

29 Decembrie 1972,  
Predictability; Does the Flap of a butterfly's wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?

Eduard H. Lorenz, Sc. D. Professor of Meteorology  
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge

Pentru a nu părea frivol chiar și prin faptul că am pus întrebarea din titlu, ca să nu mai vorbim de a sugera că ar putea avea un răspuns afirmativ, permiteți-mi să încerc să o plasez într-o perspectivă adecvată prin oferirea a două propuneri.

1. Dacă o singură aplecare a aripilor unui fluture poate avea un rol esențial în generarea unei tornade, la fel se poate întâmpla și cu toate bătăile anterioare și ulterioare ale aripilor sale, ca și cu bătăile aripilor a milioane de alți fluturi, ca să nu mai vorbim de activitățile a nenumărate creaturi mai puternice, inclusiv a speciei noastre.

2. Dacă bătaia aripilor unui fluture poate avea un rol determinant în generarea unei tornade, la fel de bine poate avea un rol determinant și în prevenirea unei tornade.

Mai general, propun ca, de-a lungul anilor, perturbările minuscule să nu crească sau să scadă frecvența de apariție a diferitelor evenimente meteorologice, cum ar fi tornadele; cel mult, ele pot modifica succesiunea în care se produc aceste evenimente. Întrebarea care ne interesează cu adevărat este dacă ele pot face chiar și acest lucru - dacă, de exemplu, două situații meteorologice particulare care diferă prin atât de puțin ca influența imediată a unui singur fluture vor evolua în general, după o perioadă suficientă de timp, în două situații care diferă prin atât de mult ca prezența unei tornade. Într-un limbaj mai tehnic, este instabil comportamentul atmosferei în ceea ce privește perturbațiile de amplitudine mică?

Legătura dintre această întrebare și capacitatea noastră de a prezice vremea este evidentă. Deoarece nu știm exact câți fluturi există, nici unde se află toți, și cu atât mai puțin care dintre ei dau din aripi la un moment dat, nu putem, dacă răspunsul la întrebarea noastră este afirmativ, să prezicem cu exactitate apariția tornadelor la un moment viitor suficient de îndepărtat. Mai semnificativ, eșecul nostru general de a detecta sisteme chiar și la fel de mari ca furtunile atunci când acestea

alunecă între stațiile meteorologice poate afecta capacitatea noastră de a prezice modelul general al vremii chiar și în viitorul apropiat.

Cum putem determina dacă atmosfera este instabilă? Atmosfera nu este un experiment de laborator controlat, dacă o perturbăm și apoi observăm ce se întâmplă, nu vom ști niciodată ce s-ar fi întâmplat dacă nu am fi perturbat-o. Orice afirmație conform căreia putem afla ce s-ar fi întâmplat dacă ne referim la prognoza meteo ar însemna că întrebarea al cărei răspuns îl căutăm a primit deja un răspuns negativ.

Cea mai mare parte a concluziilor noastre se bazează pe simularea computerizată a atmosferei. Ecuatiile care trebuie rezolvate reprezintă cele mai bune

încercări ale noastre de a aproxima ecuațiile care guvernează efectiv atmosfera cu ecuații compatibile cu capacitățile actuale ale calculatoarelor. În general, se compară două soluții numerice. Una dintre acestea este considerată a simula vremea reală, în timp ce cealaltă simulează vremea care ar fi evoluat în condiții inițiale ușor diferite, adică vremea care ar fi fost prezisă cu o tehnică de prognoză perfectă, dar cu observații imperfecte. Prin urmare, diferența dintre soluții simulează eroarea de prognoză. Noi simulări sunt efectuate în mod continuu, deoarece calculatoarele mai puternice și cunoștințe mai bune despre dinamica atmosferei.

Deși nu putem pretinde că am demonstrat că atmosfera este instabilă, dovezile că este așa sunt copleșitoare. Cele mai semnificative rezultate sunt următoarele.

