

Teoría del Caos, el tercer paradigma: una aplicación de las series pseudoaleatoria para modelizar la dinámica no lineal

Julián Colina
SEDIC

“Before earth and sea and heaven were created, all things wore one aspect, to which we give the name of Chaos a confused and shapeless mass, nothing but dead weight, in which, however, slumbered the seeds of things.”
Bulfinch's Mythology, 1855.

0.1. Resumen

Se examinan los conceptos generales sobre el caos. Se catalogan los conceptos clave que pueden ser útiles y que históricamente han conformado una teoría del desorden y su situación actual en publicaciones españolas. Presentando, finalmente, una aplicación para la predicción en conductas caóticas, basada en las series aleatorias, que generan los ordenadores; haciendo la hipótesis de que estas series tienen una conducta caótica, válida para el método que se propone: Correlacionar series generadas y hechos observados con curvas normales y logísticas. La generación y el análisis de tablas se hace con un programa para ordenador. Se propone su aplicación en otras ciencias no-físicas: en las Ciencias Sociales, donde los sistemas van aprendiendo y cambiando.

Palabras clave: Teoría del caos. Series caóticas. Series pseudoaleatorias. Predicción en sistemas dinámicos no lineales. Determinismo. Desorden. Incertidumbre. Conducta caótica en Sistemas. Ciencias Sociales. Dinámica social. Respuesta cuantal.

0.2. Abstract

General concepts on the use of chaos are examined. Key concepts which may be useful and that historically have conformed to disorder theory and its present situation in Spanish publications are cataloged.

At the end is an application for prediction in chaotic behaviors, based on random series that are generated by computers; making the hypothesis that the series have a chaotic behavior, valid for the method which is proposed: to correlate generated series and facts observed with normal and logistic curves. The genera-

tion and analysis of tables are done with a computer program. It is proposed that this program will apply to other non-physical sciences: social sciences where systems learn and change.

Keywords: Chaos. Theory. Chaotic Series. Pseudo-Random Series. Forecasting in Dynamic Nonlinear Systems. Determinism. Disorder. Uncertainty. Chaotic Behavior in Systems. Social Sciences. Social Dynamics. Quantal Response.

1. Conceptos generales (1)

El caos definido generalmente con algunos de estos conceptos: Misteriosa forma primigenia del Cosmos. Desorden extremo. Forma superior del orden. Esencia del orden. Erosión del determinismo. Caos determinista. Ciencia alineal. Inestabilidad dinámica asociada a caos. Evoluciones temporales con dependencia sensitiva de condiciones iniciales. Oscilaciones irregulares de apariencia aleatoria, pero de génesis determinista. Sistemas dinámicos deterministas, no lineales y más teoría de la probabilidad. Conductas caóticas en los sistemas. Resumiendo: Complejos e imprecisos movimientos por las influencias externas o internas, desconocidas, quizás pseudoaleatorias, en sistemas dinámicos y si éstas pudiesen ser medidas o ser eliminadas (aisladas o controladas), entonces, las conductas (los comportamientos) puedan ser tratadas como deterministas y predecibles. Un ejemplo sería analizar el proceso de cambio en dinámica social de las poblaciones, separando, como variables, los datos conocidos de los datos presumiblemente aleatorios y poder controlar éstos. Un objeto es complejo si contiene información difícil de obtener. Una cierta cantidad de desorden es necesaria para el cambio. Es posible modelar, modelizar, la conducta general de un sistema. Se puede visualizar por ordenador el comportamiento del sistema. Es precisa la distinción conceptual entre los términos determinismo y aleatoriedad y caos. El caos ontológico y el orden total del mundo, no existen, como han demostrado en la "teoría de la relatividad del orden", Boya, Carreras y Escorihuela. Un catálogo de conceptos manejados en la teoría debería incluir las tres primeras leyes del Caos, tomadas de Martín, y los otros términos, propiedades o categorías que encontraremos en las lecturas.

