

## Complexity, A Guided Tour

*MITCHELL, Melanie*  
*Oxford University Press,*  
*Nueva York, 2009*

Este texto, cuyo título en español podría ser *Complejidad, Una visita guiada*, fue el único texto sobre el tema de complejidad que se pudo conseguir para este año en el sitio de Internet de Amazon, la popular librería electrónica estadounidense.

El libro tuvo sus orígenes en una serie de conferencias que la autora dictó en el Instituto Santa Fe, de Nuevo México, Estados Unidos, sobre el tema de complejidad, el cual aparece cada vez con mayor frecuencia tanto en libros y revistas especializadas, como en toda clase de publicaciones de divulgación. El libro es una versión ampliada de esas conferencias y se propone clarificar las ideas que están detrás de una serie de conceptos que se manejan en el medio científico —y también lego— como orden espontáneo, auto organización, emergencia y la propia complejidad, y que parecen estar borrando los límites entre diversas disciplinas, como la física, la biología, la computación y las ciencias sociales. “Un propósito central del libro es ofrecer una visión más clara acerca de sobre qué están hablando estas personas [los científicos] e indagar sobre la posibilidad de que estas nociones y métodos interdisciplinarios conduzcan a una ciencia útil y a ideas nuevas para abordar los problemas más difíciles que los humanos enfrentan...”<sup>1</sup>.

El libro está dividido en cinco partes: 1) Antecedentes e historia, 2) Vida y evolución en las computadoras, 3) Cómputo, 4) Pensamiento en redes y, 5) Conclusión.

1 Todas las citas del texto son traducción del autor de esta reseña.

El libro comienza por anotar que no existe ninguna definición universalmente aceptada de complejidad (que es una aseveración que suele aparecer en la literatura sobre el tema) y pasa a dar ejemplos de sistemas complejos que surgen de la interacción de numerosos elementos simples y que dan origen a comportamientos colectivos complejos.

Se desprenden de la lectura dos ideas clarificadoras sobre sendos conceptos clave: a la conducta de los sistemas complejos se le denomina *auto organizada* porque surge sin que exista un líder o controlador y se le denomina *emergente* porque surge a partir de reglas simples que producen comportamiento complejo.

Otro asunto recurrente en la literatura sobre complejidad y que también aborda la autora es el de cómo medir la complejidad, pero anota aquí un calificativo que, a juicio del autor de esta reseña, no está suficientemente justificado. Pregunta “Pero, ¿cómo puede haber una ciencia de la complejidad cuando no existe una definición cuantitativa de la complejidad que haya sido consensada?” Parecería evidente que para llegar a esa ciencia se requiere de esa definición pero, ¿necesariamente ha de ser cuantitativa? A juicio de quien esto escribe, faltaría mencionar a Edgar Morín, un estudioso francés que también ha desarrollado el tema de la complejidad pero que no hace esa exigencia de una definición cuantitativa, toda vez que se puede pensar (¿o se debe reconocer?) que no todo es cuantificable<sup>2</sup>.

Melanie Mitchell teje los antecedentes y la historia de los conceptos que subyacen a esta ciencia de la complejidad alrededor de los temas de sistemas dinámicos, caos y predicción, información, computación, evolución y genética. Y considera que se trata de una ciencia, o de los inicios de una ciencia de avanzada.

La teoría de los sistemas dinámicos ha dado lugar el estudio del caos y los fractales que son tópicos en sí mismos muy interesantes y ampliamente difundidos. Baste para apoyar esta afirmación cualquier búsqueda en Internet sobre estas dos áreas de estudio, sobre todo el de fractales, comenzando con el famoso conjunto de Mandelbrot, nombrado así en honor de Benoit Mandelbrot, creador de esa imagen y ampliamente

2 Véase de este autor Introducción al pensamiento complejo, Gedisa, Barcelona, 2007.

reconocido como principal difusor y estudioso de esta materia, al haber utilizado abundantemente la computadora para desarrollarla<sup>3</sup>.

La autora documenta los interesantes e importantes temas de la no linealidad y la aparición del caos a partir de sistemas tan sencillos como la ecuación logística, ejemplo clásico que sirve para ilustrar, aparte de la aparición de caos, la dependencia sensible a cambios en las condiciones iniciales y los atractores extraños y de otros tipos, que de suyo son otra cuestión también harto fértil.

