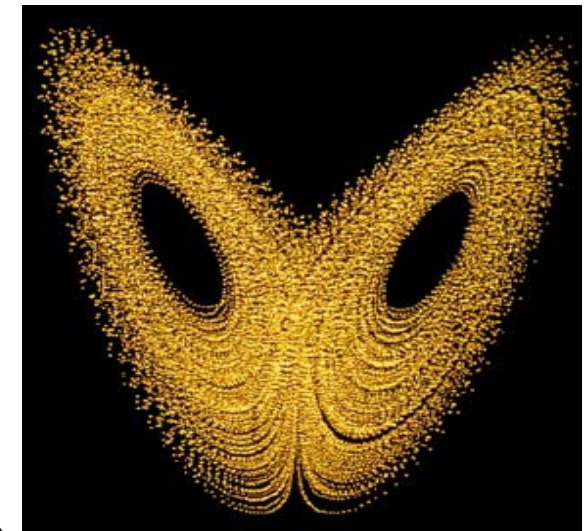


Caos

Un nuevo paradigma científico

Rafael Molina

Instituto de Estructura de la Materia - CSIC



Semana de la Ciencia, 15 de noviembre de 2013

Antes que todas las cosas fue **Caos**

Teogonía, Hesiodo s. VIII-VII a.c.

Antes que todas las cosas fue **Caos**

Teogonía, Hesiodo s. VIII-VII a.c.

Caos.

(Del lat. chaos, y este del gr. χάος, abertura).

1. m. Estado amorfo e indefinido que se supone anterior a la ordenación del cosmos.

2. m. Confusión, desorden.



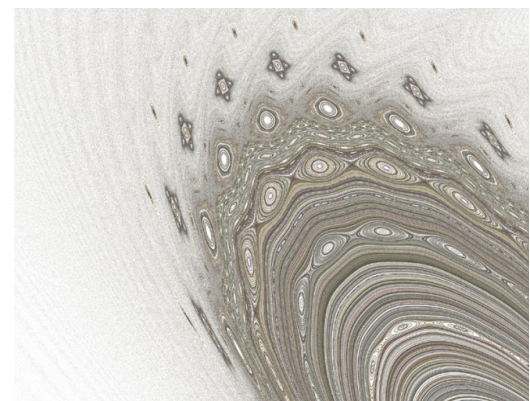
Antes que todas las cosas fue **Caos**

Teogonía, Hesiodo s. VIII-VII a.c.

Caos.

(Del lat. chaos, y este del gr. χάος, abertura).

3. m. Fís. y Mat. Comportamiento aparentemente errático e impredecible de algunos sistemas dinámicos, aunque su formulación matemática sea en principio determinista.



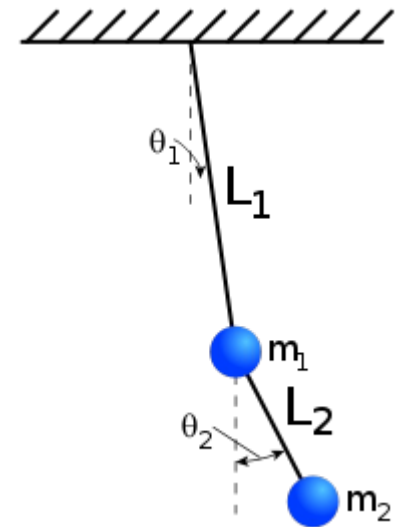


Péndulo y péndulo doble

Péndulo y péndulo doble



Péndulo y péndulo doble



El origen de la ciencia

- La realidad nos aparece como una mezcla sorprendente de **orden** y **caos**.



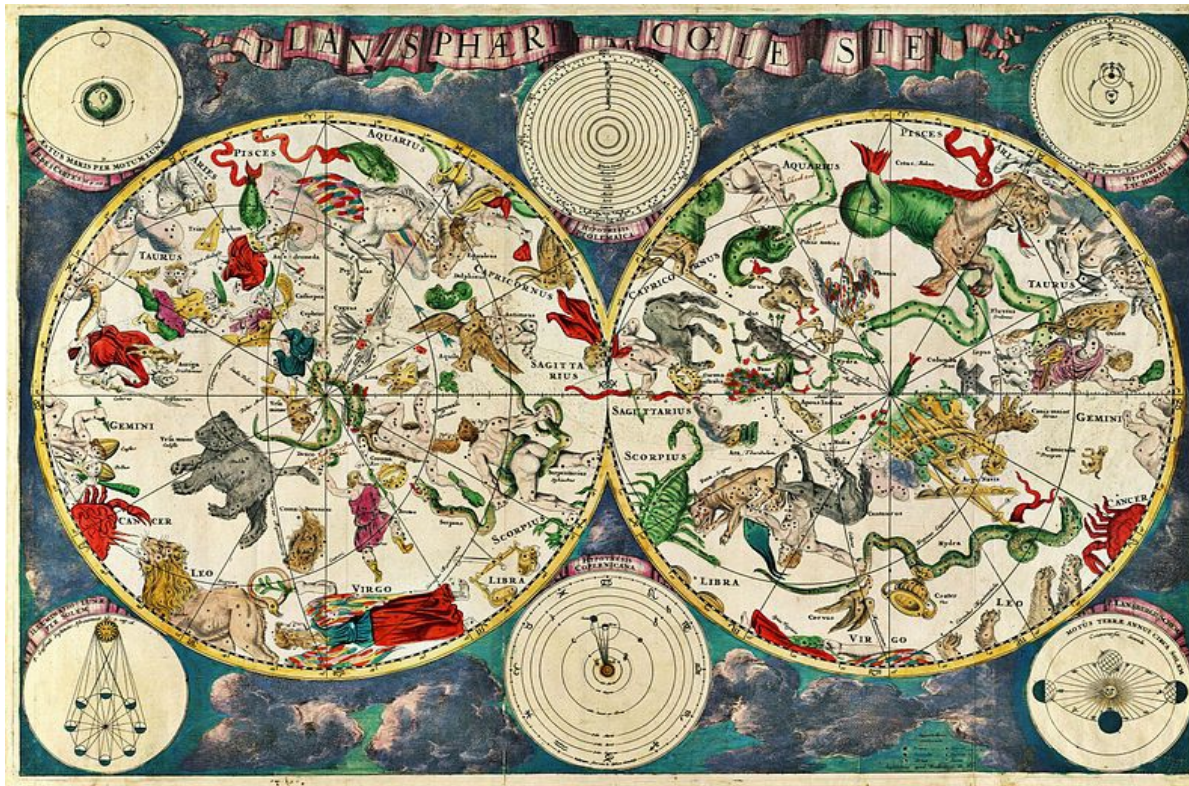
El origen de la ciencia

- El orden es más aparente en el movimiento periódico de los astros en el cielo.



El origen de la ciencia

- El estudio de la astronomía inspira a los antiguos griegos a pensar que el Cosmos se puede explicar de forma racional.

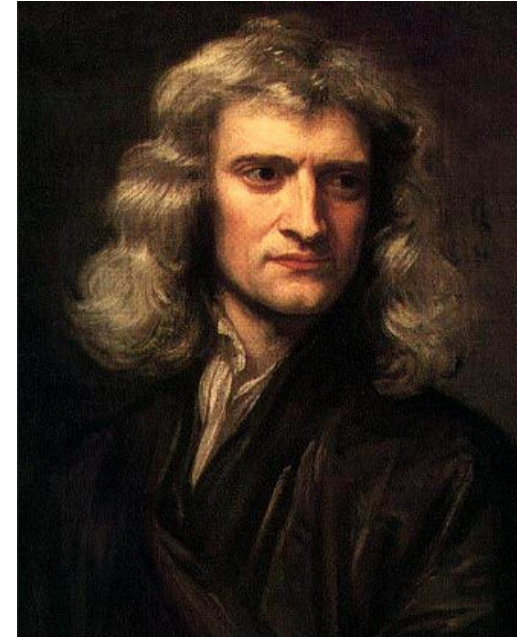


Leyes de Newton

Tres leyes de la mecánica

- Ley de la inercia.
- Ley de la fuerza $F = ma$.
- Ley de acción y reacción.

