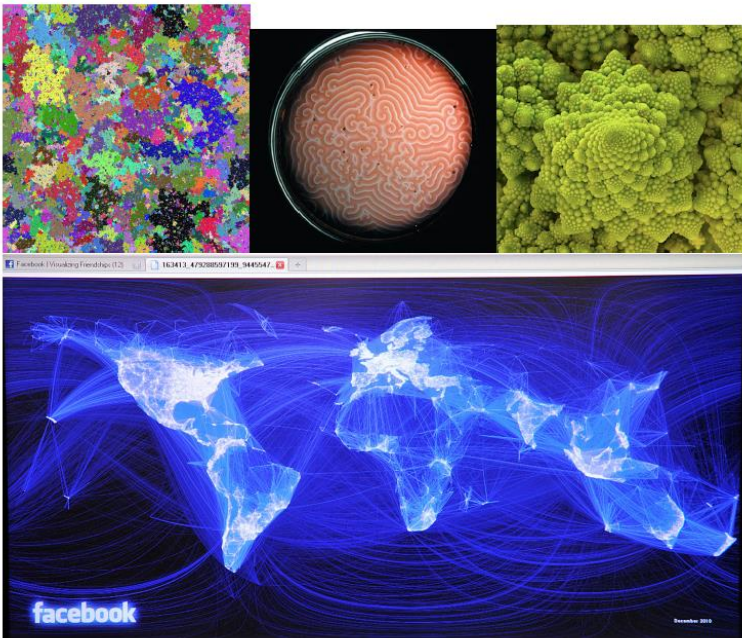


Figura 1: Ejemplos de complejidad en la naturaleza

Sistemas complejos

Constituido por un conjunto de agentes elementales en interacción.

Cada uno de estos agentes:

- tiene un comportamiento individual (reglas simples)
- interactúa localmente con los demás
- sin necesariamente tener una visión del conjunto.

Surgen fenómenos de:

- Emergencia
- Auto-organización
- Descentralización
- Adaptación

Auto-organización

- Se entiende por auto-organización el proceso mediante el cual un sistema natural se reproduce a sí mismo mediante sus propia lógica y los elementos que lo componen.
- los sistemas auto-organizados son aquellos en los que ellos mismos son su propia causa y razón de ser
- Los sistemas auto-organizados son autocontenidos, todo ocurre dentro del sistema.
- La auto-organización de los sistemas complejos induce una jerarquización de los mismos, en el sentido de que, primero aparecen fenómenos emergentes en un nivel alto que no se encuentran o se pueden explicar al nivel de los constituyentes elementales

Criticidad

- los sistemas que pueden sufrir un cambio de fase cuando se varía ciertos parámetros y que por lo tanto pueden ser sintonizados en un punto crítico.
- aparecen fenómenos relevantes como, por ejemplo, **respuesta no lineal a estímulos** que se intensifica y propaga sin amortiguamiento o la existencia de **leyes de potencias** para las distribuciones estadísticas de propiedades del sistema (existencia de avalanchas de actividad en el espacio y el tiempo que se distribuyen mediante leyes de potencias) y como consecuencia de esto aparece en dicha situaciones **invariancia de escala**

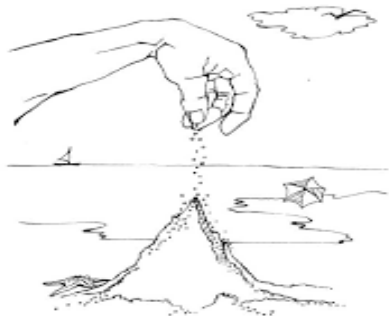
Criticidad auto-organizada (SOC)

- Se combina la auto-organización y la criticidad para describir la complejidad observada en algunos fenómenos naturales
- La SOC es una propiedad de los sistemas dinámicos por la que organizan su comportamiento microscópico presentando invariancia de escala en el espacio y el tiempo.
- La fenomenología emergente se parece al comportamiento observado en los puntos críticos en los cambios de fase. Sin embargo y a diferencia a lo que ocurre en los cambios de fase, los sistemas que presentan SOC no requieren un ajuste externo fino de ningún parámetro de control

Criticalidad autorganizada (SOC)

- La SOC describe sistemas dinámicos que tienen puntos críticos como un atractor en su evolución temporal.
- El comportamiento macroscópico de los sistemas con criticalidad autorganizada exhibe invariancias de escala espaciales y temporales típicas de una transición de fase.
- A diferencia de un punto crítico común al cual se arriba por un ajuste externo del parámetro de orden, los sistemas que exhiben criticalidad autorganizada espontáneamente se mantienen cerca del punto crítico.
- El modelo más sencillo que muestra SOC es el llamado modelo de pila de arena BTW.

Efecto pila de arena



El concepto de criticidad auto-organizada (S-OC) fue introducido por Bak et al. (1987) usando el ejemplo de una pila de arena. El estado de equilibrio se alcanza de muchas maneras y el equilibrio es crítico. Perturbado al añadir más arena, el sistema retorna a un estado de equilibrio que no es el original.