En cuanto a la información, la señora Mitchell hace una exposición de cómo diversos científicos la utilizan como medida de la complejidad y del camino que siguió Claude Shannon para llegar a lo que ahora se denomina *teoría de la información* y de la forma en la que diversos conceptos que se relacionan y/o desprenden de esta teoría, como entropía y dinámica de la información, se relacionan con el área de la computación y resume, “la información se procesa a través de la computación”<sup>4</sup>.

En este asunto de la computación, Melanie Mitchell hace una descripción detallada y muy comprensible de la famosa máquina de Turing, la cual le sirvió en parte a John Von Neumann para diseñar la computadora en la cual se inspiran la gran mayoría de las computadoras actuales.

También en relación con el desarrollo de los temas en donde surge la complejidad, se incluye en el texto una descripción de las principales ideas sobre la evolución biológica incluyendo, por supuesto, a Charles Darwin y a Gregor Mendel, para repasar también la muy reciente Síntesis Moderna, la cual afirma, básicamente, que la evolución ha sido gradual. En seguida, el texto repasa la postura que afirma que la evolución se ha dado en forma “puntual”: largos períodos sin cambios morfológicos en los organismos, aunados a períodos breves de grandes cambios (puntuales) que han dado como resultado el surgimiento (emergencia) de

3 Véase de este autor **The Fractal Geometry of Nature**, W.H. Freeman and Company, New York, 1977.

4 Nótese aquí que el término “computación” en castellano no incluye el sentido de “cálculo” que sí está contenido en la palabra inglesa “computation”, y suele referirse casi en forma exclusiva a la parte de “computadoras” en el sentido de los aparatos. Por ello, al hablar aquí de computación, se incluye también el sentido de “calcular”.

nuevas especies. Y se nota aquí de nuevo la emergencia, un tema muy importante relacionado, como ya se anotó, con la complejidad.

Sobre el asunto de la medición de la complejidad, la autora hace un repaso breve, pero muy esclarecedor, de diversas maneras de interpretar la complejidad (perdonando el abigarramiento): como tamaño, como entropía, como contenido algorítmico de información, como profundidad lógica, como profundidad termodinámica, como capacidad computacional, como estadística, como dimensión fractal y como grado de jerarquía. De esta parte se desprende claramente que la medición de la complejidad depende de qué vertiente de ésta se analice y, volviendo a lo anotado antes, se vislumbra, hasta aquí, que medir la complejidad no va a producir una sola medida sino varias, dependiendo de cómo se aborde la tarea lo cual, a su vez, conduce a la conclusión de que algunas de las medidas de la complejidad pueden ser no cuantitativas, como lo plantea la autora, sino cualitativas. Y esto, además, se acerca mucho más a las ciencias sociales, en las cuales han tenido mucha menor aplicación los desarrollos relacionados con las ciencias de la complejidad.

En la parte II de su obra, Mitchell aborda las cuestiones de la vida y la evolución desde el punto de vista de las computadoras, partiendo de la pregunta de qué es la vida, para pasar a analizar programas de computación que se reproducen a sí mismos, característica que es propia de los seres vivos. Finaliza esta parte con los algoritmos genéticos que son una técnica computacional, considerablemente exitosa, que se basa en los principios de la evolución biológica que abordó antes.

La parte III del texto plantea una dificultad en el título: “Computation writ large”. Según el diccionario Webster’s New World Dictionary, “writ” es una expresión arcaica que significa “escrito” y, por otro lado, significa un “documento legal formal que ordena o prohíbe alguna acción”. Una búsqueda en Wikipedia arrojó los mismos resultados.

El autor de estas líneas acabó entendiendo el título de esta parte como algo parecido a “la computación a lo grande”, con base en lo anotado en el párrafo precedente y con base en los títulos de los capítulos aquí agrupados (los cuales, por otra parte, describen de buena manera sus propios contenidos): 10) Autómatas celulares, vida y el universo, 11) Computación con partículas, 12) Procesamiento de información en sistemas vivos, 13) Cómo hacer analogías (si usted es una computadora), y 14) Prospectos del modelado en computadora.

En esta parte III, el capítulo 13 contiene una descripción detallada de un programa que la autora del libro desarrolló como su proyecto doctoral, bajo la dirección de Douglas Hofstadter<sup>5</sup>, y que pareciera estar un tanto de más aunque, por otro lado, se comprendería su inclusión ya que encaja perfectamente en la temática que se aborda. Pero, insistiendo, si no estuviera, el libro no desmerecería.

