



## **Título: CAOS, FRACTALES Y COSAS RARAS**

**Autor: Eliezer Braun**

© 1996, FONDO DE CULTURA  
ECONÓMICA

ISBN: 968-16-5070-0

Impreso en México

### **FRACTALES Y COSAS RARAS.**

**Eliezer Braun**

#### I. Introducción

HACE alrededor de 20 años se ha estado produciendo una revolución en el mundo de las ideas científicas que no ha sido conocida por el público en general. Han surgido ideas nuevas muy útiles para describir y entender la multitud de fenómenos que se da en diversas ramas del conocimiento. Nos referimos a los fractales y al caos. Como verá el lector, las aplicaciones se han dado en los campos de la física, las matemáticas, la biología, la medicina, la economía, la lingüística, por mencionar sólo algunos. Se podrá apreciar la gran amplitud de temas que es posible tratar con estos novedosos conceptos.

En todos los campos del conocimiento que hemos mencionado se han dado situaciones que al ser tratadas con los procedimientos en uso no han podido ser explicadas satisfactoriamente. Sólo con el advenimiento de las ideas nuevas es que ha sido posible progresar en el conocimiento de fenómenos antes no comprendidos.

En vista de lo antes dicho, consideraremos una gran variedad de fenómenos y situaciones. El propósito del presente libro es dar una explicación somera, accesible al público no especialista, de los antecedentes de nuestro sujeto de estudio. Será necesario utilizar algunas operaciones matemáticas que no van más allá de la aritmética; sin embargo, el lector no debe espantarse ya que se le llevará de la mano en forma gradual.

El tratamiento formal de los fractales y del caos se ha convertido en una rama muy compleja de las matemáticas. Por supuesto que no entraremos en estos espinosos temas. Así, en el caso del caos no trataremos de hablar en términos del espacio fase. En este libro los conceptos detrás de estos formalismos matemáticos los trataremos de manera accesible.

En el capítulo II se repasan algunos conceptos elementales de la geometría que no son conocidos.

En los capítulos III y IV presentamos algunos hechos raros que, a pesar de que mucha gente los había conocido, no fueron tratados adecuadamente. La posición que asumieron muchos científicos fue no hacer caso a los hechos que no se ajustaban con la forma de pensar preponderante en su época. Una vez que en 1975 Benoit Mandelbrot los consideró a fondo, se inició la era de los fractales. Estos casos ilustran una situación que ha ocurrido en la historia de la ciencia muchas veces: se tiene la evidencia de algún fenómeno, pero ésta no se ve y se soslaya su tratamiento.

En los capítulos V y VI se presenta el concepto de fractal y de similitud. La idea de fractal nos puede parecer muy extraña, máxime si empezamos a ver algunas de sus características: hay líneas con longitud y cosas semejantes. Sin embargo, esta extrañeza se debe a que nos hemos limitado mentalmente a considerar situaciones que son realmente ideales, como las figuras geométricas. En la naturaleza estas figuras son la excepción, mientras que la mayoría de las figuras que haya nuestro alrededor son fractales. Aunque parezca increíble, ieste hecho tan contundente no había sido considerado en serio durante muchos siglos por la humanidad!

En el capítulo VII se presenta el concepto de las condiciones iniciales, crucial en la descripción de fenómenos físicos. Este concepto lo descubrió Isaac Newton al resolver las ecuaciones que describen las leyes que llevan su nombre. Él ya se había percatado de algunos puntos finos que mencionaremos en este capítulo.

En los capítulos VIII y IX presentamos en forma muy elemental, y utilizando principalmente operaciones aritméticas tales como sumas, restas y multiplicaciones, el concepto de caos. Aquí descubriremos hechos cruciales, como las bifurcaciones que, con el tiempo, llevan al caos. Nos daremos cuenta de que el comportamiento de un fenómeno dado puede ser estable o caótico, dependiendo de los valores de los parámetros que lo describen.

Una creencia muy importante en la ciencia es que una teoría que describe los fenómenos de la naturaleza debe poder hacer predicciones acerca del desarrollo

futuro del sistema que se esté tratando. En el capítulo X se profundiza lo que significa la predictibilidad. A esto quedan asociados los conceptos de determinismo e indeterminismo. Estos conceptos se puntualizan en ese capítulo y la relación entre el caos y los fractales se ilustra en el capítulo XI.