Ley de la gravitación universal



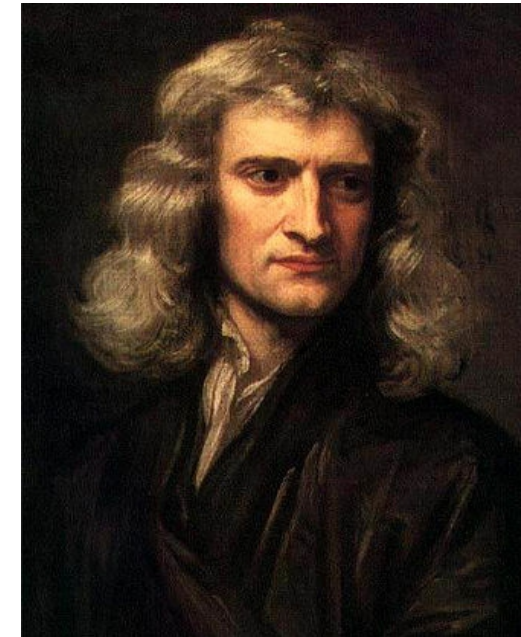
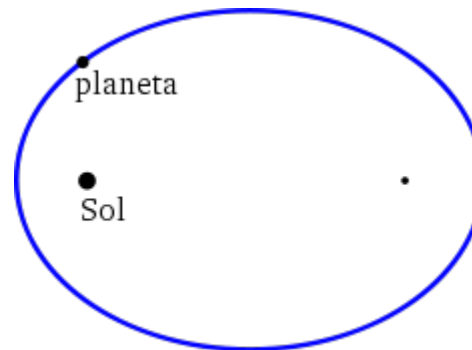
Sir Isaac Newton (1642-1727)

Leyes de Newton

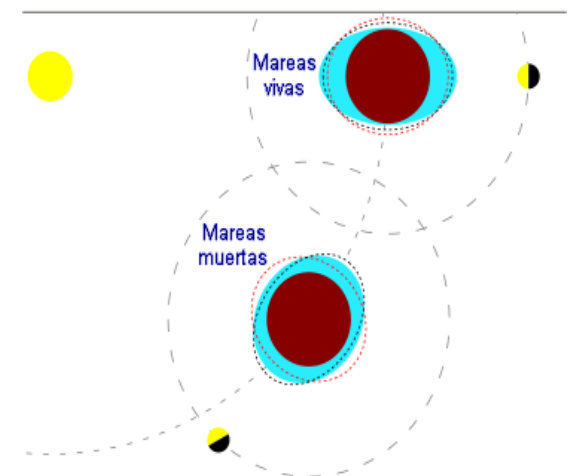
Tres leyes de la mecánica

- Ley de la inercia.
- Ley de la fuerza $F = ma$.
- Ley de acción y reacción.

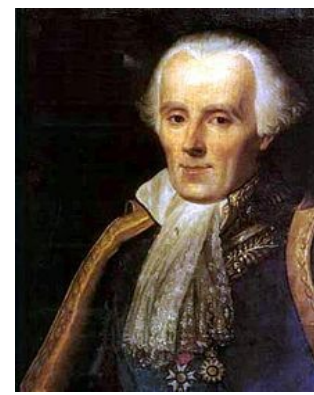
Ley de la gravitación universal



Sir Isaac Newton (1642-1727)



Determinismo

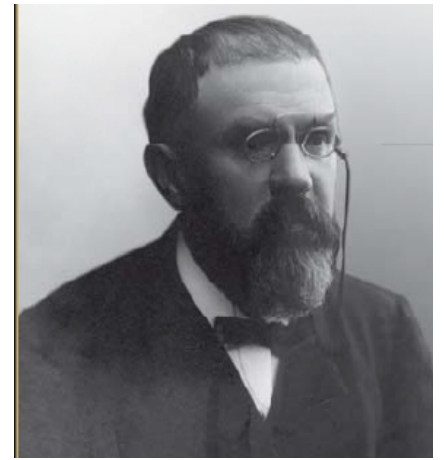
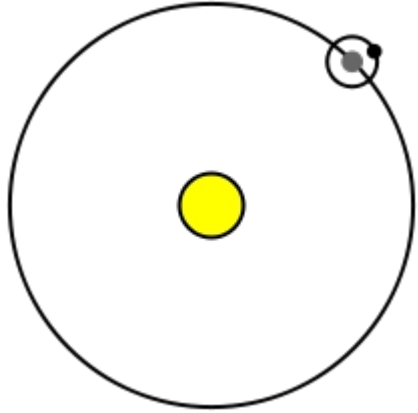


Laplace (1749-1827)

Podemos interpretar el estado actual del universo como el efecto del pasado y la causa de su futuro. Un intelecto que en un cierto momento conociera todas las fuerzas que ponen a la naturaleza en movimiento, y todas las posiciones e las que la naturaleza está compuesta, si ese intelecto fuera suficientemente vasto para analizar esos datos, podría incluir en una única fórmula el movimiento de los grandes cuerpos del universo y los del átomo más pequeño; para un tal intelecto nada sería incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes frente a sus ojos.

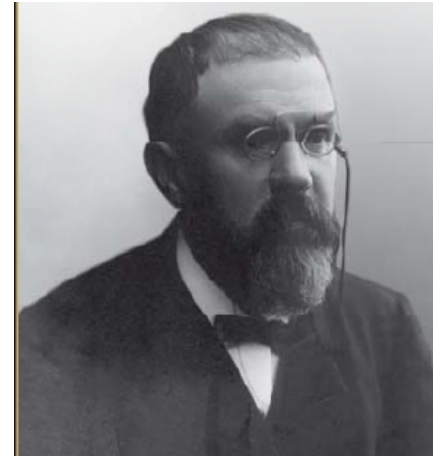
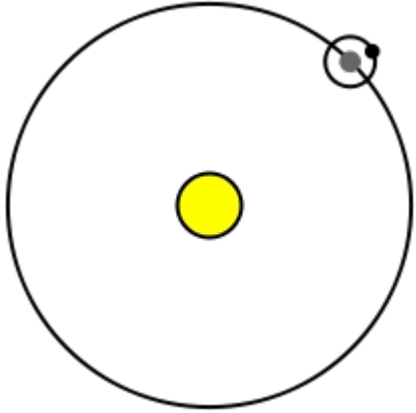
*Pierre Simon de Laplace,
Un ensayo filosófico sobre las probabilidades (1814)*

Problema de los tres cuerpos



Henri Poincaré
(1854-1912)

Problema de los tres cuerpos



Henri Poincaré
(1854-1912)

Si conociésemos exactamente las leyes de la naturaleza y la situación del Universo en el instante inicial, podríamos predecir con exactitud la situación del Universo en un instante ulterior. Pero aun cuando las leyes naturales no guardaran más secretos para nosotros, no podemos conocer la situación inicial más que aproximadamente. Si esto nos permite predecir la situación ulterior con la misma aproximación, que es todo lo que necesitamos, decimos que el fenómeno ha sido predicho, [...]. Pero no acaece siempre así: puede suceder que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales produzcan algunas muy grandes en los fenómenos finales. Un pequeño error al inicio engendrará un error enorme al final. La predicción se vuelve Imposible.

*Henri Poincaré
Ciencia y Método (1908)*

Sistemas lineales vs. no lineales

- Sistemas lineales

Efectos proporcionales a las causas.

Distintas causas se unen de forma sencilla para producir un efecto combinado.

Sistemas lineales vs. no lineales

- Sistemas lineales

Efectos proporcionales a las causas.

Distintas causas se unen de forma sencilla para producir un efecto combinado.

- Sistemas no lineales

Efectos no proporcionales a las causas.

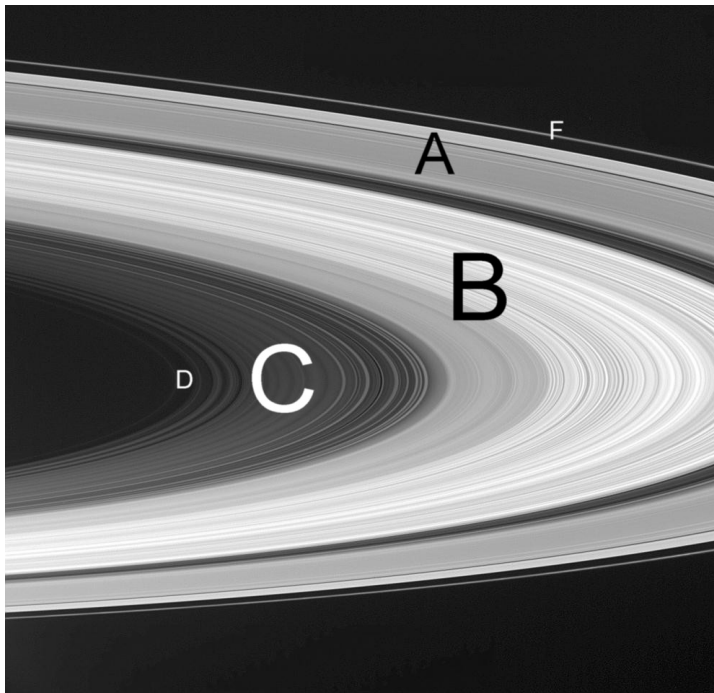
No se puede deducir los efectos combinados de distintas causas conociendo el efecto de cada causa por separado.

