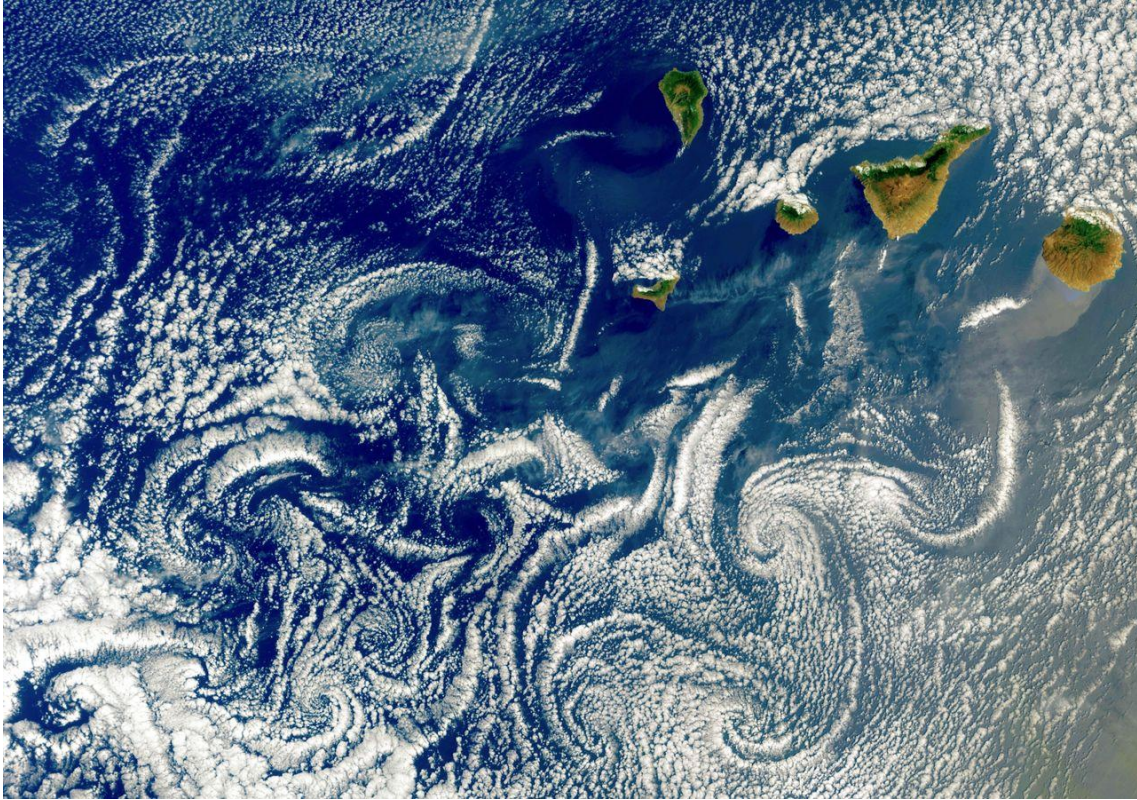


El descubrimiento del caos atmosférico

José Miguel Viñas

Artículo publicado originalmente en www.tiempo.com



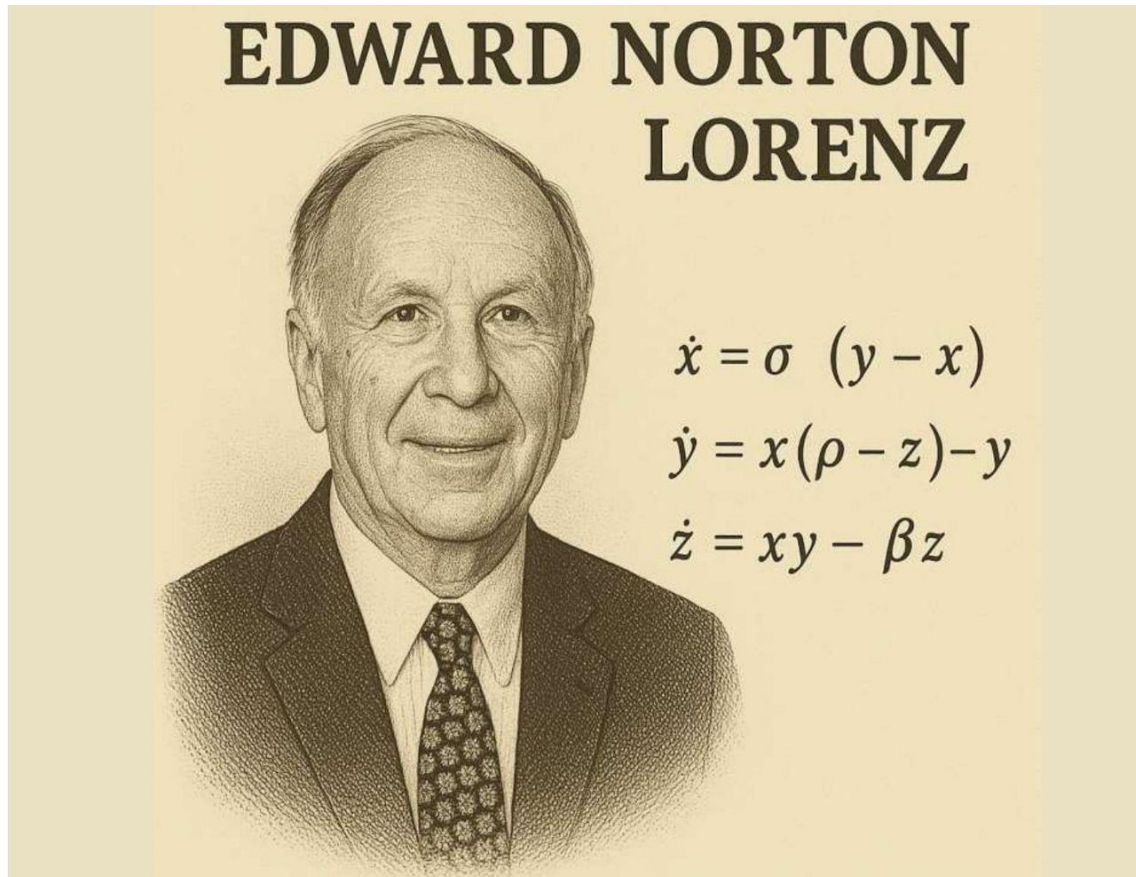
Vórtices de Von Kármán generados a sotavento de las islas Canarias. Imagen tomada por el satélite Sentinel-3 el 19 de abril de 2021. Crédito: © Copernicus

La incesante dinámica de las nubes en el cielo, de aspecto siempre cambiante, permite deducir que la atmósfera es un sistema caótico, lo que dificulta la predictibilidad de su evolución futura a medida que estiramos hacia el futuro el horizonte de predicción. Dicha circunstancia la demostró el matemático y meteorólogo estadounidense Edward N. Lorenz (1917-2008) de manera fortuita a principios de la década de 1960, en uno de los ejemplos más conocidos de serendipia de la historia de la ciencia.

El comportamiento de los sistemas no lineales, como el atmosférico o el climático, ya traía de cabeza a los científicos en el siglo XVII. Las ecuaciones diferenciales lineales se resolvían sin problema, pero con las no lineales no había forma. Uno de los retos matemáticos de la época era el problema de los 3 cuerpos, aplicado a 3 planetas del sistema solar, que se convertía en irresoluble. El problema fue abordado con éxito a finales del siglo XIX por el matemático y físico francés Henri Poincaré (1854-1912), que arrojó bastante luz sobre el comportamiento de los sistemas no lineales.