1. Sensibilidad a las condiciones iniciales.
2. Idea de mezcla o topológicamente transitivo.
3. Puntos densos o tan próximos como se quiera.
4. No linealidad.
5. Efecto mariposa.
6. No aleatoriedad. Determinismo.

7. Curva parábola-logística.
8. Inestabilidad (caos) - Probabilidad - Irreversibilidad.
9. Fluctuaciones y tendencias gráficas.
10. Atractores extraños.
11. Fractales.
12. Órbitas periódicas.
13. Complejidad infinita.
14. Incompletitud.
15. Impredicibilidad. Impredictibilidad.
16. Incertidumbre. Indeterminismo. Desorden.
17. Proceso oscilatorio irregular. Periodicidad irregular. etc.

Estas propiedades o categorías se han ido acumulando en el desarrollo del entendimiento de la teoría y en la representación de este conocimiento, consecuentemente en las aplicaciones, sin que hasta ahora se haya abandonado el punto de vista de la física y de las matemáticas. Las aplicaciones a hechos no físicos son todavía incipientes. Además la definición o el entendimiento de cada una de ellas es diferente, para las diferentes ciencias; algunas no han de ser incluidas en Ciencias Sociales o tienen su propia palabra.

2. Historia de la teoría

La Teoría que fue relacionada con fluctuaciones irregulares y erráticas de un sistema, se desarrolla ya ahora fuera de los principios de Impredicibilidad o Incertidumbre cuántica y de Complejidad o Teorías no lineales de la Física. Se ve el caos en el lenguaje cotidiano como “un gran desorden”, los ensayos filosóficos incorporan la ontología de la incertidumbre como sinónimo de desorden y como caos con formulación matemática en sistemas dinámicos no lineales, unidimensionales y deterministas: Rubert de Ventos *Ensayos sobre el desorden* (1976); Ibáñez en *Las medidas de la sociedad* (1985); Scala en *Información y Caos* (1991), que son pioneros, junto con la Universidad de Zaragoza. El monográfico revista *Archipiélago* (1993); García Velarde y Sixto Ríos en recensiones de la revista *Saber Leer*; Prigogine *Las Leyes del Caos*, (1997); Fernández Agis (1995), en *Memorial del Desorden*; como tratamiento de la Información y por ende de la Documentación, Currás (1996), “lo que creemos caos es porque no sabemos sus leyes”, en su *desideratum*: “Tratado sobre ciencia de la información” y como Análisis de la Matemática de la Complejidad en los Sistemas Dinámicos no lineales en la novísima *Iniciación al Caos*, con Miguel Angel Martín, Manuel Morán y Miguel Reyes (1995), en *Orden y caos en sistemas*

complejos Ricardo Vicente Solé (1996) y Ruelle Azar y *Caos* (1995), libro agradable de leer y de comprender y divertido. Además hay otros estudios en la Universidad de La Coruña, Ruano Gómez, Universidad Complutense, Navalpotro, con un Web online, y particularmente, por su novedad y prontitud en investigar (1990), la Universidad de Zaragoza, Carreras, Escorihuela, Requejo, Boya, Navascues, Valero, Moya y Sanmartin : *Azar, caos e indeterminismo* y son estudios filosóficos y biológicos, que aportan premisas, claridad y nuevas ideas. Como ensayo periodístico novelado de alta divulgación en los Estados Unidos, por Gleick, el más conocido, Keland, Crichton, Hayles, el mejor. También la revista *Investigación y Ciencia*, número monográfico. En Gran Bretaña en la *Royal Statistical Society* en Londres para las series temporales o por Internet para el estado actual de la cuestión en la peculiar comunidad científica de usuarios de Internet en Estados Unidos. Una historia universal esta descrita en el libro de Tufillaro *An experimental approach to nonlinear dynamics and chaos*, vista por un físico. Y recientemente Courtney Brown estudia aplicaciones cuantitativas para las ciencias sociales en *Chaos and catastrophe theories* (1995); si hay una adecuada medida de los datos: series temporales suficientemente comprensivas.

