

El caos que ordena el mundo

Bibiana Candia



- *Cometa 1P/Halley (1986). Foto: W. Liller / NASA (DP).*

A finales de diciembre de 1758 la expectación era máxima entre los miembros de la comunidad científica. El año llegaba a su fin y la predicción que Edmund Halley había augurado a comienzos de siglo parecía no cumplirse. ¿Se había equivocado el célebre astrónomo inglés en su pronóstico? Más de cincuenta años antes (en 1705) había vaticinado que algunos de los cometas observados y descritos decenas de veces a lo largo de la historia eran, en realidad, el mismo cuerpo celeste. Y que volvería a surcar el cielo, pasando muy cerca de la Tierra, ese año que estaba a punto de concluir. Noche tras noche, incansables, sus colegas lo buscaban sin éxito entre las estrellas. Pero en la oscuridad nocturna del día de Navidad volvió a aparecer por la constelación de Sagitario. Aunque Halley había fallecido dieciséis años antes, en ese momento logró la fama internacional que perdura en aquel cometa, al que pusieron su nombre para homenajearlo.

Para realizar su predicción, Edmund Halley recurrió a algunas de las leyes sobre el movimiento de los objetos y las fuerzas que lo originan. Leyes que poco antes había publicado su admirado Isaac Newton. Las leyes de Newton son conocidas porque sirven para describir, con pocas y sencillas ecuaciones, el movimiento de casi cualquier cosa: desde la caída de una manzana hasta el desplazamiento de los astros en el firmamento.

Gracias a esas leyes sabemos que el cometa Halley describe una órbita elíptica muy achatada alrededor del Sol. Sabemos que volverá a visitarnos en el 2061 con la misma certeza y precisión con la que conocemos a qué hora amanecerá mañana; o por dónde caerá, y qué trayectoria seguirá, un objeto que lanzamos con determinada fuerza y ángulo. Estos sistemas se han logrado describir y predecir con exactitud, algo que honra a los científicos.

Sin embargo, en muchas ocasiones —a decir verdad, casi siempre— la realidad es más compleja y en nuestro día a día la capacidad de predicción de la ciencia parece diluirse. Sabemos cómo cae del árbol la famosa

manzana de Newton; pero ¿podemos adivinar la trayectoria de una hoja que se desprende de ese mismo árbol empujada por una ligera brisa? En este caso, diminutas variaciones tienen importantes repercusiones en el resultado final y dificultan enormemente las predicciones. Lo mismo ocurre con pequeños sucesos sin aparente importancia: pueden cambiar por completo nuestra vida, e incluso el curso de la historia.



