

Caos y Fractales: Conceptos Universales de la Ciencia de la Complejidad. Japan Prize 2003

por

Miguel A. F. Sanjuán

Se presenta una breve descripción del Japan Prize, que concede todos los años la Fundación de la Ciencia y Tecnología del Japón a científicos de cualquier área que destaquen por sus logros en la promoción de la ciencia y de la tecnología, así como la paz y la prosperidad de la humanidad. En la convocatoria correspondiente al año 2003 se ha establecido la categoría de ciencia y tecnología de la complejidad y el premio ha recaído en el Prof. Benoit B. Mandelbrot y el Prof. James A. Yorke por sus contribuciones a los conceptos universales de los fractales y el caos respectivamente. La concesión de este premio supone un espaldarazo a la comunidad de la ciencia no lineal, donde los conceptos del caos y los fractales juegan un papel clave.

1. EL JAPAN PRIZE

El **Japan Prize** viene siendo concedido por la Fundación Nacional de la Ciencia y la Tecnología de Japón, desde el año 1985. El premio se concede a científicos de cualquier parte del mundo, cuyos logros hayan supuesto un avance notable en las fronteras del conocimiento, así como en la promoción de la paz y la prosperidad para la humanidad.

Así como el Premio Nobel se concede por disciplinas científicas, la filosofía del Japan Prize es diferente, en el sentido de que los campos de estudio para el premio cubren todas las categorías de la ciencia y de la tecnología, designándose cada año dos campos diferentes.

Se trata de un premio científico de gran prestigio internacional cuyo rango es comparable al Premio Nobel o la Medalla Fields en matemáticas. La cuantía en metálico que se otorga a cada una de las categorías se eleva a 50 millones de yenes, lo que equivale a unos cuatrocientos mil euros.

Los galardonados son seleccionados en diciembre y la ceremonia de entrega de los premios se celebra en el Teatro Nacional de Tokio en presencia del Emperador y de la Emperatriz del Japón en abril del año siguiente. Invitados especiales a dicha ceremonia son el Primer Ministro del Gobierno japonés, el presidente de la cámara de representantes o cámara baja, así como el presidente

de la cámara de consejeros o cámara alta, el presidente del Tribunal Supremo y otras altas personalidades del mundo de la política, la economía, la diplomacia, donde se incluyen eminentes académicos e investigadores científicos.

La semana en la que se concede el Japan Prize se denomina la "Japan Prize Week". Durante esta semana, tienen lugar diversas reuniones científicas, donde los galardonados exponen sus lecciones conmemorativas y además participan en diversas actividades incluyendo una visita al Primer Ministro y a la Academia de Ciencias del Japón.

2. 2003 JAPAN PRIZE. CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA COMPLEJIDAD

Como se ha indicado más arriba, una característica esencial del Japan Prize es que cada año se eligen dos categorías diferentes para la concesión del premio. Una de las categorías del premio de este año lo constituye la **Ciencia y Tecnología de la Complejidad** y el premio ha recaído en los científicos Benoit Mandelbrot y James Yorke, por sus contribuciones fundamentales a la creación de conceptos universales en sistemas complejos: el caos y los fractales.

El mundo en que vivimos es tan complejo que supone un enorme reto comprender la naturaleza fundamental de sus complejidades. La ciencia moderna ha sido capaz por el momento de explicar el mundo rompiéndolo en sus elementos constituyentes y después analizando sus propiedades. Sin embargo existen multitud de fenómenos que emergen únicamente cuando los diferentes elementos se conectan entre sí formando sistemas complejos, apareciendo ciertas propiedades que los elementos no poseen por ellos mismos. La ciencia moderna ha tomado el reto de examinar estas propiedades yendo más allá de la aproximación reduccionista, dando lugar a lo que se viene a llamar de una manera vaga la ciencia y tecnología de la complejidad.

La naturaleza está llena de formas geométricas complejas tales como las líneas de la costa, los patrones de los ríos, las formas biológicas e incluso las curvas de los cambios de divisas. Existe una característica común en tales formas complejas, que es la propiedad de la autosemejanza. Ésta es la propiedad por la cuál cuando una parte de la forma se aumenta, el mismo tipo de estructura aparece de nuevo. El Prof. Mandelbrot descubrió que la autosemejanza es una propiedad universal que subyace en tales formas complejas y denominó la expresión **fractal**. Además, ha ilustrado sus propiedades de modo matemático y encontrado una nueva metodología para analizar los sistemas complejos.

Numerosos patrones complejos de comportamiento, que varían con el tiempo, se han encontrado en fenómenos dinámicos tales como el movimiento de los planetas, la turbulencia en el agua y en el aire, variaciones de la poblaciones

de especies en sistemas ecológicos y otros muchos ejemplos provenientes de las diferentes ciencias básicas y aplicadas. Estos patrones de comportamiento se describen mediante ecuaciones de evolución no lineales.

