

## **Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, 139a REUNIÓN**

Tema: La previsibilidad; ¿El batir de alas de una mariposa en Brasil desató un tornado en Texas?

Autor: Edward N. Lorenz, Sc.D. Profesor de Meteorología.

Dirección: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. 02139.

Fecha y hora: 29 de diciembre 1972, 10:00 am.

Lugar: Hotel Sheraton Park, Sala Wilmington.

Programa: Sección de Ciencias Ambientales AAAS. Nuevos enfoques del Clima Global: GARP (Programa de Investigación de la Atmósfera Global).

Parece frívolo ya solo plantear la pregunta del título, por no hablar de lo que esta pregunta parece sugerir respecto a que podría haber una respuesta afirmativa. Voy a tratar de ponerlo en la perspectiva adecuada, ofreciendo dos proposiciones.

1. Si un simple batir de alas de una mariposa puede ser instrumento en la generación de un tornado, entonces también todas los aleteos anteriores y posteriores de las alas, al igual que los agitates de las alas de millones de otras mariposas, por no mencionar las innumerables actividades de criaturas más poderosas, incluyendo nuestra propia especie.
2. Si el batir de alas de una mariposa puede ser instrumento en la generación de un tornado, entonces puede ser jugar igualmente un papel decisivo en la prevención de un tornado.

Más en general, estoy proponiendo que a lo largo de los años perturbaciones minúsculas ni aumentan ni disminuyen la frecuencia de aparición de varios fenómenos climatológicos adversos, tales como tornados; lo más que pueden hacer es modificar la secuencia en que ocurren estos eventos. La cuestión que realmente nos interesa es si esas perturbaciones pueden hacer incluso esto - si, por ejemplo, dos situaciones climáticas particulares que difieren en tan poco como para que la influencia inmediata de una sola mariposa pueda, después de un tiempo suficiente convertirse en dos situaciones que difieren en tanto como la presencia de un tornado. En un lenguaje más técnico, ¿es el comportamiento de la atmósfera inestable con respecto a las perturbaciones de pequeña amplitud?

La conexión entre esta pregunta y nuestra capacidad para predecir el tiempo es evidente. Dado que no sabemos exactamente cuántas mariposas hay ni dónde están ubicadas, y menos aún cuáles están batiendo sus alas en un instante determinado, no podemos, si la respuesta a nuestra pregunta es afirmativa, predecir la ocurrencia de tornados en un futuro distante. Más significativamente, nuestra incapacidad general para detectar sistemas incluso tan grandes como las tormentas cuando se desplazan entre las estaciones meteorológicas puede afectar nuestra capacidad de predecir el patrón del tiempo en general, incluso en el futuro cercano.

¿Cómo podemos determinar si la atmósfera es inestable? La atmósfera no es un experimento de laboratorio en ambiente controlado; si la perturbamos y luego observamos lo que ocurre, nunca sabremos qué habría ocurrido si no la hubiéramos perturbado. Cualquier afirmación que se pueda aprender de lo que habría pasado al referirse a la previsión del tiempo implica que la pregunta cuya respuesta se busca ya ha sido contestada en sentido negativo.

La mayor parte de nuestras conclusiones se basan en la simulación por computadora de la atmósfera. Las ecuaciones a resolver representan nuestros mejores intentos de aproximación a las ecuaciones que rigen en realidad la atmósfera, por medio de ecuaciones que son compatibles con las capacidades de las computadoras actuales. En general, se comparan dos soluciones numéricas. Una de ellas para simular el clima actual, mientras que la otra simula el clima que va evolucionado a partir de condiciones iniciales ligeramente diferentes, es decir, el tiempo que hubiera sido pronosticado con una técnica de previsión perfecta pero observaciones imperfectas. La diferencia entre las soluciones simula por lo tanto el error en el pronóstico. Nuevas simulaciones están siendo realizadas con computadoras más potentes y se dispone de un mejor conocimiento de la dinámica atmosférica.

