

TRANSICIONES BRUSCAS Y SEÑALES DE CAMBIO TEMPRANOS

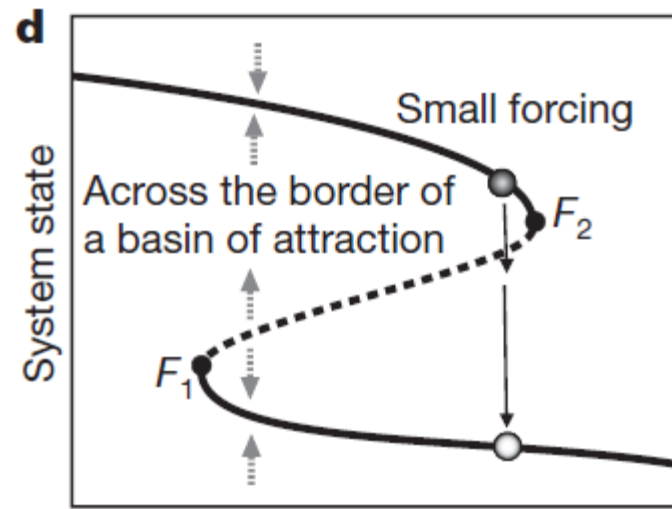
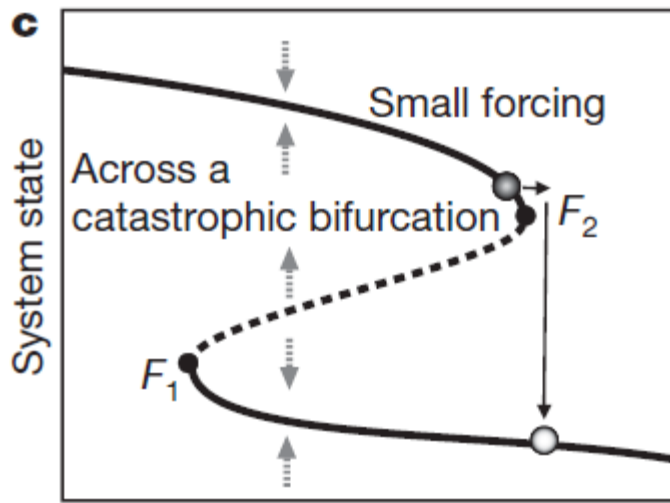
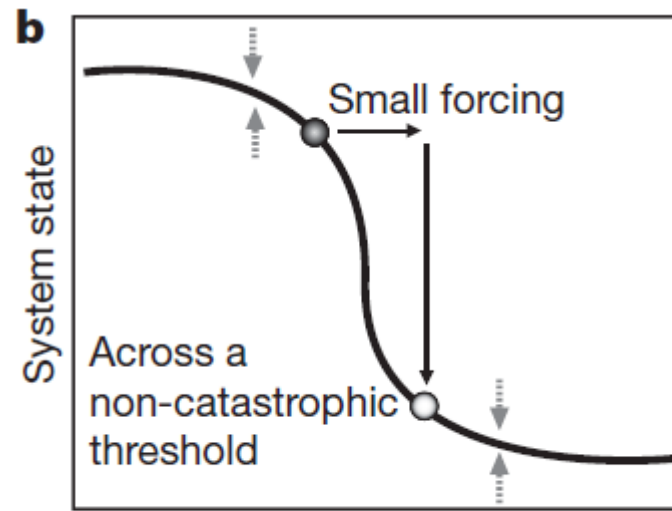
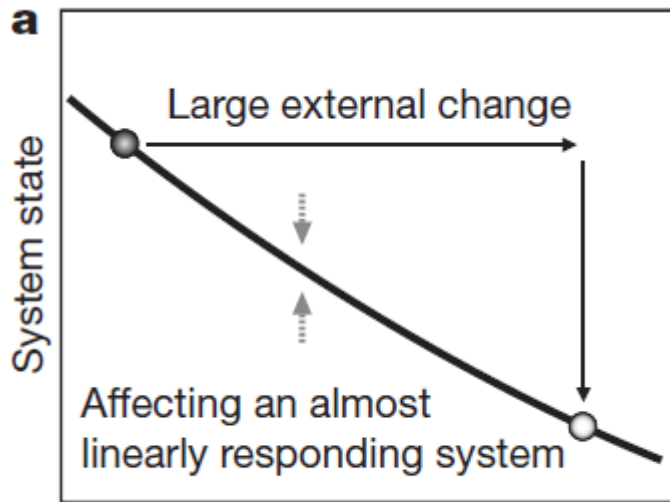


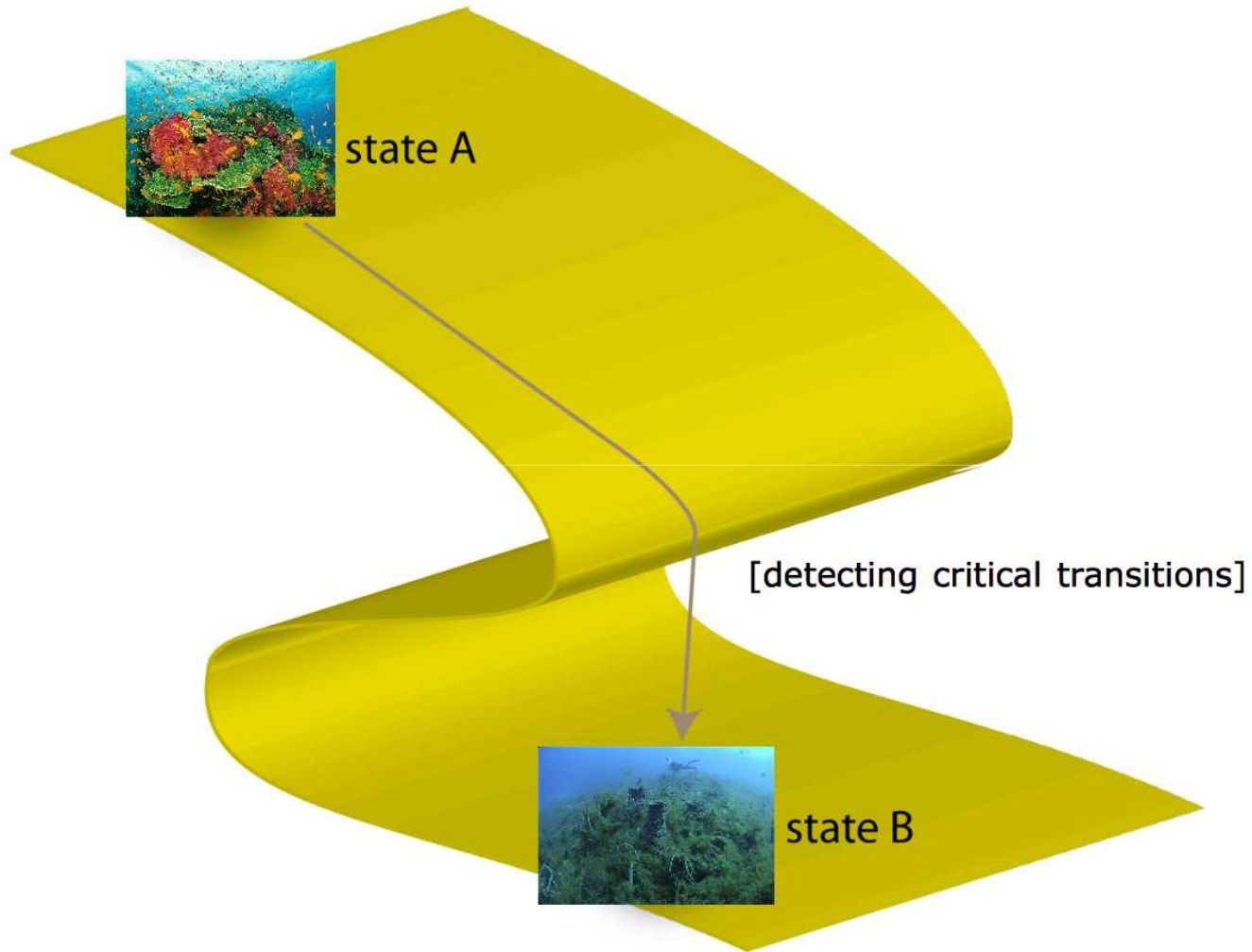
**AÑOS TEMÁTICOS, ESPACIO INTERDISCIPLINARIO
2013**

REVIEWS

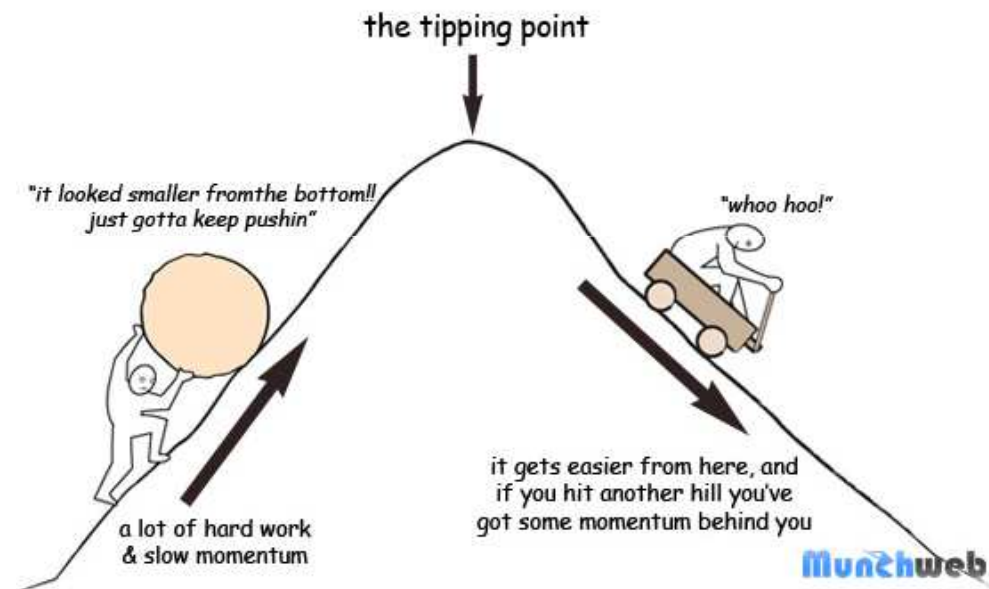
Early-warning signals for critical transitions

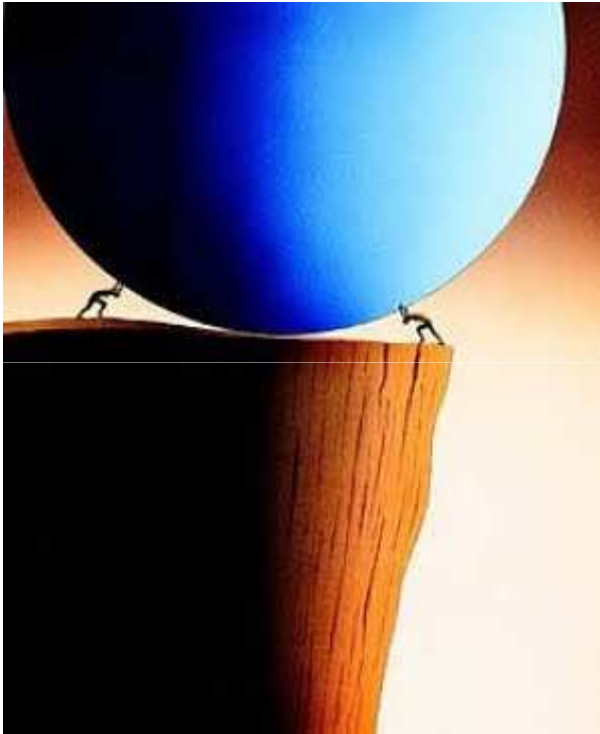
Marten Scheffer¹, Jordi Bascompte², William A. Brock³, Victor Brovkin⁵, Stephen R. Carpenter⁴, Vasilis Dakos¹, Hermann Held⁶, Egbert H. van Nes¹, Max Rietkerk⁷ & George Sugihara⁸



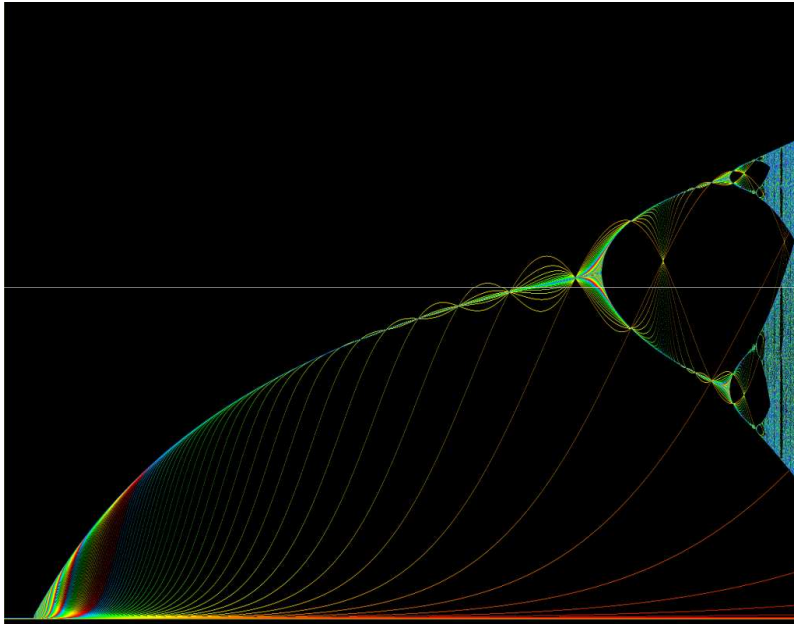


Existe una importante base científica que demuestra que diversos sistemas complejos presentan **umbrales críticos**, denominados **tipping points**, donde los sistemas cambian abruptamente de un estado a otro.



