

SECCION EXTRA MED

Dr. Pablo Iñiguez

CAOS

La Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica constituyen los más grandes triunfos teóricos de la Física en el presente siglo y todavía es posible que se logre completar La Gran Teoría Unificada que reúna las cuatro interacciones físicas (gravidad, electromagnetismo, interacción nuclear débil e interacción nuclear fuerte). Sin embargo, los conocimientos que se derivan de esos monumentales cuerpos teóricos no han permitido penetrar en los laberintos de las situaciones caóticas que abundan en la naturaleza.

Es así, que las turbulencias en el aire y en las aguas, las incertidumbres climatológicas, las configuraciones de las nubes, las irregularidades de las montañas en los diferentes sistemas orográficos del planeta, las configuraciones de las costas en las islas y continentes, las complejidades biológicas de los diferentes órganos, los misterios indescifrables de la mente, las variaciones de los ciclos de crecimiento de las poblaciones de diferentes especies, los movimientos de los mercados de valores, etc., han permanecido fuera del alcance de las matemáticas tradicionales y de la Física.

Desde muy temprano recibimos en nuestra educación primaria los conceptos y las formas de las figuras y cuerpos geométricos según nos legara Euclides y adquirimos la noción de que esa geometría existe en la naturaleza que nos rodea. Pero de hecho, eso es pura ilusión y fantasía.

La Geometría constituye solamente una manera de hacer mediciones aproximadas de las formas que hallamos en la naturaleza.

Las montañas no son conos, las nubes no son esferas ni tienen contornos regulares; las costas de las islas y de los continentes no representan contornos de figuras geométricas. La naturaleza nos brinda constantemente formas irregulares y erráticas lo mismo que el comportamiento de los procesos evolutivos comunes y, sin embargo, hasta hace poco, la ciencia no había encontrado fórmulas matemáticas

que ofrecieran soluciones a la multiplicidad de aspectos caóticos que nos rodean.

La meteorología, la ecología, la epidemiología, la sociología y muchas actividades más, han tenido que conformarse con aproximaciones no siempre satisfactorias.

En las últimas dos décadas han surgido, sin embargo, los estudios científicos del Caos, como un tercer aporte teórico comparable a la Relatividad y la Mecánica Cuántica.

Entre sus características hay varios aspectos sorprendentes. Es sabido que los sistemas físicos más simples son capaces de crear problemas de predicción extremadamente difíciles, pero al mismo tiempo, ha podido demostrarse que en esos sistemas surge espontáneamente cierto orden dentro del aspecto caótico. Esto es, que coexisten el orden y el caos.

Asimismo, la meteorología, por ejemplo, nos enseña que en un sistema como el tiempo existe la llamada "dependencia sensitiva" de condiciones iniciales, que se manifiestan luego con efectos ineludibles de interconexión entre procesos originados en pequeña escala y acontecimientos en gran escala. Del mismo modo que una variación surgida a nivel atómico puede tener manifestaciones macroscópicas.

Con la Teoría General de la Relatividad, Einstein estableció la prevalencia de las ecuaciones de campo de segundo orden como fundamento matemático de la Física.

En la Mecánica Cuántica, las soluciones de los problemas relacionados con las funciones de onda dependen de las famosas Ecuaciones de Schrödinger. Estas son también ecuaciones diferenciales de segundo orden que por consiguiente tienen un número infinito de soluciones y son ecuaciones lineales.

Las matemáticas usadas en el estudio del caos difieren notoriamente de las que sustentan la física cuántico-relativista. En primer lugar se trata de ecuaciones no lineales y se

usan frecuentemente cálculos numéricos y mosaicos de mapas realizados con el uso de computadoras.

Los resultados obtenidos son sorprendentes.

Se han abierto nuevos horizontes donde ya la Física se había detenido aceptando esos problemas como inabordables; esta nueva rama de la ciencia promete ampliar considerablemente los límites del conocimiento.

Otro de los aspectos importantes es la universalidad de las leyes del Caos. Esto quiere decir que esas leyes pueden enmarcar desde el comportamiento del agua al caer las gotas o el chorro en la bañera, hasta las turbulencias de las aguas de un río; desde la columna de humo que parte de un cigarrillo hasta las turbulencias de las masas de aire atmosférico; desde las variaciones irregulares de las operaciones bursátiles, hasta los cambios en las poblaciones de diferentes especies animales; desde las diferentes configuraciones de los copos de nieve hasta las complicadas estructuras y funciones de los diferentes órganos incluyendo el cerebro.

Conjuntamente, el estudio del Caos requiere una concepción **totalista** (wholism) que resulta incompatible con el **reduccionismo** que ha predominado por mucho tiempo en el estudio de otras ramas de la ciencia.

