



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

**LA INVESTIGACIÓN SOCIAL DESDE LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD.
POSIBILIDADES Y LIMITACIONES DE APLICACIÓN**

Cristina Pizzonia

pizzonia@correo.xoc.uam.mx pizzonia@hotmail.com

Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco

México

Ángel José Martínez Salinas

angel.martinez.salinas@estudiante.uacm.edu.mx

Universidad Autónoma de la Ciudad de México plantel Del Valle

México



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

RESUMEN

El propósito de este trabajo es reflexionar sobre las posibilidades y desafíos que ofrecen las Ciencias de la Complejidad para la investigación en Ciencias Sociales. Con esta finalidad se organiza el trabajo de la siguiente manera: una primera parte aborda la explicación de las propiedades de la Complejidad: autorganización, transición de fase, interdependencia y fractalidad, en el contexto de relaciones no lineales; lo que nos permite tanto aproximarnos a su formalidad lógica en la resolución de preguntas de investigación de carácter holístico como a repensar la investigación de problemas sociales en estos términos.

En la segunda parte abordamos las dificultades y retos que se presentan en el trabajo interdisciplinario, considerando la selección y delimitación del problema, así como la definición de variables interdependientes; que posibilitan el uso de estos modelos, y los problemas de verificación de los supuestos y su robustez. Realizamos una revisión de las aplicaciones del modelado basado en agentes, en su interacción con el ambiente y otros agentes con reglas locales simples con las que se obtienen comportamientos globales; y un análisis de redes, localizando enlaces y nodos apoyados en la teoría de grafos y la dimensión fractal en el desarrollo de las ciudades.

Los modelos de las Ciencias de la Complejidad son construidos con herramientas desarrolladas en las ciencias duras, Física, Matemáticas y Ciencias de la Computación, a partir de teorías robustas que fundamentan la construcción de los modelos y su utilización. En su aplicación a las Ciencias Sociales, es necesario considerar las posibles definiciones teóricas y operativas de las variables que permitan la aplicación de las Ciencias de la Complejidad en la resolución de problemas de investigación.

Lo anterior implica el trabajo conjunto de investigadores formados en distintas áreas científicas que se enfrentan a diversos retos, de los que consideramos la sobre especialización y la verificación de los supuestos.



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Finalmente y a manera de reflexión final se revisan los posibles interrogantes, retos y vías de solución que ofrecen los enfoques de la Ciencia de la Complejidad para las Ciencias Sociales.

Palabras clave

Propiedades, Complejidad, Interacciones, Relaciones no lineales.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to reflect on the possibilities and challenges offered by Science of Complexity for Social Science research. To this end, the paper is organized as follows: the first part deals with the explanation of the properties of Complexity: self-organization, phase transition, interdependence, fractality, in the context of non-linear relationships. This allows us both to approach its logical formality in solving holistic research questions and to rethink social-problem research in these terms.

The second part deals with the difficulties and challenges that arise in interdisciplinary work, considering problem selection and delimitation, and the definition of interdependent variables, which allow for the use of these models, as well as assumption verification problems and robustness. We reviewed the applications of agent-based modeling, in its interaction with the environment and other agents with simple local rules with which global behaviors are attained; network analysis locating links and nodes supported by graph theory and fractal dimension in city development.

Science of Complexity models are built with tools developed in hard science, Physics, Mathematics, and Computer Science, based on robust theories that justify the construction of the models and their use. In its application to Social Science, it is necessary to consider the possible theoretical and operational definitions of the variables that allow for the application of Science of Complexity to research problem-solving.

This implies joint work by researchers trained in different scientific fields facing different challenges, out of which we look at over-specialization and assumption verification.



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Lastly, as a final reflection, we review the possible questions, challenges, and solutions offered by Science of Complexity approaches for Social Science.

Keywords

Properties, Complexity, Interactions, Non-linear relations



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

I. Introducción

Las relaciones sociales son elementos interconectados que presentan fenómenos colectivos, es decir, la representación de elementos enlazados nos permite localizar comportamientos no lineales, que emergen debido a la interacción de los componentes del sistema que analizamos.

En la no linealidad “efectos desproporcionados pueden estar precedidos por causas mínimas” (Chaparro, G., 2008, p. 211), o viceversa. Lo anterior ocurre por la divergencia entre trayectorias, derivada por las condiciones iniciales del conjunto de variables que se analiza, esto explica por qué una pequeña modificación en una configuración social hace cambios o al contrario a pesar de grandes modificaciones, todo permanece igual.

Ante estas consideraciones, las herramientas desarrolladas por las Ciencias de la Computación, Física y Matemáticas, que modelan comportamientos no lineales y estudian la Ciencia de la Complejidad, son pertinentes para los estudios en las Ciencias Sociales.

En la presente exposición, nos enfocamos en presentar algunas propiedades de la complejidad en el marco de los problemas sociales que son complejos y no lineales. Estas son auto-organización, transición de fase, interdependencia y fractalidad.

El objetivo es reflexionar, sobre las posibilidades y desafíos que las Ciencias Sociales enfrentan al utilizar los métodos de las Ciencias de la Complejidad; como la teoría de grafos que puede explicar el tejido de relaciones sociales representada por redes, compuestas con nodos contactados por hechos sociales, el Modelado Basado en Agentes (MBA), que puede caracterizar la evolución de un proceso para hacer experimentos por computadora (también conocidos como experimentos “in silico”), y la teoría de fractales, que permite explicar patrones de información similares en distintas escalas. Este acercamiento entre disciplinas recién comienza y esperamos poder avanzar en la comprensión y aplicación de las ciencias de la complejidad en el estudio de los problemas sociales.



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

II. Marco conceptual

La resolución de preguntas de investigación de carácter holístico, requiere de expresar los mecanismos de interacción entre elementos que comparten un espacio, esta manera de razonar tiene su origen en pensar que el todo es distinto a la suma de sus partes, porque de la interacción local de sus elementos emergen comportamientos globales que sin la dinámica entre sus componentes no se logran, en este sentido las Ciencias de la Complejidad son pertinentes.