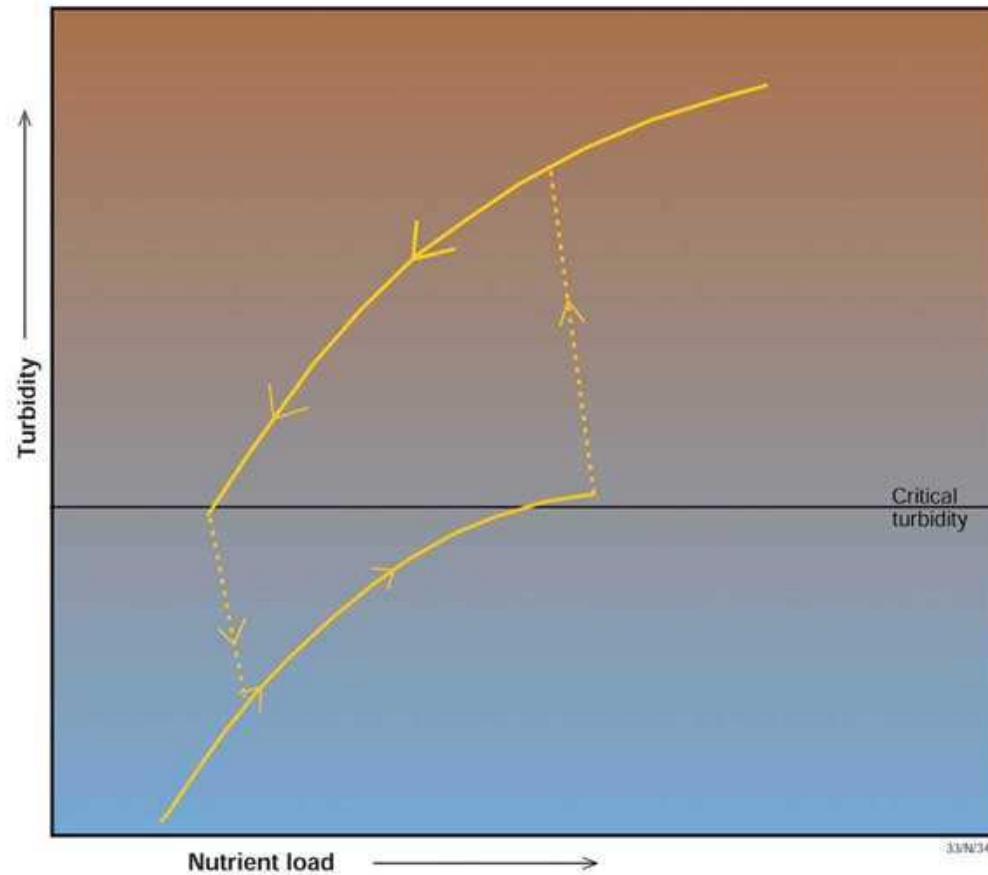


En medicina, los ataques de asma, crisis epilépticas, migraña, en el caso del sistema económico global y sus recientes crisis sistémicas, o en la biosfera los cambios abruptos de la circulación oceánica y su impacto en el clima, son todos excelentes ejemplos de tipping points.

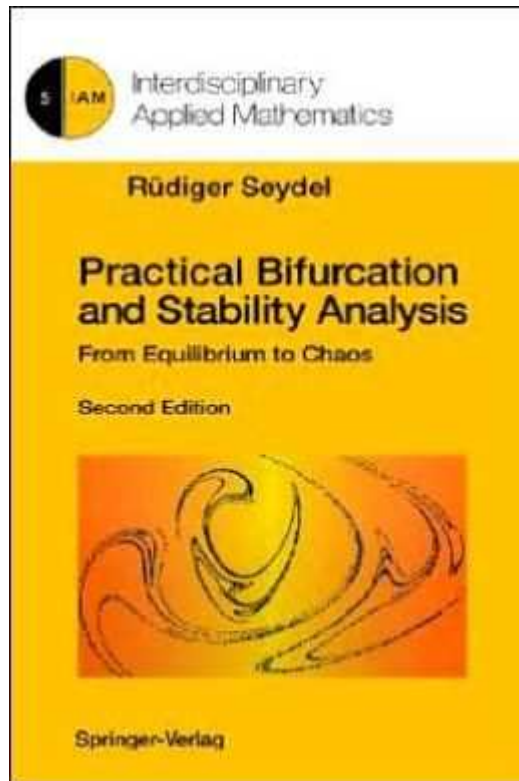


La dinámica de los sistemas complejos, cerca del punto crítico, tiene **propiedades genéricas** independiente del sistema considerado.

En la modelación, los umbrales críticos de dichas transiciones corresponden a **bifurcaciones.**

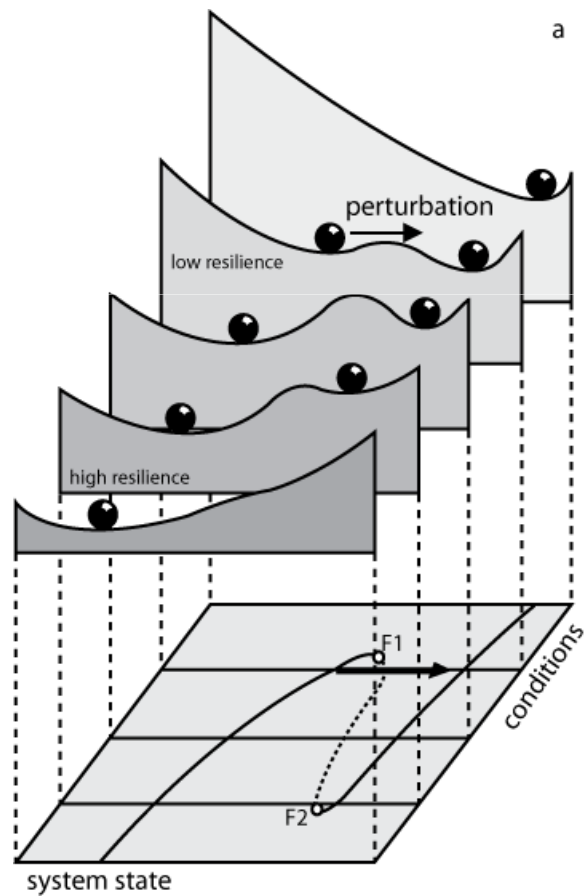


Son relevantes las bifurcaciones denominadas catastróficas, una vez que se sobrepasa el umbral, una serie de **retroalimentaciones positivas** conducen el sistema a un **cambio direccional** hacia un estado totalmente diferente.

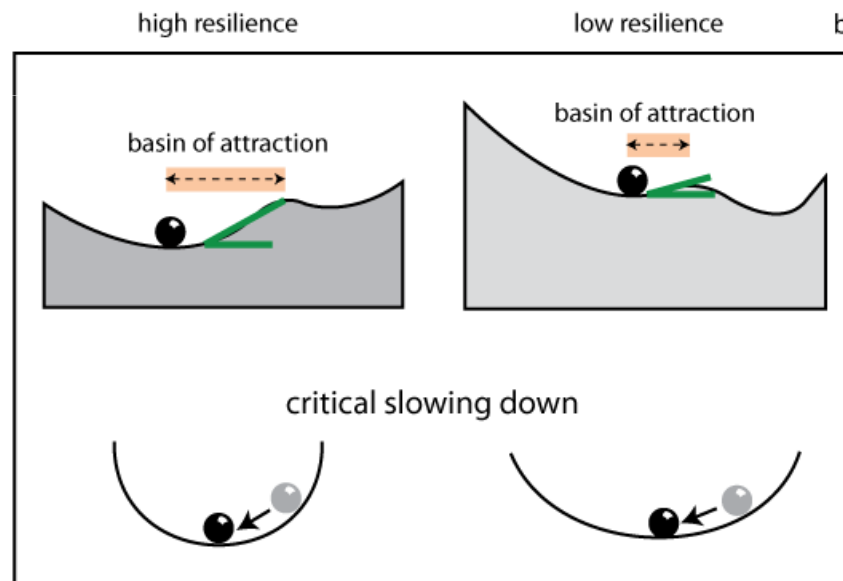


Otro tipo importante de bifurcación son aquellas que ocurren en transiciones desde un estado de equilibrio hacia otro estado de variación cíclica o caótica.

Todas las transiciones que ocurren cuando se transcurre por una bifurcación se denominan **transiciones críticas.**



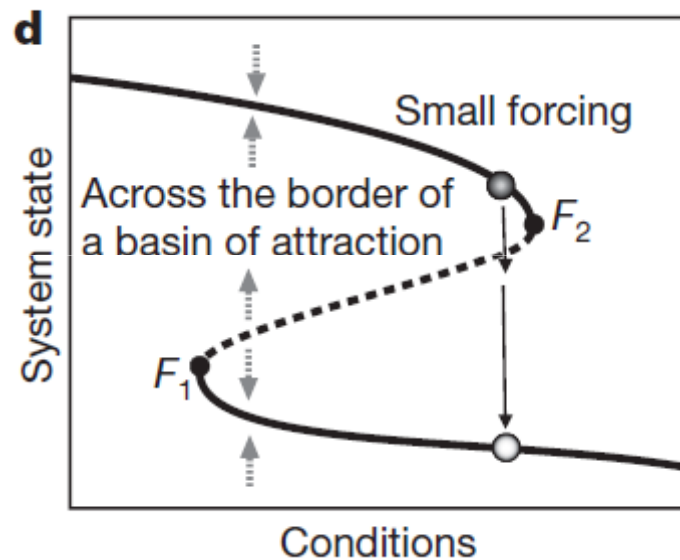
Los sistemas cerca de los umbrales críticos presentan una serie de características que en la dinámica de sistemas se denomina **critical slowing down**.



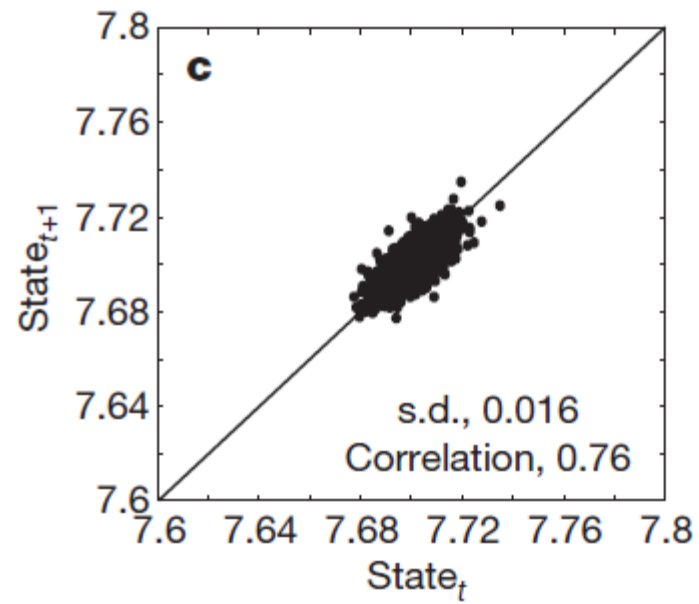
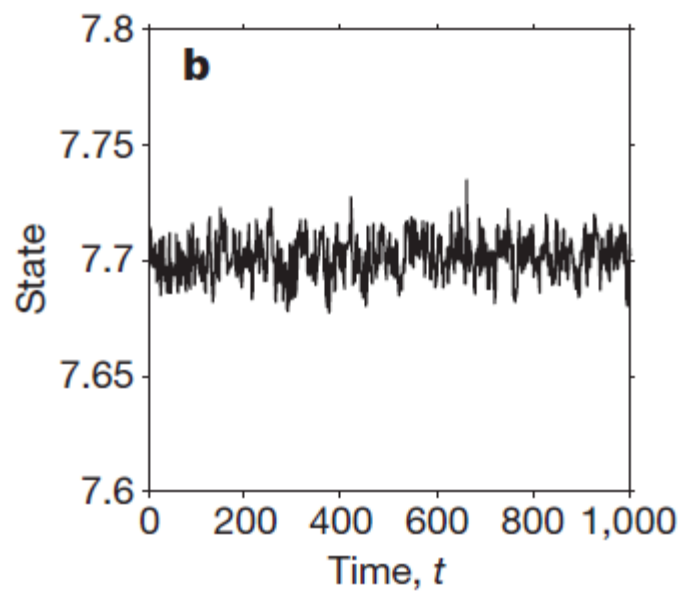
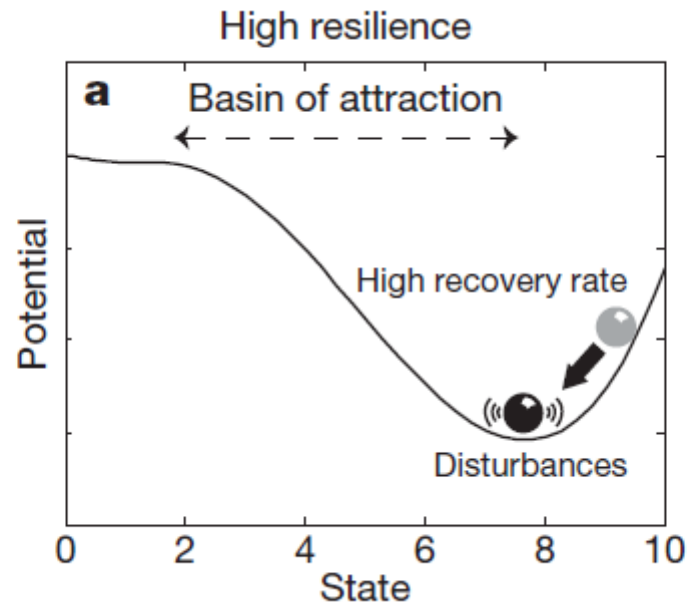
**Cómo traducimos critical
slowing down?**