Teorema KAM

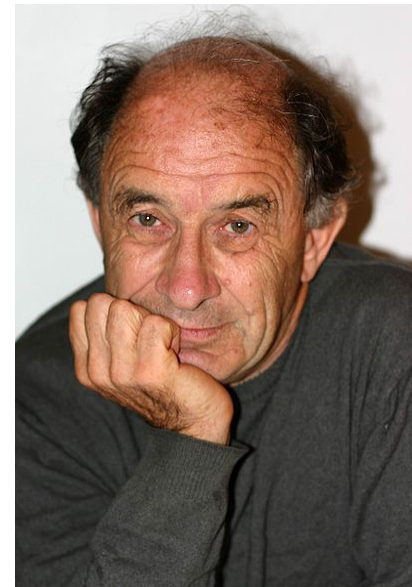
Las órbitas regulares de un sistema sometido a una perturbación se pierden poco a poco conforme aumenta la intensidad de la perturbación.



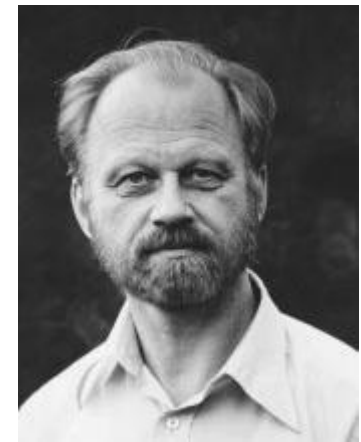
Andrey Kolmogorov
(1903-1987)



Anillos de Saturno (Fotografía del Voyager)



Vladimir Arnold
(1937-2010)



Jürgen Moser
(1927-1999)

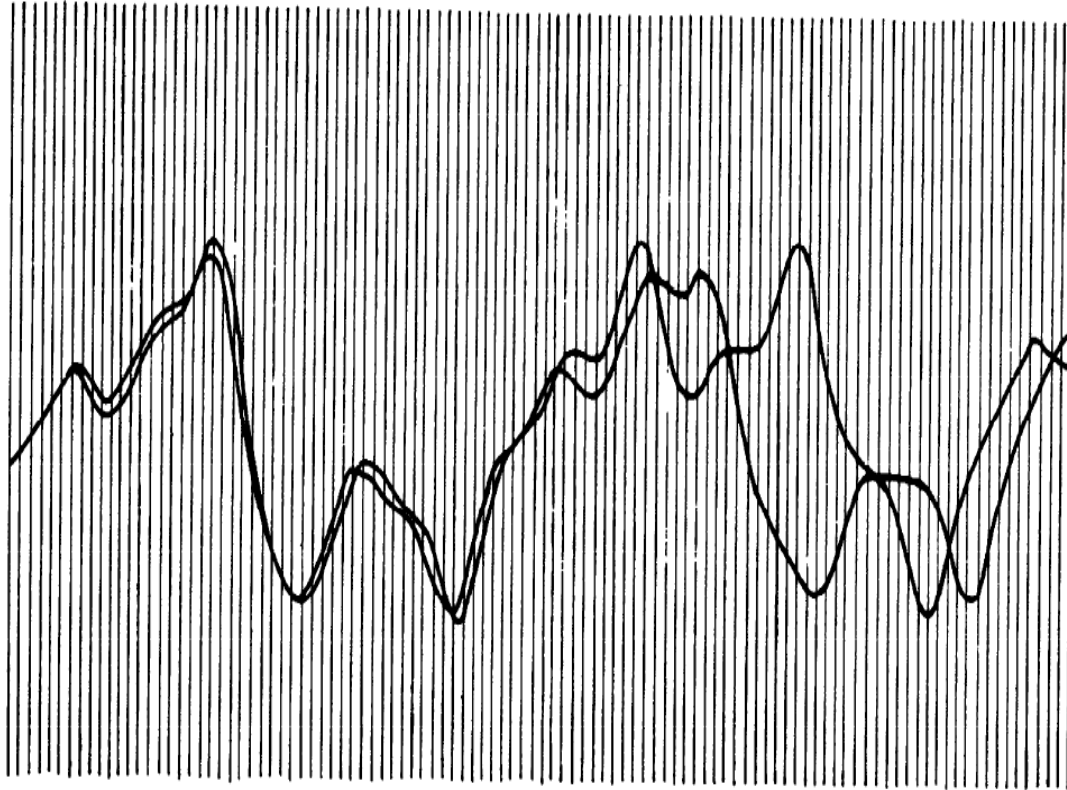
¿Qué cambió en los años 60?

¿Qué cambió en los años 60?



