

La Complejidad en la Ciencia

Ciertos fenómenos en la naturaleza emergen únicamente cuando los elementos constituyentes están conectados formando sistemas más complejos, poseyendo además propiedades que los propios elementos carecen. Existen nuevas tendencias en la ciencia moderna que han tomado el reto de examinar estas propiedades con una aproximación más allá de la reduccionista. Esto es lo que se llama ciencia y tecnología de la complejidad.



AUTOR | Miguel A.F. Sanjuán (Catedrático de Física Aplicada, Grupo de Dinámica No Lineal y Teoría del Caos, Universidad Rey Juan Carlos)

Ciertamente una cosa es la complejidad *de* la ciencia y otra diferente es la complejidad *en* la ciencia. Además la complejidad *en* la ciencia nos lleva de modo natural a lo que se conoce como la ciencia de la complejidad. El 23 de enero de 2000 el célebre físico inglés Stephen Hawking, famoso por sus teorías sobre los agujeros negros, en una entrevista que concedió al periódico norteamericano San Jose Mercury News dijo: "Creo que el próximo siglo será el siglo de la complejidad".

Hace más de un veintena de años comencé a escuchar hablar de la complejidad. Se suponía que las cosas que estudiábamos entonces, a pesar de resultarnos difíciles, eran por si mismas sencillas. Y el reto parecía ser el estudio de los sistemas complejos, cuyo estudio además se escapaba del marco de la ciencia conocida. De modo que adentrarse en el mundo de los sistemas complejos era algo así como entrar más allá de la frontera donde comienza lo desconocido. Hoy en día se oye hablar de complejidad tanto en las ciencias naturales como en las ciencias sociales, y por ende en la ingeniería y en las tecnologías de la información. De tal modo que incluso se escucha hablar de la ciencia e ingeniería de la complejidad. En cualquier caso sigue siendo un problema definir lo que es complejidad, y encontrar una definición que sea del gusto de todos resulta arduo. Parece convertirse pues en un término que se escapa de las manos, como un pez recién sacado del agua al que no somos capaces de atrapar.

En las ciencias básicas se ha desarrollado un concepto de complejidad asociado a la física, aunque muy cercano en cuanto a la temática con problemas de ciencias de la vida, la economía y en general fenómenos que se describen con muchos grados de libertad o con muchas variables. Algunos de los ingredientes básicos de los que podríamos hablar son la dinámica no lineal y la teoría del caos determinista, la geometría fractal, la dinámica estocástica, las series temporales no lineales, las redes complejas y los fenómenos colectivos. Se asume que la ciencia de la complejidad tiene mucho que ver con las conexiones y las múltiples interacciones entre las diferentes disciplinas científicas de forma que su desarrollo podría permitir conocer espacios nuevos y aplicaciones nuevas en un futuro próximo.

El mundo en que vivimos es muy complejo y constituye un enorme reto comprender la naturaleza fundamental de sus complejidades. La ciencia moderna ha alcanzado hasta el momento cotas de éxito notables a la hora de explicar el mundo mediante la técnica del reduccionismo, es decir, en primer lugar descomponiéndolo en sus elementos constituyentes y a continuación analizando sus propiedades y finalmente reconstruyendo el sistema completo mediante la superposición de sus elementos. Esta metodología se basa en la creencia de la ciencia moderna de que la naturaleza se gobierna por reglas sencillas, de tal modo que el conocimiento y posterior comprensión de estas reglas constituirían precisamente la finalidad de la ciencia. Además este enfoque reduccionista lleva consigo una profunda relación con la teoría lineal, que asimismo constituye otro de los pilares en los que se apoya la ciencia e ingeniería de hoy día. Y esto ocurre así debido a que en la teoría lineal se cumple el principio de superposición, que viene a significar en pocas palabras que la suma de las soluciones de un problema es también una solución. Sin embargo existen fenómenos que emergen solo cuando los elementos están conectados formando sistemas más complejos y que poseen propiedades que los propios elementos carecen. Nuevas tendencias en la ciencia moderna han tomado el reto de examinar estas propiedades yendo más allá de la aproximación reduccionista. Esto es lo que se llama ciencia y tecnología de la complejidad.

La naturaleza está llena de formas geométricas complejas tales como las líneas de las costas, estructuras de los ríos, las formas biológicas e incluso las curvas complejas de los mercados financieros. Existe una característica común en tales formas complejas, que es la autosemejanza. Esta es la propiedad que consiste en que cuando una parte de esta forma se aumenta aparece el mismo tipo de estructura. Esta propiedad fue descubierta por Benoit Mandelbrot y es una propiedad universal que poseen muchas formas geométricas complejas y que denominó "fractal". Por otro lado, existen numerosos patrones dinámicos en la naturaleza tales como el movimiento de los planetas, la turbulencia en el agua y en el aire, variaciones de las poblaciones de las especies en sistemas ecológicos y otros muchos ejemplos. Estos patrones se describen mediante ecuaciones de evolución no lineales y James Yorke encontró el mecanismo universal que subyace a estos fenómenos no lineales. Lo llamó "caos", y a lo largo de décadas ha intentado descubrir y enunciar sus propiedades matemáticas. Ambos investigadores encontraron que los fractales y el caos son estructuras universales que se encuentran en los sistemas complejos. Recientemente el gobierno japonés decidió dedicar el prestigioso Japan Prize, el correspondiente al 2003, a premiar los desarrollos realizados en torno a la ciencia y tecnología de la complejidad y este prestigioso premio recayó sobre los científicos Benoit Mandelbrot y James Yorke.