3. Metodología de búsquedas bibliográficas

Para los estudiosos de la Filosofía y de las Humanidades hay Bases de Datos de Filosofía- Humanidades en CD-ROM : FRANCIS, The Philosopher's Index, CINDOC, y algunos más. Las bibliografías de las bibliotecas del CSIC y el Catálogo de las publicaciones españolas en los índices ISBN (los libros de la Biblioteca Nacional en ARIADNA); son las más completas, quizás entre ambas, exhaustivas. Los libros actualmente en el mercado en español son más abundantes de los aquí citados y de lo que pudiera parecer a primera vista. La bibliografía norteamericana, hasta 1992, posee una recopilación que fue editada en *Quanta* de Minneapolis en CD-ROM. Eckersley y otros presentan nuevos enfoques creativos y optimistas en *Chaos, Fractals and Magic*: “Los sistemas dinámicos son útiles por su inherente flexibilidad y velocidad de reacción, por ser adaptativos por naturaleza y porque usan caminos distribuidos para la representación del conocimiento, más robustos que los sistemas basados en reglas, además permitiendo su concepción y su control”.

Aprovechamos también la oportunidad de conectarse por Internet a *Amazon.com* de Estados Unidos, que es una excelente base de datos del mercado de libros, donde por la palabra *chaos* el lector encontrará 161 referencias que la utilizan. Consultando *Books in print* encontrará unos 350 libros sobre el tema de “conducta caótica en sistemas” para 1997. Los conocedores de las matemáticas superiores tienen multitud de posibilidades, proyectos o programas en CD-ROM. El logical DES “PolyAnalyst” de Megaputer Intelligence, Moscú, presente en el

SIMO en 1996 y el programa MPRGRAF de elaboración propia y los presentados en el libro de Martín son ejemplos de aplicaciones con ordenadores que tienen excelentes bases bibliográficas. Es también muy interesante conectarse con algún foro *online*. Siempre estaría al día en novedades, corrientes en boga, convocatorias, etc.

4. Generación de series caótica y predicción experimental

Una forma de análisis consiste en comenzar con observaciones sobre un hecho e intentar correlacionarlas con las categorías disponibles conocidas, para construir una teoría o un modelo y aplicarlo a un rango de sucesos para comprobar su validación: Un problema de reconocimiento de unos comportamientos y la formulación de una estructura. Aquí voy a escribir sobre una experimentación con ordenador, que además puede ser repetida por cualquiera, para los conceptos principales de la teoría, sacados del libro *Iniciación al Caos* y de los otros libros seleccionados, y también por algunas otras comprobaciones y reflexiones en el tema de series caóticas o pseudoaleatorias y, posiblemente, sobre aspectos donde no parece que se haya investigado mucho, al menos suficientemente difundido en España. Un intérprete *Basic* genera números pseudoaleatorios con la sentencia o instrucción *randomize*, la función RND y una expresión numérica, es la mentada sensibilidad a las condiciones iniciales, y como se sabe estas secuencias de números generadas no son propiamente aleatorias y entre otras cosas porque es muy difícil obtener números al azar de forma artificial, pero se ha convenido por los estadísticos-matemáticos: “Si cumplen una serie de pruebas, principalmente tests noparamétricos o libres de aleatoriedad, Mac Nemar, Kolmogorov, etc., Cebrián (1988), ya pueden tomarse como tales”.