(...) la visión de los sistemas complejos provee una teoría transdisciplinaria e integradora, cualitativa y dialéctica; capaz de trascender el estudio de las partes para convertirse en un aparato para estudiar la integración de las partes en la cual lo más importante es comprender las propiedades emergentes como resultado de la interacción, en un sistema de elementos relativamente simples, de un comportamiento colectivo diferente del que presentan por separado los elementos del sistema. (Cocho, Gutiérrez Sanchez, y Miramontes, 2017, p.100)

Estudiar el colectivo, como una característica que emerge de la interacción entre elementos es pertinente para los problemas sociales, la diversidad en los seres humanos es una condición constante al realizar cortes epistémicos (cómo estudiamos el tema de interés) que nos llevan a resultados ontológicos (definir los elementos de estudio). Es un proceso que establece definiciones que precisan elementos que nos orientan en la indagación de un tema social, lo cual evita perdernos en las partes que la diferencia nos presenta; su interacción muestra cualidades colectivas que permiten comprender lo social. Esto no sólo ayuda a dilucidar el tema que se indaga, también localiza sistemas complejos porque se “consideran las propiedades básicas de un sistema y la imposibilidad de proponer objetivos contrarios mientras existan esas propiedades básicas del sistema” (González Casanova, 2005, p. 380). Al ordenar la diferencia evidente en la investigación, se sintetiza la complejidad, más no la reduce debido a que de la interacción entre los elementos, definidos en un espacio de configuraciones, emergen comportamientos macro del tema social que investigamos.



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

De acuerdo con Norbert Elías, los seres humanos se desarrollan en entramados de relaciones interdependientes, llamadas configuraciones; en los que hay diferentes matices que interactúan; dado que, por un lado, no somos individuos aislados y, por el otro, no hay sociedad que nos comprima. “Con la investigación de las formas sociales como configuraciones de individuos interdependientes, empieza uno a andar por el camino de una sociología realista” (Elías, 1982, p. 280). De este modo, las investigaciones sociales nos remiten a la complejidad:

La multiplicación y diversificación de las experiencias disponibles y posibles plantea dos problemas complejos: el problema de la extrema fragmentación o atomización de lo real y el problema, derivado del primero, de la imposibilidad de conferir sentido a la transformación social.” (Santos, 2009, p.135)

La problemática que plantea Santos, refiere a la contradicción entre los saberes derivados de la experiencia; ésta es compleja en si misma ya que emerge de la interdependencia de la diversidad de la realidad, este proceso impide una dirección absoluta, porque los sentidos de transformación en las sociedades emergen de la interacción local de los elementos que la componen. Las Ciencias de la Complejidad permiten formalizar la relación de los elementos micro de la investigación para ver como emerge la dimensión macro a partir de la dimensión micro. Esta forma de investigar, considera el cambio como un proceso dinámico estimulado por la tensión entre las diferencias: las propiedades de la complejidad permiten definir variables lo que es posible en su aplicación en las ciencias sociales.

En la sistematización de información, tanto cualitativa como cuantitativa, es posible utilizar las siguientes propiedades de la complejidad: auto-organización, transición de fase, interdependencia y fractalidad. Cada una permite identificar variables que pueden ser utilizadas en los métodos formales de la complejidad.



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

III. Metodología

Estudiamos las propiedades de la complejidad de forma analítica, lo que nos permite comprender tres métodos que se aplican para explicar problemáticas sociales: modelado basado en agentes, redes y fractales

Lo anterior posibilita la comprensión de las propiedades de los métodos desarrollados matemáticamente, tanto en la Ciencia de la Computación, como en la Física, útiles en el análisis de problemáticas sociales. Utilizar dichos métodos en los estudios que identifican las relaciones interdependientes, nos permite ir más allá de las analogías conceptuales de la complejidad, porque al aplicar dichas herramientas es posible presentar gráficas con medidas que consideran al mismo tiempo variables cualitativas y cuantitativas del tema que se investiga. La posibilidad de replicar el análisis por otros investigadores, permite conocer trayectorias en diferentes condiciones y comprender la interacción de los elementos definidos en un espacio y verificar el cumplimiento de los supuestos.

Los sistemas pueden definirse como una trama o estructura básica sobre la cual se construyen teorías en donde los procesos resultan de la interacción de elementos integrados en diferentes niveles. Como cualquiera, estas teorías parten de una serie de supuestos elementales que restringen el universo de lo explicable; por consiguiente, si los sistemas han de servir para comprender y transformar el mundo de lo social, es preciso juzgar cuándo sí y cuándo no se cumplen aquellos supuestos. (Gutiérrez Sánchez, J. L., 2014, p.108)

Las propiedades de la complejidad permiten modelar la interacción, parten de supuestos en los que la suma de las partes es distinta a la totalidad. A continuación presentamos algunas de ellas a través de los tres métodos que las aplican enunciados previamente, y finalizamos con los límites y alcances de los mismos.



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio


IV. Análisis y discusión

Nuestro trabajo indaga en propiedades desarrolladas en las ciencias duras que sirven para explicar el tejido de relaciones en que nos desarrollamos y dar respuesta a problemas que no se agotan en explicaciones de causa y el efecto. Estudiamos la complejidad desde las Ciencias de la Complejidad, en el contexto de las relaciones no lineales, considerando la pertinencia de trabajar con ellas en las Ciencias Sociales

No linealidad

Las relaciones no lineales, son el contexto en que se desarrollan los entramados de relaciones. La complejidad define un espacio de configuraciones que estructuralmente no es estable, hay transiciones de fase, su causalidad es circular, cuentan con propiedades emergentes y no son predecibles debido a la sensibilidad a las condiciones iniciales.