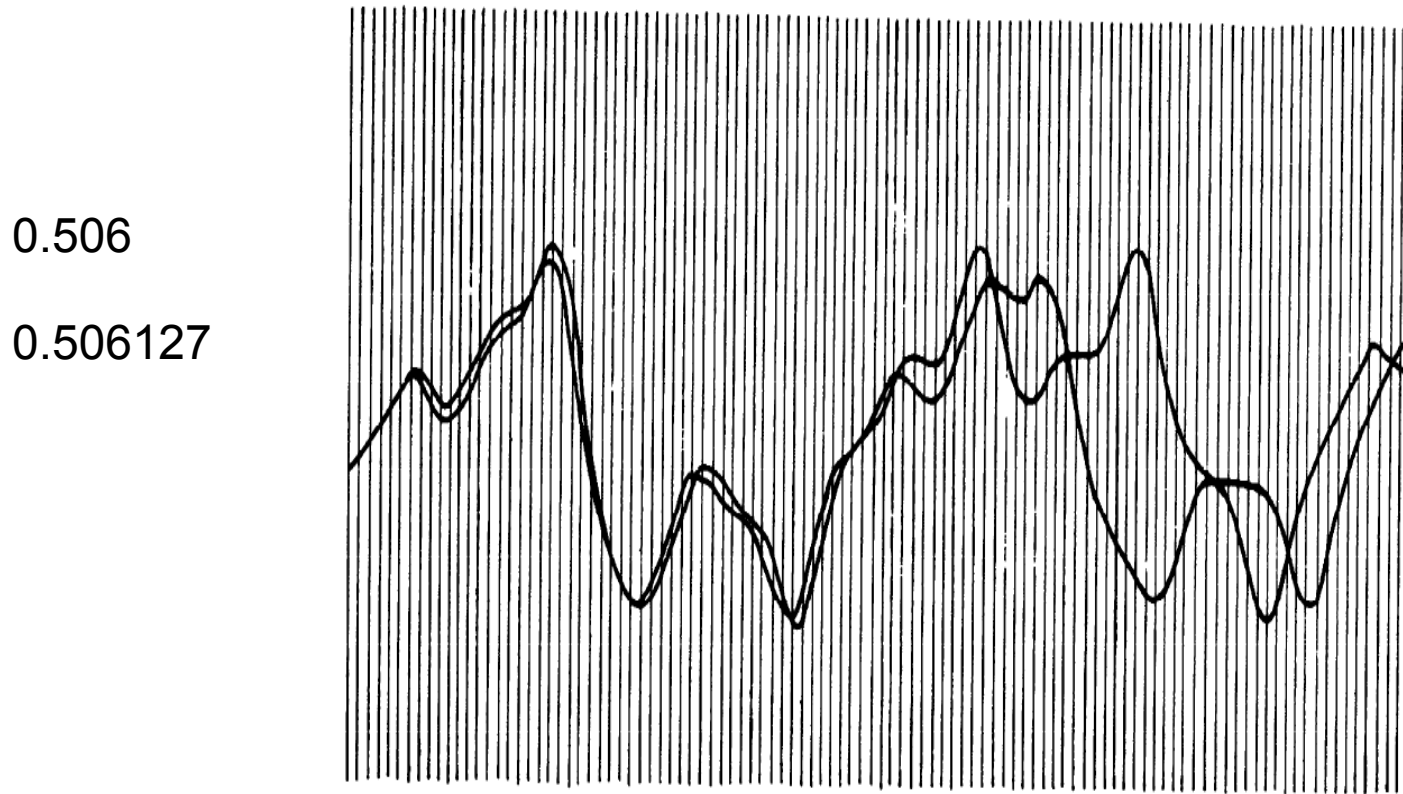
El efecto mariposa

0.506
0.506127



Edward Norton Lorenz 1917-2008

El efecto mariposa

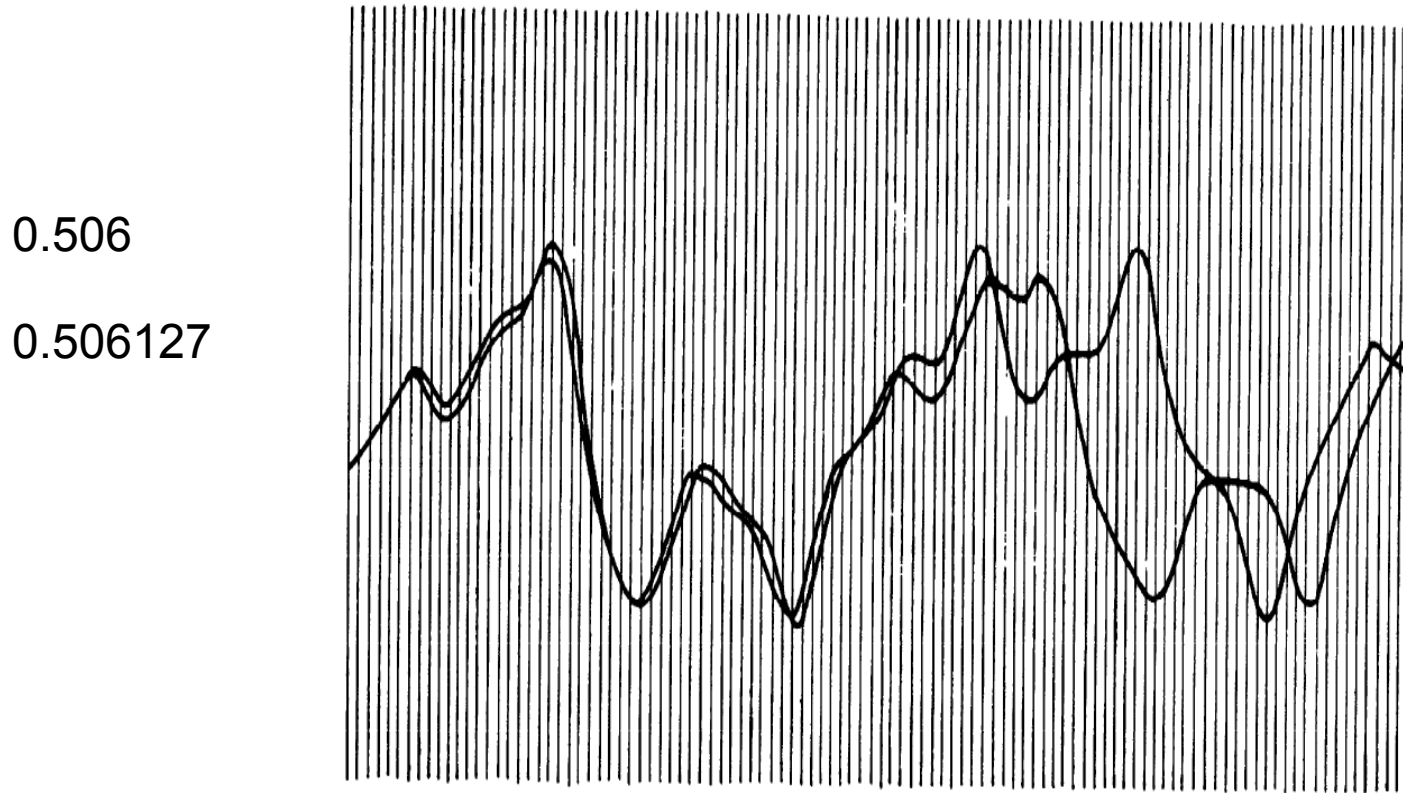


Edward Norton Lorenz 1917-2008

Extrema sensibilidad a las condiciones iniciales.

Los sistemas caóticos se vuelven impredecibles a partir de un cierto tiempo.

El efecto mariposa



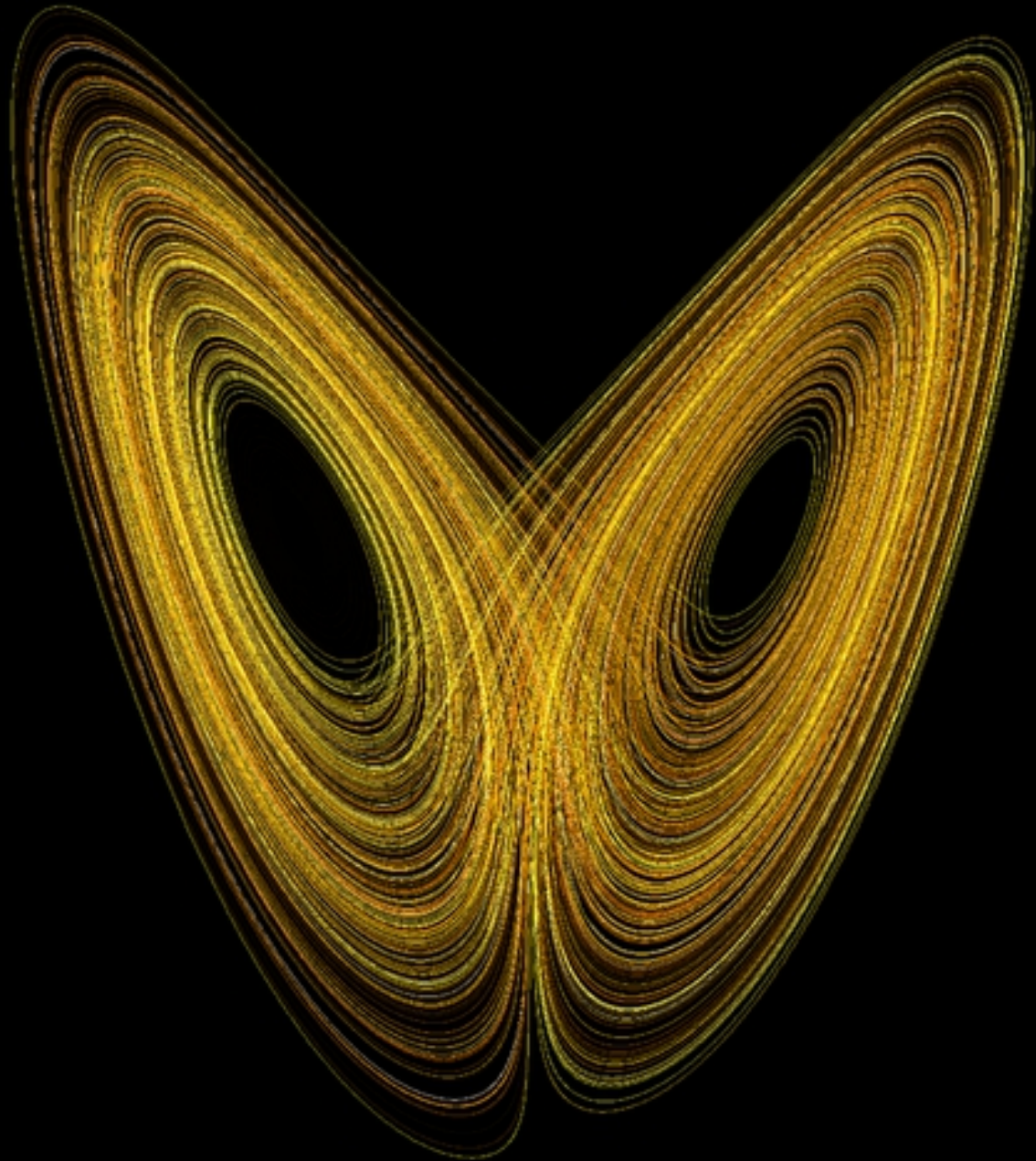
Edward Norton Lorenz 1917-2008

1963-2013
50 años de caos

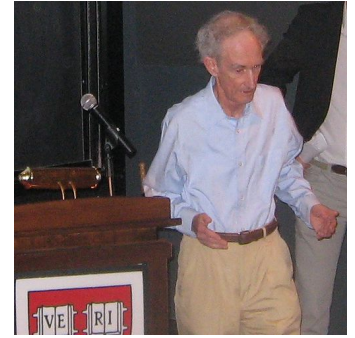
Extrema sensibilidad a las condiciones iniciales.

Los sistemas caóticos se vuelven impredecibles a partir de un cierto tiempo.

¿Puede una mariposa aleteando en Brasil provocar un tornado en Texas?



