

## **ALGUNAS NOTAS SOBRE EL CAOS** **OPÚSCULO EN HOMENAJE AL PROFESOR ROBERTO TORRETTI**

BERNULF KANITSCHIEDER

### **I. La envergadura del caos**

Es un hecho bien conocido que en el ámbito de los sistemas dinámicos el caos trae consigo límites del saber y de la posibilidad de pronosticar el futuro. En un cierto sentido un horizonte de Ljapunow representa algo insuperable, por lo que Joseph Ford, el muy conocido teórico norteamericano del caos, lo llamaba el último misterio completo del mundo.<sup>1</sup> Esta afirmación no parece descabellada, puesto que en la medida en que está en vigor la mecánica clásica la posibilidad del cálculo predictivo a largo plazo sólo se da en casos excepcionales. En general, no se puede abordar el futuro lejano de los sistemas dinámicos. Pero el caos contiene una estructura ambivalente: por un lado significa un obstáculo insuperable para alcanzar un conocimiento de la naturaleza, por otro lado indica una importancia constructiva que, según mi opinión, tiene mayor peso filosófico, puesto que nos lleva a entender la morfogénesis de los sistemas de mayor complejidad. Hay que hacer hincapié en que el caos no carece de reglas ni leyes, si bien, a raíz del hecho que las leyes que llevan al caos son no lineales, no se puede aplicar el principio de la superposición. En lugar de la linearidad aparece un nuevo principio que es el de la autosemejanza descrito geométricamente por la geometría fractal. La mayoría de las formas que asume la naturaleza tiene propiedades fractales a diferencia de lo que pasa con las figuras de la geometría euclidiana clásica. En la naturaleza real los objetos no tienen límites tajantemente definidos, sino que, antes bien, muestran una cierta rugosidad, y a veces

---

<sup>1</sup> J. Ford: "What is chaos that we should be mindful of it?", en: Paul Davies (ed.), *The New Physics*. Cambridge 1989, p. 348-372.



presentan en cada ampliación estructuras autosimilares siempre más finas.

Desde que B. Mandelbrot<sup>2</sup> puso su primer ejemplo, la frontera rugosa de Inglaterra, se hallaban a espertas casos de formas fractales, desde los mapas meteorológicos hasta los sistemas del tráfico y las estructuras neuronales del cerebro. Sorprendentemente podía comprobarse que el funcionamiento de nuestro cerebro sigue la regla de la autosemejanza tanto como los helechos y arbustos de un bosque.

En lugar de la síntesis aditiva – si un fenómeno se realiza siguiendo la forma  $X_1(t)$  y la forma  $X_2(t)$  también  $X_1(t)+X_2(t)$  representa un posible proceso de la naturaleza – hallamos el principio de las muñecas rusas, mostrando que los fragmentos presentan una estructura igual a sí misma.

Hay que destacar que el principio de autosemejanza cae bajo el rigor de una ley utilizando un concepto diferente de dimensión. Así se puede caracterizar el conjunto de Cantor, también llamado el “polvo de Cantor”, porque consiste de un cúmulo de infinitos puntos aislados, con la dimensión fractal  $D=0,6309$ . Asimismo la curva de Koch que se establece solamente de triángulos equiláteros y representa la forma de un copo de nieve tiene una dimensión  $D=1,26$ .

La estructura fractal se junta de modo sorprendente con los rasgos dinámicos de un sistema natural. El desarrollo de un sistema dinámico a largo plazo se hace patente mediante el concepto del ‘atractor’. En el espacio de fases se puede representar geoméricamente el atractor del sistema. En los casos más sencillos el atractor resulta un punto fijo, un círculo limitante, o un toro. Si es así, puede hacerse un cálculo del sistema a largo plazo. Pero si el atractor toma la forma de un fractal, estamos ante un caso de caos. Muestra un desarrollo dinámico en cuanto que la información sobre el estado inicial se desvanece con el tiempo. Llámase, pues, extraño un atractor de este tipo. El atractor extraño que tiene la geometría de un fractal anuncia el estado del caos. El resultado sorprendente es que, por un lado, el desarrollo caótico *limita* el conocimiento futuro del sistema, por otro lado permite, en un plano más profundo, una conceptualización geométrica que realmente *aumenta* nuestro saber. Asimismo la dimensión fractal del atractor extraño ofrece la posibilidad de determinar el grado de caoticidad del sistema dinámico. Igualmente el exponente de Ljapunow indica la rapidez con que las trayectorias diver-

---

<sup>2</sup> B. B. Mandelbrot: “How long is the coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension” *Science* 156 (1967), p. 636-638.



gen ante pequeños errores iniciales. Así que vemos que el caos es *nomologizable*, es decir sigue unas leyes naturales. También la inestabilidad de las trayectorias que se pone de manifiesto en el exponente de Ljapunow está sometida a regularidades inteligibles.