La ciencia de la complejidad es una disciplina que suministra nuevas perspectivas y conocimientos en como los seres vivos se autoorganizan, evolucionan y se adaptan como resultado de procesos de cooperación e interacciones mutuas entre los elementos que los constituyen. Representa un reto y una revolución intelectual que está transformando nuestra comprensión de la vida biológica, sus estructuras y funciones. Entre sus líderes se encuentran prestigiosos biólogos, físicos, psicólogos sociales, economistas, matemáticos, y neurocientíficos. Existen numerosas iniciativas de agencias científicas en los Estados Unidos de América que están orientadas a desarrollar esta dirección de la ciencia, tales como los National Institutes of Health Roadmap (<http://nihroadmap.nih.gov/>) o los National Science Foundation Crosscutting Programs (<http://www.nsf.gov/home/crssprgm/start.htm>), y que pretenden enfatizar el carácter

interdisciplinario y ampliar horizontes de gran escala como paradigma de la vanguardia del futuro de la ciencia.

Además se vienen cristalizando numerosas iniciativas en torno al estudio y desarrollo de la complejidad, aunando esfuerzos en las investigaciones sobre problemas de la ciencia e ingeniería de la complejidad. Existe un servicio digital que se llama Complexity Digest (<http://www.comdig.org/>), donde se trata de diseminar la información sobre las diferentes investigaciones acerca de los sistemas complejos, la teoría del caos, la dinámica no lineal, la geometría fractal, la dinámica de redes complejas y la llamada vida artificial, entre otros. El desarrollo de estas investigaciones, hace que asimismo existan numerosas publicaciones periódicas que tratan sobre la complejidad en sí misma o sobre materias que de una u otra manera están relacionadas con la ciencia de la complejidad.

Actualmente nos enfrentamos a realidades más complejas y en las que existen una gran variedad de fenómenos complejos no lineales en sistemas tanto naturales como artificiales, y que se pueden reducir a reglas sencillas. Además, y fruto de la aparición y emergencia de nuevos conceptos no lineales como el caos y los fractales, está llegando a ser obvio que una aproximación lineal no resulta de utilidad en la descripción de algunos sistemas dinámicos complejos. Por otro lado varios elementos no lineales interaccionan fuertemente unos con otros generándose patrones, los cuales aparecen en la descripción de numerosos fenómenos del mundo real, de tal modo que el estudio de tales sistemas complejos tiene un significado substancial en ciencia e ingeniería. De hecho se tiene la creencia de que la comprensión de muchos de los sistemas complejos presentes en el mundo real puede dar lugar a crear ciencia nueva y conocimientos aplicados a la ingeniería del siglo XXI, superando algunas confrontaciones antiguas como la teoría determinista frente a la probabilística, la necesidad frente a la coincidencia, el todo frente a las partes, la universalidad y la diversidad o lo subjetivo frente a lo objetivo.

Se trata en último término en intentar armonizar la ciencia y la ingeniería con la finalidad de crear una nueva disciplina de la ciencia e ingeniería de la complejidad. Hasta el presente se han atacado problemas esenciales e importantes usando dos enfoques básicos. Por un lado podríamos hablar del enfoque experimental-observacional de los sistemas complejos del mundo real, entre los que cabría mencionar el cerebro, la tierra y los planetas, el genoma, los fluidos y los plasmas. Por otro lado podemos hablar del enfoque teórico-computacional, en los que se usaría una modelización no lineal, caos determinista, computación de altas prestaciones, control de sistemas, minería de datos y diversas técnicas de computación y visualización científica. Algunos ejemplos de estos estudios se refieren a problemas de modelización matemática de sistemas biológicos, modelización de redes de neuronas en el ámbito de las neurociencias, de redes genéticas y de proteínas en el ámbito de la genómica y la proteómica, teoría del aprendizaje, análisis de datos fisiológicos en sistemas genéticos y neuronales, comportamiento caótico de sistemas complejos, diseño de teoría para el análisis de los sistemas complejos. Entre los diferentes temas tratados se encuentran diferentes aspectos relacionados con las aplicaciones de las matemáticas en la computación científica y métodos de simulaciones numéricas, caos y complejidad en los sistemas físicos, biológicos, financieros y económicos. A través de la mutua interacción entre los dos métodos y los correspondientes análisis se trata de afrontar los retos de la ciencia e ingeniería de la complejidad desde un punto de vista interdisciplinar.