Efecto pila de arena

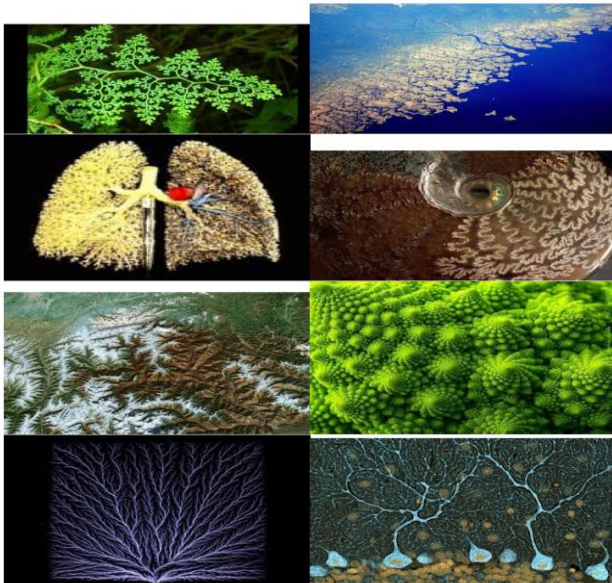
En el estado estacionario, la superficie de la pila de arena hace en promedio un ángulo constante con el plano horizontal, conocido como el ángulo de reposo. La adición de cada grano de arena da como resultado alguna actividad en la superficie de la pila. La pila de arena tiene avalanchas, efectos dominó o corrimiento general de granos de arena cuando llegado al límite de la pendiente se añaden más granos. Se denomina tamaño de la avalancha al número de granos que arrastra. En el régimen estacionario, las avalanchas son de muchos tamaños diferentes y Bak et al. (1987) argumentó que tendrían una distribución de la “power law”. Si uno comienza con un estado inicial no crítico, inicialmente la mayor parte de las avalanchas son pequeñas, pero el rango de tamaños de las avalanchas crecen con el tiempo. Después de mucho tiempo, el el sistema llega a un estado crítico, en el que las avalanchas se extienden por todas las escalas de longitud y tiempo.

Fractales

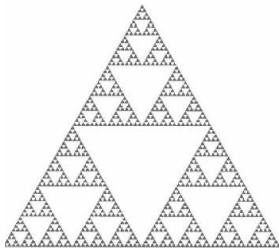
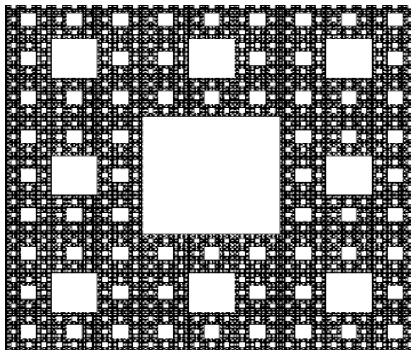
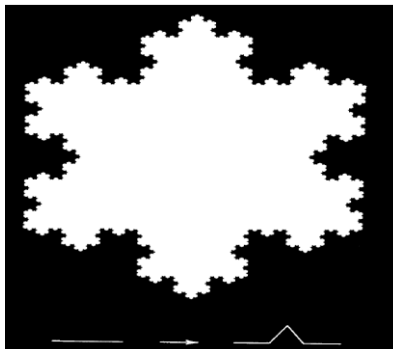
Los modelos de pila de arena son modelos de no-equilibrio que no necesitan ser sintonizados para que las magnitudes de interés muestren correlaciones de largo alcance y criticidad. Fueron propuestos como un mecanismo físico que explicara la aparición de complejidad en la naturaleza, la invariancia de escala y la existencia de los llamados **fractales**, como los árboles, los copos de nieve, las fracturas sísmicas, etc. Muchas estructuras espaciales naturales se forman por agregación espontánea de gran número de componentes idénticos.

¿Qué aspectos en la dinámica de los sistemas complejos son responsables de la formación de fractales?

Ejemplos de fractales naturales



Ejemplos de fractales



Isla de Koch, la Alfombra de Sierpinsky y la triangulo de Sierpinsky.

Complejidad y caos

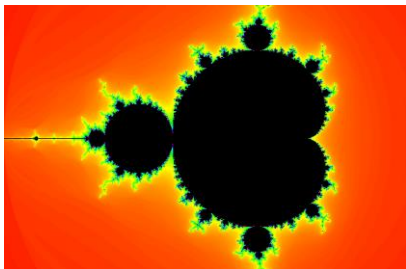
En el estudio de los sistemas complejos se introducen los sistemas caóticos como un paradigma de sistema complejo en el sentido que su comportamiento es altamente impredecible, manifestando alta sensibilidad a las condiciones iniciales y para el que es necesario la presencia de no-linealidades en la dinámica del sistema.