La penúltima parte del libro aborda el tema de las redes, que es un área de larga tradición y de enorme importancia actual. No es sólo la ubicua presencia de la WWW, la **Red** de Alcance Mundial, sino la evidente existencia de toda clase de redes: redes de regulación genética y metabólica al interior de células vivas, redes de neuronas enlazadas mediante sinapsis, las ahora muy comunes redes sociales (como Facebook), redes de carreteras, etcétera. En el capítulo 16, dedicado a la aplicación de la ciencia de redes a redes del mundo real, se revisan el cerebro en tanto red de neuronas, redes de regulación genética, redes metabólicas, redes de entidades (nodos) que intervienen en la propagación de epidemias y redes alimentarias y ecológicas.

Las redes combinan “propiedades matemáticas prístinas, dinámica compleja y relevancia en el mundo real” y han conducido al “pensamiento en red”, el cual “significa concentrarse en las relaciones entre las entidades, más que en las entidades mismas”. Esta sección es un gran acierto del libro, que refleja un área de investigación muy relevante en el mundo científico en la actualidad.

Antes de pasar a las conclusiones, el libro aborda el tema del escalamiento (“*scaling*”) y lo relaciona con las escalas biológicas, los fractales y las leyes de potencia y dedica otro capítulo a revisar “complejizado” el tema de la evolución, con lo que se ha dado en llamar Evo-Devo, abreviatura de lo que en español podría denominarse “biología desarrollista evolutiva”, la cual pretende haber resuelto tres de los grandes mis-

5 Douglas Hofstadter es otro miembro del Santa Fe Institute y es autor, entre otras obras, del muy popular libro Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid (Basic Books, Nueva York, 1979), publicado en español como Gödel, Escher, Bach: Un eterno y grácil bucle, ganador de un premio Pulitzer en Estados Unidos en 1980 y con múltiples conexiones con temas de complejidad.

terios de la genética y la evolución: 1) si los humanos tenemos tan relativamente pocos genes, ¿qué nos hace tan complejos?, 2) si más del 90% de nuestros genes es igual al de los ratones y más del 95% al de los chimpancés, ¿porqué nuestros cuerpos son tan diferentes? y, 3) si la teoría del equilibrio puntual en la evolución es correcta, ¿cómo pudieron darse grandes cambios en la morfología del cuerpo en períodos breves de tiempo evolutivo?

Y, muy interesantemente, se abordan estas cuestiones relacionándolas con la regulación genética, las redes booleanas aleatorias y la vida al borde del caos, lo cual nos devuelve al, entre otras cosas, bello tema de los fractales.

El capítulo 19 es el único de la parte final de conclusiones y aborda “El pasado y el futuro de las ciencias de la complejidad”. Aquí, la autora sugiere moderar las ambiciones para, en vez de hablar de “principios generales”, hablar de “principios comunes”: “el conocimiento acerca de sistemas complejos específicos se sintetiza en principios comunes los cuales, a su vez, ofrecen nuevas ideas para comprender esos sistemas específicos. Los detalles específicos y los principios comunes se informan, restringen y enriquecen entre sí”. Luego, procede a listar varias de las propuestas de principios como éstos que se han analizado en el libro:

- Las propiedades universales de los sistemas caóticos.
- Los principios de la auto reproducción de John von Neumann.
- El principio del equilibrio entre exploración y explotación de John Holland.
- Las condiciones generales para la evolución de la cooperación de Robert Axelrod.
- El principio de la equivalencia computacional de Stephen Wolfram.
- La propuesta que hacen Albert-László Barabási y Réka Albert de que el enlazamiento preferencial es un mecanismo general para el desarrollo de redes en el mundo real.
- La propuesta de West, Brown y Enquist de que las redes de circulación fractal explican las relaciones de escalamiento.
- Los principios del procesamiento adaptativo de la información en sistemas descentralizados.

Afirma Mitchell que lo que se requiere ahora es la habilidad para ver las profundas interrelaciones entre los campos de la información, la computación, la dinámica y la evolución y para comprender cómo se integran en un todo coherente que podría denominarse “la simplicidad en el otro lado de la complejidad”. La autora remata esperando el día en el que, todos juntos, “podamos hacer una visita a estos nuevos territorios de la complejidad”.

Se trata, sin lugar a dudas, de un libro que vale la pena leer. No sólo está bien escrito y bien informado sino que fue escrito por una autora que está directamente involucrada en los desarrollos de las ciencias de la complejidad (y en una, si no es que la principal, institución dedicada al tema) sino que aborda una temática que está cambiando maneras de pensar y a nuestro mundo mismo.

**Dr. Alfredo Díaz Mata**

Profesor/investigador

Facultad de Contaduría y Administración

Universidad Nacional Autónoma de México

adiaz@correo.fca.unam.mx