Por su parte el Prof. Yorke ha encontrado el mecanismo universal que subyace en tales fenómenos no lineales. Él lo denominó **caos**, y ha sido capaz de elucidar sus propiedades matemáticamente. Además, ha jugado un papel de liderazgo en el desarrollo ulterior de la investigación en el caos, incluyendo su control y sus aplicaciones.

El Prof. Mandelbrot y el Prof. Yorke han encontrado respectivamente que los fractales y el caos son las estructuras universales que existen en los sistemas complejos y han elucidado sus propiedades fundamentales. Nos han suministrado nuevos marcos conceptuales para la comprensión de los fenómenos complejos y han contribuido a establecer los fundamentos aportando asimismo contribuciones muy interesantes en el campo de las aplicaciones.

2. 1. BENOIT B. MANDELBROT

El Prof. Benoit B. Mandelbrot es Sterling Professor of Mathematical Sciences y trabaja en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Yale. Además es IBM Fellow Emeritus del TJ Watson Research Center, International Business Machines Corporation, y nació en Polonia el 20 de noviembre de 1924, si bien vivió desde muy joven en Francia hasta que emigró a los Estados Unidos.

Una educación poco convencional llevó a Mandelbrot a pensar siguiendo pautas peculiares, de tal modo que le llevó a tener una aproximación muy geométrica de las matemáticas y esta intuición geométrica comenzó a darle perspectivas nuevas en problemas matemáticos.

Un descubrimiento fundamental: reglas simples pueden generar estructuras y comportamientos infinitamente complejos. El conjunto de Mandelbrot, que se obtiene a partir de la repetición de reglas simples una y otra vez, se ha descrito como “el objeto más complejo de las matemáticas”.



Figura 1: Prof. Dr.
Benoit B. Mandelbrot

El paradigma de la geometría fractal se basa en el hecho de que los fractales son formas geométricas complejas que tienen una estructura idéntica en todas las escalas. Mandelbrot ha introducido en la ciencia el concepto de dimensión fractal, que juega también un papel importante en la Dinámica No Lineal.

Las exploraciones multidisciplinares de Mandelbrot comenzaron hace cincuenta años, cuando con su tesis doctoral en 1952 combinó la lingüística, la distribución de frecuencia de palabras, con las herramientas de la física estadística.

Además de trabajar como IBM Fellow en el Watson Research Center, Mandelbrot ha sido profesor de Matemáticas en la Universidad de Harvard, de Ingeniería en la Universidad de Yale, de Matemáticas en la École Polytechnique de París, de Economía en la Universidad de Harvard y de Fisiología en el Einstein College of Medicine de la Universidad Yeshiva. Precisamente una de las características de la vida intelectual de Mandelbrot es la decisión deliberada de explorar diferentes ramas de la ciencia. El hecho de que los fractales aparezcan repetidamente en tantas disciplinas, es sin duda la razón que le ha conducido a todas estas disciplinas.

Mandelbrot se ha convertido en uno de los matemáticos más versátiles de la historia, y además ha creado una nueva geometría de la naturaleza centrada en la física estadística que ha cambiado nuestra visión de la naturaleza. Es autor de numerosos libros sobre fractales y aplicaciones [1, 2]. Además desde el comienzo de los años sesenta Mandelbrot ha sido pionero en el estudio de los precios financieros y diversas aplicaciones de los fractales en finanzas [3].

2. 2 JAMES A. YORKE

El Prof. James A. Yorke es Distinguished University Professor of Mathematics and Physics, Institute for Physical Sciences and Technology, University of Maryland, y nació en Estados Unidos el 3 de agosto de 1941.

El Prof. Yorke está en el Institute for Physical Science and Technology de la Universidad de Maryland desde el año 1963. El IPST se estableció en 1950 con un enorme compromiso por la investigación interdisciplinar en las ciencias. Ha sido director del IPST durante un periodo

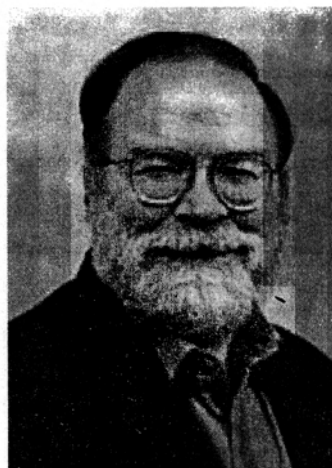


Figura 2: Prof. Dr. James A. Yorke

cercano a los veinte años y actualmente ostenta el título de Distinguished University Professor y es miembro de los Departamentos de Física y de Matemáticas. Sin duda, el clima interdisciplinar que se vive en dicho centro de investigación ha estimulado la curiosidad multidisciplinar del Prof. Yorke, así como sus múltiples intereses de investigación.