**Una alternativa es la
crítica barranca abajo.**

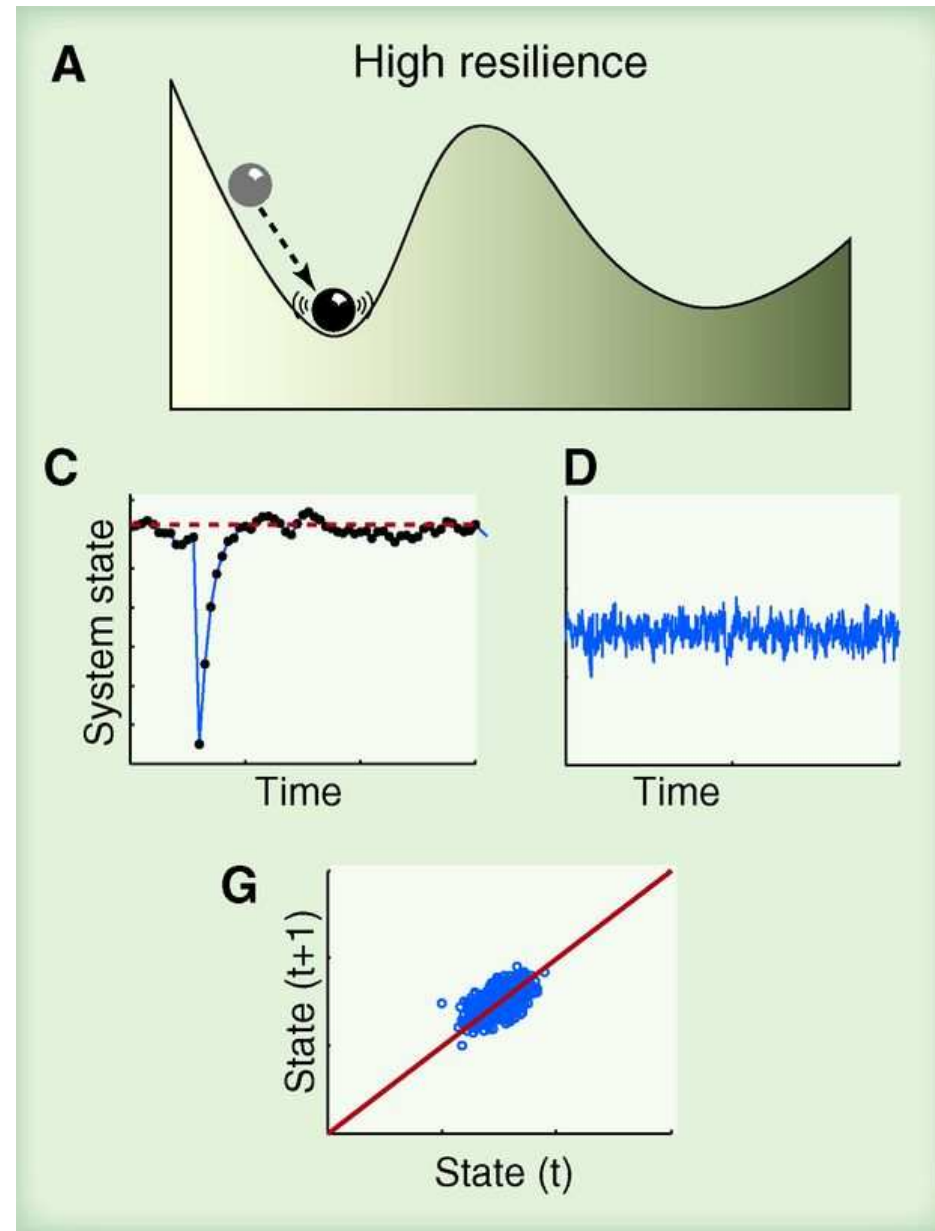




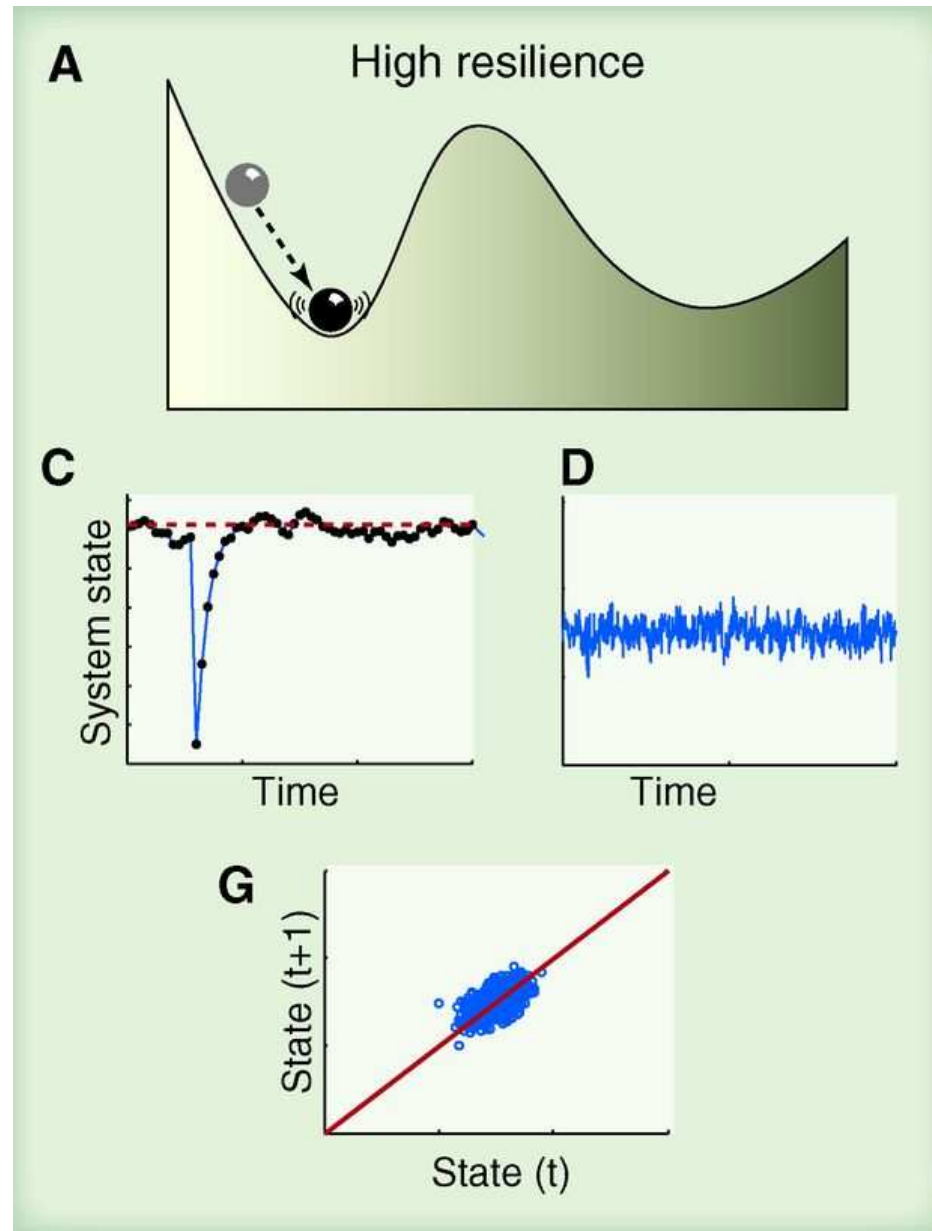
En los puntos de bifurcación (F_1 y F_2) la tasa de cambio se aproxima a 0, en términos prácticos significa que **el sistema a medida que se aproxima a estos puntos se recupera lentamente incluso frente a perturbaciones pequeñas.**



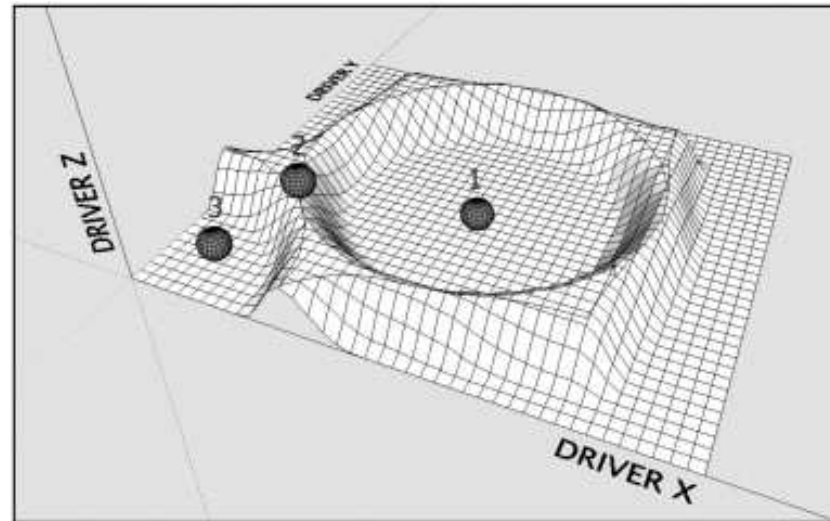
En la situación considerada, la resiliencia es considerable en función de dos aspectos: la **cuenca de atracción es profunda** y la **tasa de recuperación** frente a las perturbaciones es relativamente alta.



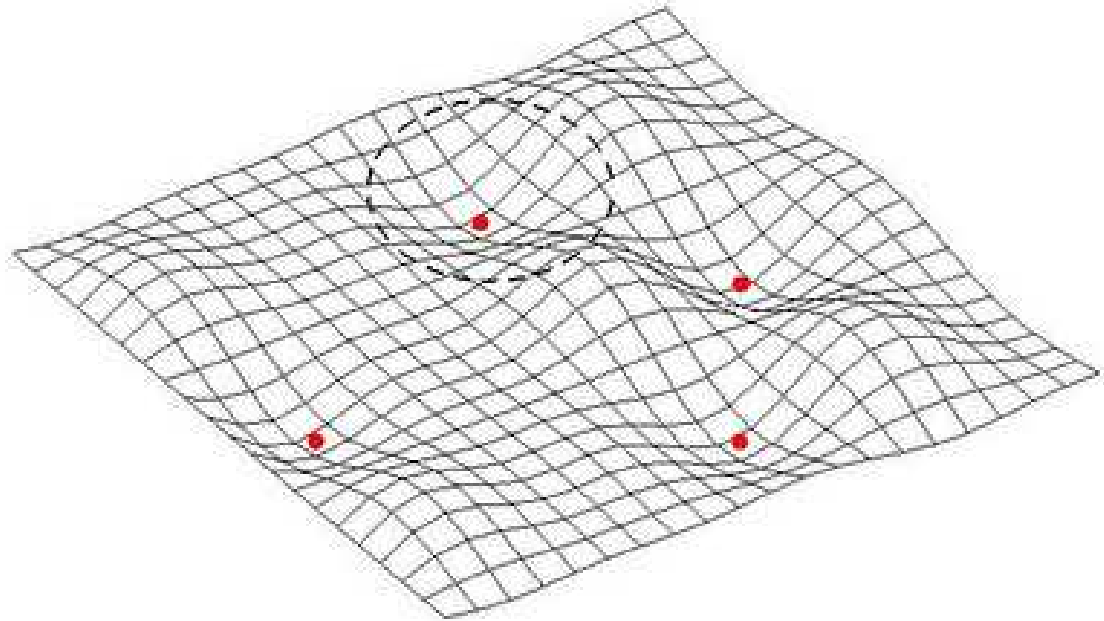
La dinámica se caracteriza por una baja correlación entre el estado del sistema en el tiempo t (previo al disturbio) y el $t+1$ (posterior al disturbio), debido a la rápida recuperación del sistema.