Ejemplos. Complejidad y caos

atractor de Lorenz

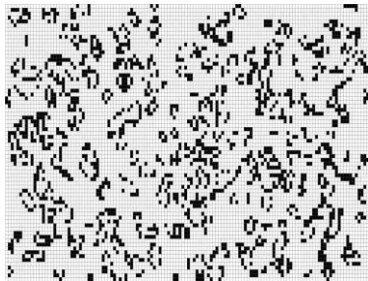


Conjunto de Mandelbrot



Ejemplos. Complejidad y caos

Autómatas celulares



Configuración del Juego de la vida de Conway, donde se aprecian algunos de los organismos emergentes y complejidad

Otro ejemplo de sistemas sencillos que dan lugar a complejidad son los llamados autómatas celulares como el “Juego de la vida” de Conway, que son sistemas reticulares donde los nodos o “células” pueden tener solo un número finito de posibles estados (dos en el caso del juego de la vida, esto es “vivo” o “muerto”) y donde con unas pocas reglas locales de interacción entre los nodos puede surgir una fenomenología emergente compleja

Complejidad y Caos

Comportamientos

Impredecibles

Predecibles

Número de Variables

Muchas

Sistema Complejo:

La relaciones de causa y efecto no se repiten y son impredecibles

Sistema complicado:

Causa y efecto están separados en tiempo y espacio, pero pueden estudiarse

Pocas

Sistema caótico:

No puede percibirse que haya relaciones de causa y efecto

Sistema Simple:

La relación causa/efecto es repetible y predecible

Caos: Cuán intrincados pueden ser los comportamientos de sistemas relativamente simples.

Complejidad: Se busca encontrar comportamientos emergentes en sistemas con muchos grados de libertad. La dinámica evoluciona a mitad de camino entre el orden y el desorden ("en el borde del caos").

Complejidad y caos

Caos	Complejidad
Cómo surgen comportamientos complejos a partir de sistemas simples	Cómo surgen comportamiento simples a partir de sistemas complejos
Sistemas no lineales simples conducen a comportamientos extremadamente complicados (s.c.i.)	Interacciones simples de muchos elementos conducen, a niveles superiores, a patrones de comportamiento reconocibles
Cómo reconocer, describir y predecir sistemas que exhiben la propiedad de dependencia sensible a las condiciones iniciales	Cómo un sistema que es complicado puede conducir a patrones de comportamiento reconocibles cuando el sistema se considera como un todo

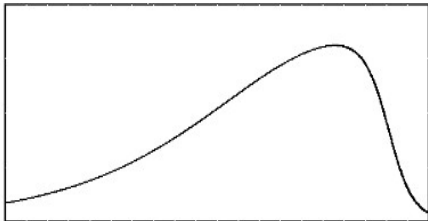
Efecto Séneca

- Bardi, U. (2018). Why Economists Can't Understand Complex Systems: The case of William Nordhaus, Nobel Prize in Economics. Resource Crisis
- Mientras que el ascenso de una sociedad es progresivamente creciente de forma suave, el colapso ocurre de forma brusca.
- Esset aliquod inbecillitatis nostrae solacium rerumque nostrarum si tam tarde perirent cuncta quam fiunt: nunc incrementa lente exeunt, festinatur in damnum. Séneca, Epistola XCI a Lucilio “Sería algún consuelo para la debilidad nuestra y de nuestras obras si todas las cosas perecieran con la misma lentitud que llegaron a existir; pero tal como son las cosas los incrementos son de lento crecer, la ruina es rápida”

Efecto Séneca



Las ruinas de la pirámide egipcia de Meidum, quizás el primer gran edificio que se derrumbó en la historia (*). El colapso de grandes estructuras es parte de un campo de estudio fascinante que podemos llamar "Colapsología".



¿No tropiezas, a veces, con algo que parece tener mucho sentido, pero no puedes decir exactamente por qué?: el "acantilado Séneca"

Efecto Séneca

Colapsos en sistemas complejos: los sistemas complejos son complejos porque están dominados por el mecanismo que llamamos "retroalimentación". Debido a los efectos de retroalimentación, una estructura grande puede colapsar cuando falla uno de los elementos que los componen. Eso puede conducir al fracaso de los elementos que lo rodean. Estos, a su vez, causan la falla de otros elementos del sistema, y así sigue. El resultado es lo que llamamos una "avalancha" y, como dijo Séneca, "la ruina es rápida".

Redes complejas

Muchos sistemas biológicos, sociales o de comunicación se pueden describir adecuadamente a través de redes complejas cuyos nodos representan individuos u organizaciones, y los enlaces simbolizan las interacciones entre ellos.

Una **red compleja** se refiere a una red (modelada como grafo) que posee ciertas propiedades estadísticas y topológicas no triviales que no ocurren en redes simples, p.e., distribuciones de grado que siguen leyes de potencia, estructuras jerárquicas, estructuras comunitarias, longitud entre cualesquiera dos entes del sistema corto, o alta cohesividad local. Ejemplo de redes con tales características en la naturaleza son las redes sociales, las redes neuronales, las redes de tráfico aéreo y las redes tróficas, entre muchas otras.

Regimenes y complejidad

Brida, J.G., Mayer, A.L., Punzo, L.F. and McCord, C. (2011). A theoretical, multidisciplinary view of catastrophic regime change. Chapter 16 (pp. 225-238) in the book Dynamics, Games and Science II. Springer Proceedings in Mathematics.