Tabla 1. Contexto de los sistemas complejos

| Relaciones no lineales | |
|--|---|
| Propiedades emergentes | Surgen de la interacción local de sus elementos |
| | Clases de universalidad: el comportamiento emergente es independiente de la base material |
| Transición de Fase | Cambios pequeños en las causas puede implicar cambios drásticos |
| No son predecibles | Sensibilidad a las condiciones iniciales |
|  Causalidad circular | No hay una clara diferencia entre causa y efecto, circuitos de retroalimentación |
| | Negativa estabilizar el sistema |
| | Positiva incrementa la desviación del estado inicial |

Fuente: Elaboración propia



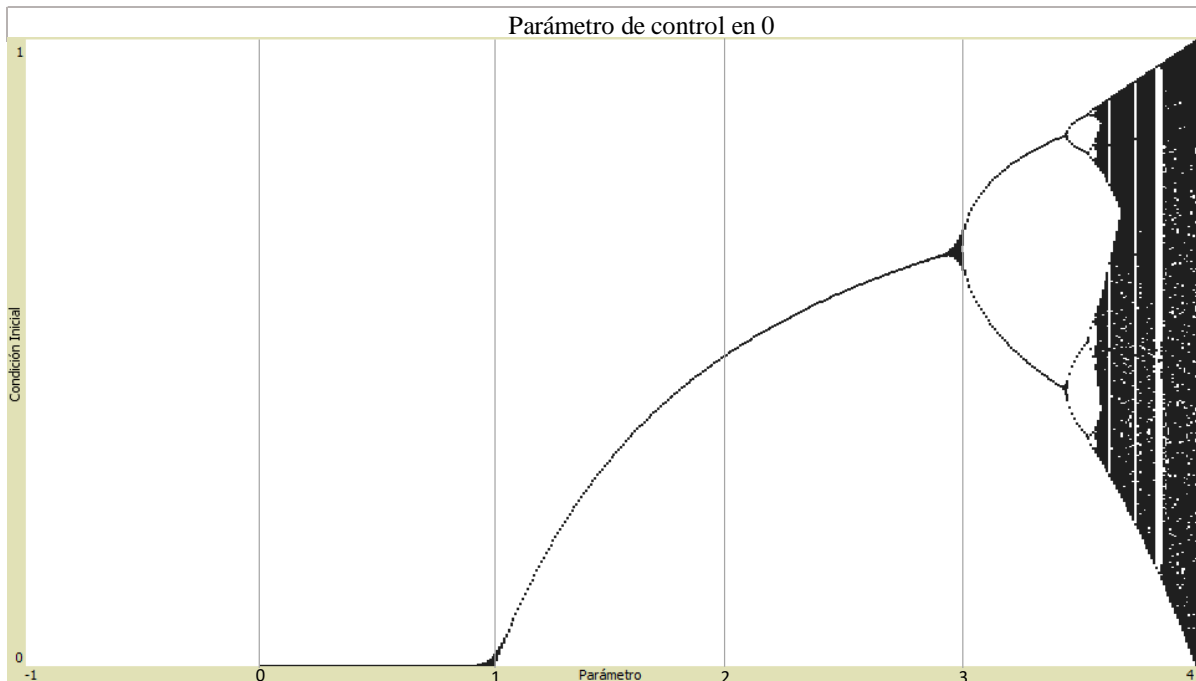
**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina
La sociología en tiempos de cambio

En el diagrama de bifurcación de la ecuación logística¹, que mostramos en la Figura 1, podemos observar cualitativamente el comportamiento de un sistema complejo.

Figura 1. Espacio total de configuraciones de la ecuación logística



Fuente: Elaboración propia en programa “Net Logo” (Wilensky, U., 2015)

La ecuación logística es un ejemplo de que el movimiento descrito por un modelo no lineal muy sencillo puede desarrollar una dinámica muy compleja de movimientos irregulares sin que existan componentes aleatorios, además de poseer una estructura geométrica muy compleja, como un atractor extraño. (Chaparro, G., 2008, p. 212)

¹ Si consideramos a X como la variable y a K como un parámetro de control tenemos la fórmula de recurrencia:
 $X_{t+1} = KX_t(1-X_t)$ para $0 < X_t < 1$ y $0 < K < 4$.



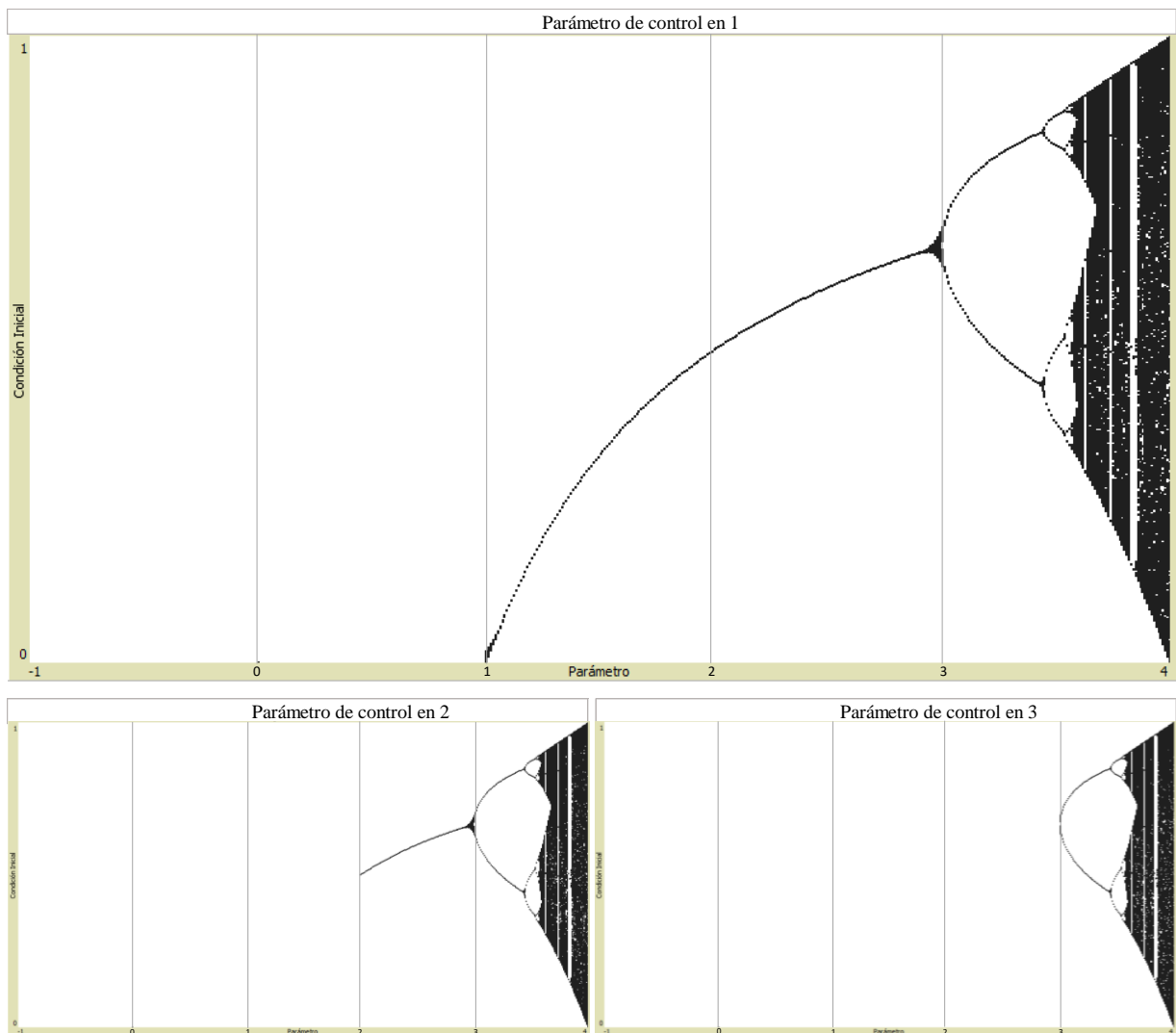
XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina
La sociología en tiempos de cambio