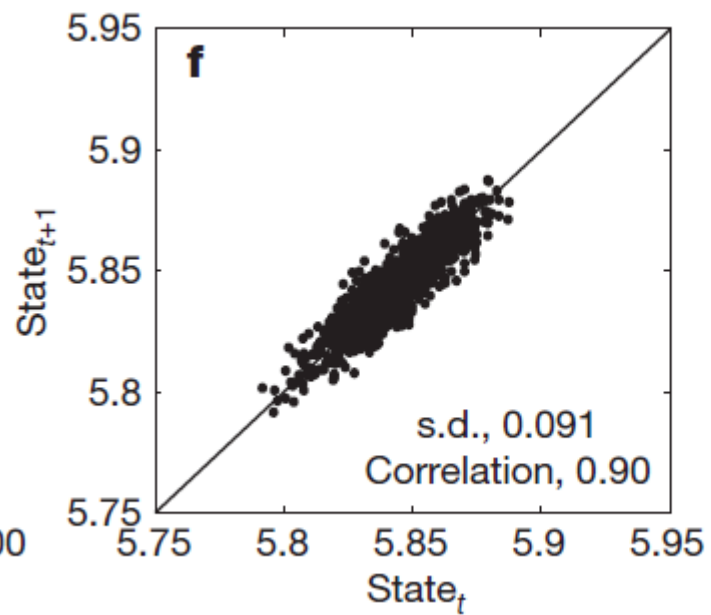
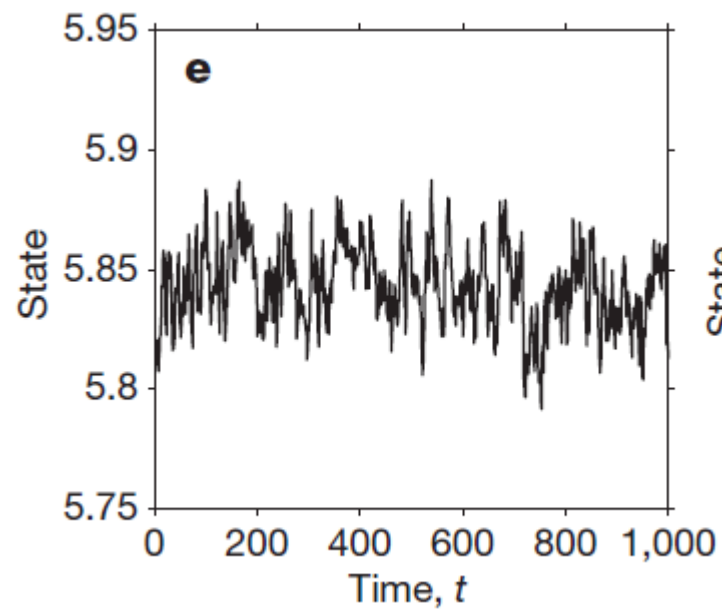
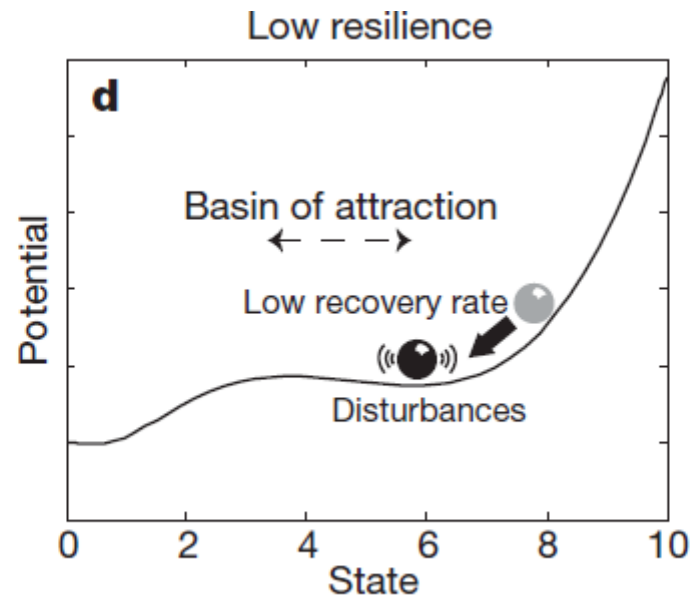


Qué entendemos por una cuenca de atracción?

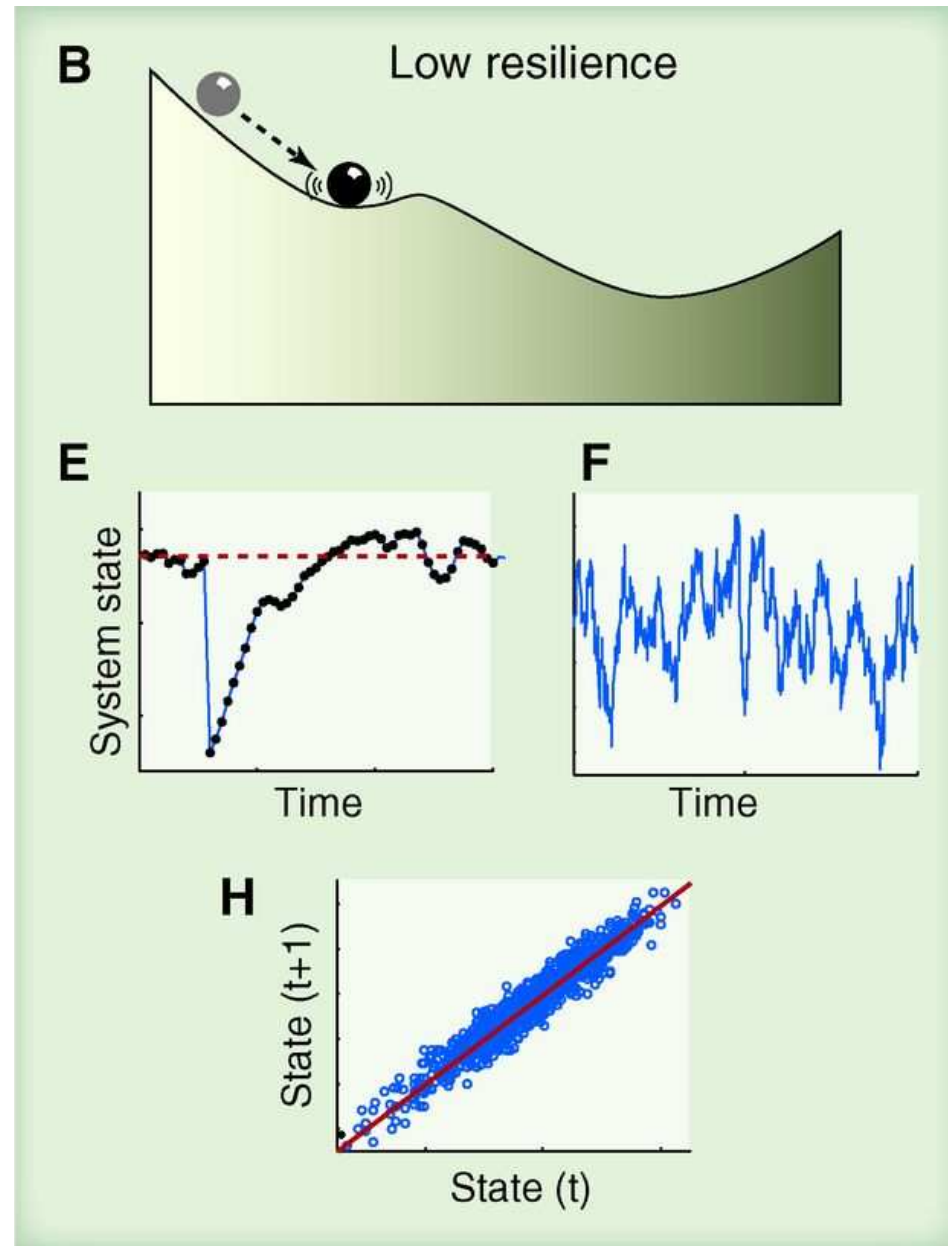


Qué entendemos
por una cuenca de
atracción?

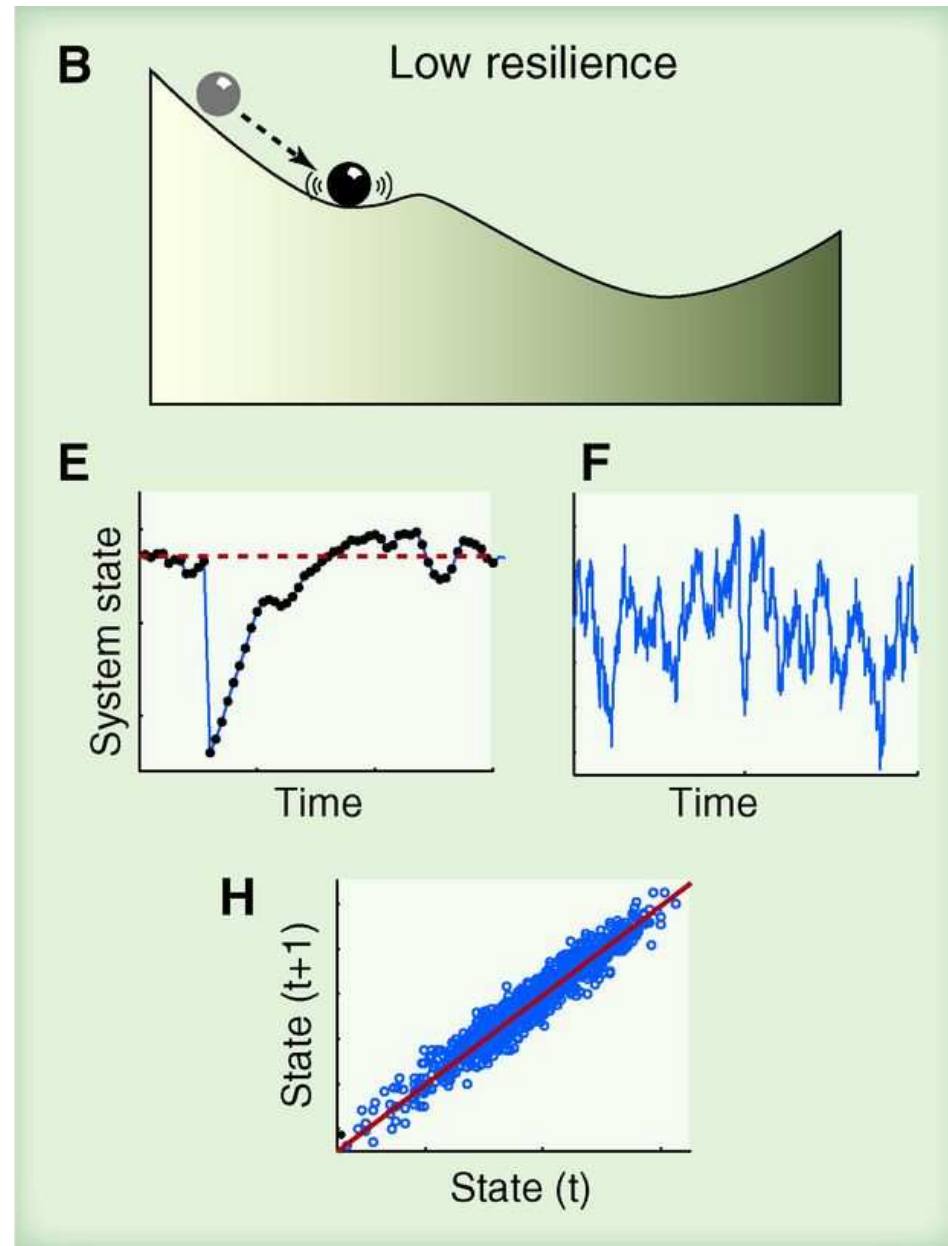




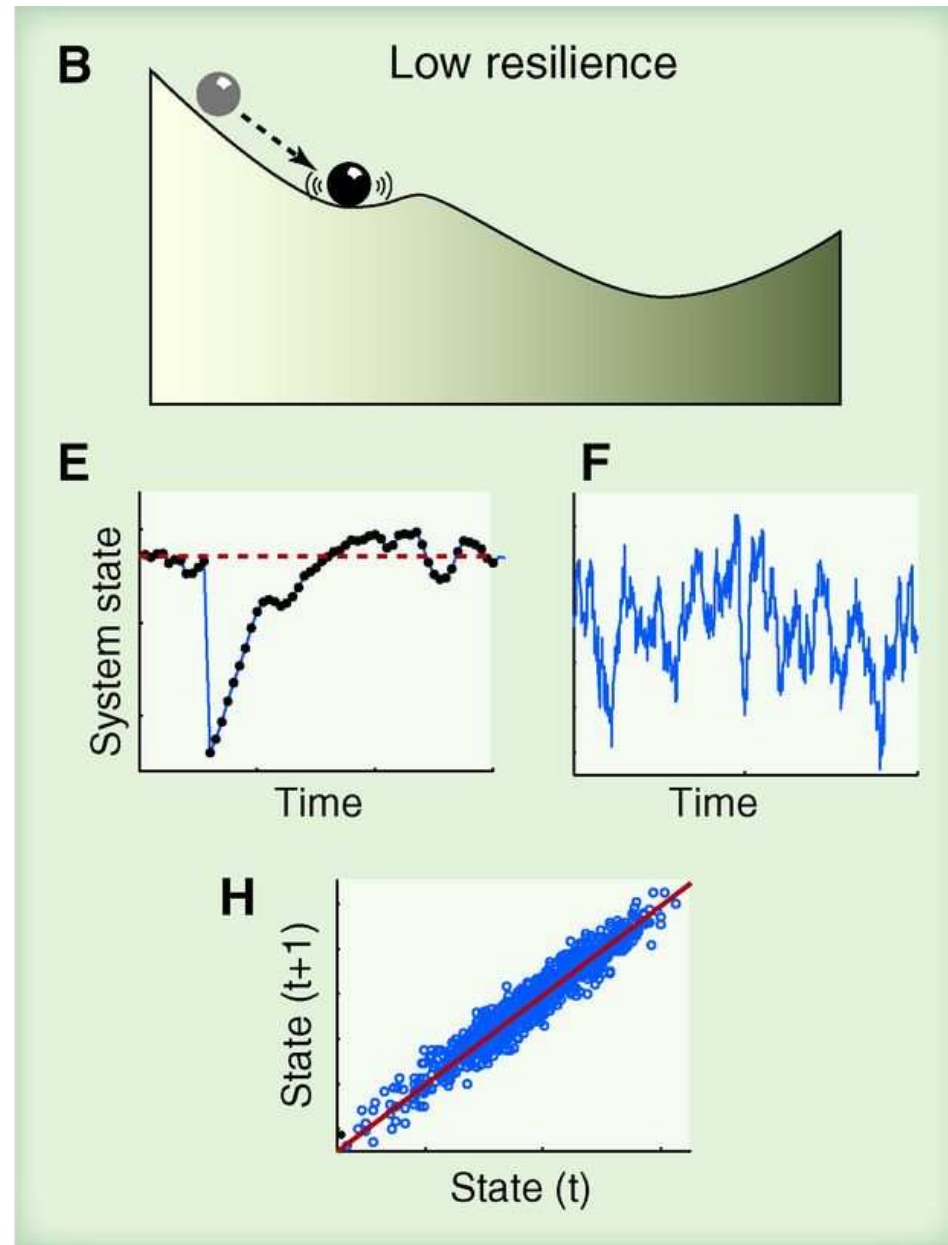
Cuando el sistema se encuentra cerca de un punto de transición, la resiliencia decrece por dos aspectos fundamentales, la **cuenca de atracción se aplan**a y la **tasa de recuperación a pequeñas perturbaciones es menor**.