Los antecedentes que se han presentado hasta este momento nos servirán para aplicados en el resto del libro a una serie de situaciones de gran diversidad y así, en el capítulo XII presentamos un ejemplo de aritmética, la secuencia de Fibonacci, que se podría creer que es sólo un tema divertido. Sin embargo, como se ilustra en el capítulo XIII, su aplicación a la ciencia de los materiales, para entender un descubrimiento hecho en 1984, es crucial; nos referimos a un nuevo tipo de arreglo de la materia que se llama cuasicristal.

En el capítulo XIV se introduce el concepto matemático de la ley de potencias, y hacemos ver que tiene propiedades fractales. Las aplicaciones de las leyes de potencias se producen en varios campos, aun en la música, hecho que se explica en el capítulo XV al estudiar la estructura de famosas obras de grandes compositores.

Las características de los fenómenos caóticos que se trataron en el capítulo VIII se aplican a varias situaciones. La primera de ellas es la turbulencia, tratada en el capítulo XVI. Desde mediados del siglo pasado se había intentado sin éxito comprender este fenómeno. Sólo a partir de la década de 1990, con ayuda de los novedosos conceptos del caos, se ha podido empezar a vislumbrar la manera en que se puede entender este fenómeno, cuya comprensión es determinante en muchas aplicaciones prácticas como, por ejemplo, la aviación.

Otro empleo de las ideas del caos se hace en la biología y en particular en la medicina, como se puede apreciar en el capítulo XVII. Fenómenos cardiológicos se han empezado a ver desde otras perspectivas que han podido dar un entendimiento más profundo del comportamiento dinámico del corazón y que posiblemente puedan tener aplicaciones prácticas en el tratamiento de varias enfermedades.

En la naturaleza biológica se han encontrado muchas estructuras fractales. A pesar de que estas estructuras, como por ejemplo la de los bronquios, las ha conocido el hombre desde tiempos inmemoriales, su comprensión como fractal es muy reciente. Este tema lo tratamos en el capítulo XVIII.

La aplicación de los fractales y el caos al campo de la ingeniería se presenta en los capítulos XIX y XX. Un problema importante en la ingeniería civil es la determinación de estructuras que por un lado sean ligeras y que por el otro puedan soportar cargas pesadas. Por medio de estructuras fractales es posible alcanzar tales requerimientos que, en apariencia, son contradictorios. Por otro lado, el análisis del comportamiento de sistemas complejos, como los de una red eléctrica, por ejemplo, ha empezado a llevarse a cabo en los últimos años, desde la perspectiva amplia tratada en el capítulo VIII. De este modo se ha podido entender que una pequeña variación en los valores de los parámetros que rigen al sistema puede cambiar drásticamente su comportamiento. Éste puede pasar de un comportamiento estable a uno caótico.

En el capítulo XXI se presenta una aplicación de los temas tratados al campo de la lingüística, mientras que en el XXII se reseñan algunos elementos de la economía. Aquí hablaremos del interesante caso de la compañía que se ha formado en los Estados Unidos, The Prediction Company, que se dedica a predecir el comportamiento de la Bolsa de Valores. El éxito financiero de esta empresa, formada por científicos que han desarrollado el tema del caos, es algo sorprendente.

En el capítulo XXIII presentamos una manera novedosa de dibujar mapas geográficos, basada en las operaciones para construir fractales.

El resto del libro se dedica a estudiar la estabilidad del Sistema Solar (capítulo XXIV) y de algunos de sus elementos, como los asteroides (capítulo XXV); de Hiperión, que es un satélite de Saturno (capítulo XXVI) y finalmente de los planetas (capítulo XXVII). Se ha descubierto en años recientes que, desde un punto de vista que comprende intervalos de millones de años, dentro del Sistema Solar sí hay comportamientos caóticos. ¿Qué le ocurrirá? Ésta es una cuestión todavía no resuelta.

Como podrá apreciar el lector, la gama de temas es en realidad muy vasta. Uno de los puntos interesantes es que todos estos temas, y muchos otros que por falta de espacio no hemos tratado, se rigen por el mismo tipo de leyes. Éste es un gran descubrimiento, hecho en época muy reciente, que en el momento actual sigue siendo un capítulo abierto a trabajos de investigación muy activa, realizados por muchísimos científicos en todo el mundo, incluyendo mexicanos. La última palabra sobre estos temas no ha sido dicha todavía; de hecho aún falta mucho terreno por recorrer.

Iniciemos, pues, nuestro viaje por el camino de los fractales y el caos