- Régimen
- Cambio de régimen: fronteras, resiliencia, mecanismos de cambio
- Dinámica de regímenes

Regímenes y complejidad

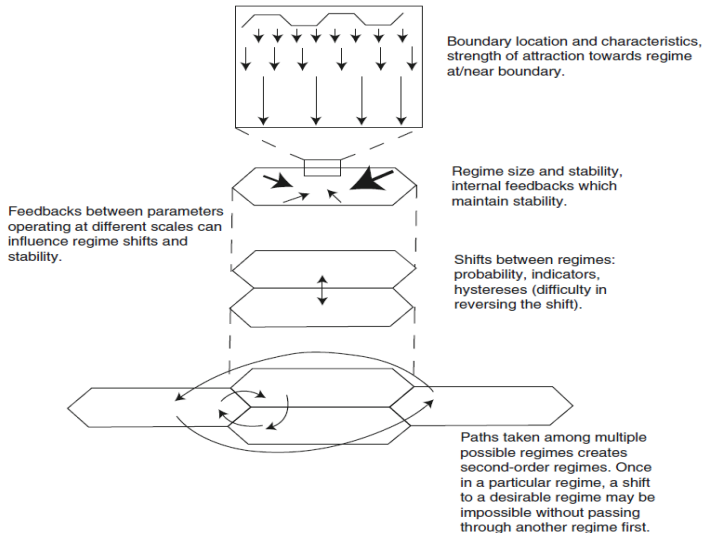
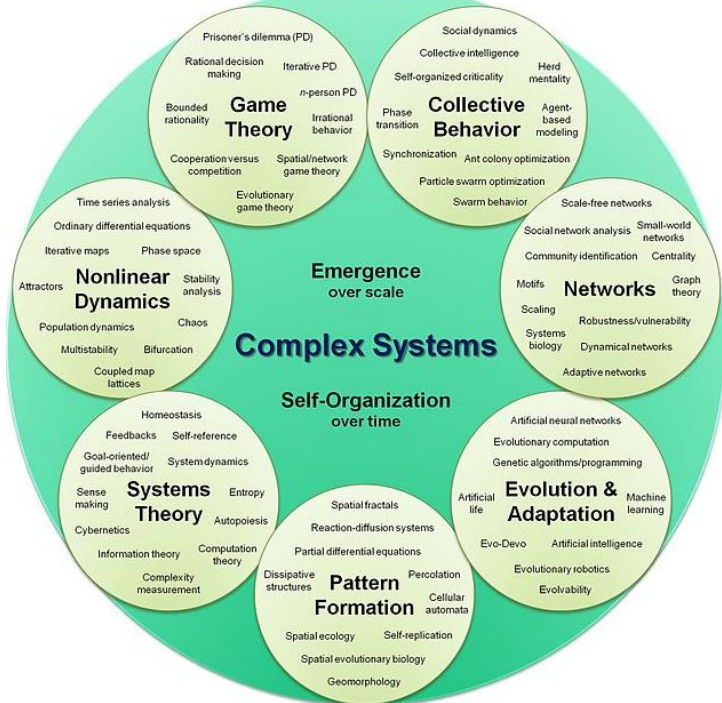


Fig. 16.1 Dynamic regimes research at increasingly larger spatial and temporal scales. Arrow represent attracting forces at small scales, and system behavior (direction of movement) at larger scales



Conclusiones

Las reglas que determinan la dinámica de un sistema complejo suelen ser simples, sin embargo predecir el comportamiento del sistema a largo plazo resulta casi imposible.

Los científicos suelen utilizar algoritmos para aproximar la solución de estos sistemas, aunque a menudo tales algoritmos son poco eficientes, de modo que la información que proporcionan es muy limitada.

la simulación por ordenador es una forma de obtener progreso en la comprensión del fenómeno, y de experimentar. Los datos y gráficas generados pueden proporcionar claves para entender el problema y ayudan en la búsqueda de resultados teóricos rigurosos.

¿Por qué es importante para los economistas estar atentos ante el fenómeno de la complejidad?

- Colander D (2000) *The complexity vision and the teaching of economics*, Edward Elgar, Cheltenham Northampton

“Los 1990 vieron el nacimiento de las ciencias de la complejidad... Para el 2030 la mayoría de los economistas estarán convencidos de que la economía es un sistema complejo que corresponde al ámbito de dichas ciencias”

- Buchanan M (2004) “It’s the economy, stupid” *New Scientist* 182, 10 April, pp.34-37

Las ideas de complejidad... “están comenzando a delinear una revisión radical y por mucho tiempo postergada, de la teoría económica”

¿Por qué surge la complejidad en Economía?

Factores internos



Problemas recurrentes con la teoría económica tradicional



Evolución de la disciplina

Factores externos



Creación del Instituto Santa Fe (1984) que toma a la economía como área prioritaria



Desarrollos en las Cs. Naturales



Revolución computacional: incremento masivo en la capacidad de procesamiento

IMPLICACIONES DE LA CONSIDERACIÓN DE LA COMPLEJIDAD EN ECONOMÍA

Diversos autores han enumerado distintas características que inducen a la consideración de la economía como un sistema complejo.

