



Título: ENTRE EL ORDEN Y EL CAOS. La complejidad

Autor: Moisés José Sametband

© 1999, FONDO DE CULTURA
ECONÓMICA

ISBN: 968-16-6051-X

Impreso en México

ENTRE EL ORDEN Y EL CAOS

La complejidad

Moisés José Sametband

Han pasado tres décadas desde que se inició una nueva línea de investigación científica llamada "teoría del caos".

A diferencia de lo que ocurre en otros campos de la física, como la mecánica cuántica, las investigaciones sobre las partículas fundamentales que constituyen la materia o las teorías sobre el origen del Universo, se está intentando aplicar esta "ciencia del caos" a muchos eventos vinculados directamente con la experiencia humana habitual, y explicar así fenómenos tan disímiles como las arritmias en el funcionamiento del corazón, o aspectos de la economía como las fluctuaciones de la bolsa de valores, o también la aparición de la vida sobre la Tierra, además del

comportamiento de los sistemas físicos dinámicos con un número elevado de componentes como pueden ser la atmósfera o un líquido en estado turbulento.

El físico Joseph Ford, proclamó en un artículo del libro The New Physics la nueva ciencia del caos como "el comienzo de la tercera revolución de la física del presente siglo", siendo las dos anteriores la teoría de la relatividad y la teoría cuántica.

Parece aún prematuro, sin embargo, darle la categoría de tercera revolución de la física, ya que a diferencia de los otros dos casos no es correcto hablar de una "teoría del caos", teoría que aún no existe. Se trata de una nueva y muy promisorio manera de aplicar las leyes conocidas de la física, con la ayuda fundamental de la computadora, a fenómenos muy variados que abarcan, además de los tradicionales en física, a los que se presentan en las ciencias biológicas y las ciencias sociales, siempre y cuando se les pueda encarar como si se tratara de sistemas dinámicos complejos.

En la física se está trabajando con intensidad creciente en los temas de medios desordenados y de sus propiedades específicas, de gran interés científico y tecnológico.

Pero hay que evitar las confusiones que se pueden generar alrededor de este tema, en particular, por las expectativas que puede despertar el estudio del caos en los que trabajan en otros campos del conocimiento.

En realidad aparece aquí un problema de interpretación: entre quienes no están familiarizados con las ciencias físicas o matemáticas -y debido en parte a las declaraciones de algunos científicos- se ha instalado una especie de mitología del Caos o Desorden, que asigna un significado trascendente al azar (real o aparente) de la naturaleza, y que proclama la muerte definitiva del determinismo, cuando todo indica que para los sistemas caóticos sigue siendo válido el determinismo, si bien se requiere una descripción probabilística de su comportamiento.

De manera similar a lo que ocurrió con la teoría de las catástrofes desarrollada por René Thom -que fue un primer intento de estudiar matemáticamente ciertos fenómenos complejos- hay quienes esperan que el estudio del caos permita desentrañar los misterios de las grandes transformaciones sociales o de la relación entre las redes neuronales y la psicología, y también ha desencadenado formidables especulaciones sobre el significado del tiempo y del desorden en el Universo.

Por supuesto que es muy beneficiosa la extensión de los descubrimientos realizados en un campo del conocimiento a otras áreas, pero cuando se trata, por ejemplo, del comportamiento humano, individual o colectivo, que tiene una complejidad incomparablemente mayor que la de los

sistemas físicos, esa extensión debe hacerse con mucha prudencia, y en general sólo puede tener un carácter de analogía.

Así, puede resultar fructífero encarar la psicología de un grupo familiar aplicando ciertas pautas que tienen analogías con las de sistemas dinámicos físicos, pero difícilmente pueda trabajarse en este tema aplicando la matemática del caos, y buscando dimensiones fractales y atractores extraños.

Debería evitarse la utilización de un lenguaje que parezca atribuir un alcance mágico al "caos": en los textos científicos, este concepto tiene un sentido preciso, que nos remite a fenómenos complejos, particularmente difíciles de formular matemáticamente, pero que no manifiestan, en principio, relación alguna con el Caos primordial concebido por las antiguas mitologías.

Es importante dejar en claro que las leyes fundamentales de la física siguen rigiendo y que el hecho de que se utilicen, como veremos, las características estadísticas para predecir comportamientos no es un "drama epistemológico" como algunos han sugerido.

La fuerte carga emocional que tiene la palabra caos es en parte la causante de las confusiones antes mencionadas, y ha contribuido a ello el hecho de que aún no está definitivamente establecido el nombre de esta nueva disciplina.