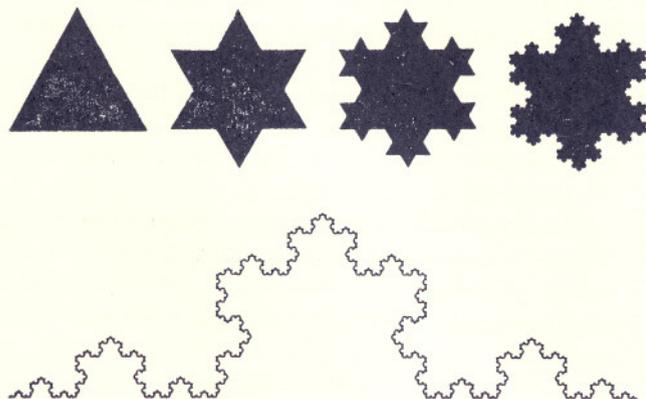
Implica asimismo una rara convergencia de **determinismo** e **imposibilidad de predicción** que Roderick V. Jansen, de la Universidad de Yale, ha descrito como "la conducta irregular impredecible de sistemas dinámicos no lineales y

deterministas".

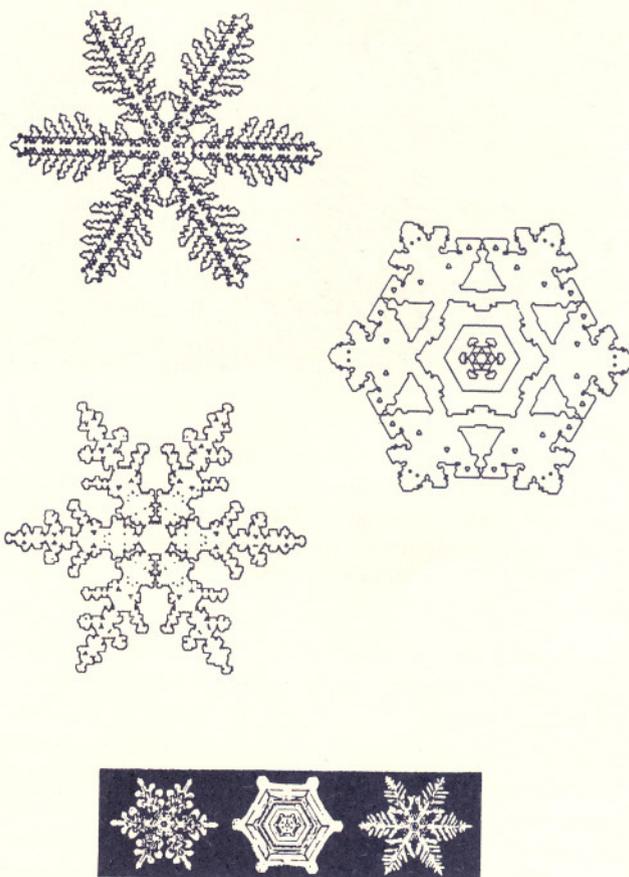
Para algunos esos sistemas no lineales que caracterizan la concepción actual del Caos contienen todos los utensilios necesarios para poder codificar estructuras tan ricas y complejas como el cerebro humano.

Una de las consecuencias trascendentales que se deriva de estos nuevos conceptos es la necesidad de revisar el significado de la **entropía** en sus muchas acepciones.

Se demuestra la carencia de base científica en las interpolaciones de la segunda ley de termodinámica y de la entropía, para explicar fenómenos sociales, degeneraciones de sistemas económicos y hasta de conductas familiares. Un conocido producto de esa falta de sustentación científica es el libro de Jeremy Rifkin, intitulado Entropía. Se hace evidente que todos esos aspectos son perfectamente explicables mediante las nuevas leyes de los sistemas caóticos.



GRAFICA No. 1. El "copo de nieve de Koch". Según las palabras de Mandelbrot, representa un modelo crudo pero vigoroso para representar las costas de una isla o de un continente. Para construir esta curva de Koch se comienza con un triángulo cuyos lados miden 1; a la mitad de cada lado se añade un triángulo que mide 1/3 del original y se repite la misma operación. De ese modo se obtiene una longitud de $3 \times 4/3 \times 4/3 \times 4/3 \dots$ al infinito. Sin embargo el área es menor a la de un círculo trazado alrededor del triángulo original.



GRAFICA No. 2 Simulación por computadora de los delicados procesos termodinámicos que intervienen en la formación de los copos de nieve.



GRAFICA No. 3

Armonía Caótica. La combinación de diferentes ritmos, tales como ondas de radio o las órbitas planetarias, producen una versión especial de Caos. Esta imagen construida mediante computadora es representativa de la asociación de tres ritmos diferentes.

Resulta del mismo modo objetable la equivalencia comúnmente aceptada de la entropía con la tendencia al desorden. Aunque el concepto de entropía es infalible desde el punto de vista de la termodinámica, resulta difícil entender que mientras el universo marcha hacia un final absolutamente carente de propósito, aparezcan en él fenómenos con tendencias a una organización creciente hasta llegar a las formas complicadas de la vida existentes en nuestro planeta que culminan con el desarrollo de la inteligencia, la conciencia y el sentimiento del ser humano.