Desde el punto de vista de las relaciones o interacciones entre los agentes económicos, puede decirse que:

1. Las interacciones se encuentran de manera dispersa en todo el sistema, y generalmente hay una ausencia de una jerarquía clara.
2. Existen fenómenos de retroalimentación positiva y de rendimientos crecientes.
3. Existen relaciones entre el sistema y su entorno: ninguna economía es un sistema cerrado.

IMPLICACIONES DE LA CONSIDERACIÓN DE LA COMPLEJIDAD EN ECONOMÍA

Estas características de las relaciones entre los elementos del sistema producen una serie de comportamientos a nivel agregado:

1. *Evolución frente a equilibrio*: Debido a que los agentes se adaptan mediante la evolución y el aprendizaje, los sistemas económicos son procesos en movimiento, que evolucionan, que presentan una dinámica del no equilibrio. Es más, el comportamiento del sistema no se comprende si únicamente estamos interesados en conceptualizar su equilibrio. (¿equilibrio?)
2. *Dependencia del pasado*: Como consecuencia de lo anterior, el presente del sistema depende de los hechos pasados.

IMPLICACIONES DE LA CONSIDERACIÓN DE LA COMPLEJIDAD EN ECONOMÍA

3. *Propiedades emergentes*: Debido a las relaciones entre los agentes, surgen en el nivel macro propiedades que no se deducen simplemente del conocimiento del comportamiento del nivel micro. (¿agente representativo?) Dicho de otro modo: el sistema no puede conocerse aunque se tenga una comprensión precisa de sus partes, ya que el proceso de agregación no es simplemente el resultado de la suma del comportamiento de los individuos.

4. *No linealidad*: Para que exista retroalimentación positiva y rendimientos crecientes es necesaria la existencia de relaciones no lineales, que asimismo son necesarias para que el conjunto sea algo más que la mera suma de sus partes. (¿econometría?)

IMPLICACIONES DE LA CONSIDERACIÓN DE LA COMPLEJIDAD EN ECONOMÍA

Las implicaciones del estudio de la economía desde una perspectiva compleja se pueden encuadrar en tres ámbitos distintos:

1. Teoría
2. Metodología
3. Política

Jaramillo, J. M. V., Fernández, E. O., & de Cabo, R. M. (2004). La Economía en el marco de la Ciencia compleja. Encuentros multidisciplinares, 6(17), 56-61.

IMPLICACIONES DE TEORIA ECONOMICA

- Debido a la propiedad de la sensibilidad a las condiciones iniciales, los agentes no pueden obtener información adecuada para formar sus expectativas de manera racional, de manera que se invalida la hipótesis de las **expectativas racionales**.
- Debido a la importancia del desequilibrio, carece de sentido el equilibrio walrasiano del mercado.

IMPLICACIONES DE TEORIA ECONOMICA

Rosser, J.B. (1999): On the complexities of Complex Economic Dynamics; Journal of Economic Perspectives 13, 4, pp. 169-192.

Rosser, J.B. y Kramer, K.L. (2000): Integrating the complexity vision into Mathematical Economics, en D. Colander (ed.) Complexity and Teaching of Economics. Edward Elgar, Cheltenham/Northampton.

Arthur B (1994) "Complexity in economic theory", American Economic Review 84(2), pp.406-11

Arthur, W. B. (1995). Complexity in economic and financial markets. Complexity, 1(1), 20-25.

Barnett, W. A., Barnett, W. A., Geweke, J., & Shell, K. (Eds.). (1989). Economic complexity: chaos, sunspots, bubbles, and nonlinearity: proceedings of the Fourth International Symposium in Economic Theory and Econometrics (Vol. 4). Cambridge University Press.

Implicaciones para la metodología económica

1. Desarrollo de modelos deterministas no lineales que producen una dinámica cualitativamente similar a la que presenta la economía real (econometría cualitativa). Su propósito no es la estimación, sino el análisis de su evolución cualitativa y la caracterización del sistema utilizando medidas de cuantificación de la complejidad, como la dimensión fractal, la entropía y el máximo exponente de Lyapunov.

2. Desarrollo de modelos estocásticos no lineales que, por medio de su estimación, tratan de explicar la realidad económica para predecir su evolución futura (ver Tong, H. (1990). Non-linear time series. A dynamical system approach. Oxford: Clarendon Press, Oxford.)

Implicaciones para la metodología económica

3. Desarrollo de herramientas para caracterizar empíricamente una serie temporal, desde un punto de vista complejo. En particular, el Teorema de Takens permite la reconstrucción del sistema dinámico subyacente desconocido que ha generado la serie temporal, de manera que se mantengan las propiedades dinámicas. Takens, F. (1986): Detecting strange attractors in turbulence en D.A. Rand y L.-S. Young (eds.): Lecture Notes in Mathematics: Dynamical Systems and Turbulence. Springer-Verlag, pp. 366-381.

4. Desarrollo de nuevas técnicas de predicción, basadas en la reconstrucción del modelo subyacente utilizando el Teorema de Takens, o bien utilizando redes neuronales.