En lo que atañe la conducta imprevisible de sistemas con atractor extraño hay que destacar una consecuencia filosófica palpitante: la imposibilidad de los pronósticos a largo plazo del desarrollo, p. ej., de las condiciones atmosféricas es implícita en el sistema y no engendrada por una falta de conocimiento, o dicho de otra manera, es de tipo ontológico y no epistemológico. Cuando Edward Lorenz comprobó, en 1963, que las ecuaciones con las que modelaba el tiempo atmosférico tienen un atractor extraño descargó a los meteorólogos del agobio a lo cual habían sido sometidos por la gente que achacó la culpa de los frecuentes fracasos en las previsiones a su ignorancia y incapacidad.<sup>3</sup> El descubrimiento de que fluctuaciones microscópicas pueden influir en el desarrollo de sistemas macroscópicos de igual manera – como lo expresó el mismísimo Edward Lorenz – que el aleteo de una mariposa en Brasil podría engendrar un huracán en Texas inició un nuevo tipo de pensamiento sobre el principio de la causalidad. Obviamente ni la ciencia ni la filosofía tuvieron en cuenta que situaciones como las acabadas de mencionar traen consigo que, en poco tiempo, se pierda la relación causal entre pasado y futuro.

## II. El ámbito del caos

Hay que preguntarse si las situaciones caóticas se limitan al ámbito del mesocosmos en el que se encuentran los sistemas complejos de tamaño medio o si la trascendencia continúa en dirección a lo muy pequeño o a lo muy grande. Muchas indagaciones se dedican a la pregunta si existe el caos cuántico o no. Durante bastante tiempo se pensaba que su presencia parece más bien increíble porque la mecánica cuántica es una teoría lineal mientras el caos es considerado explícitamente como la consecuencia de una dinámica no lineal. Puesto que en la mecánica cuántica no existe una analogía con las trayectorias clásicas, es difícil imaginar qué pueda corresponder en su desarrollo a una estructura fractal. Se hablaba de la opresión cuántica de la caoticidad dentro del ámbito marcado por el tamaño del cuanto de acción. No obstante, recientemente se han descubierto paquetes de ondas cuánticas que se hallan en órbitas de Kepler

---

<sup>3</sup> E. N. Lorenz: "Deterministic Nonperiodic Flow", in: *Journal of the Atmospheric Sciences* 20 (1963), S. 130-141.



aunque sea solo por unos momentos. A base de la teoría semiclásica se pueden comprender estos estados intermedios. En sistemas semiclásicos Eric J. Heller y Steven Tomsovic encontraron trazos del caos cuántico,<sup>4</sup> lo que significa la ubicuidad del mencionado caos.

La situación en las dimensiones cósmicas resulta parecida. Ello era de esperar, puesto que la teoría gravitacional vigente es no lineal. Aunque sólo fuera por esta razón era de esperar que se presentasen aquí rasgos caóticos. Como se comprobó en 1981<sup>5</sup> una solución a las ecuaciones einsteinianas del campo gravitatorio, el llamado „universo batidora” (*Mixmaster Universe*) presenta la típica alta sensibilidad de las condiciones iniciales ante mínimas variaciones. En este caso, la pérdida de memoria del universo parece ventajoso, puesto que se puede prescindir del origen preciso que resulta escondido en el estado del mundo durante el gran estallido. La cosmología caótica no tuvo éxito, pero por razones distintas: las oscilaciones de la batidora hubieran engendrado más entropía que la que se observa hoy en día. Sea como sea, la idea genial de Charles Misner intentaba acabar con dos problemas urgentes al mismo tiempo: dar cuenta de la isotropía y homogeneidad del espacio-tiempo (la paradoja de la causalidad) así como del enigma de la singularidad inicial.

Comoquiera que ello sea, el estado inicial del universo, tendería a una distribución uniforme de la materia; asimismo el origen del mundo perdería su importancia, puesto que en cada caso el desarrollo interno lleva el universo al estado que estamos observando hoy. La moraleja epistemológica está patente: el caos tiene sus ventajas, explica lo visible y cubre lo inescrutable. Posteriormente la idea básica del universo batidora pasó al escenario inflacionista, particularmente a la inflación caótica de Andrei Linde.<sup>6</sup> En este escenario cosmológico, mediante una autoamplificación de las fluctuaciones del vacío cuántico, se están creando constantemente diversos tipos de nuevos universos, siendo posible que en uno de ellos la inflación produzca un mundo en el que se desarrolle vida e inteligencia a largo plazo. Así la inflación caótica explica los rasgos sorprendentes de nuestro universo animado de tal manera que se puede prescindir del dichoso principio antrópico. Igualmente puede verse en

---

<sup>4</sup> S. Tomsovic/E. J. Heller: “Semiclassical construction of chaotic eigenstates”. *Phys. Rev. Lett* 70 (1993), p. 1405-1408.