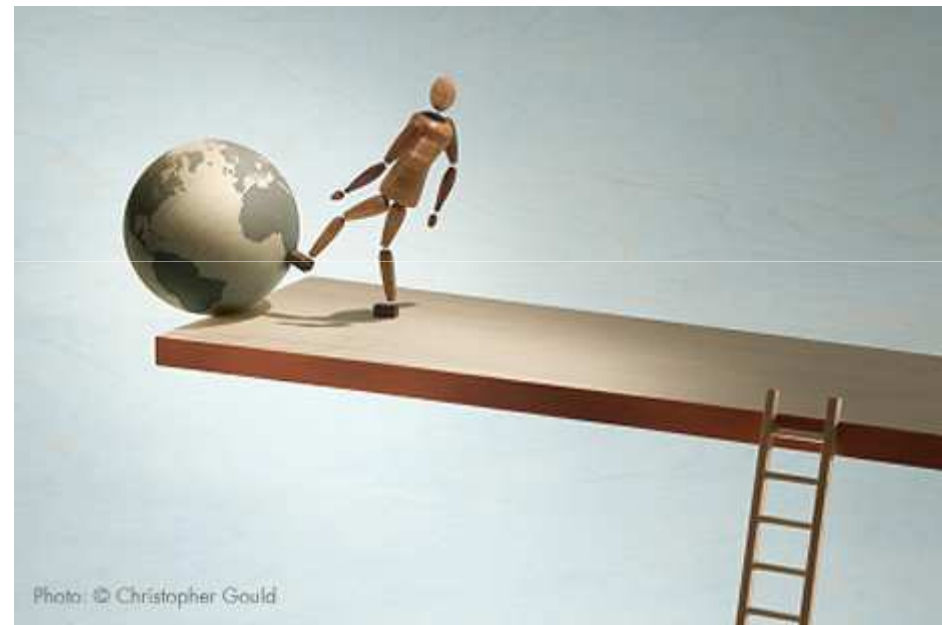
El **sistema presenta una importante memoria** a las perturbaciones, la dinámica del **sistema se caracteriza por un importante desvío estándar y una mayor correlación** entre los estados t y $t+1$.



Los gráficos anteriores fueron generados a partir de ecuaciones diferenciales que representan un población bajo el régimen de cosecha: $dX/dt = X(1 - X/K) - (cX^2/(X^2 + 1))$. X representa la abundancia de la población y K la capacidad de carga (igual 10), c es la máxima tasa de cosecha (igual 1 para elevada resiliencia y 2.6 para baja resiliencia).



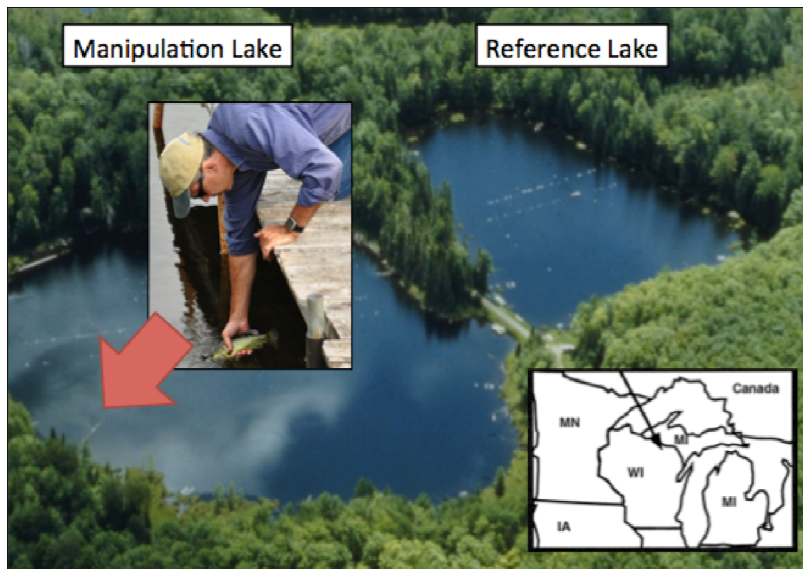
Uno de los atributos más relevantes del critical slowing down: es la **tasa de recuperación frente a pequeñas perturbaciones** de origen natural o experimental, lo cual nos pueden indicar que tan cerca estamos de un punto de bifurcación.





Podemos experimental?

Si las perturbaciones son muy pequeñas, no corremos el riesgo de traspasar los umbrales. En sistemas con una importante extensión espacial podemos realizar experimentos de pequeña escala a efecto de analizar la proximidad a una transición crítica.



Para la mayoría de los sistemas naturales resulta muy difícil o imposible evaluar experimentalmente las tasas de recuperación.

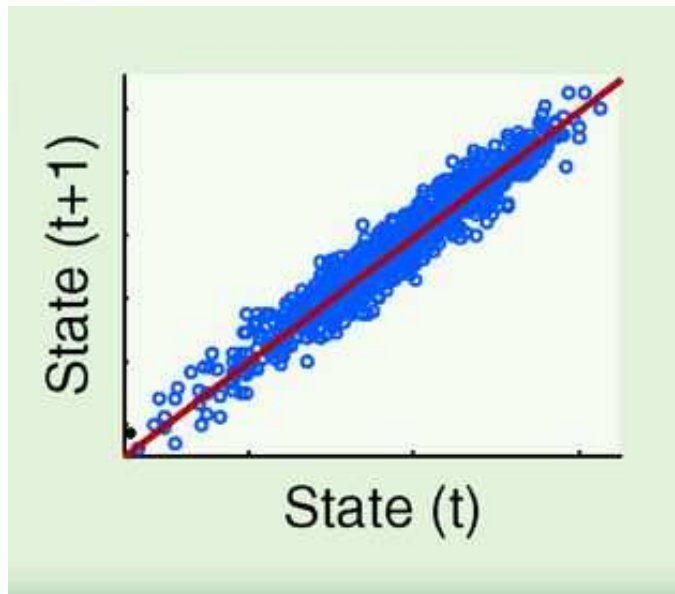
Early Warnings of Regime Shifts: A Whole-Ecosystem Experiment

S. R. Carpenter,^{1*} J. J. Cole,² M. L. Pace,³ R. Batt,¹ W. A. Brock,⁴ T. Cline,¹ J. Coloso,³
J. R. Hodgson,⁵ J. F. Kitchell,¹ D. A. Seekell,³ L. Smith,¹ B. Weidel¹

Catastrophic ecological regime shifts may be announced in advance by statistical early warning signals such as slowing return rates from perturbation and rising variance. The theoretical background for these indicators is rich, but real-world tests are rare, especially for whole ecosystems. We tested the hypothesis that these statistics would be early warning signals for an experimentally induced regime shift in an aquatic food web. We gradually added top predators to a lake over 3 years to destabilize its food web. An adjacent lake was monitored simultaneously as a reference ecosystem. Warning signals of a regime shift were evident in the manipulated lake during reorganization of the food web more than a year before the food web transition was complete, corroborating theory for leading indicators of ecological regime shifts.



La mayoría de los sistemas reales están permanentemente sometidos a perturbaciones naturales. Una predicción importante es que la cercanía a los puntos críticos se traduce en un incremento de la autocorrelación en el patrón de fluctuaciones.



Al modificarse la tasa de cambio al acercarse al punto de transición, el sistema es cada vez más parecido al estado que tenía en el pasado.

El incremento de la memoria del sistema puede ser medido de diversas formas, la forma más simple es la autocorrelación lag-1.

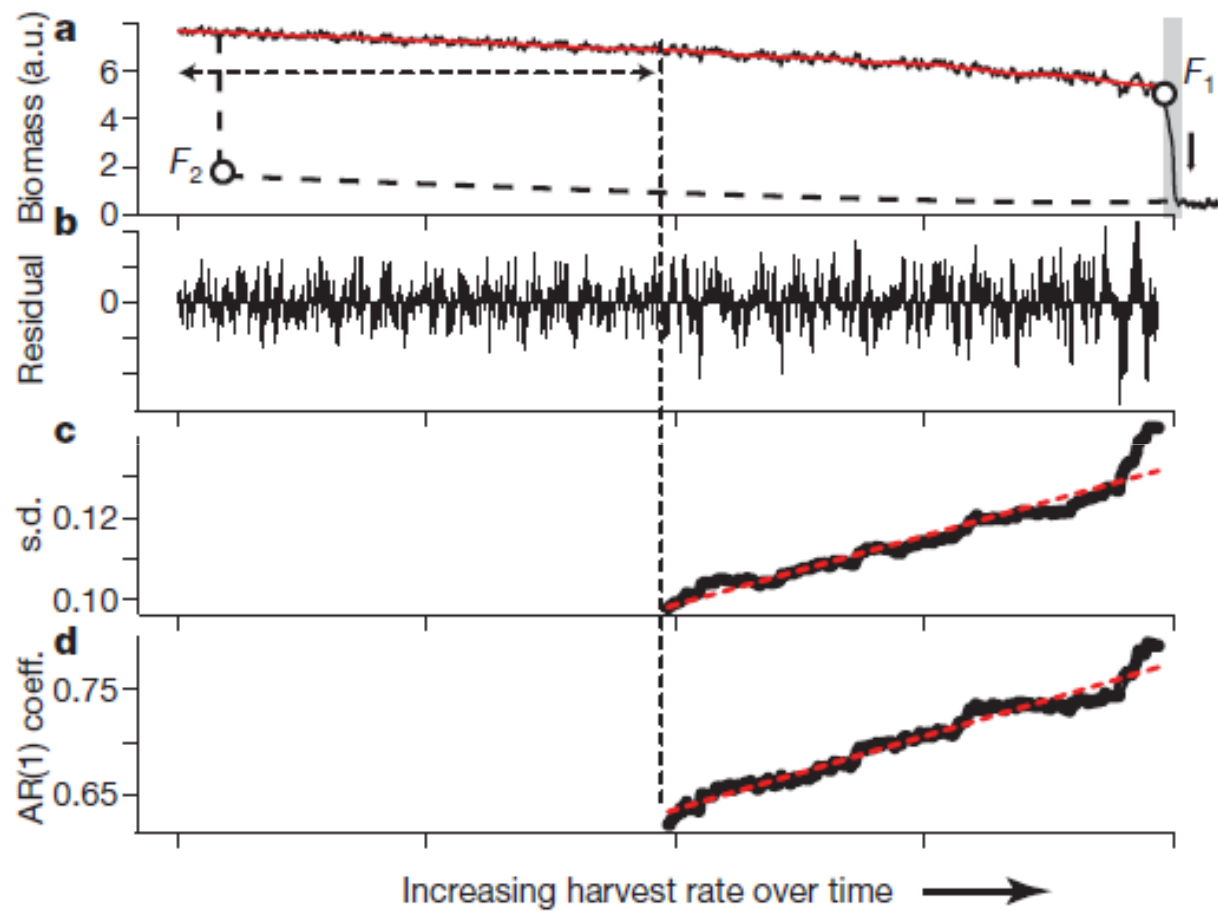
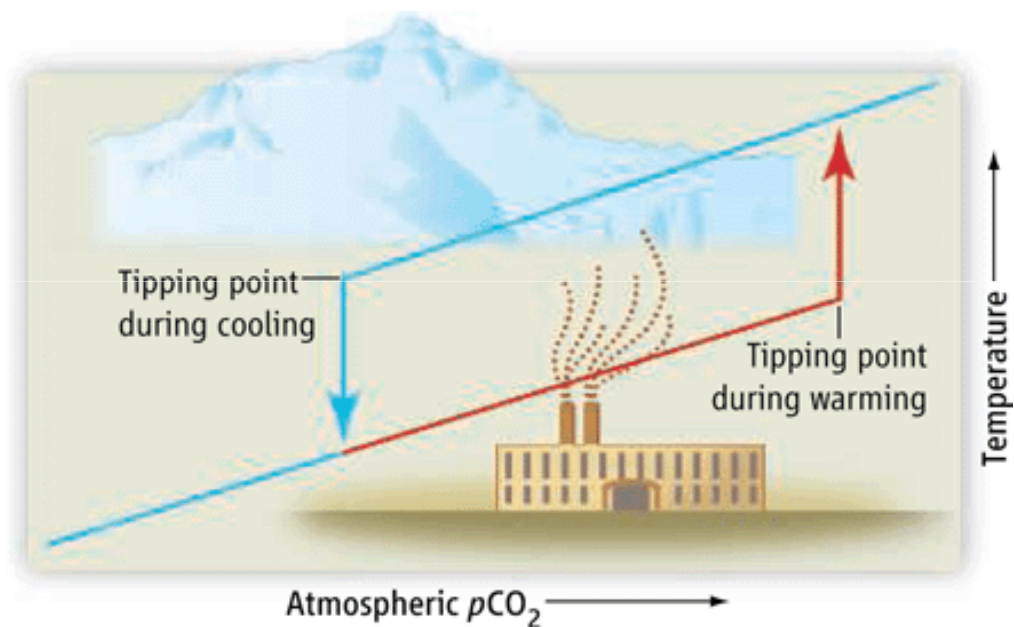


Figure 2 | Early warning signals for a critical transition in a time series generated by a model of a harvested population⁷⁷ driven slowly across a bifurcation. a, Biomass time series. **b, c, d**, Analysis of the filtered time series (**b**) shows that the catastrophic transition is preceded by an increase both in the amplitude of fluctuation, expressed as s.d. (**c**), and in slowness, estimated as the lag-1 autoregression (AR(1)) coefficient (**d**), as predicted from theory. The grey band in **a** identifies the transition phase. The horizontal dashed arrow shows the width of the moving window used to compute the indicators shown in **c** and **d**, and the red line is the trend used for filtering (see ref. 22 for the methods used). The dashed curve and the points F_1 and F_2 represent the equilibrium curve and bifurcation points as in Box 1 Figure c, d. a.u., arbitrary units.