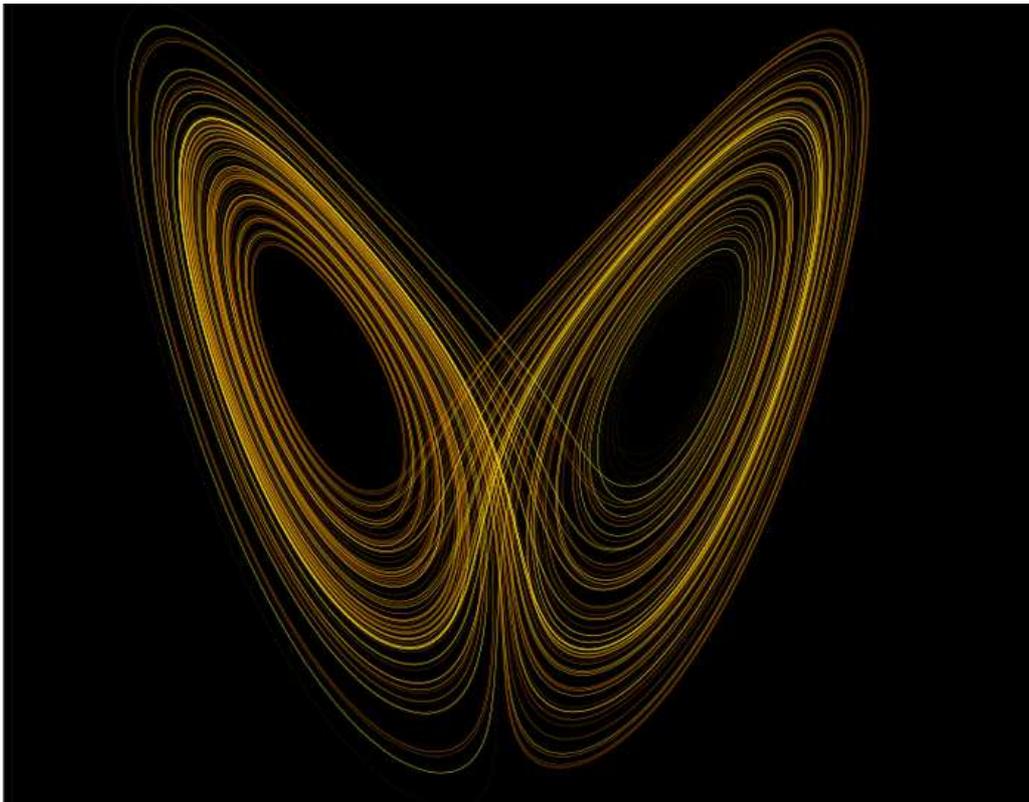
- *Manzano de Newton, plantado frente a la Casa de las Ciencias. Fotografía: Museos Científicos Coruñeses (CC).*

La Teoría del Caos relaciona el desorden de la vida cotidiana con las leyes básicas de la ciencia. Ofrece un método para observar cierto orden y pauta donde antes solo apreciábamos el azar, la irregularidad o lo impredecible.

El éxito de los pronósticos científicos, logrados al aplicar las leyes de Newton y otras teorías y modelos que describen regularidades, llevaron a pensar que se podría predecir cualquier fenómeno natural siempre que se tuviera la suficiente información, el tiempo y la capacidad de cálculo necesarios. Las predicciones serían el fruto de conseguir un sistema de ecuaciones que reflejara la influencia de todas las variables posibles. Solo restaba el trabajo de cálculo. La invención de los ordenadores de «gran capacidad», alrededor de 1950, fue de gran ayuda en ese camino, acelerando enormemente las operaciones matemáticas. Aun así la predicción del tiempo, entre otras, siguió resistiéndose.

El meteorólogo estadounidense Edward Lorenz fue el primero en expresar de forma matemática una de las principales características de los sistemas caóticos. Mientras estudiaba en 1963 los movimientos atmosféricos usando modelos informáticos, al repetir unos cálculos introdujo algunos números redondeados en el ordenador (en vez de llegar hasta seis decimales, lo dejó en tres) y el efecto fue sorprendente: los nuevos resultados obtenidos no tenían nada que ver con los cálculos que había hecho anteriormente. Aquello era algo inesperado. Hasta entonces, la experiencia decía que lo normal, cuando aplicamos una ecuación en ciencia, es que si varían un poco los datos de entrada los resultados de salida no deben variar mucho. Pero el modelo de Lorenz no mostraba ningún respeto por esa lógica; es más, la echaba por tierra.

Lorenz se había topado con el fenómeno hoy conocido como «efecto mariposa», que consiste en la sensibilidad a las condiciones iniciales: pequeñísimos cambios en las condiciones de partida pueden dar lugar a enormes repercusiones mucho tiempo después. *¿Puede ser que un tornado en Texas estuviera provocado por el aleteo de una mariposa en Brasil?* fue el provocador título de una de las conferencias del meteorólogo. Por casualidad, Lorenz había hallado una justificación matemática de la idea bastante familiar de que un cambio aparentemente insignificante en nuestras vidas puede modificar radicalmente el futuro. Es lo que recoge el dicho popular: «Por un clavo se perdió una herradura, por la herradura el caballo, por el caballo el jinete, por el jinete la batalla y por la batalla se perdió el reino».