En la Figura 2 mostramos los cambios en el sistema al mover el parámetro de control.

Figura 2. Cambios cualitativos en el sistema al mover el parámetro de control



Fuente: Elaboración propia en programa "NetLogo" (Wilensky, U., 2015)

La complejidad piensa en estas representaciones para estudiarlas, en este caso hay una función con elementos simples que caracterizan todo el sistema. Si bien construir un modelo de este tipo



XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

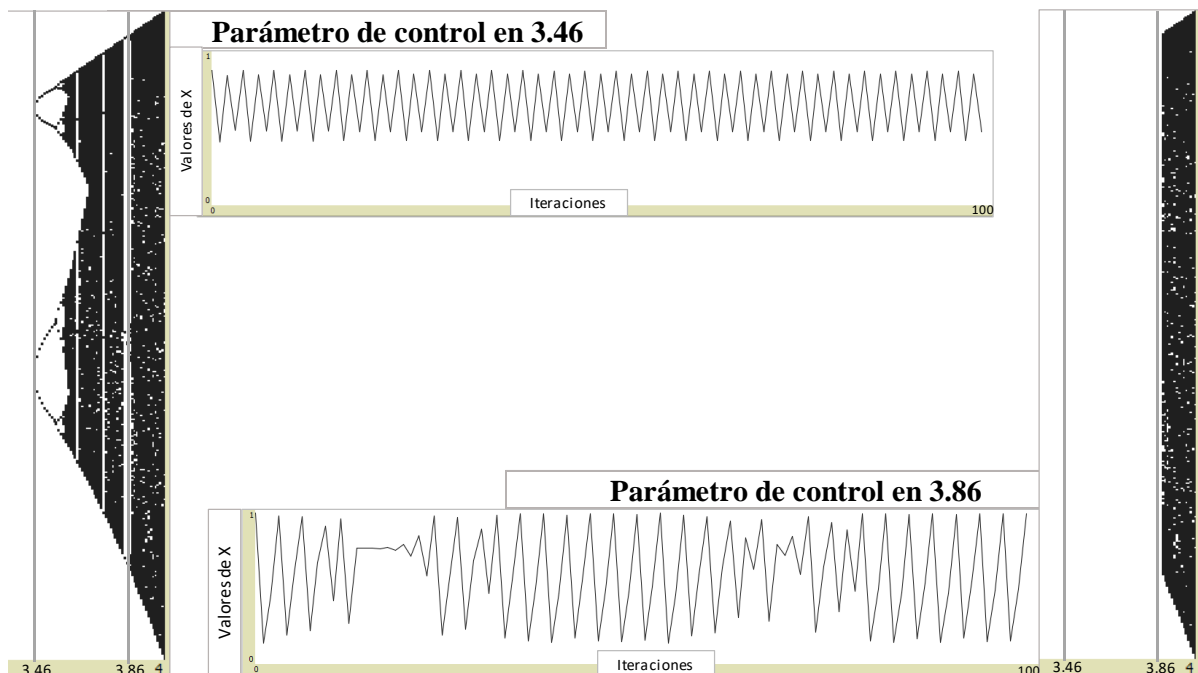
La sociología en tiempos de cambio

requiere trabajo, es conveniente crear o utilizar modelos no lineales que ya existen en los estudios sociales porque permiten ver que los cambios cualitativos no son producto del azar. En este caso la dinámica del sistema es caracterizada con una regla de interacción simple pero esto no implica necesariamente que sea predecible por los cambios cualitativos del sistema, por ejemplo en la Figura 2 mostramos que al tener el parámetro en 3 la trayectoria se divide en dos, al avanzar el parámetro encontraremos un valor en que esto sucede de nuevo, en un proceso de división conceptualizada como bifurcación.

En la Figura 3 vemos algo más específico, del lado izquierdo el parámetro se encuentra en 3.46, y mostramos graficadas las 100 primeras iteraciones. En la misma figura del lado derecho el parámetro de control tiene el valor 3.86 a su lado vemos la gráfica con sus respectivas 100 iteraciones.

Figura 3. Parámetro de control en 3.46 presenta un comportamiento periódico.

Parámetro de control en 3.86 es un comportamiento irregular



Fuente: Elaboración propia en programa “NetLogo” (Wilensky, U., 2015)



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Primero notamos una regularidad cuando el parámetro está en 3.46, la gráfica nos muestra un periodo de ciclo 2, esto quiere decir que llega un momento en que la dinámica se estaciona en dos puntos del sistema. Del otro lado observamos que al estar el parámetro en 3.86, el diagrama de bifurcación inicia donde hay un aparente espacio, pero en realidad tenemos un comportamiento irregular, lo notamos al iterar y dibujar su comportamiento en un gráfico.

Hasta ahora hemos analizado que sucede al mover el parámetro de control, hemos utilizado la condición inicial de 0.5 en todas las figuras. La sensibilidad a las condiciones iniciales aparece en los comportamientos irregulares del sistema. Si utilizamos el valor 3.46 en el parámetro de control, y usamos dos condiciones iniciales, una con valor de 0.50000, y otra con 0.50001, ambas siguen la misma trayectoria, la diferencia de una cienmilésima no evita que dibujen la misma línea al trazar sus iteraciones. Pero con el parámetro de control en 3.86, los trazos sí cambian. En la Figura 4, utilizamos el espacio fase² sólo para ejemplificar la posición de ambos valores.