El incremento de la varianza en el patrón de fluctuación es otra de las posibles consecuencias del critical slowing down. A medida que nos acercamos al punto de transición el sistema tiene menos capacidad de controlar la fluctuaciones, incrementando la varianza.

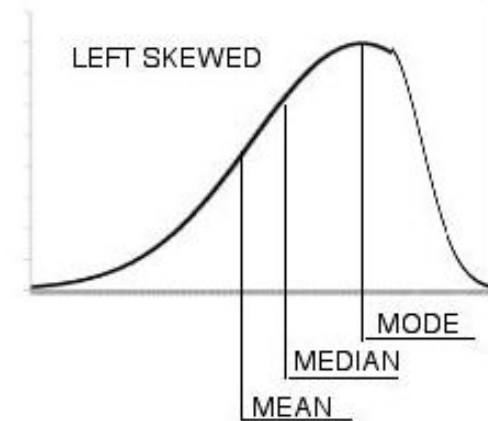
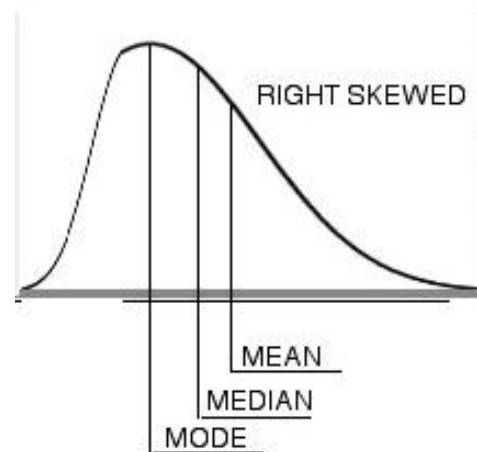
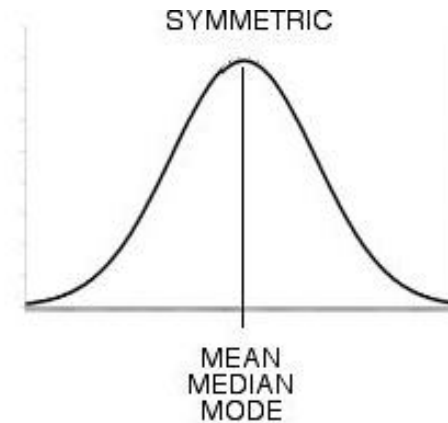




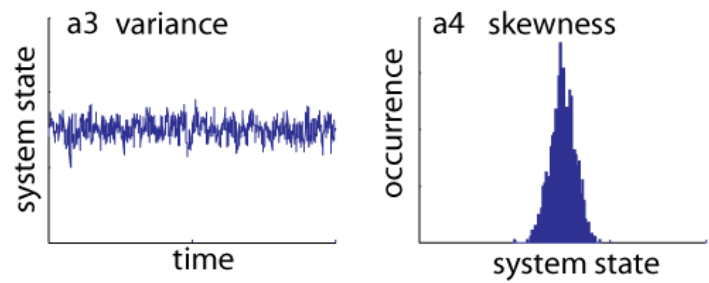
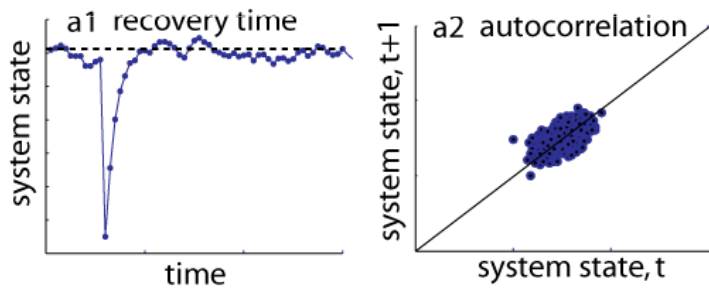
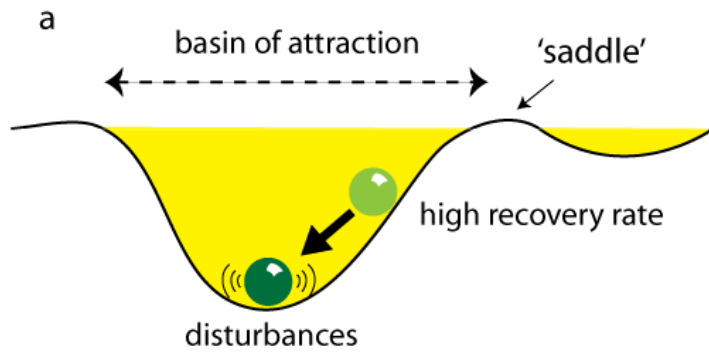
En **resumen**, el fenómeno del critical slowing down genera tres alertas tempranas en la dinámica del sistema cuando se acerca al punto de bifurcación: **menor capacidad de recuperación de las perturbaciones, incremento de la autocorrelación e incremento de la varianza.**

Asimetría en las distribuciones y flickering (titileo)

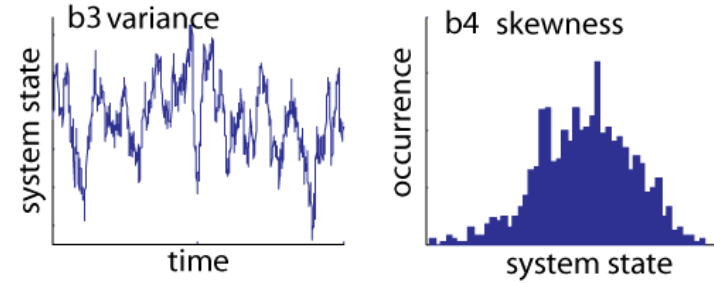
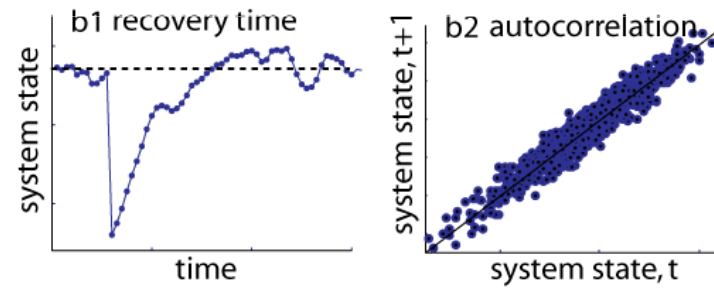
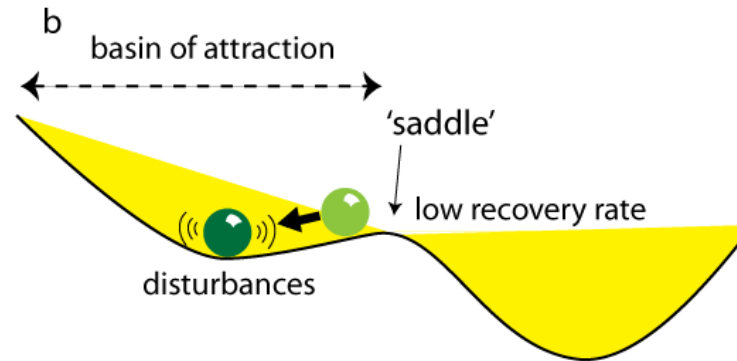
Además de la autocorrelación y la varianza, la **asimetría de las fluctuaciones se puede incrementar antes de una bifurcación.**



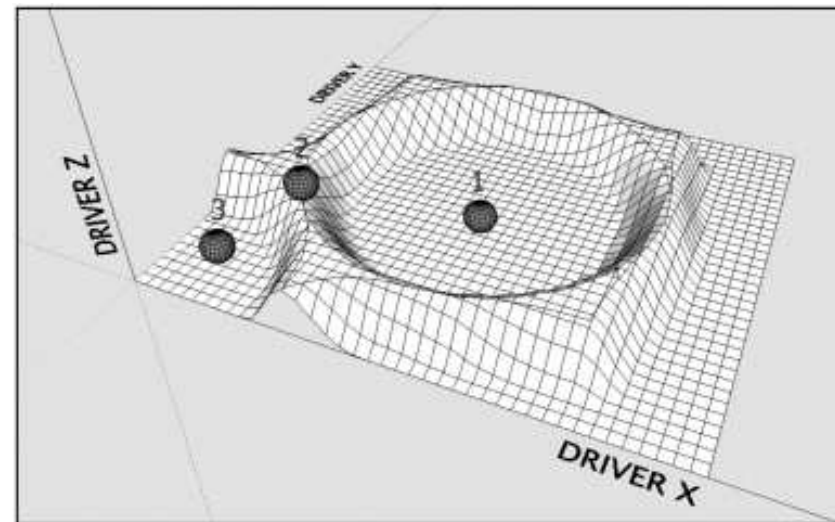
far from the transition

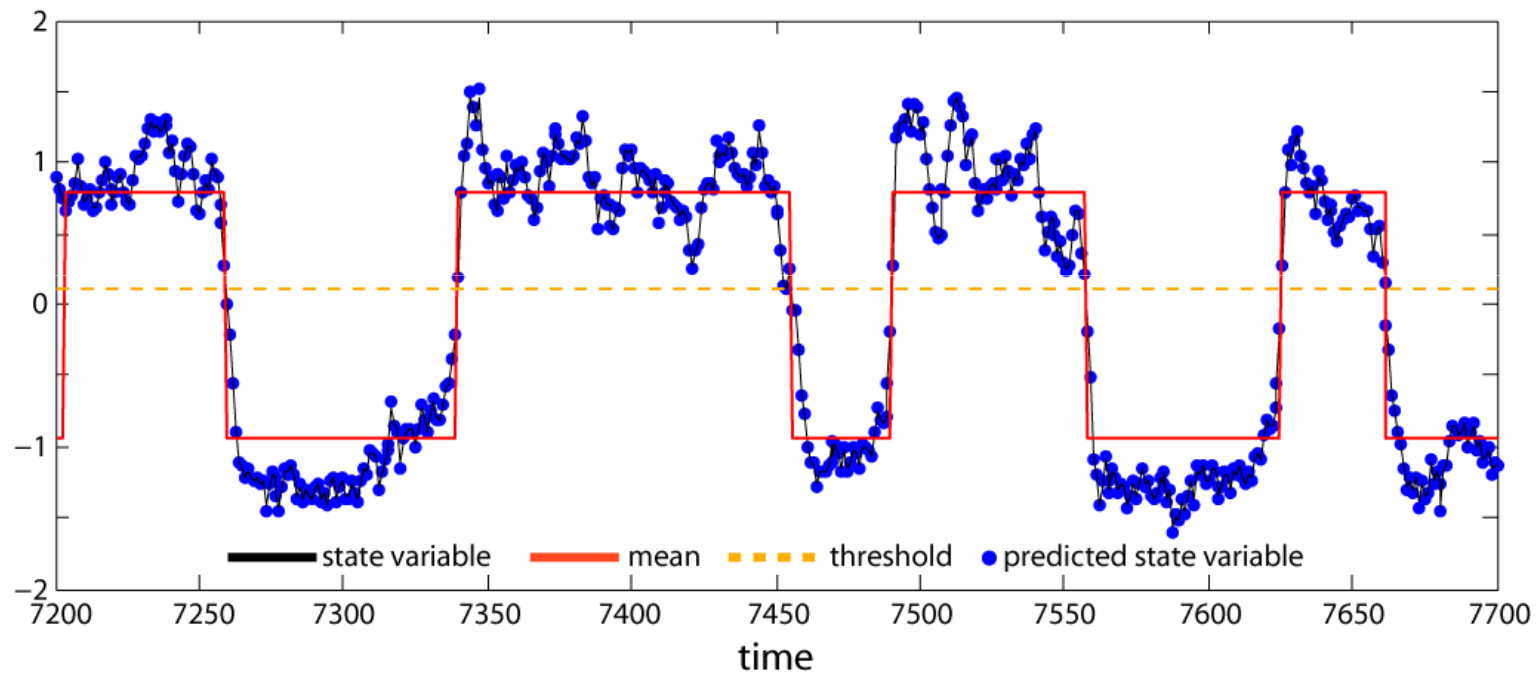


close to the transition

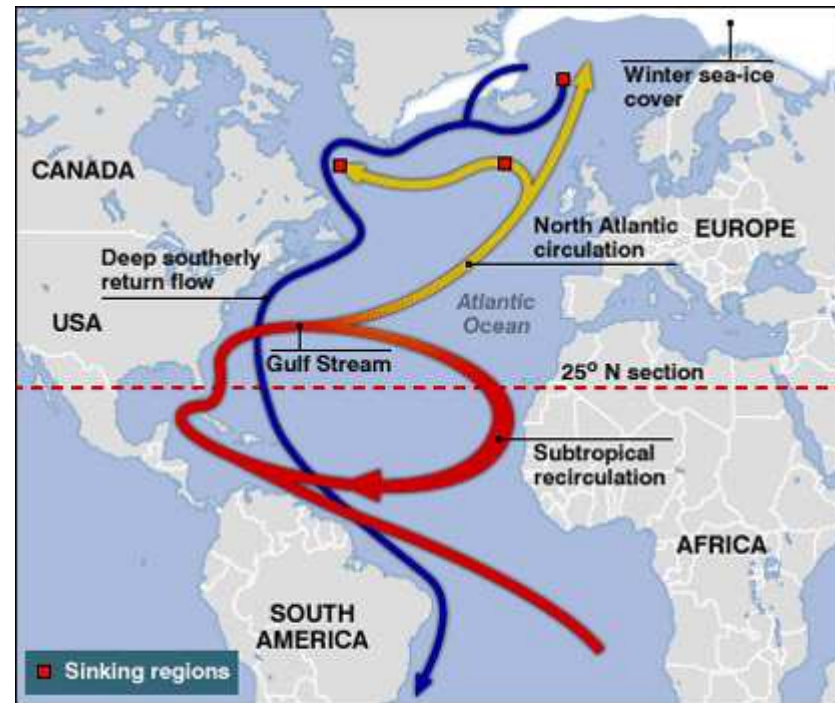


La asimetría en la distribución de los estados se incrementa porque el sistema se acerca a los límites de la cuenca de atracción por incremento en la amplitud de las oscilaciones del sistema.