Las investigaciones actuales del Prof. Yorke van desde aspectos fundamentales de la teoría del caos a temas como la predicción atmosférica, la investigación sobre el genoma a problemas relacionados con dinámica de poblaciones y epidemia del SIDA.

Es muy conocido por haber introducido el término “caos” en la literatura científica moderna junto con T.Y. Li en un artículo publicado en 1975 titulado “Period Three Implies Chaos” [4]. El caos es un concepto matemático en Dinámica No Lineal para sistemas que varían de acuerdo con leyes deterministas muy precisas, pero se comportan con un aparente comportamiento errático, típico de los sistemas estocásticos. Conceptos clave sobre las estructuras fractales asociadas a sistemas dinámicos no lineales han sido elaborados gracias a él, además de las ideas seminales sobre el **control del caos** [5], que ha sido uno de los temas de investigación de mayor impacto en Dinámica No Lineal en la década de los noventa. El Grupo de Investigación de Dinámica No Lineal y Teoría del Caos que lidera es uno de los mejores del mundo. El objetivo de sus investigaciones sobre el caos es el de describir las propiedades fundamentales y robustas que son comunes en la dinámica de los sistemas físicos, biológicos y químicos. A veces, los fenómenos se pueden describir usando matemáticas rigurosas, y a veces sólo descripciones cualitativas usando intensivos métodos numéricos, siendo con frecuencia la investigación una mezcla de métodos rigurosos y numéricos.

El Prof. Yorke ha sido coautor de tres libros sobre caos [6, 7, 8, 9] y una monografía sobre la epidemiología de la gonorrea [10]. Ha supervisado unas 30 tesis doctorales en los departamentos de Matemáticas y Física, y es además autor de unas 300 publicaciones científicas.

3. COMENTARIOS FINALES

La concesión de este premio a estos dos eminentes científicos supone un espaldarazo a todo un campo de investigación, que también se designa por Dinámica No Lineal y donde el caos y los fractales juegan un papel fundamental, suponiendo todo un reto comprender los fenómenos complejos. Los dos fenómenos, caos y fractales, han sido establecidos como conceptos universales que subyacen a tales fenómenos no lineales, con independencia de los campos



específicos. Su aplicabilidad ha sido extendida incluso a la tecnología moderna, las artes, la economía y las ciencias sociales.

Se trata, por tanto, de una gran noticia para la comunidad de la ciencia no lineal, ya que es la primera vez que investigaciones en este campo de la ciencia merecen un premio de esta envergadura. Como una muestra de prestigiosos científicos que han recibido este premio, basta mencionar a Marvin Minsky, pionero de la Inteligencia Artificial, que lo recibió en el 1990, a Tim Berners-Lee, inventor de la WWW en el 2002, a Jaques-Louis Lions por sus notables contribuciones a la matemática aplicada en el 1991 y Luc Montagnier y Robert Gallo, por el descubrimiento del virus del SIDA en 1988.

REFERENCIAS

- [1] B. B. MANDELBROT, *Fractal Geometry in Nature*, W.H. Freeman & Co, New York, 1988.
- [2] B. B. MANDELBROT, *Multifractals and 1/F Noise: Wild Self-Affinity in Physics (1963-1976)*, Springer-Verlag, New York, 1999.
- [3] B. B. MANDELBROT (ED.), *Fractals and Scaling in Finance*, Springer-Verlag, New York, 1997.
- [4] T.Y. LI Y J.A. YORKE, Period Three Implies Chaos, *Amer. Math. Monthly* 82, 985 (1975).
- [5] E. OTT, C- GREBOGI Y J. A. YORKE, Controlling Chaos, *Phys. Rev. Lett.* 64, 1196-1199 (1990).
- [6] K. ALLIGOOD, T. SAUER, Y J.A. YORKE, *Chaos. An introduction to dynamical systems*, Springer-Verlag, New York, Third Printing, 2000.
- [7] H.E. NUSSE Y J.A. YORKE, *Dynamics: Numerical Explorations*, Springer-Verlag, New York, second edition, 1997.
- [8] E. OTT, T. SAUER Y J. A. YORKE (EDS.), *Coping with Chaos: Analysis of Chaotic Data and The Exploitation of Chaotic Systems*, Wiley-Interscience, New York, 1994

- [9] C. GREBOGI Y J. A. YORKE (EDS.), *The Impact of Chaos on Science and Society*, United Nations University Press, Tokyo 1997.
- [10] H. W. HETHCOTE Y J. A. YORKE, *Gonorrhea Transmission Dynamics and Control*, Springer-Verlag, Berlin, Lecture Notes in Biomathematics Vol. 56, 1984.

Miguel A. F. Sanjuán
Grupo de Dinámica No Lineal y Teoría del Caos
Departamento de Matemáticas y Física Aplicadas
y Ciencias de la Naturaleza
Universidad Rey Juan Carlos
c/ Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid
correo electrónico: msanjuan@escet.urjc.es