² Usualmente es utilizado para hacer el diagrama de telaraña para dibujar el atractor, en este escrito sólo indicamos el inicio y final de ambas condiciones a manera de ejemplo, para ilustrar la sensibilidad a las condiciones iniciales.



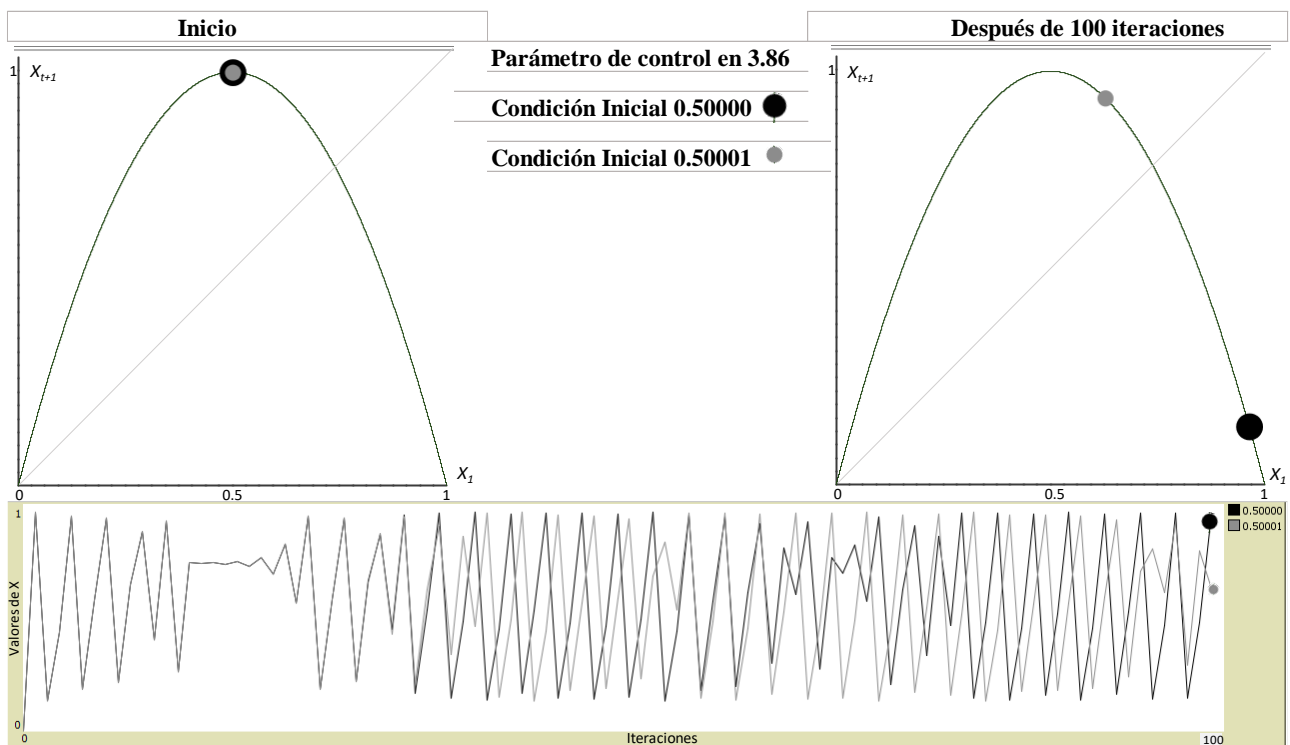
XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Figura 4. En la parte superior el espacio fase con el parámetro de control en 3.86 con la posición de las dos condiciones iniciales. Abajo el gráfico de ambos valores después de 100 iteraciones



Fuente: Elaboración propia con base en “Modelo Dependencia Sensible” (Mitchell, M. y Balwit J., 2013)

Es notable la separación de las trayectorias con tan sólo una cienmilésima de diferencia. La sensibilidad a las condiciones iniciales se refiere al cambio cualitativo en el sistema, en un valor específico de la variable de control, con una pequeña modificación cuantitativa. Dicho cambio no es por casualidad, hay condiciones determinadas que hacen que el cambio se geste.

Por otro lado hay condiciones que hacen robusto el sistema; es decir que, a pesar de hacer grandes cambios cuantitativos, no hay cambios en los trazos del espacio de configuraciones, podemos afirmar que la modificación en los valores del parámetro de control orientan las trayectorias de las condiciones iniciales. Al investigar las relaciones sociales pensamos en estos cambios; caracterizar variables que nos permitan conformar parámetros de control no es nada trivial, requiere de una focalización en las interdependencias y conectividades que se han creado en un proceso de largo



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

tiempo; es una forma distinta de pensamiento al de causa y efecto. Sería poco útil no usar la causalidad lineal en las investigaciones, pero la causalidad circular nos da nuevas vías de abordaje en los estudios sociales.

En las Ciencias Sociales hay un importante trabajo de investigación, que puede aportar a la generación de variables y parámetros para ser utilizados en los modelos no lineales, lo que no quiere decir que sea una herramienta que dará respuesta a la gran diversidad de problemas que se nos presentan.

[...] las conclusiones a las que podamos llegar usando un modelo no describirán con rigurosa exactitud lo que ocurre en el sistema real (especialmente en sistemas con un alto grado de incertidumbre) pero, cuando menos, aportarán un conocimiento significativamente mejor que el que obtendríamos sin aplicar modelo alguno. (Izquierdo, Ordax, Santos, y Martínez, 2008: 88).

El límite de los modelos está en sus supuestos, conocerlos enriquece la investigación, pensar en la relación de variables posibilita un dialogo entre disciplinas. Un buen punto de partida sería formalizar la información obtenida de los hechos sociales en el contexto de los desarrollos tecnológicos; lo que nos ha puesto en un punto crítico. Por un lado se encuentran los conocimientos históricos que originaron al desarrollo en la computación, por el otro los datos almacenados en servidores en tiempo real; es decir, hay mucha información que puede ser analizada por distintas disciplinas, lo que es posible aplicando la complejidad en el análisis de las problemáticas sociales.

Conocer algunas propiedades complejas abona a las investigaciones inter disciplinarias y proporciona resultados en los estudios sociales. Como observamos, la no linealidad tiene características que explican las relaciones sociales, que no son producto del azar. Hay procesos que podemos caracterizar; aún cuando falten elementos, existen diversos procesos que nos pueden dar esos elementos.