Hace treinta años, cuando comenzó a desarrollarse, se hablaba de la "ciencia del caos", que pronto pasó a denominarse "caos de terminista", para diferenciado del caos producto del puro azar. Actualmente tiende a afianzarse la palabra "complejidad", que designa el estudio de los sistemas dinámicos que están en algún punto intermedio entre el orden en el que nada cambia, como puede ser el de las estructuras cristalinas, y el estado de total desorden o caos como puede ser el de un gas ideal en equilibrio termodinámico.

Los fenómenos de "caos de terminista" o de "complejidad" se refieren a muchos sistemas que existen en la naturaleza cuyo comportamiento va cambiando con el transcurrir del tiempo (sistemas dinámicos). Dichos fenómenos aparecen cuando los sistemas se hacen extremadamente sensibles a sus condiciones iniciales de posición, velocidad, etcétera, de modo que alteraciones muy pequeñas en sus causas son capaces de provocar grandes diferencias en los efectos. Como consecuencia de ello no es posible predecir con exactitud cómo se comportarán dichos sistemas más allá de cierto tiempo, por lo que parecen no seguir ninguna ley, cual si estuviesen regidos por el azar.

Pero los investigadores han encontrado que los sistemas dinámicos en estas condiciones presentan pautas de regularidad colectiva aunque no

sea posible distinguir el comportamiento individual de cada uno de sus componentes.

Se ha comprobado que hay ciertas características comunes que permiten incluir en el estudio de procesos complejos no sólo los sistemas físicos y químicos inertes sino también organismos vivos, abordados todos mediante herramientas matemáticas comunes. La herramienta fundamental es, por supuesto, la computadora, sin la cual hubiera sido imposible desarrollar este nuevo enfoque de los sistemas dinámicos. De manera similar al impulso que dio a la ciencia la utilización del telescopio y el microscopio en los siglos XVII y XVIII, el uso de esta máquina facilita enormemente la comprobación de las teorías mediante la experimentación, gracias al inmenso incremento de la capacidad de cálculo y a la posibilidad de hacer simulaciones de los procesos reales y de crear modelos de sistemas complejos. No se podrían haber desarrollado conceptos como los de atractores extraños, fractales, o complejidad algorítmica sin su existencia.

De hecho, todo este vasto campo de fenómenos no lineales, con alta sensibilidad a las condiciones iniciales, no era desconocido por los grandes matemáticos y físicos del siglo pasado; pero en esa época la solución de los correspondientes sistemas de ecuaciones requería cálculos numéricos tan engorrosos que los hacían impracticables, por lo que se debió esperar a la segunda mitad de este siglo, con la aparición de las computadoras veloces, para poder encararlos.

Uno de los resultados más positivos debidos al surgimiento de este nuevo campo de investigación es que se han formado grupos interdisciplinarios - integrados, por ejemplo, por biólogos, físicos, matemáticos, o sociólogos, economistas y expertos en computación- para estudiar los problemas inherentes a sistemas dinámicos complejos. Éstos abarcan desde líquidos turbulentos hasta sistemas ecológicos o los modelos económicos de las sociedades.

Varios centros de alto nivel han surgido, en particular en Estados Unidos, Rusia y Francia; así se pueden mencionar el Santa Fe Institute en Nuevo México, y departamentos dedicados al tema en Los Alamos National Laboratory (Center for Non-Linear Studies), el Instituto de Tecnología de Georgia, la Universidad de California en Berkeley, y el Centro de Investigaciones en Saclay, Francia, además del grupo en la Universidad Libre de Bruselas, Bélgica.

Un papel preponderante en el estudio de estos fenómenos fue el cumplido por la escuela rusa de físicos y matemáticos, como Landau, Kolmogorov, Andronov, Lyapunov y otros, quienes desarrollaron las técnicas necesarias mucho antes de que el caos determinista pasara a ser un tema de moda.

Dicha escuela sigue haciendo grandes contribuciones a esta importante área.

En los últimos años el avance de esta actividad se manifiesta por la creciente cantidad de congresos sobre sus diversos aspectos. Las posibilidades de aplicación a las más diversas ciencias se pusieron de relieve en la Primera Conferencia de Caos Experimental, realizada en Estados Unidos en octubre de 1991, donde se demostró que hay casos en los que se puede aprovechar el caos en lugar de evitado, y obtener entonces sistemas de más flexibilidad que los que por ser ordenados tienen un comportamiento "bueno", o sea predecible.

Este libro tiene como propósito describir las características fundamentales de los sistemas complejos y de los métodos que se utilizan para estudiar su comportamiento.

Deseo, por último, expresar mi agradecimiento a Marcos Saraceno por sus valiosas sugerencias acerca del desarrollo de este tema y de la presentación del texto.