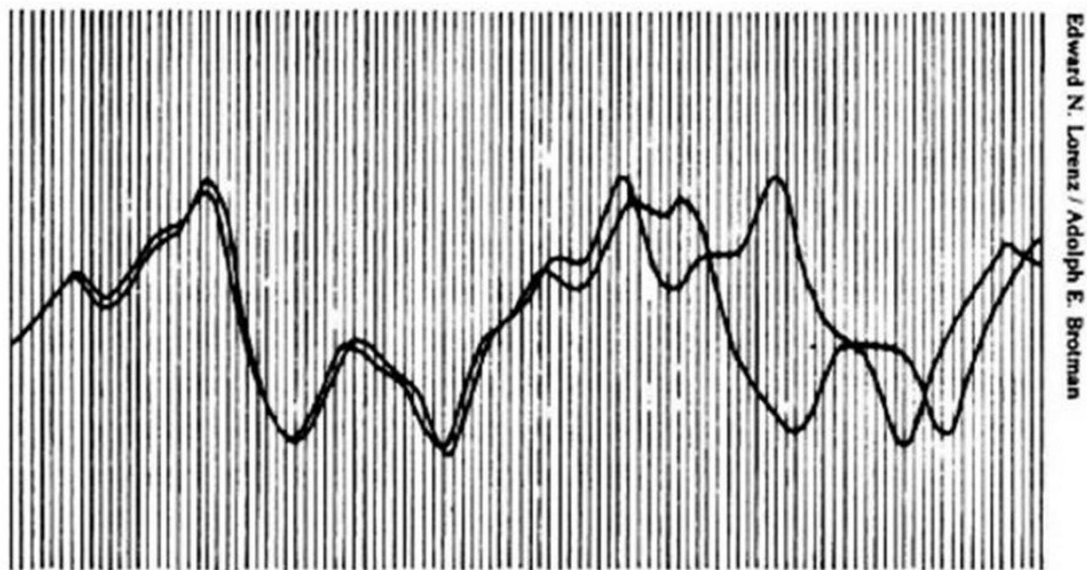
Un descubrimiento fortuito

Edward Lorenz fue profesor del prestigioso Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), donde trabajó la mayor parte de su vida. En sus inicios, llegó a ejercer como hombre del tiempo para la División Aérea de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, una faceta no muy conocida. Una vez que ingresó en el MIT comenzó a interesarse por el comportamiento del fluido atmosférico.



El matemático y meteorólogo Edward N. Lorenz (1917-2008) junto al sistema de ecuaciones no lineales del modelo meteorológico que desveló el comportamiento caótico de la atmósfera. Fuente: Wikipedia.

En 1961, Lorenz estaba en su laboratorio del MIT poniendo a punto un modelo hidrodinámico que había desarrollado. Se dedicaba a ejecutar simulaciones con una computadora de la época; una Royal McBee LGP 130. Un día, tras haber obtenido una, decidió repetir los cálculos con los mismos datos de partida que había utilizado en una ejecución anterior. Dejó a la computadora trabajando y se fue a tomar un café. Cuando volvió ya se había ejecutado la nueva simulación, pero al compararla con la que había hecho días antes, comprobó que no se parecía en nada.