En lo que sigue revisamos algunas propiedades de la complejidad, que han sido consideradas de algún modo en el contexto de la no linealidad.



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Auto-organización

Esta propiedad explica por qué un sistema complejo carece de autoridad central. Como notamos en la no linealidad, existe sensibilidad a las condiciones iniciales, la trayectoria es distinta con la mínima perturbación en el sistema, pero hay condiciones que la hacen posible. El diagrama de bifurcación presentado es un referente común, pero no es el único ejemplo de no linealidad aunque ilustra muy bien los cambios cualitativos en el sistema.

En las Ciencias Sociales un cambio cualitativo lo podemos relacionar con un cambio de gobierno en un país, pues si bien lo usamos como ejemplo para explicar la no linealidad, la modificación se logra en condiciones bien específicas. Los grandes interrogantes son cuáles son las variables que conforman el parámetro de control y cuál es la función en que esas variables crean todo el espacio de configuraciones.

Es una pregunta que carece de respuesta, se piensa que los cambios son logrados por grandes dirigentes, o bien por grupos de interés bien identificados, es decir por una dirigencia central, los argumentos al respecto son robustos desde la Ciencia Política; pero es posible considerar la auto-organización en el entendido de que el estado no es el presidente o monarca de un país sino son las personas que lo habitan. Esto es precisamente lo que estudian los sistemas complejos; considera que el fenómeno emergente de la interacción local de los elementos del sistema se debe al conjunto de personas interactuando, es decir no hay un gobierno en un país sin personas y territorio, sin estos elementos y el espacio de configuraciones el fenómeno global, que es el gobierno en un país no aparecería porque:

La agregación dentro de sistemas complejos puede producir patrones, funcionalidades y propiedades, que de ninguna forma pueden existir en el nivel micro. Esto a menudo es llamado emergencia. La conciencia en el cerebro, la cultura en una sociedad, y la humedad del agua, todo existe en el nivel macro, pero no se puede mantener por una sola parte constitutiva. Como en una molécula de agua no hay humedad. (Page Scott, 2015 p. 32).



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Dicha agregación carece de dirección central, el tema que emerge de esta reflexión es el nivel de escala, que conocemos como micro o macro, incluso podemos pensar en lo que está en medio que es lo que conecta, que puede ser una regla; y si es así, cuál y por qué existen esas restricciones.

La auto-organización considera la interacción de los elementos que estudiamos para explicar el cambio o la permanencia de las cualidades del sistema que indagamos; y consideramos la siguiente propiedad, la transición de fase. La dificultad para definir la complejidad reside en la interrelación entre los componentes que estudia; no todos están presentes en los sistemas, además los resultados no son definitivos, pero la investigación trata de aportar conocimiento y modificarlos cuando aparecen argumentos más robustos.

Transición de fase

Con lo expuesto hasta ahora podemos decir que la transición de fase es un cambio cualitativo del sistema pero:

“Para poder entender las transiciones de fase, que son fenómenos al nivel macroscópico, resulta necesario adoptar un punto de vista microscópico, viendo las propiedades de los átomos o moléculas que constituyen el material.” (Sanders, 2008, p. 2)

La definición de los elementos que interaccionan en los sistemas es esencial en la investigación, eso es básico al tratar un estudio, sea complejo o no; pero al pensar desde la complejidad, el cambio deja de estar relacionado a una secuencia; se considera la definición e interacción de los elementos, la regla o mecanismo que inicia la dinámica. En este sentido, las modificaciones en el sistema son derivadas de las interacciones:

“Las relaciones sincrónicas de una fase aislada del sistema no explican por qué éste adquirió un estado dinámico particular y no otro. La investigación del sistema complejo pasa por la diacronía que permite establecer mecanismos evolutivos para comprender el paso de una fase a otra. La evolución de un sistema complejo no es un relato de cambios sucesivos. Su reconstrucción rebasa la descripción de estados sincrónicos sucesivos;



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

incorpora los mecanismos complejos que son considerados responsables de cada etapa.”
(Duval, 2014, p. 81)

Si regresamos a la Figura 4 observamos que analizamos las 100 intenciones, de las dos condiciones iniciales que se diferencian en una cienmilésima, con el parámetro en 3.86; y no tenemos que dibujar el trazo con el parámetro en 4.46 con los mismos valores; porque ya que el parámetro de control está definido, analizamos los comportamientos cualitativos del sistema con todos los valores de X posibles. No es necesario ver la secuencia de los demás parámetros.

El análisis de esta propiedad nos lleva a pensar si todas las relaciones sociales dibujan trayectorias irregulares, por lo impredecible que pueden ser los comportamientos que emergen de ellas. Si consideramos el diagrama de bifurcación de la Figura 1, que dibuja todo el sistema, notamos que hay trayectorias regulares, es decir que los cambios cualitativos del sistema no siempre presentan trayectorias irregulares, lo mismo podemos pensar en los sistemas sociales, hay momentos en que las condiciones permiten hacer una proyección plausible, pero en otras lo más que se puede lograr es un horizonte de predictibilidad dónde varios escenarios pueden ocurrir.

Interdependencia

La interdependencia nos puede apoyar en la definición formal de un sistema complejo. , que es distinto al de las relaciones de causa y efecto de los modelos que consideran variables dependientes e independientes. La complejidad carece de esta lógica debido a que:

[...] los Sistemas complejos contienen información relevante no sólo en sus elementos constituyentes, sino también en el tipo de interacciones que se establecen entre los mismos. De esta forma, el peso relativo de la importancia de sus elementos constituyentes no es suficiente para producir cambios importantes en el comportamiento del sistema cuando el elemento es removido.