Mapa logístico

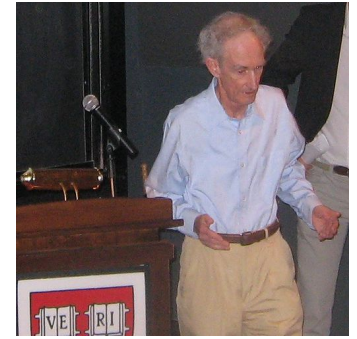


Bob May (1938 -

Población año siguiente = ritmo de crecimiento x Población actual x (1 – Población actual)

1 = Población máxima que admite el ecosistema

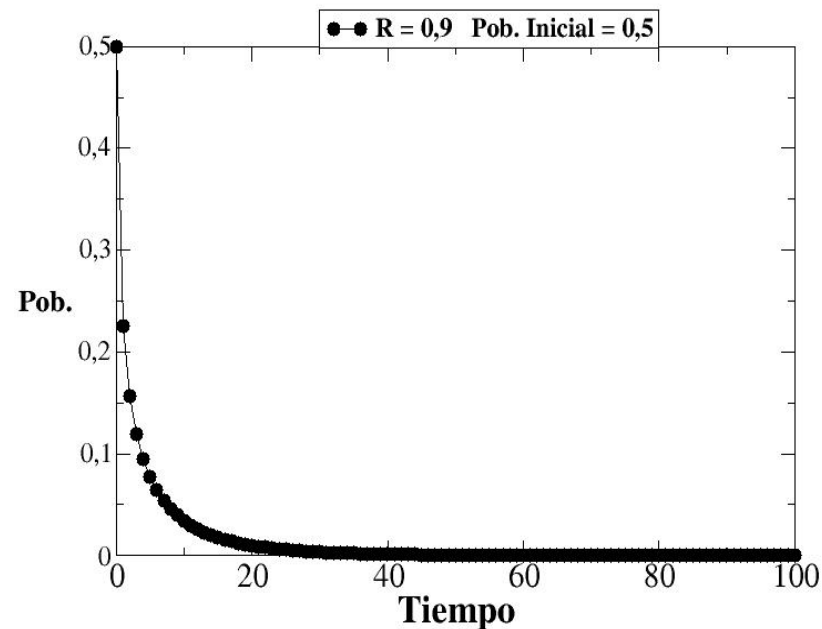
Mapa logístico



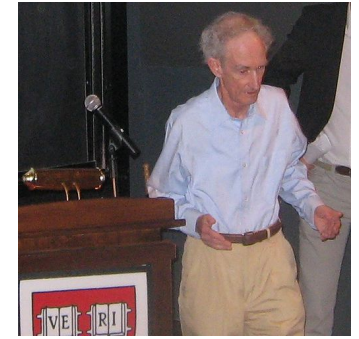
Bob May (1938 -

Población año siguiente = ritmo de crecimiento \times Población actual \times (1 – Población actual)

1 = Población máxima que admite el ecosistema



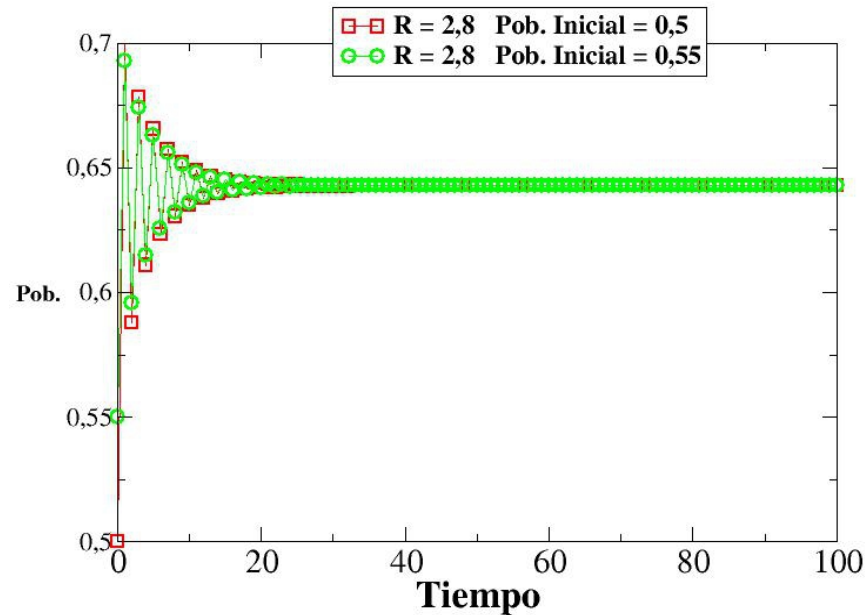
Mapa logístico



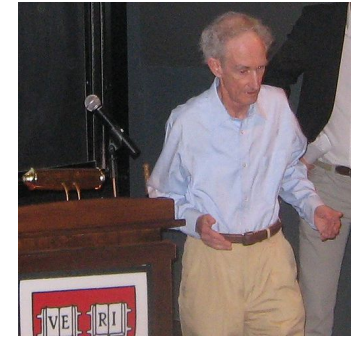
Bob May (1938 -

Población año siguiente = ritmo de crecimiento \times Población actual \times (1 – Población actual)

1 = Población máxima que admite el ecosistema



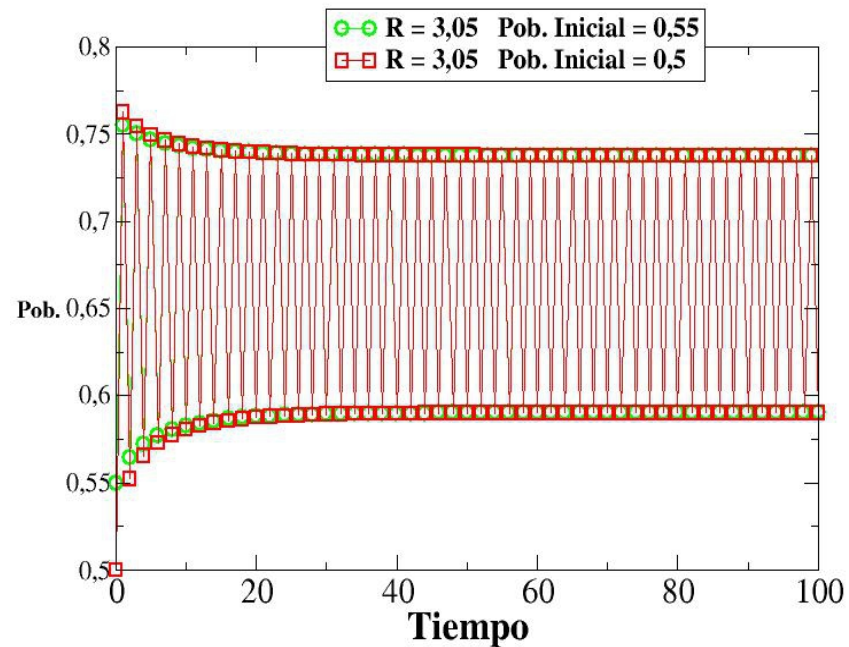
Mapa logístico



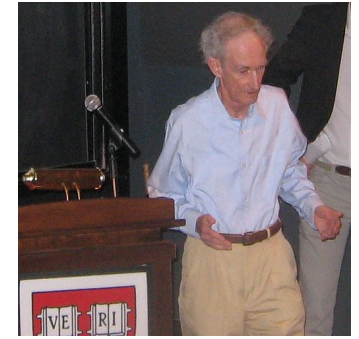
Bob May (1938 -

Población año siguiente = ritmo de crecimiento \times Población actual \times (1 – Población actual)

1 = Población máxima que admite el ecosistema



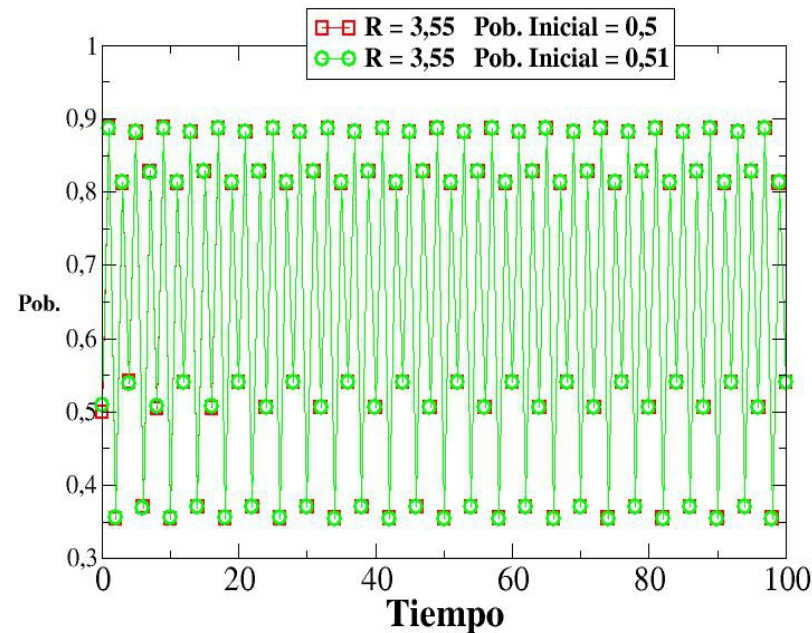
Mapa logístico



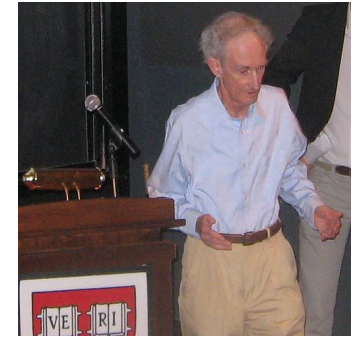
Bob May (1938 -

Población año siguiente = ritmo de crecimiento \times Población actual \times (1 – Población actual)