Implicaciones para la política económica

El contexto de la complejidad implica una renovación del debate intervencionismo-liberalismo. Algunos teóricos defienden que, dada la incertidumbre acerca de la evolución futura de la economía, es importante que el Estado juegue un papel para reducir esa incertidumbre con estructuras que potencien la estabilidad económica. Otros estudiosos sostienen que, dada la complejidad de la economía y la sensibilidad a pequeños cambios, cualquier intervención podría tener consecuencias no deseadas. De cualquier modo, es indudable que, a pesar de períodos de inestabilidad, la mayoría del tiempo las economías y los mercados mantienen un comportamiento globalmente estable, aunque localmente inestable.

Implicaciones para la política económica

Durlauf, S. N. (1998). What should policymakers know about economic complexity?. *Washington Quarterly*, 21(1), 155-165.

Elsner, W. (2017). Complexity economics as heterodoxy: Theory and policy. *Journal of Economic Issues*, 51(4), 939-978.

Elsner, W. (2017). Policy and state in complexity economics. Forthcoming, *Handbook of Government Intervention*, ed. by Nikolaos Karagiannis and John E. King.

Elsner, W. (2015). Policy implications of economic complexity and complexity economics.

Características que deben tener los modelos económicos complejos (SFI approach)

- Agentes heterogéneos que interactúan localmente (entre grupos de agentes, por oposición a interacciones globales = todos con todos), en forma no lineal
- Distintas 'redes' o estructuras que surgen de dichas interacciones
- Superposición de estructuras que dan lugar a una organización jerárquica
- Ausencia de control centralizado de las decisiones / interacciones

Características que deben tener los modelos económicos complejos

- Adaptación continua de agentes que poseen racionalidad limitada y aprenden en función de su experiencia previa
- Reconocimiento explícito de aspectos evolutivos y comportamiento fuera de equilibrio
- Métodos numéricos (simulación por computadoras) como principal herramienta de análisis, debido a la incapacidad de los métodos tradicionales (por ej. cálculo diferencial) para resolver
- este tipo de problemas

Trabajos de divulgación sobre Economía de la Complejidad

- Ormerod, P. (2011). Butterfly economics. Faber & Faber.
- Bassett, D., & Claveau, F. (2019). El entomólogo económico entrevista con Alan Kirman. Revista de Economía Institucional, 21(40), 343-366.
- Díaz, A. F. (2016). Complexity in Economics an Up to Date View (No. 16-01). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Económicas y Empres
- Fontana, M. (2010). The Santa Fe perspective on economics emerging patterns in the science of complexity. History of Economic Ideas, 167-196.
- Leijonhufvud, A. (2011). La naturaleza de una economía. Investigación Económica, 70(277), 15-36.

Trabajos de divulgación sobre Economía de la Complejidad

- López, J. L. V. (2013). La economía y las ciencias de la complejidad. El fenómeno de la Pila de Arena. Revista Europea de Economía Política, 10(2), 283.
- Téllez, A. Q. (2018). Una visión crítica del modelo económico dominante desde la perspectiva de los sistemas complejos. Revista Análisis Económico, 26(63), 37-49.
- Arthur, W. B. (2010). Complexity, the Santa Fe approach, and non-equilibrium economics. History of Economic Ideas, 149-166.
- Ver <https://www.santafe.edu/>
- García, A., Ivarola, L., & Szybisz, M. (2018). El paradigma de la complejidad en economía más allá de las leyes y de la causalidad lineal. Cinta de moebio, (61), 80-94.

¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales?

Una primera comparación entre los modelos de complejidad y los tradicionales es la llevada a cabo por Colander (2000), que por medio de una tabla comparativa señala los supuestos y características de unos y otros, a quienes el autor denomina 'nueva economía' y 'vieja economía', respectivamente. La tabla muestra que los modelos de complejidad pretenden ser ciertamente más flexibles y abarcativos que los tradicionales, en cuanto a que tienen en cuenta una dinámica mucho más rica, la heterogeneidad de los agentes individuales, la importancia del marco institucional, etc.

¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales?

Tabla 1 Economía: Vieja y Nueva

<i>Vieja Economía</i>	<i>Nueva Economía</i>
Rendimientos decrecientes	Gran uso de rendimientos crecientes
Basada en principios de marginalidad y maximización (beneficio como motivación)	Otros principios son posibles (principios de orden)
Preferencias dadas; individuos egoístas	La formación de preferencias es central; individuos no necesariamente egoístas
La sociedad es un telón de fondo	Las instituciones pasan a primer plano: papel fundamental en la determinación de posibilidades, orden y estructuras
Tecnología dada o seleccionada por motivos económicos	Tecnología inicialmente fluida, que luego tiende a asentarse
Basada en la física del siglo 19 (equilibrio, estabilidad, dinámica determinística)	Basada en la biología (estructuras, patrones, auto-organización, ciclo de vida)
El tiempo no es tomado en cuenta (Debreu) o es tratado superficialmente (crecimiento)	El tiempo es central (estructuras, patrones, auto-organización, ciclo de vida)
Se ocupa muy poco de la edad	Los individuos pueden envejecer

¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales?