Sin embargo, por otro lado, si continuamos removiendo elementos del sistema llega un momento crítico en que la interacción e interdependencia entre los elementos restantes es fundamental, tal que al remover uno de estos elementos el comportamiento del sistema



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

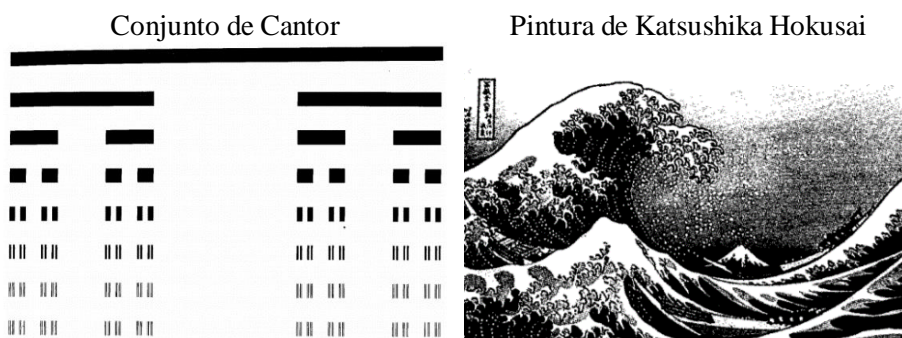
cambia en un grado tal que va más allá de la propiedad que tenía el elemento removido y el sistema cambia cualitativamente.” (Rodríguez Aresky, H. 2012, p. 182)

El carácter holístico de los sistemas complejos considera que las variables son interdependientes, que aisladas nada nos dicen del sistema y consideradas en conjunto, representan un comportamiento global del sistema debido a sus interacciones locales. Esta propiedad explica los puntos críticos de los parámetros de control y la robustez de los sistemas, dado que con pequeñas modificaciones cuantitativas podemos tener grandes cambios cualitativos en el sistema. El nivel de escala en que las variables son interdependientes, así como la definición de la población en que se localizan son retos que se nos presentan al definirlos.

Fractalidad

Los fractales son irregularidades con cierto orden, esto es porque en cualquier escala localizamos patrones de información similares que son identificados geoméricamente como mostramos en la Figura 5, a la derecha vemos un fractal exacto y a la izquierda un fractal parecido a sí mismo.

Figura 5. La recurrencia de patrones similares localizados dibuja fractales



Fuente: Elaboración con base en “La geometría fractal de la naturaleza” (Mandelbrot, B., B. 1982, p. 80, p. C16)



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

La figura de la izquierda es exacta ya que su auto-similitud es perfecta, es una representación matemática del proceso de tomar una línea, dividirla en tres partes iguales y quitar la del centro, estos pasos se repiten una y otra vez hasta el infinito y la figura permanece. A la derecha vemos la pintura de una ola compuesta por olas más pequeñas, la auto-similitud no es exactamente igual pero la figura geométrica es parecida, estos últimos fractales son los localizados en la naturaleza. Ambos representan información; si nos remitimos a la Figura 1, podemos notar que el diagrama de bifurcación tiene un comportamiento fractal, cada vez que se divide lo hace en dos.

Un ejemplo de los fractales naturales es el brócoli, cada que retiramos una pieza se parece a la figura que compone todo el brócoli. Al reflexionar sobre la aplicación en las Ciencias Sociales, notamos que si pensamos en las relaciones sociales como figuras conformadas de patrones de información es posible que encontremos fractales parecidos a sí mismos. Los fractales matemáticos, que son exactos por sus reglas de construcción, nos pueden orientar para conocer cómo se conforma la auto-similitud geométrica, y así reconocer el tipo de reglas que pautan la similitud para reconocerlas en las relaciones sociales.

Modelo Basado en Agentes, Redes y Fractales.

Las propiedades que presentamos pueden ser utilizadas en las tres metodologías que presentamos a continuación.

El **Modelado Basado en Agentes** fue desarrollado en las Ciencias de la Computación, como un objeto de cómputo que responde al estímulo, tanto de otro objeto similar como al ambiente donde se encuentra, dichos objetos se conocen como agentes.

Los agentes se pueden clasificar en dos arquitecturas: “Los agentes reactivos realizan sus acciones como consecuencia de la percepción de un estímulo que viene de otros agentes o del ambiente” (Bandini, Manzoni y Vizzari, 2009, p. 188). Los agentes más elaborados son llamados deliberativos o cognitivos, estos cuentan con una meta ya que tratan de seleccionar una secuencia de acciones: “su comportamiento está basado en los llamados estados mentales, en hechos que representan el conocimiento del agente del ambiente y posiblemente en memorias de experiencias” (Bandini,



XXXI CONGRESO ALAS URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Manzoni y Vizzari, 2009, p. 188). Las figuras del diagrama de bifurcación se construyen utilizando este método, específicamente con agentes deliberativos; es muy práctico para realizar experimentos en computadora, su ventaja es que una vez programada la regla con que se realiza la interacción, se deja iterando y los resultados pueden ser comparados con los datos proporcionados por el recorte de realidad que se estudia.

Las redes estudiadas desde la **teoría de grafos**, son básicamente pares ordenados. “Diremos, una red es siempre una representación o modelo de la realidad observable, no es la realidad en sí. Las redes son gráficos que representan algo real.” (Lewis, 2011, p. 6). Se componen de nodos y enlaces, también conocidos como aristas y vértices, respectivamente, porque representan una figura geométrica. Un nodo puede ser una persona, su enlace la amistad que tiene con otra persona, es decir si dos personas son amigos están enlazados y estamos ante una red de amistades. La ventaja de este método reside en que en una red tan sencilla como la del ejemplo, es posible tener medidas de centralidad; intermediación (Betweenness Centrality) que acumula valores de los caminos de un nodo, se refiere al número de caminos, pero sin contar al mismo nodo, medida de centralidad y coeficiente de agrupamiento (Clustering Coefficient); medida que indica del número de vecinos enlazados, lo que implica detectar los enlaces en la vecindad del nodo. La medida de distribución de la red es la distribución de grado, que mide el número de enlaces que tiene un nodo

En la **teoría fractal**, las medidas se encuentran entre 1 y 2 y se llama dimensión fraccionaria, que es la forma de auto-similitud r y el número de copias N , que es la relación entre el factor de escala similar observado En la Figura 6, del lado izquierdo se muestran los fractales que son exactamente iguales por su construcción matemática; y del lado derecho la relación entre número de cajas $N(r)$, con longitud r que es el lado de cada caja que toca cualquier parte de la forma en sus bordes. Los fractales que se encuentran en la naturaleza contienen formas de los fractales parecidos a sí mismo,