1 = Población máxima que admite el ecosistema



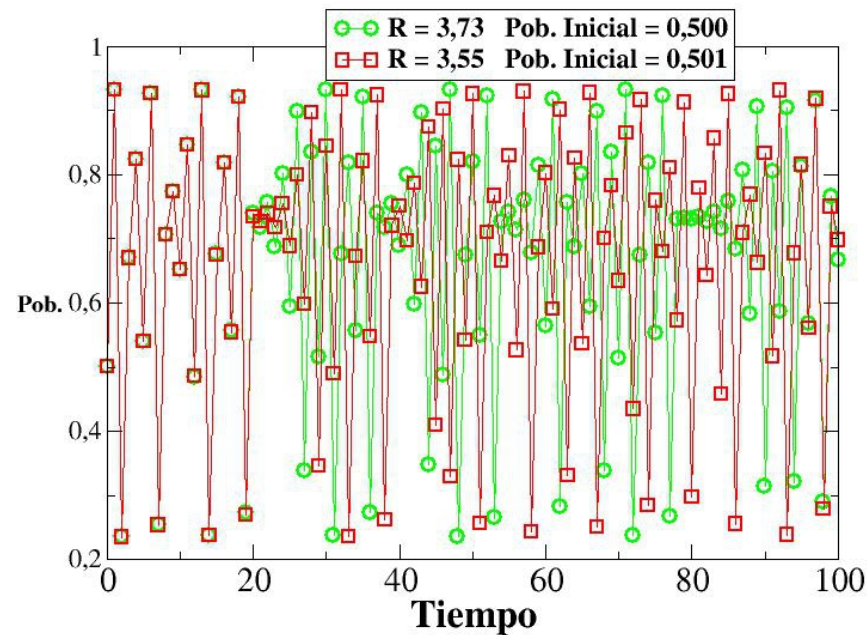
Mapa logístico

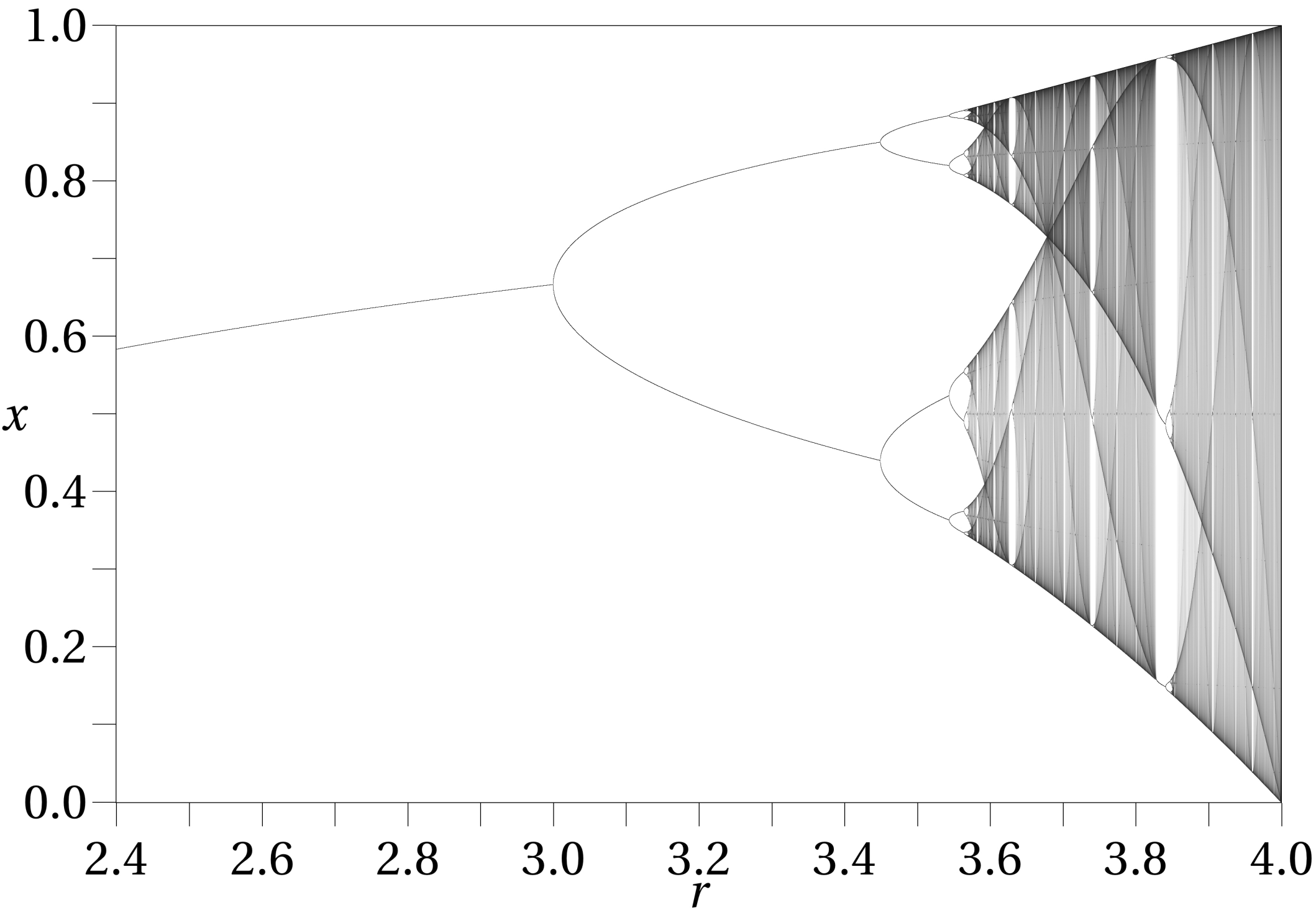


Bob May (1938 -

Población año siguiente = ritmo de crecimiento \times Población actual \times (1 – Población actual)

1 = Población máxima que admite el ecosistema





Fractales



Benoît Mandelbrot (1928-2010)

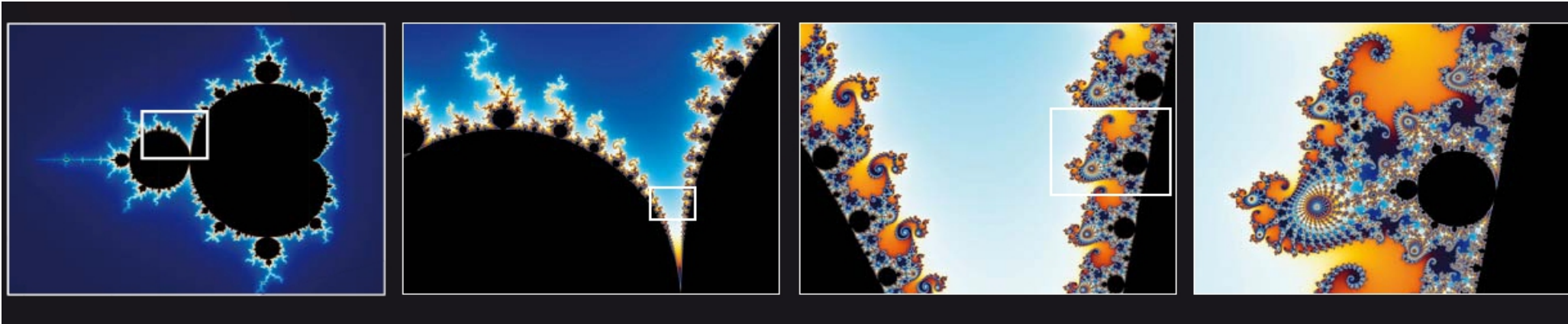


Fractales



Benoît Mandelbrot (1928-2010)

