

## ORDEN O CAOS, ¿QUÉ ES LA VIDA?

Juan Falgueras Cano

*Profesor Titular del Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga.*

Tras **Kepler** y **Galileo**, la ciencia vivió un periodo dorado en el que parecía que el Universo estaba escrito por un dios con una matemática universal, en un lenguaje que los humanos podrían desvelar, y acababan de empezar a hacerlo; realmente tuvo que ser una experiencia enorgullecadora.

**Kepler** estableció mediante una admirable y paciente observación de años cómo, con una precisión impecable, los astros del sistema solar que se podían ver por entonces seguían tres leyes dinámicas relativamente sencillas gracias al modelo heliocéntrico de **Copérnico**. Dejó la astrología para ser el primer astrónomo de la historia

Galileo reunió estas leyes y otras observaciones propias para decir algo que resultó sacrílego en aquella época y que violaba la palabra de **Aristóteles**: es más sencillo y práctico pensar, como Copérnico, que la Tierra gira en torno al Sol que pensar que ocurre al revés, que el sol gira alrededor de la Tierra, sencillamente eso, nada más. Bueno, también estaba empeñado en que los cuerpos no caen más rápidos por pesar más, ¡pero parece que aquello tampoco lo habían dicho los clásicos!, ¡mala época para los librepensadores!

Sin embargo, esta época dorada de predicciones precisas y explicaciones «sencillas» se vio en un callejón sin salida a principios del siglo XX; primero fue la teoría de la relatividad y, después, la mecánica cuántica, que nos dejaron a nosotros y nuestra ingenua intuición humanas totalmente fuera de combate. A partir de entonces, ya nada era como antes. Las cosas de la naturaleza perdían su aspecto asequible, intuitivo, didáctico y explicable, y se convertían en entes matemáticos inimaginables, contradictorios.

¡Y por si esto fuese poco, llegó el caos! Hasta entonces, al menos la mecánica clásica seguía respetada en el universo de nuestra escala, pero resulta que la mayoría de los sistemas mecánicos que evolucionan de una manera predecible son tan sensibles a las condiciones iniciales (el punto de partida) que una mínima variación de esas condiciones los hace acabar en sitios muy distintos. Los sistemas caóticos, también llamados retroalimentados, van evolucionando en función de lo ya evolucionado, con lo cual, cualquier mínimo cambio se va amplificando sin límite, llevándonos a resultados **impredecibles**. Lo más escalofriante es que casi todo en la naturaleza sigue patrones caóticos.

Aunque las ecuaciones de **Newton**, o las de **Einstein**, puedan ser predictivas e implacablemente infalibles, aun con una enorme aportación de medios económicos y humanos, somos incapaces de predecir qué tiempo hará dentro de cuatro días. Hay tal dependencia del estado inicial que cualquier mínima variación de un dato afecta rápidamente a la evolución de todo el sistema.

Según **Funtowicz** y **Ravetz** (1992), la nueva comprensión de la naturaleza está basada en el caos y requiere de una nueva práctica: la «ciencia posnormal»: «cuando los factores son inciertos, hay valores en disputa, los riesgos son altos y las decisiones urgentes».

Según **Ian Stewart** en «¿Juega Dios a los dados? Las Matemáticas del Caos», el batir de las alas de una simple mariposa hoy produce un minúsculo cambio en el estado de la atmósfera. Durante un periodo de tiempo, la atmósfera, en efecto, divergiría de lo que hubiera hecho. Por tanto, en el tiempo de un mes, un tornado que hubiera devastado la costa de Indonesia no se llegaría a producir. O puede que si no fuese a producirse, sí lo hiciera.

Pero este problema de la impredecibilidad se presentó ya antes con **Poincaré**, a principios de siglo XX, cuando se enfrentó a una sencilla ecuación matemática aplicada a tres cuerpos celestes en movimiento que resultó impredecible, excepto en casos muy particulares. ¡Y sólo estaba tratando de predecir cómo se moverían tres cuerpos bajo la única interacción mutua de la gravedad!

Poincaré demostró, aunque nadie prestó atención a sus conclusiones entonces, que incluso el sistema solar era caótico y estaba a pocos decimales de su aniquilación. Hasta la década de los sesenta no se encontraron las condiciones exactas con el teorema de KAM, al demostrarse las dos condiciones que deben cumplir dos satélites alrededor de un tercer objeto para que sus órbitas sean estables. La primera condición es que sus periodos no fuesen múltiplos exactos el del uno del del otro (relativamente racionales, para ser precisos). Y es que si esto fuese así, las pequeñas perturbaciones de las órbita se verían amplificadas por resonancia por el otro en una retroalimentación positiva y lo harían inestable. La otra condición del teorema de KAM propone que, si el sistema es estable, las perturbación debe ser pequeña. Ambas condiciones se pueden resumir en: «En un sistema ligeramente perturbado sólo sobreviven aquellos componentes suficientemente irracionales».

Nuestro sistema solar, en particular, no cumple estas condiciones y tanto algunas lunas en torno a Saturno como el mismísimo Plutón, o bien han pasado en el primer caso por periodos caóticos, o bien en el caso de Plutón parece que ya ocupa una región caótica (en resonancia con Neptuno) que puede llevarlo a cambios impredecibles. Pero no hay que preocuparse (por ahora): en realidad, aunque el sistema solar sea caótico, no habrá problemas de catástrofes en los próximos cien millones de años; y aun cuando se produzcan estas alteraciones en realidad no se trata de que se vayan a producir catástrofes, sino el no saber qué ocurrirá: impredecibilidad.