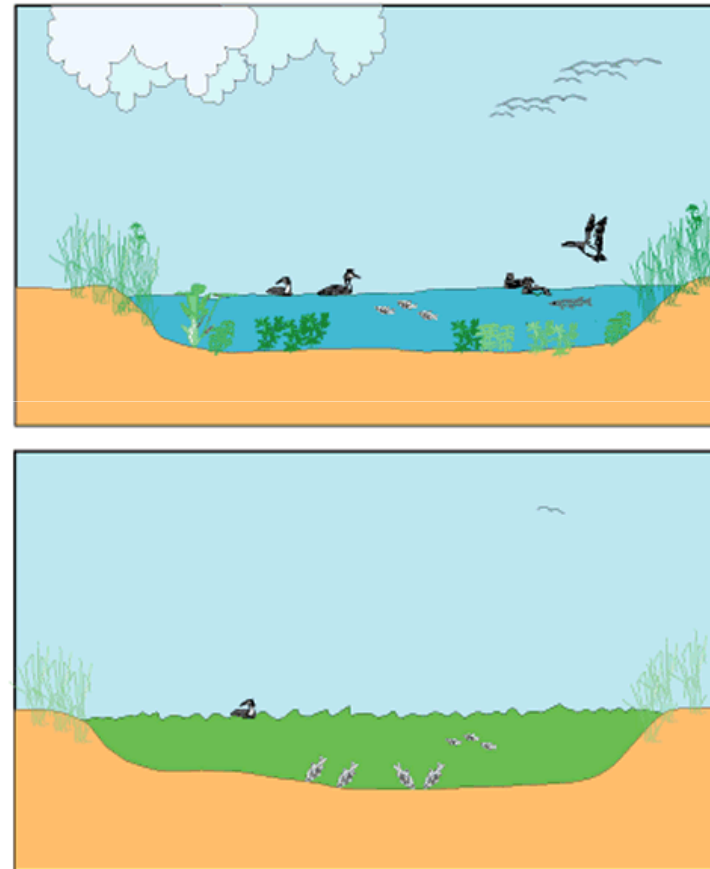




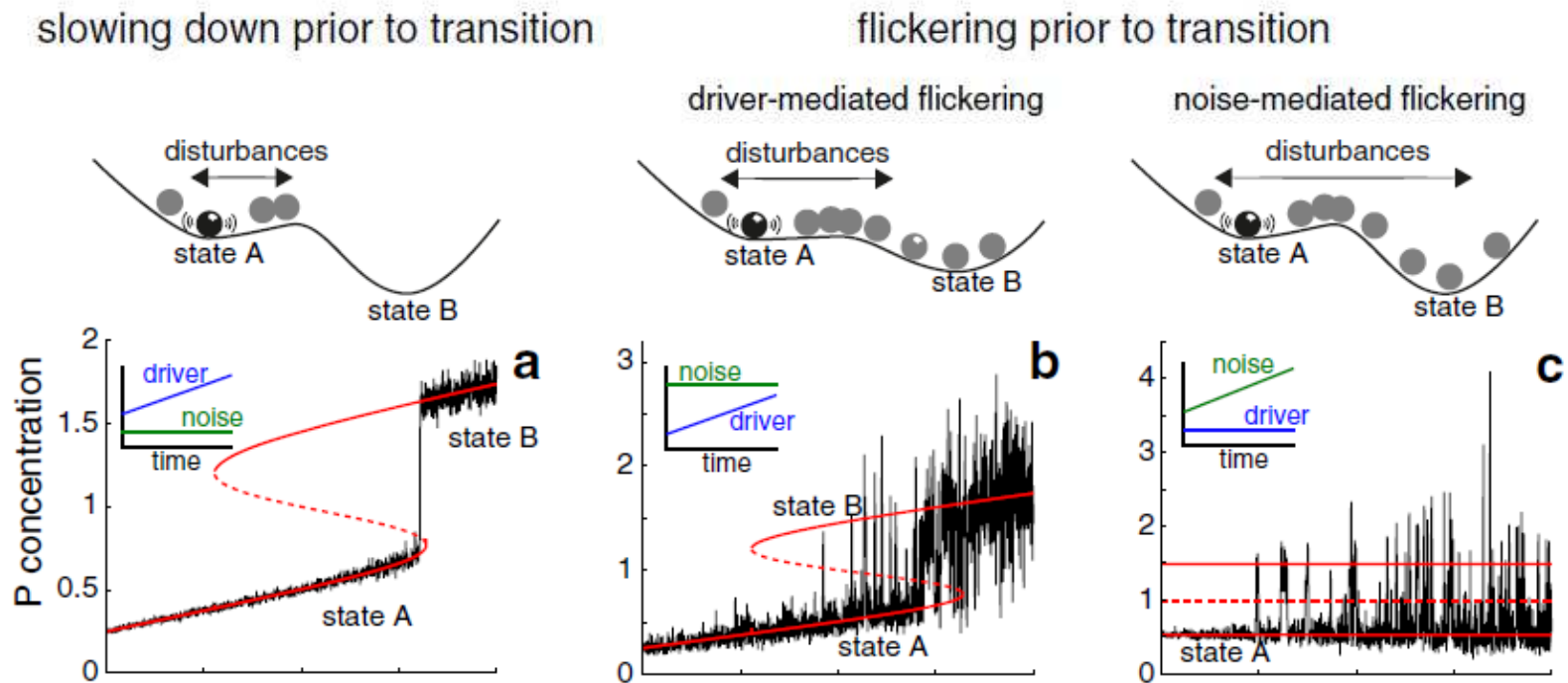
Otro fenómeno en la vecindad de una bifurcación es el titileo (**flickering**). Este fenómeno ocurre cuando un **sistema oscila entre cuencas de atracción de dos estados alternativos.**



Es comportamiento es también considerado una señal de alerta temprano, dado que el sistema cambia permanentemente entre estados alternativos si un cambio menor en las condiciones persiste. Si el cambio aumenta el sistema se desplaza hacia uno de los estados.



Estadísticamente, el fenómeno de titileo (**flickering**) pueden observarse en la frecuencia de distribución de los estados como un **incremento de la varianza, la asimetría y la ocurrencia de bimodalidad.**

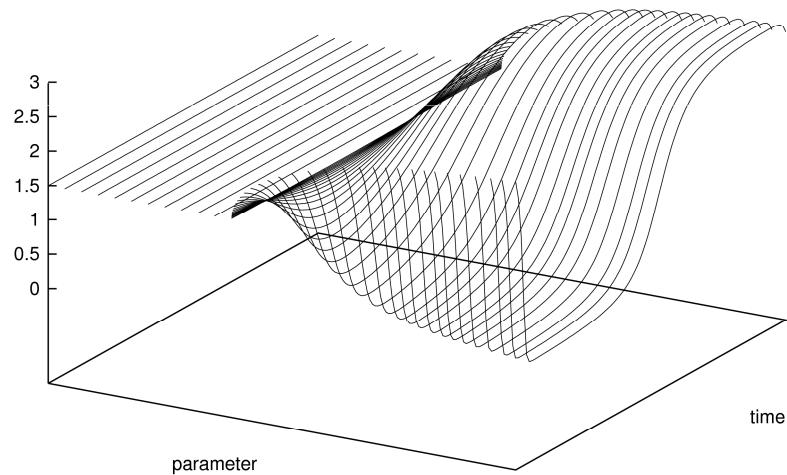


Theor Ecol
DOI 10.1007/s12080-013-0186-4

ORIGINAL PAPER

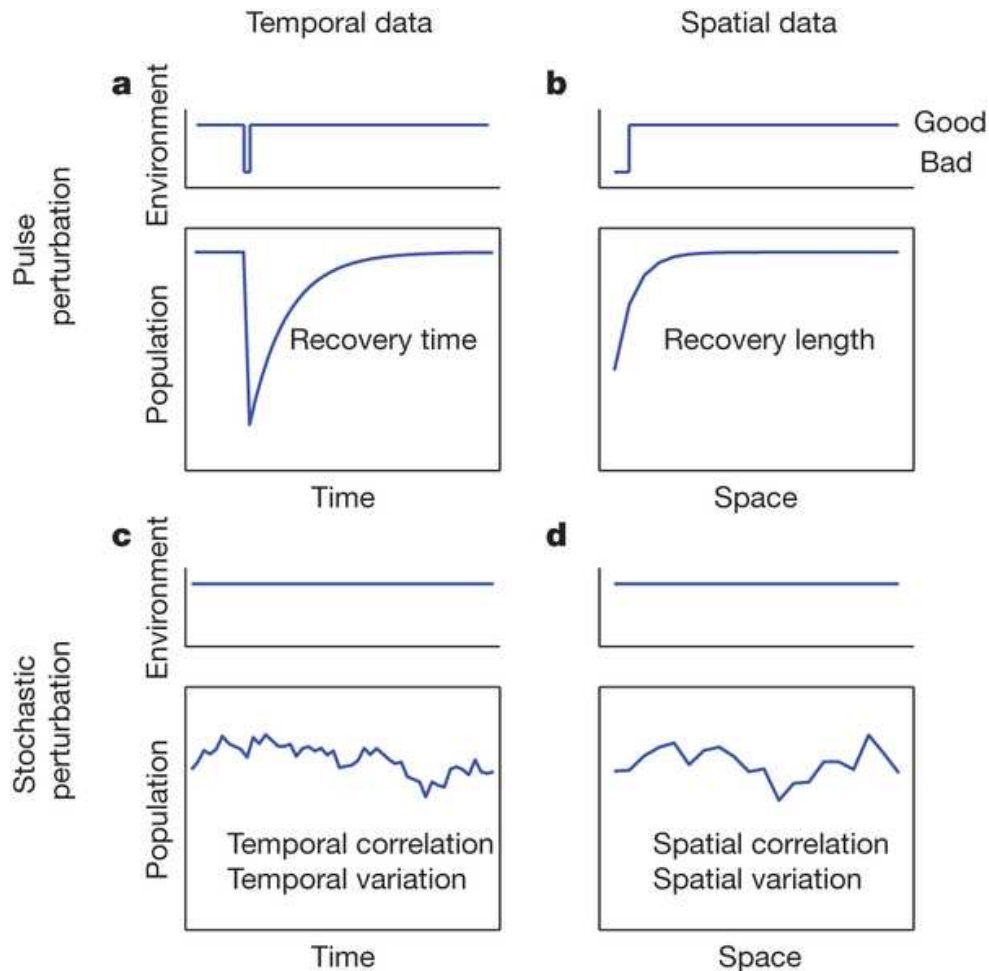
Flickering as an early warning signal

Vasilis Dakos • Egbert H. van Nes • Marten Scheffer



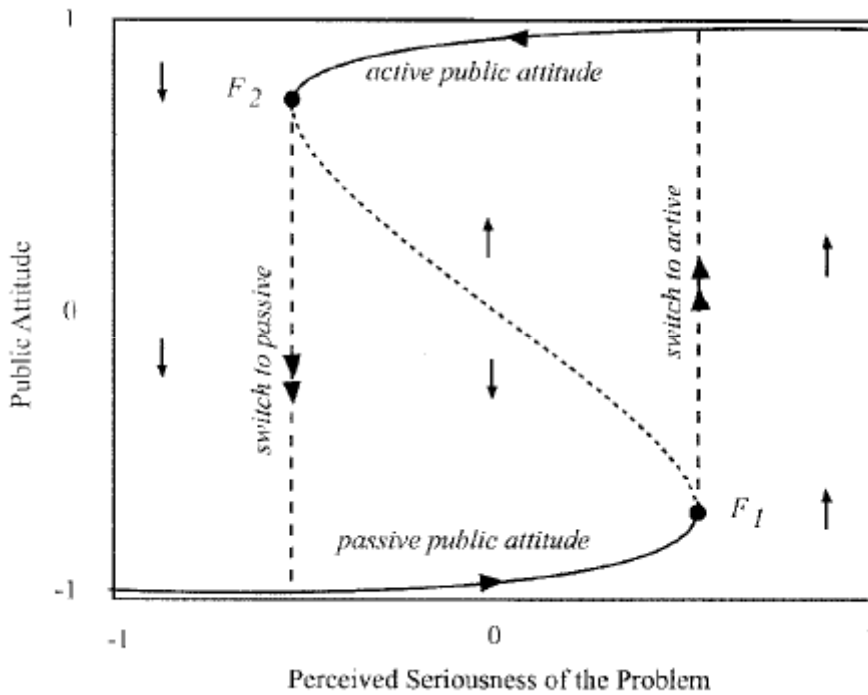
Indicadores de sistemas cíclicos y caóticos.

Las transiciones críticas entre sistemas cíclicos y caóticos han sido menos estudiados desde el punto de vista de los señales de alerta temprano. Un ejemplo de estas transiciones es la bifurcación de Hopf.



Patrones espaciales y señales tempranas de cambio.