$$Z_{n+1} = Z_n + C$$

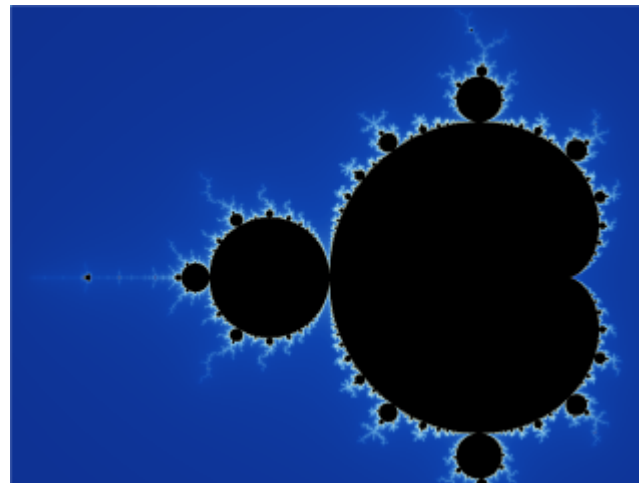
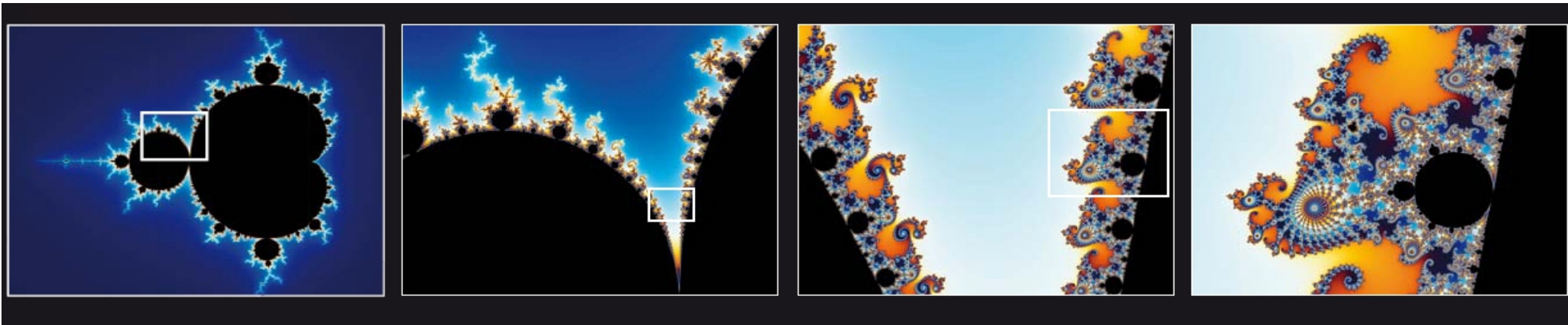


Fractales

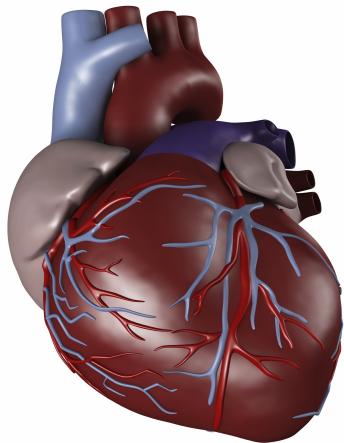


Benoît Mandelbrot (1928-2010)

$$Z_{n+1} = Z_n + C$$



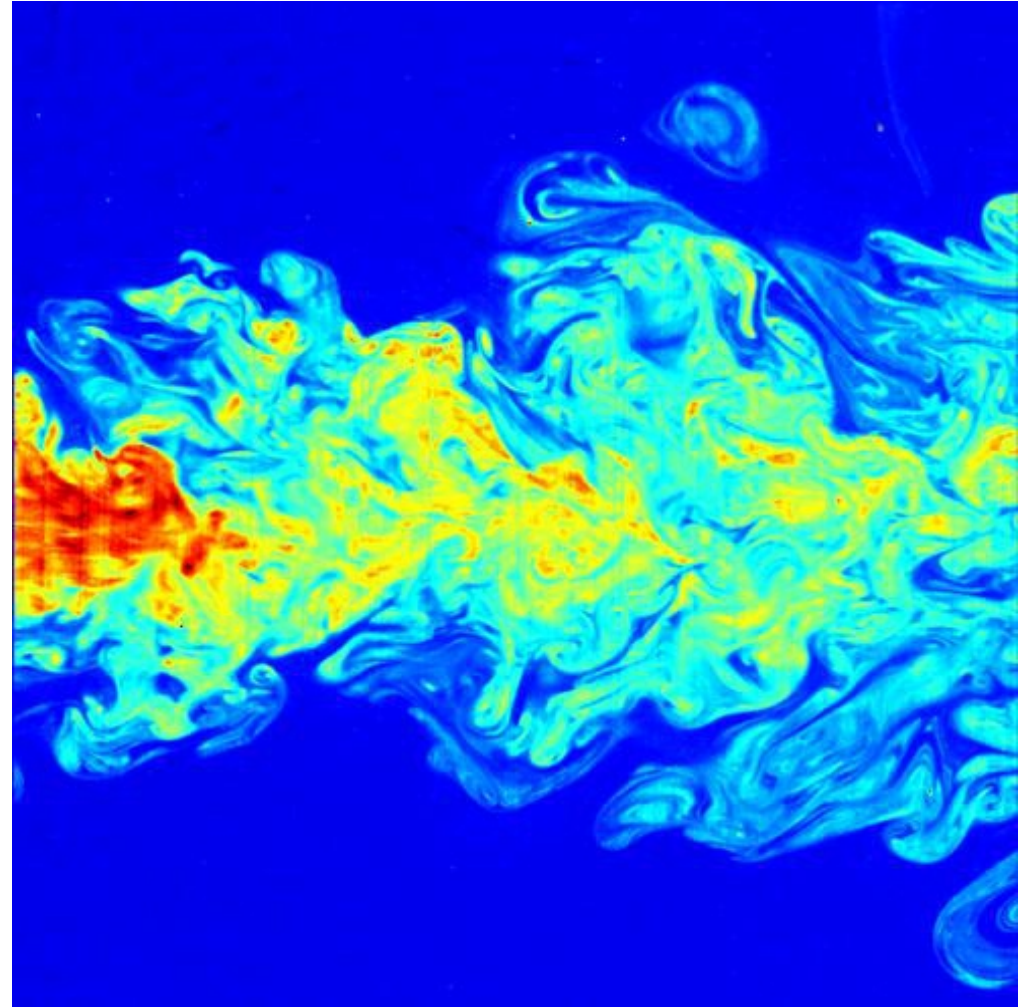
El caos aparece en muchos sitios



Turbulencia: una frontera para la ciencia



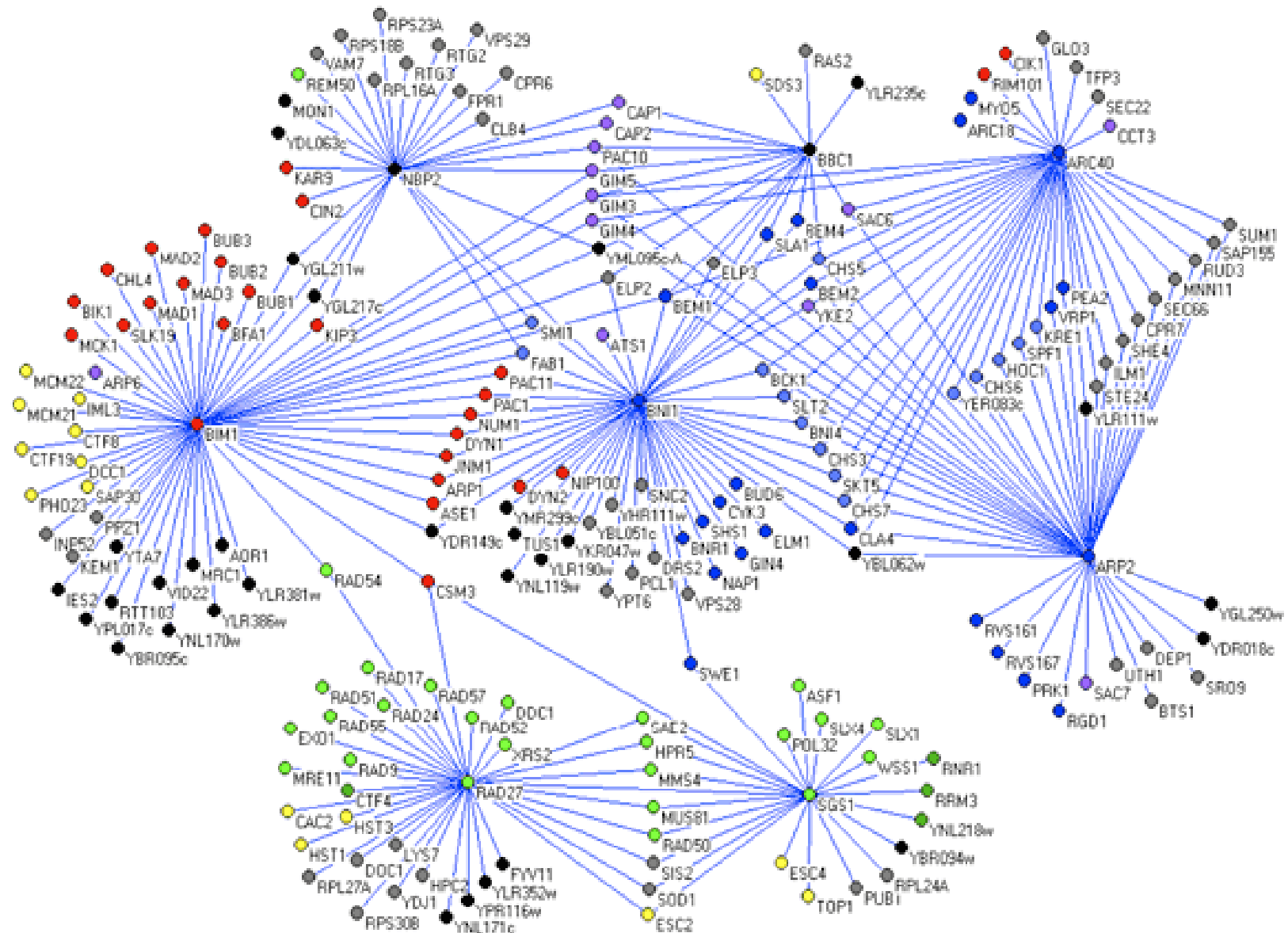
Turbulencia: una frontera para la ciencia