Enfasis en cantidades, precios y equilibrio	Enfasis en estructura, patrón y función (de la ubicación, tecnología, instituciones y posibilidades)
Los elementos son las cantidades y los precios	Los elementos son patrones y posibilidades; estructuras compatibles llevan a cabo algunas funciones en cada sociedad (cf. antropología)
Lenguaje: matemática del siglo 19, teoría de los juegos y topología de puntos fijos	Lenguaje más cualitativo; teoría de los juegos reconocida por sus usos cualitativos; otro tipo de matemática cualitativa también es útil
El cambio generacional no se observa	El cambio generacional es central; cambia la composición de los miembros de la economía y la estructura etárea de la población; las generaciones transmiten sus experiencias
Alto uso de índices; individuos idénticos	Enfasis en individualidad; la gente es diferente; relación entre el individuo y los agregados en ambas direcciones; índices de bienestar diferentes y usados como medida muy general; lapso de vida del individuo como medida
Si no hubiera externalidades y todos tuvieran las mismas habilidades, se alcanzaría el Nirvana	Las externalidades y las diferencias son la fuerza motriz; no hay un Nirvana; el sistema está constantemente en desarrollo
No hay dinámica real en el sentido de que todo está en equilibrio (cf. pelota pendiendo de un hilo en movimiento circular); no hay cambio real, sólo suspensión dinámica	La economía está constantemente al filo del tiempo; corre hacia adelante, con estructuras en continua fusión, decaimiento, cambio. Esto se debe a externalidades que llevan a comportamientos dinámicos irregulares, rendimientos crecientes, costos de transacción; exclusiones estructurales
La mayoría de las preguntas no tienen respuesta; sistema unificado incompatible	Las preguntas siguen siendo difíciles de responder; pero los supuestos están claramente enunciados
Ve al sujeto como estructuralmente simple	Ve al sujeto como inherentemente complejo
Economía como una física blanda	Economía como una ciencia de la complejidad
'Hipótesis testeable' (Samuelson) supone que existen leyes	Los modelos son ajustados a los datos; un ajuste es un ajuste; no hay leyes realmente posibles; las leyes cambian
El intercambio y los recursos mueven la economía	Las externalidades, las diferencias, los principios de ordenamiento, la computabilidad, la mente, la familia, el ciclo de vida potencial y los rendimientos crecientes mueven las instituciones, la sociedad y la economía

¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales?

Otra manera de comparar los modelos de complejidad con los tradicionales es utilizando la forma sistémica. Podemos identificar tres partes o niveles en un sistema: un nivel micro (correspondiente a las 'partes', en este caso los agentes económicos); un nivel macro (correspondiente al 'todo', en este caso los agregados económicos); y un nivel meso, intermedio o de transición, que representa la conexión entre los dos anteriores (lo que en economía comúnmente se conoce como el mecanismo de agregación). Ahora bien, ¿por qué vienen dados cada uno de los niveles en los modelos (neoclásicos) tradicionales y en los modelos propuestos por las teorías de complejidad?

¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales? Nivel micro

a) **Modelos tradicionales:** la unidad de análisis es el individuo, caracterizado como el Agente Económico Racional (donde racionalidad = optimización). Los agentes son atomísticos, porque no tienen estructura (es decir, no son un sistema en sí mismos) y responden pasivamente a las fuerzas del mercado.

b) **Modelos de complejidad:** la unidad de análisis también es el individuo, pero el supuesto de racionalidad no es sinónimo de optimización (racionalidad = comportamiento satisfactorio, de acuerdo a las características del contexto en que se mueve el agente). Los agentes tienen algo más de estructura (por ejemplo, mecanismos psicológicos que los llevan a 'aprender' dentro del modelo)

¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales? Nivel macro

a) **Modelos tradicionales:** trabajan con 'resultados' agregados dados por el valor puntual de una variable (por ej. nivel de precios, tasa de interés, precio y cantidad de mercado), a la que se le asignan ciertas propiedades, en particular la de ser un valor de equilibrio.

b) **Modelos de complejidad:** también trabajan con resultados agregados, pero en este caso no están dados por el valor puntual de una variable agregada, sino por una configuración (o mapa, o paisaje) que representa un patrón de comportamiento agregado. Dichos patrones de comportamiento están en constante transformación y no están caracterizados por el equilibrio. Al igual que los modelos tradicionales, tampoco explican la aparición de entidades agregadas.

¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales? Nivel intermedio o de transición

a) **Modelos tradicionales:** no hay interacción directa entre los agentes, sino indirecta a través del mercado. El mecanismo de agregación es usualmente lineal y aditivo (correspondiente a la sumatoria de las decisiones de individuos idénticos) o, lo que es lo mismo, la economía se reduce a un único agente. Es a este nivel meso, que se introduce el supuesto del 'agente representativo', para garantizar la agregación.

b) **Modelos de complejidad:** El mecanismo de agregación es no-lineal y no-aditivo. Las interacciones pueden ser globales (todos con todos) o locales (entre sub-grupos de agentes). Puede haber interacciones a distintos niveles, conformándose 'jerarquías' y 'redes'. Se rechaza de plano el supuesto del agente representativo, en favor de la consideración explícita de la heterogeneidad y las relaciones entre los agentes

Comparación Beinhocker, Eric (2006). The Origin of Wealth. Harvard Business School Press. ISBN 978-1-4221-2103-0.