1. Erori mici în structura mai grosieră a modelului meteorologic - acele caracteristici care sunt ușor de rezolvat de rețelele de observare convenționale - tind să se dubleze în aproximativ trei zile. Pe măsură ce erorile devin mai mari, rata de creștere scade. Numai această limitare ne-ar permite să extindem intervalul de predicție acceptabil cu trei zile de fiecare dată când reducem la jumătate eroarea de observare și ar oferi speranța de a face în cele din urmă prognoze bune cu câteva săptămâni înainte.

2. Erorile mici în structura mai fină - de exemplu, pozițiile norilor individuali - tind să crească mult mai rapid, dublându-se în câteva ore sau mai puțin. Numai această limitare nu ar reduce în mod serios speranțele noastre de prognoză pe termen lung, deoarece, în mod normal, nu prognozăm deloc structura mai fină.

3. Erorile din structura mai fină, după ce au atins o dimensiune apreciabilă, tind să inducă erori în structura mai grosieră. Acest rezultat, care este mai puțin ferm stabilit decât cele anterioare, implică faptul că după aproximativ o zi vor exista erori apreciabile în structura mai grosieră, care vor crește ulterior la fel ca și cum ar fi fost prezente inițial. Reducerea la jumătate a erorilor de observare în structura mai fină - o sarcină formidabilă - ar extinde intervalul de predicție acceptabilă chiar și a structurii mai grosiere doar cu câteva ore sau mai puțin. Speranțele de a face predicții cu două săptămâni sau mai mult în avans sunt astfel mult diminuate.

4. Anumite cantități speciale, cum ar fi temperaturile medii săptămânale și precipitațiile totale săptămânale, pot fi previzibile la un interval la care nu sunt previzibile modelele meteorologice întregi.

Indiferent de ceea ce ar putea implica orice studiu teoretic, o dovadă concludentă a faptului că se pot face prognoze zilnice bune la un interval de două săptămâni sau mai mult ar trebui să fie întărită de orice demonstrație validă a faptului că un anumit sistem de prognoză oferă în general rezultate bune la acest interval.

Din câte știm noi, nu a fost oferită niciodată o astfel de demonstrație. Desigur, chiar și presupunerile pure vor fi corecte într-un anumit procent din timp.

Revenind acum la întrebare - așa cum a fost pusă inițial, observăm câteva puncte suplimentare care nu au fost luate în considerare încă. În primul rând, influența unui singur fluture nu este doar un detaliu de constatare -- ea este limitată la un volum mic. Unele dintre metodele numerice care par a fi bine adaptate pentru

examinarea intensificării erorilor nu sunt potrivite pentru studierea dispersiei erorilor de la regiuni restrânse la regiuni nerestricționate. O ipoteză, neconfirmată, este aceea că influența aripilor unui fluture se răspândește în aerul turbulent, dar nu și în aerul calm.

Un al doilea aspect este că Brazilia și Texas se află în emisfere opuse.

Proprietățile dinamice ale atmosferei tropicale diferă considerabil de cele ale atmosferei din latitudinile temperate și polare. Este aproape ca și cum atmosfera tropicală ar fi un fluid diferit. Pare foarte posibil ca o eroare să se poată răspândi pe mai multe mii de kilometri în latitudinile temperate ale ambelor emisfere, dar să nu poată traversa ecuatorul.

Prin urmare, trebuie să lăsăm întrebarea noastră inițială fără răspuns pentru încă câțiva ani, chiar dacă ne păstrăm încrederea în instabilitatea atmosferei. Între timp, erorile de astăzi în materie de previziuni meteorologice nu pot fi puse în totalitate și nici măcar în principal pe seama structurii mai fine a modelelor meteorologice. Ele apar în principal din cauza eșecului nostru de a observa aproape în totalitate chiar și structura mai grosieră, din cauza cunoașterii noastre oarecum incomplete a principiilor fizice care guvernează și din cauza aproximațiilor inevitabile care trebuie introduse în formularea acestor principii sub forma unor proceduri pe care creierul uman sau computerul le poate realiza. Aceste neajunsuri nu pot fi eliminate în totalitate, dar pot fi reduse considerabil printr-un sistem de observare extins și prin cercetare intensivă. Programul de cercetare a atmosferei globale este dedicat scopului final de a face nu previziuni exacte, ci cele mai bune previziuni pe care atmosfera este dispusă să ni le permită.