Además de las señales de cambio temprano en la series temporales, existen patrones espaciales particulares que aparecen previo a una transición crítica.



Patrones espaciales y señales tempranas de cambio.

Diversos sistemas consisten en numerosas unidades acopladas, donde cada unidad tiende a un estado similar a las unidades que esta conectada.

Slow Response of Societies to New Problems: Causes and Costs

Marten Scheffer,^{1*} Frances Westley,² and William Brock³

¹*Aquatic Ecology and Water Quality Management Group, Wageningen Agricultural University, P.O. Box 8080, 6700DD Wageningen, The Netherlands;* ²*Faculty of Management, McGill University, 1001 Sherbrooke St. West, Montreal, Quebec H3A 1G5, Canada;* ³*Department of Economics, University of Wisconsin, 1180 Observatory Drive, Madison, Wisconsin 53706, USA*

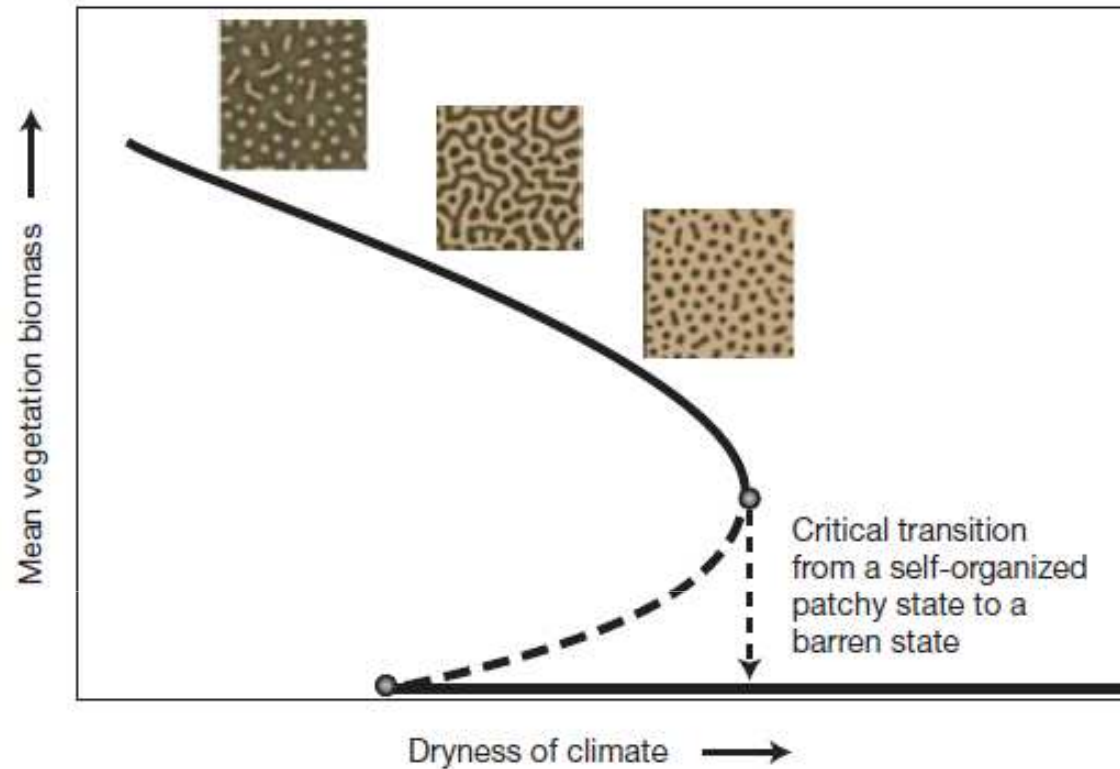
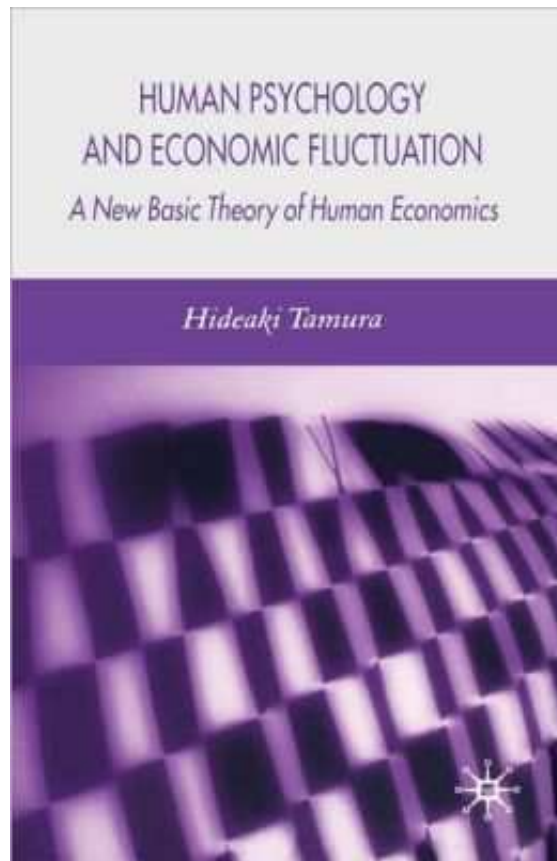
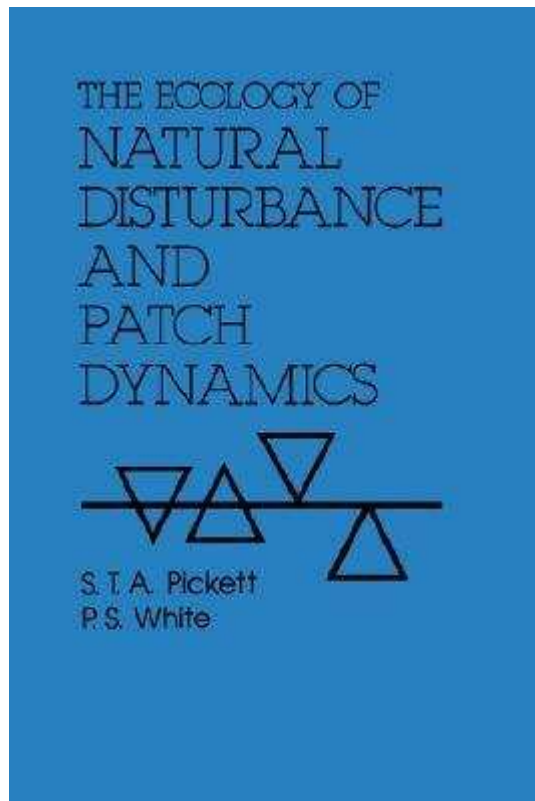


Figure 3 | Ecosystems may undergo a predictable sequence of self-organized spatial patterns as they approach a critical transition. We show the modelled response of semi-arid vegetation to increasing dryness of the climate. Solid lines represent mean equilibrium densities of vegetation. The insets are maps of the pattern: the dark colour represents vegetation and the light colour represents empty soil. As the bifurcation point for a critical transition into a barren state is approached, the nature of pattern changes from maze-like to spots. Modified from ref. 44. Reprinted with permission from AAAS.



Patrones espaciales y señales tempranas de cambio.

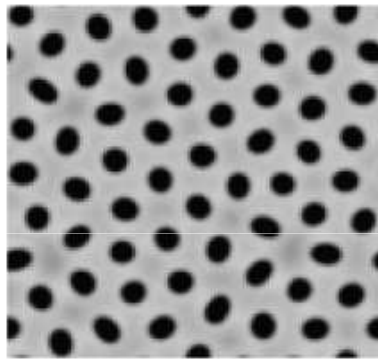
En los sistemas financieros es bien conocido como un mercado afecta al otro, o como las actitudes individuales frente a determinados tópicos es afectado por la actitud de los individuos con los que interactúan.



Patrones espaciales y señales tempranas de cambio.

La persistencia de especies en parches en un paisaje fragmentado depende de la presencia de la misma especie en los parches vecinos para que la recolonización tenga lugar.

Patrones espaciales y señales tempranas de cambio.

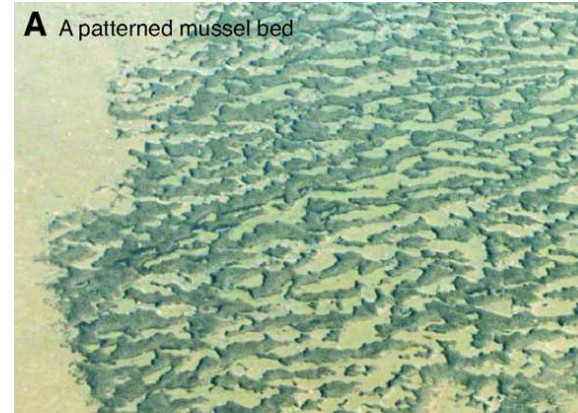


spatial snapshot of
vegetation (higher biomass
at darker shades)

Distribuciones del tamaño de los parches independientes de la escala considerada, ocurren cerca de las transiciones. Un **incremento de la coherencia espacial**, medida como un **incremento de la correlación cruzada entre las unidades** antes del evento crítico.

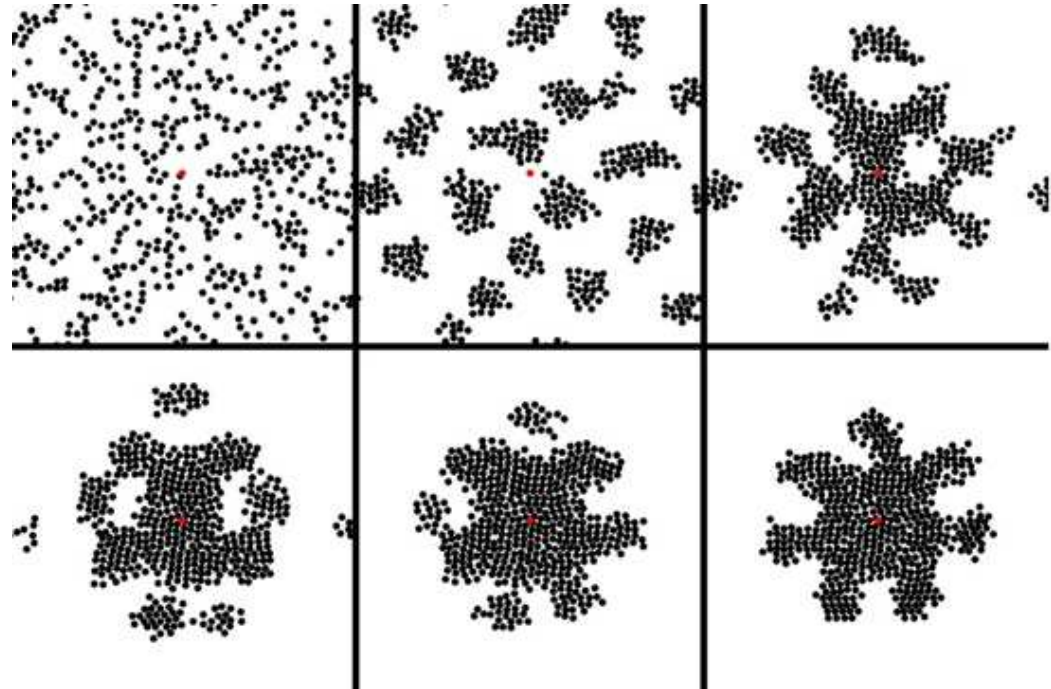
Patrones espaciales y señales tempranas de cambio.

En sistemas con patrones regulares generados por auto-organización, **la transición crítica puede ser anticipada por configuraciones espaciales particulares.**

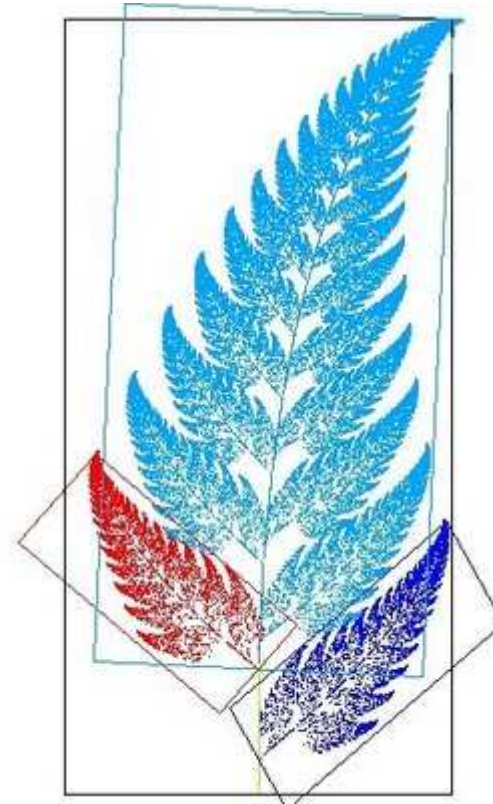


Patrones espaciales y señales tempranas de cambio.

En sistemas gobernados por disturbios locales (por ejemplo herbivoría localizada sobre ciertos parches de vegetación) genera estructuras que pueden ser descritas mediante relaciones potenciales, independiente de la escala, en los períodos previos a la transición crítica.



En física, matemática, estadística y economía, la ausencia de varianza escalar es una característica de objetos o leyes que no cambian con la escala de largo, energía y u otra variable, es multiplicada por un factor común.



Catastrophic shifts in ecosystems: spatial early warnings and management procedures (Inspired in the physics of phase transitions)

H Fort¹, N Mazzeo², M Scheffer³ and E van Nes³

¹ Complex Systems Group, Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 4225, 11400 Montevideo, Uruguay

² Depto. de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 4225, 11400 Montevideo, Uruguay

³ Wageningen Agricultural University, Aquatic Ecology and Water Quality Management Group, PO Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands

E-mail: hugo@fisica.edu.uy