	Economía de Complejidad	Economía Tradicional
Dinámica	Sistemas abiertos, dinámicos, no lineales, lejos del punto de equilibrio.	Sistemas cerrados, estáticos, lineales y en equilibrio.
Agentes	Modelados individualmente; usando reglas inductivas para tomar decisiones; tienen información incompleta; cometen errores y tienen prejuicios; aprenden a adaptarse a través del tiempo; heterogéneos.	Modelados colectivamente; usan cálculos deductivos complejos para tomar decisiones; tienen toda la información necesaria; no cometen errores y no tienen prejuicios; no aprenden ni tienen necesidad de hacerlo (son ya perfectos); mayoritariamente homogéneos.
Redes	Modela explícitamente interacciones bi-laterales entre los agentes individuales; las redes de relaciones cambian con el tiempo.	Asume que los agentes solamente interactúan indirectamente a través de mecanismos de mercados (por ejemplo, subastas).
Emergencia	No hace distinción entre macro y microeconomía; los patrones macro son un resultado emergente de las interacciones y comportamientos de los niveles micro.	La macro y la microeconomía se mantienen como disciplinas separadas.
Evolución	El proceso evolutivo de diferenciación, selección y amplificación provee al sistema de innovación y es responsable de su crecimiento en orden y complejidad.	No existe un mecanismo endógeno para la creación de innovación, crecimiento, orden o complejidad.
Tecnología	Es fluida y endógena al sistema.	La tecnología es dada o seleccionada en una base económica.
Preferencias	La creación de preferencias es central; los individuos no son necesariamente egoístas.	Las preferencias están ya dadas; los individuos son egoístas.
Orígenes de Ciencias Físicas	Basada en la biología (estructura, patrón, auto-organización, ciclo de vida).	Basada en la física del siglo 19 (equilibrio, estabilidad, dinámicas deterministas).
Elementos	Patrones y posibilidades.	Precio y cantidad.

Medición de la complejidad en Economía

En 2011 el economista Ricardo Hausmann de la Universidad de Harvard y el físico César Hidalgo del Instituto Tecnológico de Massachusetts publicaron el “Atlas de complejidad económica”. A partir de entonces, el índice de complejidad económica, elaborado en esta publicación, ha ganado relevancia para medir el crecimiento del PIB per capita en la economía global.

Ver <http://atlas.cid.harvard.edu/>

La medida combina información de la diversidad de un país, que se correlaciona positivamente con el conocimiento productivo de un país, con medidas de la ubicuidad del producto (número de países que producen o exportan el producto).

BIBLIOGRAFIA

- Díaz, A. F. (1994). *La economía de la complejidad: economía dinámica caótica*. McGraw-Hill.
- Zhang, W. B. (2002). Theory of complex systems and economic dynamics. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 6(2),
- Bardi, U. (2017). *The Seneca Effect: Why Growth is Slow But Collapse is Rapid*. Springer.
- Orrell, D. (2010). *Economyths: How the science of complex systems is transforming economic thought*. Icon Books Ltd.
- Rosser, B. (2004). *Complexity in Economics*. Edward Elgar Publishing.
- Colander, D. (Ed.). (2000). *Complexity and the history of economic thought*. Routledge.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, P. W. (2018). The economy as an evolving complex system. CRC Press.
- Arthur B, Durlauf S, Lane D (1997) The economy as an evolving complex system II, Perseus Books, Reading.
- Blume, L. E., & Durlauf, S. N. (Eds.). (2005). The economy as an evolving complex system, III: Current perspectives and future directions. Oxford University Press.
- Arthur, W. B. (1999). Complexity and the economy. *Science*, 284(5411), 107-109.
- Kirman, A. (2017). *Complexity economics*. In Rethinking Economics (pp. 91-106). Routledge.

BIBLIOGRAFIA

- Taleb, N. N. (2007). The black swan: The impact of the highly improbable (Vol. 2). Random house.
- Arthur, W. B. (2013). Complexity economics. Oxford University Press, Oxford.
- Buchanan M (2004) "It's the economy, stupid" New Scientist 182, 10 April, pp.34-37
- Beinhocker, E. D. (2006). The origin of wealth: Evolution, complexity, and the radical remaking of economics. Harvard Business Press.
- Durlauf, S. N. (2012). Complexity, economics, and public policy. Politics, Philosophy & Economics, 11(1), 45-75.

BIBLIOGRAFIA

- Colander, D., Holt, R., & Rosser Jr, B. (2004). The changing face of mainstream economics. *Review of Political Economy*, 16(4), 485-499.
- Hands, D. W. (2015). Orthodox and heterodox economics in recent economic methodology. *Erasmus Journal for Philosophy and Economics*, 8(1), 61.
- Davis, J. B. (2007). The turn in recent economics and return of orthodoxy. *Cambridge Journal of Economics*, 32(3), 349-366.
- Saari, D. (1995). Mathematical complexity of simple economics. *Notices of the AMS*, 42(2), 222-230.