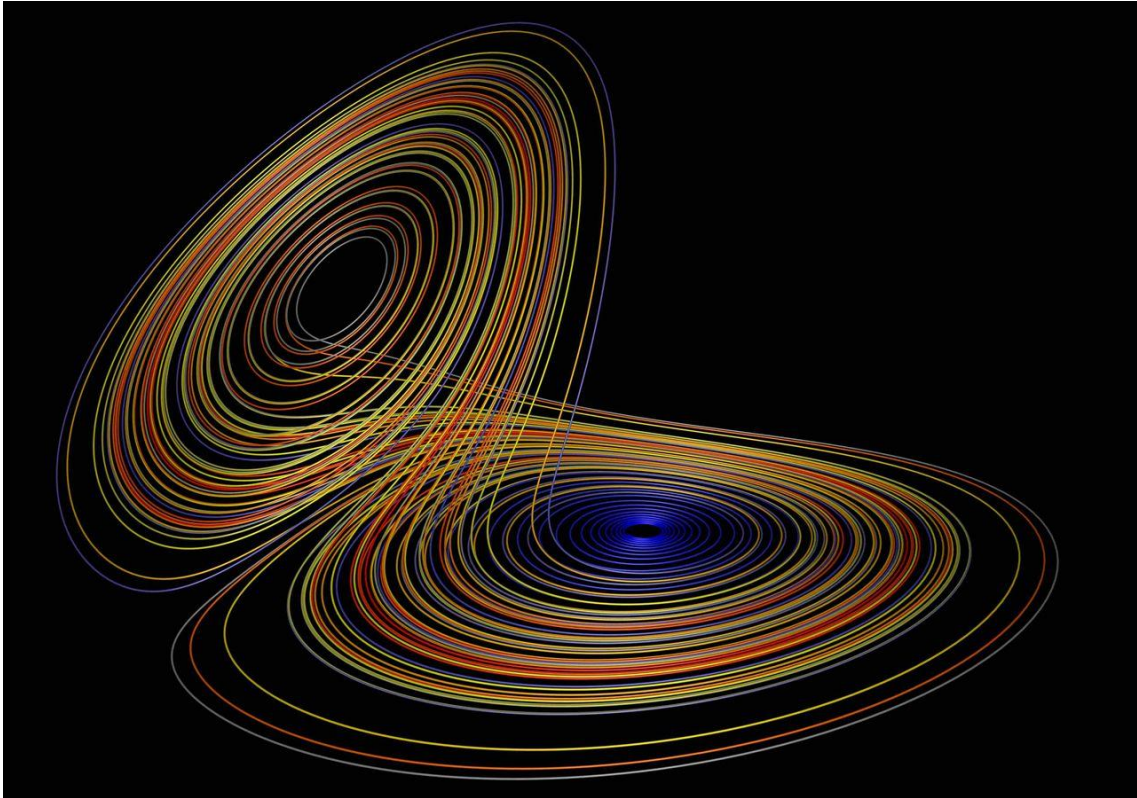
DISPERSIÓN DE SOLUCIONES DEL MODELO DE LORENZ

Figura incluida en uno de los artículos publicados por Edward N. Lorenz a principios de la década de 1960. Las dos gráficas comienzan a evolucionar desde un punto inicial muy similar, pero pasado un tiempo comienzan a diverger, como consecuencia del comportamiento caótico del sistema.

Sorprendido por este hecho, se puso a pensar qué es lo que había pasado y después de darle muchas vueltas, se dio cuenta de que había introducido unos datos de partida ligeramente distintos, en algunas de las últimas cifras decimales, que su computadora tuvo en cuenta a la hora de hacer los cálculos. Esto hizo que las soluciones evolucionaran de manera muy distinta en cada caso. En palabras del propio Lorenz: *“La dependencia sensible de las condiciones iniciales en sistemas dinámicos no lineales (como la atmósfera) es la responsable de la aparente aleatoriedad en los procesos observados”*.

El efecto mariposa

El concepto de caos no es fácil de entender, pues es algo que parece azar, pero no lo es. Si la evolución atmosférica fuera aleatoria sería imposible predecir el tiempo, pero tenemos la capacidad de anticipar estados futuros de la atmósfera, si bien el comportamiento caótico impone un límite a su predictibilidad. Todos los posibles estados futuros atmosféricos se distribuyen aleatoriamente en el seno de una estructura geométrica llamada el atractor de Lorenz, por lo que podemos afirmar que tenemos la capacidad de acotar la incertidumbre.



Representación gráfica del atractor de Lorenz. Crédito: Paul Bourke.

La no linealidad (el comportamiento más común en la naturaleza) hace que pequeñas fluctuaciones en una parte del sistema se conviertan en cambios desproporcionados a medida que pasa el tiempo, lo que se conoce como el efecto mariposa. Aunque se atribuye al meteorólogo estadounidense la referencia al lepidóptero para ilustrar cómo una pequeña perturbación en una zona de la atmósfera puede propagarse por toda ella y provocar un cambio de gran escala muy lejos de allí, en realidad Lorenz pensó inicialmente en una gaviota.

Una década después de llevar a cabo su hallazgo en el MIT, fue invitado a dar una conferencia en la 139ª Reunión de la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias, y su charla llevó por título: “Predictibilidad: ¿el aleteo de una mariposa en Brasil puede provocar un tornado en Texas?” Curiosamente, este sugerente título no se le ocurrió a Lorenz, sino que fue uno de los organizadores de la Reunión el que introdujo la mariposa como reclamo, aunque la idea conceptual podemos atribuírsela al meteorólogo.