<sup>5</sup> J. D. Barrow: “Chaos in the Einstein Equations”. *Phys. Rev. Lett.* 6 (1981) p. 963-966.

<sup>6</sup> A. Linde: “The Universe: inflation out of chaos”, *New Scientist*, 7, March 1989, S. 14-18.



la inflación caótica una realización de la idea de Nietzsche, según la cual el estado cosmológico básico del mundo es el caos.<sup>7</sup>

### III. El caos del mercado

Lo que más sorprende en la teoría del caos es el alcance de su validez; pues, trasciende el campo de la naturaleza y se presenta en vigor también en el ámbito de la realidad social y especialmente en la economía. Fue el famoso economista Friedrich von Hayek que demostró en los años sesenta del siglo pasado que el mercado libre funciona de manera bien anárquica.<sup>8</sup> Mejor dicho, el mercado representa un orden espontáneo y no planteado, meramente surgido de las actuaciones descentralizadas de muchos individuos. El mercado contiene mucha información bien distribuida, en cada caso más de la que pudiera abarcar jamás un individuo.

La economía del mercado libre resulta ser así un orden complejo de surgimiento espontáneo que se refiere a actuaciones direccionales de los elementos de esta estructura (las personas), pero que en sí mismo es no direccional y no contiene ningún objetivo en absoluto. La superestructura del mercado aúna las acciones y metas de las personas individuales formando *un todo* ordenado, pero imprevisible. Nadie puede pronosticar adonde el sistema mercantil se desarrollará, puesto que el conocimiento que se encuentra distribuido por el sistema y que mantiene el orden sobrepasa muchísimo la capacidad intelectual de un individuo particular. De eso se puede sacar la consecuencia que cada planificación tendría que reducir la complejidad del sistema mercantil hasta que cupiera en un cerebro único. Acá nos tropezamos con la clave del fracaso del dirigismo, o la ingeniería social (J. Buchanan) que causó la quiebra de tantos sistemas sociales. El famoso economista Christian von Weizsäcker<sup>9</sup> puso de relieve que precisamente el elevado grado de caos es lo que proporciona al mercado libre su gran eficacia. En el proceso capitalista de la economía el conjunto de actividades individuales incoordinadas y aleatorias da lugar a estructuras e instituciones económicas concretas.

---

<sup>7</sup> F. Nietzsche: *Also sprach Zarathustra*. Kritische Studien-Ausgabe, tomo 4, Berlin 1988, pag. 19.

<sup>8</sup> Fr. v. Hayek: "The Theory of Complex Phenomena", en: M. Bunge (ed.), *The Critical Approach to Science and Philosophy*. London 1964, p. 332-349.

<sup>9</sup> C.C. v. Weizsäcker: "Ordnung und Chaos in der Wirtschaft", en: W. Gerok (ed.): *Ordnung und Chaos in der unbelebten und belebten Natur*. Stuttgart 1989, pag. 43-58.



Ningún cerebro individual dirige todas las decisiones sobre qué es lo que hay que producir y cómo han de ser distribuidos los productos. Los complejos y diferenciados procesos económicos tienen lugar en una anarquía casi completa.

La libertad desenfrenada del individuo, la mínima limitación del afán adquisitivo y el orden complejo mantienen entre ellos unas relaciones de soporte mutuo. En el sistema social la libertad individual representa el momento del caos. Una sociedad libre y democrática en la cual cada uno puede vivir a sus anchas aprovecha la espontaneidad de las fuerzas caóticas que mantienen el orden. Cuanto más se aprovechan los conocimientos y capacidades, los caprichos y intuiciones aleatorias de todos los miembros de un pueblo, tanto más aumenta el bienestar de la sociedad, aunque nadie esté bajo la tutela de un catálogo objetivos establecidos de antemano.

Me he demorado algo con el ejemplo de la economía del mercado libre. Cabe verlo como un extraordinario desarrollo intelectual que muestra en qué forma convergen los papeles de los hombres y de sus funciones sociales, procedentes de dos direcciones: de la economía política y de la teoría científica de sistemas. No se puede pasar por alto lo que llamaba P. Civitanovic la "universalidad del caos",<sup>10</sup> puesto que toda la complejidad del universo parece afectado de este elemento de la naturaleza que el vidente mítico Hesíodo usaba por primera vez diciendo: "ἦτοι μὲν πρότιστα χάος γέυετ'...ἐκ χάεος δ' Ἔρεβός τε μέλαινά τε Νὺξ ἐγένοντο."<sup>11</sup>

*Justus-Liebig Universität Giessen*

---

<sup>10</sup> P. Civitanovic: *Universality in Chaos*. Bristol 1984

<sup>11</sup> Hesíodo: *Teogonía* 116, 123