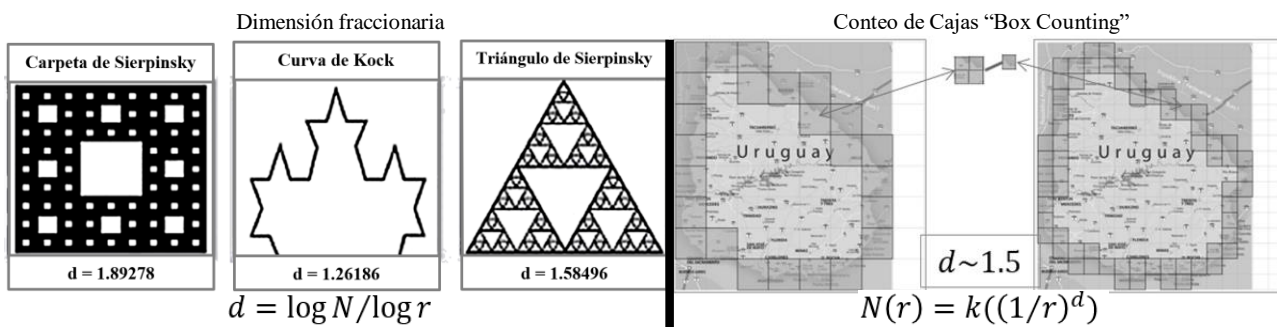
XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

Figura 6. Fractales exactos con su dimensión fraccionaria. Conteo de cajas del contorno del dibujo de un mapa de Uruguay, ejemplifica la dimensión fractal con un cuadro que se divide en cuatro para contar con cuadros más pequeños y ser más precisos en la dimensión fractal



Fuente: Elaboración propia en programa "NetLogo" (Wilensky, 2015)

V. Conclusiones

La discusión recién inicia, las propiedades de la complejidad formalizan la relación de variables, la dinámica no lineal identifica la irregularidad de las trayectorias con reglas bien definidas; sin embargo, hace falta un acercamiento entre disciplinas para contar con modelos que utilicen dichas propiedades.

Sabemos que hay entidades que contienen atributos vinculados entre sí, en otras palabras, utilizamos variables localizadas en una población que comparten un ambiente. Las propiedades de la complejidad nos permiten conocer los cambios en procesos de largo plazo; partiendo de la emergencia de la colectividad, realizar análisis con estas técnicas hace posible plantearse hacia dónde van las relaciones, explicar por qué se repite un patrón de información, y permite realizar experimentos por computadora, que proporcionan nueva información que puede verificarse

Nuestra investigación inicia, tenemos más preguntas que respuestas, las cuales van desde conocer si es posible un dialogo entre saberes, hasta el acceso a equipo de cómputo para aplicar los métodos mencionados y la curva de aprendizaje que esto implica para los investigadores, sin duda nuestra tarea es compleja.



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

VI. Bibliografía

- Bandini S., Manzoni S. y G. Vizzari (2009). Modelado y simulación basados en agentes. En Meyers, R. (Ed.), *Enciclopedia de complejidad y ciencia de sistemas*. (pp. 184 – 197). New York, USA: Springer.
- Chaparro, G., (2008) No linealidad, complejidad y sistemas sociales. *Antropología Sociología*, (10), pp. 197-219.
- Cocho, G., Gutiérrez, J. y P. Miramontes. (2017) Ciencia y Humanismo, Capacidad Creadora y Enajenación. En Miramontes, O., Vizcaya, E., López, D. O., Guillén D. y García, J. (Eds.), *De los sistemas complejos a la imaginación heterodoxa. GERMINAL COCHO GIL*. (pp. 95-112). Ciudad de México, México: CopIt-arXives y EditoraC3. Recuperado de <http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/copit/TS0014ES/TS0014ES.pdf>.
- Duval, G. (2014). Teoría de sistemas. Una perspectiva constructivista. En Ramírez, S. (Ed) *Perspectivas en las teorías de sistemas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. Recuperado de <http://computo.ceiich.unam.mx/webceiich/docs/libro/Perspectivas%20en%20las%20teorias%20de%20sistemas.pdf>.
- Elías, N, (1982) *La Sociedad Cortesana*. México. Fondo de Cultura Económica.
- González Casanova, P. (2005) *Las Nuevas Ciencias y las Humanidades; de la Academia a la Política*. Barcelona, España: Anthropos.
- Gutiérrez Sánchez, J. (2014). Teorías, sistemas y comprensión del mundo. En Ramírez, S. (Ed) *Perspectivas en las teorías de sistemas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. Recuperado de <http://computo.ceiich.unam.mx/webceiich/docs/libro/Perspectivas%20en%20las%20teorias%20de%20sistemas.pdf>.
- Izquierdo, L, Ordax, J., Santos, J. y R, Martínez. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (16), 85-112.
- Mandelbrot, B. (1982). *La geometría fractal de la naturaleza*. New York, USA: W. H. Freeman and Company. Recuperado de https://ordinatous.com/pdf/The_Fractal_Geometry_of_Nature.pdf
- Mitchell, M. y Balwit J. (2013) *Modelo Dependencia Sensible*. USA, Santa Fe: Instituto de Santa Fe, Proyecto Complexity Explorer. Recuperado de <http://complexityexplorer.org>



**XXXI CONGRESO ALAS
URUGUAY 2017**

3 - 8 Diciembre / Montevideo

Las encrucijadas abiertas de América Latina

La sociología en tiempos de cambio

- Page Scott E. (2015). Lo que los sociólogos deben saber sobre la complejidad. *Annual Reviews of Sociology*, 41(1), 21-41.
- Rodríguez Aresky. H. (2012). Modelos basados en agentes para la simulación de Sistemas Complejos Sociales. En Corona, Fernández J. y Cortes, del Moral R. (Eds.) *Complejidad, la encrucijada del pensamiento*. (pp. 181-196) Ciudad de México, México: Miguel Ángel Porrúa.
- Sanders, D. P. (2008). Introducción a las transiciones de fase y a su simulación. *Curso. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México*. Recuperado de <http://sistemas.fciencias.unam.mx/~dsanders/preprints/intro-transiciones-fase.pdf>.
- Santos, B. de S. (2009) *Una Epistemología del Sur*. Estado de México, México: CLACSO. Siglo XXI.
- Wilensky, U. (2015) *NetLogo*. Boston, Massachusetts. Center for Connected Learning (CCL) Northeastern University. Recuperado de <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/index.shtml>