A pesar de que no podemos afirmar haber demostrado que la atmósfera es inestable, la evidencia de que es así es abrumadora. Los resultados más significativos son los siguientes:

1. Pequeños errores en la estructura más grande del patrón de tiempo - las características que son fáciles de resolver por las redes convencionales de observación - tienden a duplicarse en unos tres días. Como los errores se hacen más grandes la tasa de crecimiento disminuye. Esta limitación por sí sola nos permitiría ampliar la gama de predicción aceptable de a tres días cada vez que reducimos el error de observación a la mitad, y ofrecería la esperanza de eventualmente hacer previsiones buenas con varias semanas de anticipación.
2. Pequeños errores en la estructura más fina - por ejemplo, las posiciones de las nubes individuales que tienden a crecer mucho más rápidamente, duplicándose en horas o menos. Esta limitación por sí sola no reduciría seriamente nuestras esperanzas para la previsión de rango extenso, ya que normalmente no hacemos previsiones de la estructura más fina.
3. Los errores en la estructura más fina, habiendo alcanzado un volumen considerable, tienden a inducir errores en la estructura más grande. Este resultado, que está menos firmemente asentado que los anteriores, implica que después de un día habrá errores apreciables en la estructura más grande, que posteriormente crecerán como si hubiesen estado presentes al principio. Reducir el error de observación en la estructura más fina a la mitad - lo cual es una tarea formidable - ampliaría el rango de la predicción aceptable de la estructura grande sólo por horas o menos. Las esperanzas para la predicción de dos semanas o más de antelación, están por lo tanto muy disminuidas.
4. Determinadas cantidades especiales, tales como la temperatura media semanal y la precipitación total semanal pueden ser predecibles en un rango en el que los patrones climáticos enteros no son predecibles.

Independientemente de lo que cualquier estudio teórico pueda implicar, la prueba concluyente de que los buenos pronósticos día-a-día puedan hacerse en un intervalo de dos semanas o más ofrecería una demostración válida de que cualquier régimen de previsión en particular generalmente da buenos resultados en ese rango. Por lo que sabemos, ninguna demostración de ese tipo ha sido ofrecida aún. Por supuesto, incluso puras conjeturas serán correctas en un cierto porcentaje.

Volviendo ahora a la pregunta planteada inicialmente, nos damos cuenta de algunos puntos adicionales que no se han considerado aún. En primer lugar, la influencia de una sola mariposa no es solo un detalle fino - está limitado a un pequeño volumen. Algunos de los métodos numéricos que parecen estar bien adaptados para el examen de la intensificación de los errores no son adecuados para el estudio de la dispersión de los errores desde regiones limitadas a regiones sin restricciones. Una de las hipótesis (no confirmada) es que la influencia de las alas de una mariposa se extenderá en el aire turbulento, pero no en el aire en calma.

Un segundo punto es que Brasil y Texas se encuentran en hemisferios opuestos. Las propiedades dinámicas de la atmósfera tropical difieren considerablemente de los de la atmósfera en latitudes templadas y polares. Es casi como si la atmósfera tropical fuera un fluido diferente. Parece totalmente posible que un error podría ser capaz de propagarse a miles de kilómetros dentro de las latitudes templadas de ambos hemisferios, aún siendo incapaces de cruzar el ecuador.

Por lo tanto, debemos dejar sin respuesta la pregunta inicial por algunos cuantos años más, mientras afirmamos aún nuestra fe en la inestabilidad de la atmósfera. Mientras tanto, los errores de hoy en el pronóstico del tiempo no se pueden echar toda la culpa, ni siquiera primariamente respecto a la estructura más fina de los patrones climáticos. Estos errores surgen principalmente de nuestra incapacidad para observar incluso la estructura más grande en su totalidad, nuestro conocimiento más o menos incompleto de los principios físicos que la rigen, y las aproximaciones inevitables que deben ser introducidas en la formulación de estos principios como procedimientos que el cerebro humano o las computadoras puedan llevar a cabo. Estas deficiencias no pueden ser totalmente eliminadas, pero pueden reducirse en gran medida por un sistema de observación ampliada y una investigación intensiva. El objetivo final no es hacer previsiones exactas, pero si las mejores previsiones que la atmósfera esté dispuesta a dejarnos hacer que está dedicado el Programa de Investigación de la Atmósfera Global.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido apoyado por la Sección de Ciencias de la Atmósfera, National Science Foundation, bajo la Concesión GA28203X.