En realidad son tablas caóticas con una dinámica libre de orden y de predecibilidad, con un modelo de conducta general, generan complejidad y la ya citada dependencia sensitiva. Pequeñas diferencias de las condiciones iniciales producen unas muy grandes en el resultado definitivo, —condición necesaria pero desde luego no suficiente—, no puede reproducirse igual dos veces y no interviene el azar. Es una forma artificial, válida, de simular la incertidumbre y el desorden. La propiedad esperada del algoritmo utilizado es azar. La metodología es probablemente congruencial, pues hay muchos métodos (Bugeda, 1975). Incluida la función en los intérpretes *Basic*, con diferentes algoritmos, las cifras son con reposición, repiten número en su aplicación al tener que suprimir (redondear) las últimas cifras. Los valores, si se ajustan a una distribución normal, se toman como normales y sirven pues para proyectar inferencias, y que sugiero pueda ser la vía válida para seguir indagando en el propósito del estudio de series caóticas. Este primer camino útil es un método para construir pruebas de caoticidad para buscar determinismo contra las apariencias obvias o presumibles de

incertidumbre. Se construyen con ordenador sucesivas replicaciones y a continuación, básicamente consistirá en ordenarlas en representación gráfica, calcular la *media aritmética*, que debe ser próxima a 0.5, observar el rango, que debe de estar entre 0 y .9999. Completar el test de contraste de las observaciones con curvas teóricas exponenciales —no lineales—. Estas actúan como acoplamientos o interacciones u osciladores. Se obtienen puntos matemáticamente exactos (siete decimales) para estas curvas teóricas para un recorrido de 214 valores, desde 2.13 a 0 sigmas con las fórmulas informatizadas, que después se incluyen. Estas pruebas de “caoticidad” han sido replicadas sobre centenares de muestras y sobre éstas divididas en 10 intervalos, que para los ordenadores personales con Pentium 166 Mhz, 586DX 133Mhz, 486DX 66Mhz, son algunos segundos para cada reiteración. Hasta aquí he comentado algunas comprobaciones para la caoticidad, para hechos reales observados en dos dimensiones, presumiblemente caóticos, modelizarlos como curvas teóricas y así puedan hacerse proyecciones o predicciones dentro de los parámetros, ya conocidos para las que generó el ordenador, que fueron ya validadas con el programa, o simplemente conocer el comportamiento general del sistema con un mínimo modelo. Porque, solo algunas de las réplicas generadas cumplen parámetros de la distribución de curva normal (Gauss), que escrita en notación *basic*: [DEF FNNORMAL(X) = (1/SQR(2*3.14159265#)) * (2.71828183#) ^ (-X^2/2)]. La probabilidad deberá ser superior a .97. Así tenemos observaciones de hechos, datos generados aleatoriamente, validados como normales y, finalmente, correlación con una logística, en notación *basic*: [DEF FNLOGISTICA(Z) = A/(1+2.71828183#^Z)]. La correlación deberá ser superior a .99. Concluyendo que las observaciones se pueden modelizan como curvas teóricas, de las que si conocemos los parámetros. También se puede llamar a este resultado un fractal plano o en dos dimensiones. La idea de la curva logística aplicada a la población es de Verhulst (1838). Aplicada a las ciencias sociales en la respuesta cuantal es de Emmens (1940). *Martín ha elaborado una función de la curva, asociada a los sistemas dinámicos caóticos unidimensionales.*

5. Aplicaciones

Así puede ensayar los modelos y pruebas propuestos con un archivo de tablas caóticas, al uso de las típicas tablas de números aleatorios, tenerlas almacenadas y con anotaciones sobre los estadísticos de cada serie para su posterior uso adecuado y archivo de resultados logrados. Poder trabajar en el control de los datos observados y así comprender mejor hechos que se presentan o se perciben caóticamente y hacerlo con su ordenador e intentar analizar los acontecimientos caóticos en algún campo de su interés. Particularmente me parecen interesantes en Sociología: cambio social, desarrollo comunitario, ecología humana, estudios