El caos, la impredecibilidad debida a una anormal

sensibilidad a las condiciones iniciales y a los pequeños cambios, el hecho de que pequeños cambios infinitesimales en las condiciones iniciales lleven a distintos sucesos, se da en la naturaleza bajo circunstancias gobernadas por ecuaciones relativamente sencillas (como hemos visto con las de la gravedad) aunque, eso sí, siempre no lineales. Parece que el caos tuviese algo que ver con la incertidumbre cuántica, pero esto no es así; de hecho, en el mundo cuántico de las órbitas electrónicas, curiosamente, no existe caos debido al acoplamiento que existe entre ellas, pero sí se puede observar caos en las órbitas indecisas de los electrones alrededor del núcleo y las propias líneas de un fuerte campo magnético. Así pues, en el invisible mundo cuántico, el caos también se da, pero no por las conocidas cuestiones de la incertidumbre tipo **Heisenberg**, que no tienen, en principio, que ver con el caos.

Una de las primeras ecuaciones que manifestaron comportamientos caóticos explícitos fueron las de **Robert May** (los primeros estudios sobre el caos y su manifestación en meteorología se debieron a **Edward Lorenz** en 1960, cuando descubrió su dependencia sensible de las condiciones iniciales y, más tarde, los famosos atractores de Lorenz). La ecuación de May es sencilla (la parábola logística de May):

$$\begin{aligned} \text{Población\_del\_año\_siguiente} &= R \times \\ \text{población\_de\_este\_año} \times \\ (1 - \text{población\_de\_este\_año}) \end{aligned}$$

La población se mide entre 0 y 1 (cero indicaría nadie y uno la máxima posible) y R sería la tasa de crecimiento. Un valor de la tasa de crecimiento R por encima de tres daba curiosamente dos posibles poblaciones alternantes cada año (periodo dos). Algo más de tasa de crecimiento llevaría a nuevas divisiones y estados posibles, y, pasado

un cierto valor, se hace imposible predecir nada.

También las curvas denominadas fractales (como las de **Mandelbrot**) que aparecen con frecuencia en la naturaleza, son caóticas en su comportamiento.

### *¿Es la evolución de la vida predecible o caótica?*

Para el Nobel ruso **Ilya Prigogine**, los sistemas **reversibles** como los que gobiernan el movimiento (no caótico) de un péndulo simple, por ejemplo, no establecen ningún tipo de evolución temporal. Para Prigogine, son los procesos irreversibles los que dan lugar al concepto que nuestra conciencia tiene de **tiempo**. Son los sistemas alejados de la reversibilidad los que modifican la **entropía** y los que imprimen una irreversible e indeleble traza temporal a la materia. Para él, la vida es el tiempo que se inscribe en la materia, así como lo es el arte, que deja su legado representado o esculpido, como reflejo de experiencias y emociones

Así pues, el caos que es algo inherente a los procesos complejos provoca **irreversibilidad** y, por ende, creación de una historia.

En el visionario libro «¿Qué es la vida?», el premio Nobel **Schrödinger** se hacía la pregunta sobre qué fenómeno irreversible impedía que la vida se degradase de aquellos cristales poliméricos de ADN. Para Prigogine es el funcionamiento de éstos lo que crea la estructura, siendo así la forma en que la no linealidad, el caos y la autonomía del tiempo dan lugar a la multiplicidad de las estructuras, algo difícilmente posible en el mundo no viviente.

Por lo tanto, la vida es, al parecer, la excepción, no la regla; el comportamiento impredecible, lo antideterminista. Y son su historia y los pequeños cambios en las condiciones iniciales los que van definiendo su trayectoria, los que la hacen libre de leyes que no sean otras que las de sí misma, leyes que evolucionan a través de su propio cambio en el tiempo y de las cuales sólo podemos conocer su rastro.

---

## BREVE HISTORIA DE LA ECOLOGÍA (I): VICISITUDES Y PRETENSIONES DE UNA NUEVA CIENCIA

---

*José M<sup>a</sup> Blanco Martín*

*Profesor titular de Ecología. Departamento de Ecología y Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga*

---

### **Preámbulo**

Se inicia una serie de artículos que presentarán un breve repaso de la historia de la Ecología y de sus peculiaridades como ciencia, en forma de un comentario personal sobre un recorrido histórico no muy largo. Sin duda me dejaré muchos cabos sueltos, pero los que consigo atar dejarán al lector<sup>1</sup> una idea más o menos clara, espero que amena, de mi forma de entenderla. Y además, supongo, constituirá una buena pista para saber a qué se enfrenta el alumno de Ciencias Ambientales o Biología que aún no ha llegado a

toparse con ella.

### **Vicisitudes (una visión histórica)**

**Los precursores.** La dificultad para vislumbrar el inicio de la ecología como ciencia aparece frecuentemente en estos preámbulos, aunque tampoco sea mucho más fácil identificar el origen de otras ciencias consideradas más ancianas (como la física, madre de todas las ciencias). Algunos exploradores de la historia de la ecología apuntan en sus libros indicios del conocimiento ecológico ya en las tribus paleolíticas<sup>2</sup>, conocimiento necesario —según