La vida: entre el orden y el caos

- Un sistema demasiado ordenado no puede responder adecuadamente a cambios ambientales.
- Un sistema caótico es demasiado impredecible y desordenado.
- Los seres vivos entendidos como sistemas dinámicos suelen presentar comportamientos entre el orden y el caos.
- En la frontera entre el orden y el caos se maximiza la capacidad para adaptarse.

redes de regulación genética



Conclusiones

- Caótico no es lo mismo que aleatorio.
- Determinista no es lo mismo que predecible.

Conclusiones

- Caótico no es lo mismo que aleatorio.
- Determinista no es lo mismo que predecible.
- Sistemas sencillos pueden tener comportamientos muy complicados e impredecibles.

Conclusiones

- Caótico no es lo mismo que aleatorio.
- Determinista no es lo mismo que predecible.
- Sistemas sencillos pueden tener comportamientos muy complicados e impredecibles.

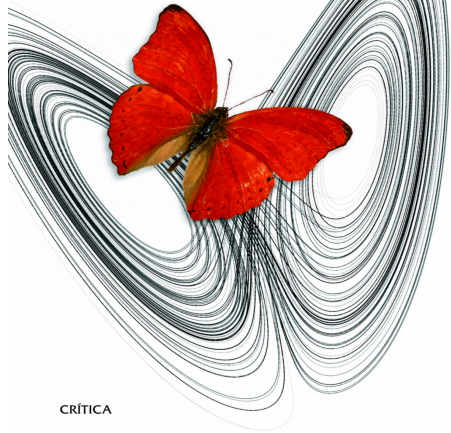
- Aún así, el caos tiene unas leyes que empezamos a comprender.
- Estas leyes matemáticas se aplican a multitud de sistemas diferentes en múltiples áreas del conocimiento humano y han cambiado nuestra forma de comprender el mundo.

DRAKONTOS

James Gleick

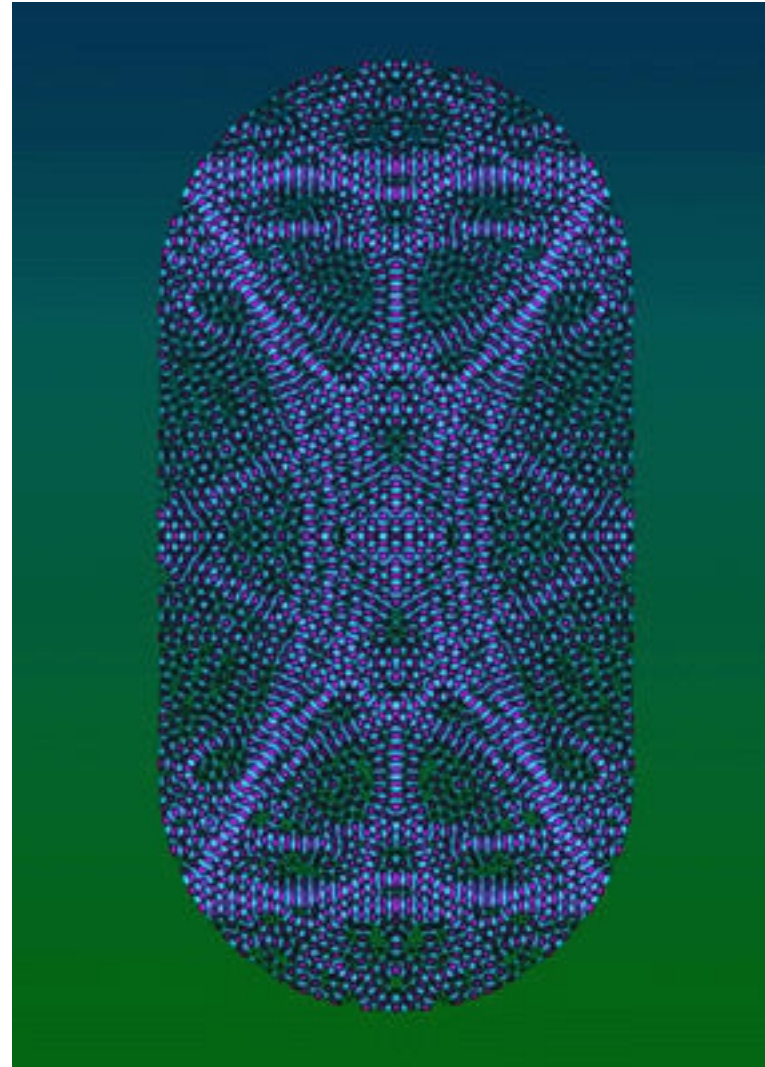
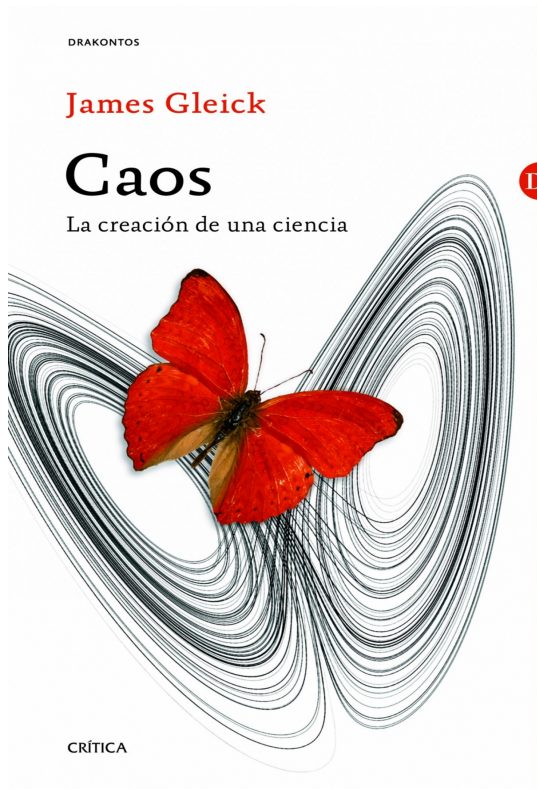
Caos

La creación de una ciencia

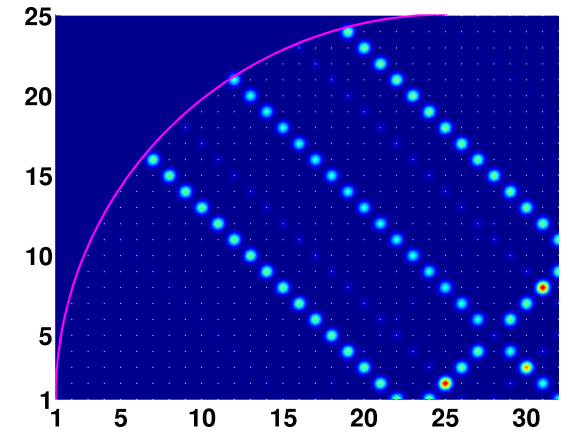


DK

CRÍTICA



E. Heller



V. Fernández-Hurtado *et al.*