demográficos, transmisión y difusión culturales, estudios de opinión, Anomía, comportamiento o conductas desviadas, conflictos y otros ítems de la dinámica y del orden social. Estos hechos en principio tienen “comportamientos globales” que bien puede decirse que son semejantes a sistemas dinámicos deterministas no lineales. También en conductas para la información, Snyder y Kurtze, Line, Quart, Minning, Kiresuk, etc., en el CD-ROM LISA de Biblioteconomía. Sobre información de hechos que piense no suficientemente esclarecidos o no son predecibles, con teorías y técnicas y métodos actuales y/o en cualquier caso utilizar más enfoques y no tan canónicos como los usuales. La utilización de estos ficheros pseudoaleatorios, fáciles de hacer, son inmediatas: muestreo en técnicas y métodos de Ciencias Sociales o en Teoría de la Información. Sistemas expertos de la Inteligencia artificial en Castillo y Alvarez. Experimentaciones en la Geometría Fractal. Estudio de los Sistemas Dinámicos no lineales en general. Avances en la representación del conocimiento y recuperación de la Información, por el mejor diseño de algoritmos de búsqueda, para así ir superando la apariencia de imagen de desorientación en resultados presentados en bases de datos; sería un buen campo para el experimentador.

6. Final

Era importante fijar los conceptos generales, que en la historia de la teoría son muy recientes, no más allá de finales del siglo pasado; para un tema que está en formación, también era importante la situación actual, no más allá de los años 70, por ello era precisa la búsqueda bibliográfica y ver las tendencias de la investigación, que se desarrolla en los campos de las matemáticas y la física, para objetos físicos básicamente; ello hacia interesante una metodología matemática asistida por ordenador, para hechos sociales. Cuestiones complicadas e importantes y aunque muchos citan las posibilidades, los estudios en Sociología no parecen tan abundantes como en la Física. Quizás se han de desarrollar nuevas teorías en las Ciencias de la información y/o del conocimiento y de la Filosofía y entonces ya serán precisos los estudios multidisciplinarios o interdisciplinarios o en equipo. Además, cuando se hace un trabajo de campo cuantitativo para sistemas sociales, se deberían cambiar las ecuaciones cuantitativas, durante el mismo proceso, ya que la estructura del sistema mismo *aprende* y cambia de naturaleza y puede tener apariencia caótica, ya en su planteamiento o durante el proceso. Se han hecho referencias casuales a temas de Documentación, que forma parte de la metodología de este trabajo y que tampoco hay mucho hecho. Insistir ahora sobre los fractales, los atractores extraños o conjunto sobre el que se mueve un punto representando el estado dinámico de un sistema y que son fractales; aquí las cifras tienen órbitas periódicas y puntos densos a lo largo de una logística; de la misma forma ver la conexión entre la física, la matemática, las ciencias sociales,

la sociología, la filosofía; la entropía, el desorden, la información y la complejidad; la oposición entre determinismo y probabilidad; distinción de señales periódicas, caóticas y aleatorias; las prioridades entre la teoría, la experimentación, la simulación. Todo ello pudiera ser complicar innecesariamente la vía hacia una metodología precisa y que he seguido en el curso de mis reflexiones. Piense en las pisadas en la arena a orillas de un lago o en la nieve. Parece algo caótico y obviamente no lo es. Algún humano o animales se paseaban y tenía un origen y un destino, un propósito. Ya después del paradigma clásico en las matemáticas, cuando los datos no eran aleatorios, después otro segundo con la Estadística, cuando si lo eran, y ya ahora, cuando parece que son aleatorios, sería un buen tercer paradigma para alcanzar ciertos niveles de predicción o certidumbre; de explicación de conductas o comportamientos. Finalmente, como se glosaba al comienzo, son sinónimos de caos: Incertidumbre más Desorden; les serán útiles para encontrar materiales en las bases de datos (CDROM, On-line y Bibliografías).

7. Notas

- (1) Debo de dar las gracias —como siempre— a la empresa ANILOC de Sandwich y a la Biblioteca Pública de Cotuit, ambas en Estados Unidos, por su apoyo informático y bibliográfico, y al CINDOC en Madrid por su asistencia en las bibliografías y a ISKO por la difusión e interés por este trabajo desde su inicio.