Es obvio que existen en el universo fuerzas creativas que están por encima de la termodinámica y de las leyes físicas hasta ahora conocidas. El estudio del Caos podría arrojar alguna luz al respecto, aunque probablemente, para

llegar a explicar la complicada organización de la vida y los procesos biológicos, así como los misterios de la mente, se necesitarán nuevas leyes y conocimientos, a niveles mucho más elevados de los que hasta ahora hemos alcanzado.

Sin embargo esas leyes del futuro no necesariamente deben estar en contradicción con las que rigen la física actual.

A primera vista las pretensiones de la nueva concepción del Caos pueden parecer exageradas, y no ha sido fácil convencer a los físicos, en sentido general, de la seriedad y el alcance de esta naciente rama de la ciencia.

Aunque el valor de las computadoras en los progresos realizados en estos estudios se mencionó en párrafos anteriores, es justificado señalarlo con más detalles.

Los antiguos griegos consideraban denigrante el uso de la regla y el compás con el fin de demostrar una verdad, convencidos de que el razonamiento puro era el único método autorizado y eficiente para alcanzar ese propósito. De igual manera, los físicos teóricos y los matemáticos puros de hoy han visto la introducción de la computadora en la investigación científica como algo abominable y blasfemo.

Es bueno aclarar además, que por bastante tiempo había existido un verdadero divorcio entre los matemáticos puros y los físicos. A tal punto, que los últimos aconsejaban a sus discípulos que no tomaran lecciones de matemáticas fuera de las pertenecientes a las disciplinas de la física propiamente dicha. Los físicos trataban en forma despectiva las abstracciones de los matemáticos puros y éstos a su vez menospreciaban a los físicos considerándolos ignorantes.

Pero en estos momentos, las cosas han cambiado de manera notable y son muchos los físicos y matemáticos conversos no sólo en lo concerniente al Caos sino con respecto al uso de la computadora.

Como ejemplo puede citarse el siguiente episodio, que para mí resultaba especialmente grato porque aún reconociendo las ventajas de la Macintosh y de otras computadoras personales poderosas, soy un enamorado de mi Apple IIc.

Ronald Fox, físico de Atlanta, había oído decir que Mitchell Feigenbaum había descubierto leyes de carácter universal que explicaban la conducta de funciones "no lineales con retro-alimentación". En esos días Fox había cometido el "pecado anti-académico", desde el punto de vista físico, de obsequiar a su hijo una computadora Apple IIc y quizás sin mucha convicción escribió un corto programa para tratar de ver en la pantalla la conducta de las mencionadas funciones matemáticas. Con toda facilidad aparecieron las bifurcaciones en tenedor, líneas estables que se dividían en dos, luego en cuatro y en ocho; en otras palabras, la apariencia del propio Caos se dibujaba y en esa

imagen surgía la regularidad geométrica predicha. Según las palabras del mismo Fox: "En un par de días pude reproducir todo el trabajo de Feigenbaum. Para mí, el Caos es como un sueño. Ofrece la posibilidad de que dedicándose a su estudio, uno pueda dar en la veta de una mina".

De ese mismo modo, muchos científicos jóvenes han adquirido la fiebre del Caos. No sólo es una rama de la ciencia que ofrece novedad, sino que brinda la oportunidad de hacer descubrimientos que proporcionen la fama y el reconocimiento que son los principales estímulos para el investigador científico.

Ha sido necesario, desde luego, introducir una nueva terminología para expresar las ideas contenidas en esta naciente concepción del mundo físico. Se habla así de "fractals", "atracciones extrañas", "efectos mariposa".

El término "fractal", por ejemplo, fue introducido por Benoit Mandelbrot en 1975, al pensar en las corrientes paralelas que emergen de la física, mientras buscaba una

expresión adecuada para las formas y dimensiones de una nueva geometría necesaria para el libro que escribía acerca del tema. Al llegar su hijo de la escuela con un diccionario de términos latinos, encontró el adjetivo "fractus" del verbo "frangere" que quiere decir "romper"; en inglés existen: "fracture" y "fraction". De ahí creó Mandelbrot la palabra "fractal".

Mientras en la Física Cuántica la investigación subnuclear requiere aceleradores de kilómetros de diámetro y consumo extraordinario de energía limitando a los científicos a participar en grupos numerosos dentro de las grandes instituciones, el Caos permite todavía la realización de labores personales sin necesidad de extravagancias tecnológicas.

En la actualidad son muchas las universidades importantes que han incluido esta nueva rama en sus capítulos prioritarios de investigación y el hecho de su posible utilidad táctica y estratégica desde el punto de vista militar, garantiza que no faltará dinero para patrocinar becas y estudios avanzados.