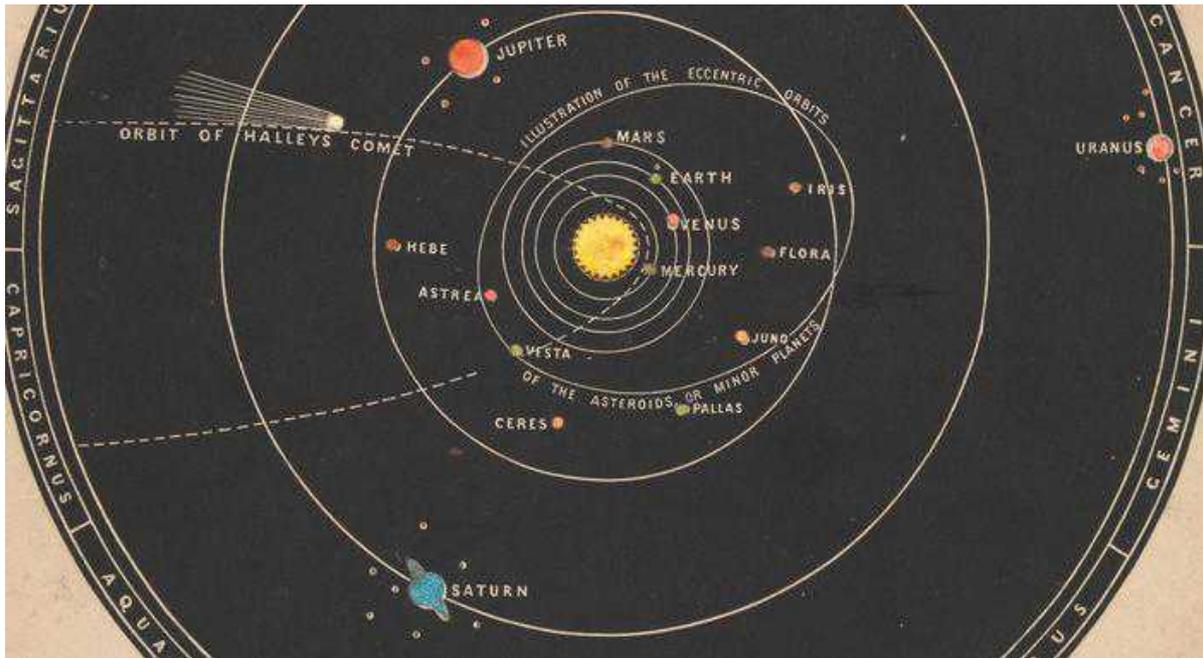
- *Diagrama de la trayectoria del sistema de Lorenz para los valores $r = 28$, $\sigma = 10$, $b = 8/3$. Imagen: Wikimol / Dschwen (CC).*

Quienes disfrutan con el cine de ciencia ficción conocen de sobra las peripecias de Marty McFly (encarnado por el actor Michael J. Fox) en la trilogía ochentera *Regreso al futuro* (*Back to the Future*). Producida por el todopoderoso Steven Spielberg, la saga narra cómo el extravagante científico Doc —Emmett Brown— fabrica una máquina capaz de viajar a través del tiempo, un DeLorean con las puertas de ala de gaviota y tuneado para surcar décadas. Además de mostrar latas de refrescos, *jeans*, monopatines electromagnéticos y muchas zapatillas de deporte, *Regreso al futuro* explica el efecto mariposa, ya que los protagonistas tienen que andarse con mucho ojo para no modificar nada que pueda cambiar el curso de la historia de manera irreversible. De nuevo, un pequeño cambio en las condiciones iniciales del sistema sería capaz de generar graves alteraciones en el resultado, este caso el futuro.



Las ecuaciones meteorológicas de Lorenz eran sensibles a pequeñas modificaciones de los datos iniciales, es decir, el fenómeno que estaba estudiando presentaba el efecto mariposa. Un cambio pequeño va multiplicando su efecto en días sucesivos; y una de las consecuencias de esto es que el tiempo no puede predecirse con una antelación mayor a pocos días. Pese a todo, la Teoría del Caos ha ayudado mucho a afinar los partes meteorológicos. Y que el pronóstico del tiempo, aun siendo un pronóstico, sea mucho más fiable que hace unos años.

El matemático Henri Poincaré ya se había encontrado a principios del siglo XX con este problema al intentar describir el movimiento de los planetas. Llegó a afirmar que al aplicar las leyes de Newton podía predecirse el desplazamiento de dos astros, pero no el de tres o más. No llegó a estudiar en profundidad las irregularidades que se producían por las interacciones del tercer cuerpo y siguientes, en parte porque la única manera de hacerlo era con tediosos y complicados cálculos matemáticos, y todavía no se habían inventado ordenadores capaces de resolverlos en un tiempo razonable.



- *Transparent Solar System* (detalle), de James Reynolds (1846-1860). Imagen: National Maritime Museum.

Aunque su teoría se ha puesto de moda recientemente, el caos ha estado ahí desde siempre y por eso aparece en refranes, relatos, películas, cuentos, obras de arte, composiciones musicales... No hace falta imaginarse complejos sistemas físicos para intuirlo: el caos es una parte más de la realidad. Multitud de sistemas simples pueden dar lugar a resultados caóticos, como una pelota que dejamos caer sobre la esquina del escalón más alto de una escalera: un ejemplo de fenómeno que depende de pequeñas variaciones en las condiciones iniciales. Una variación milimétrica del punto de partida hace que la pelota dé un número distinto de botes, en diferentes escalones, y que termine en un lugar completamente contrario del suelo.

Para que un sistema sea caótico no hace falta que intervengan muchas variables, pero sí es necesario que estén relacionadas entre sí, enlazadas de alguna manera. Que el resultado final no sea tan solo la suma de lo que le ocurre a cada variable por separado. Algo que sí sucede en los llamados sistemas lineales.

Para entender mejor esta idea podemos imaginarnos a un obrero que coloca azulejos en una pared. Si el operario pone 40 azulejos por hora, y trabaja 8 horas diarias, podemos calcular que coloca 320 azulejos en una jornada. Pero ¿qué ocurre si encargamos el trabajo a tres obreros y cada uno coloca 40 baldosas por hora? ¿Podemos saber cuántas colocarán entre los tres en 8 horas? ¿Es posible predecir cómo van a estorbarse unos a otros?

La Teoría del Caos se aplica a determinados sistemas no lineales, aquellos que padecen el efecto mariposa, es decir, que son sensibles a pequeñas modificaciones de las condiciones iniciales. Y lo que hace es proporcionar predicciones sobre cómo van a evolucionar esos sistemas. Se trata de predicciones limitadas, porque conocer todas las condiciones iniciales de un sistema es muy difícil, sobre todo cuando se trata de algo tan complejo como, de nuevo, el tiempo meteorológico.

De hecho, sobre algunos sistemas influyen tantas variables que por ahora nos resulta imposible hacer pronósticos aceptables. En esos casos se recurre a la estadística, que a partir de los distintos resultados observados encuentra cuáles son los más probables. Así sabemos que tenemos el 16,6% de posibilidades de sacar un 6 cuando lanzamos un dado o que el uso del cinturón de seguridad reduce a la mitad el riesgo de muerte en caso de accidente. Pero ya se sabe que hay tres tipos de mentiras: las buenas, las malas y las estadísticas. Tendremos que seguir profundizando en el caos para llegar a entender la belleza del mundo.

Artículo ha sido finalista del concurso DIPC de divulgación Ciencia JotDown 2018