



Dr. Fernando Ramírez Alatraste  
Maestría en Dinámica No Lineal  
y Sistemas Complejos  
Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México  
[fernando.ramirez@uacm.edu.mx](mailto:fernando.ramirez@uacm.edu.mx)

# ¿QUÉ SON LOS SISTEMAS COMPLEJOS?

14 de Junio 2012

Seminario Universidad de Colima

# Índice

- Introducción
- Sistemas Complejos
- Ejemplos
- Herramientas
- Simulaciones
- Conclusiones

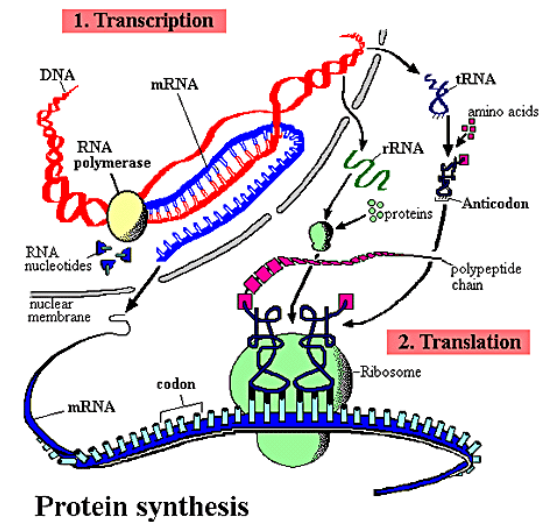
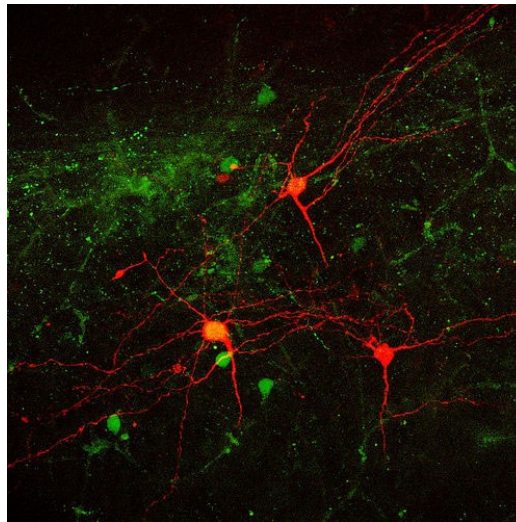
# Introducción

□ La palabra “**complejidad**” se ha vuelto común en las últimas décadas.



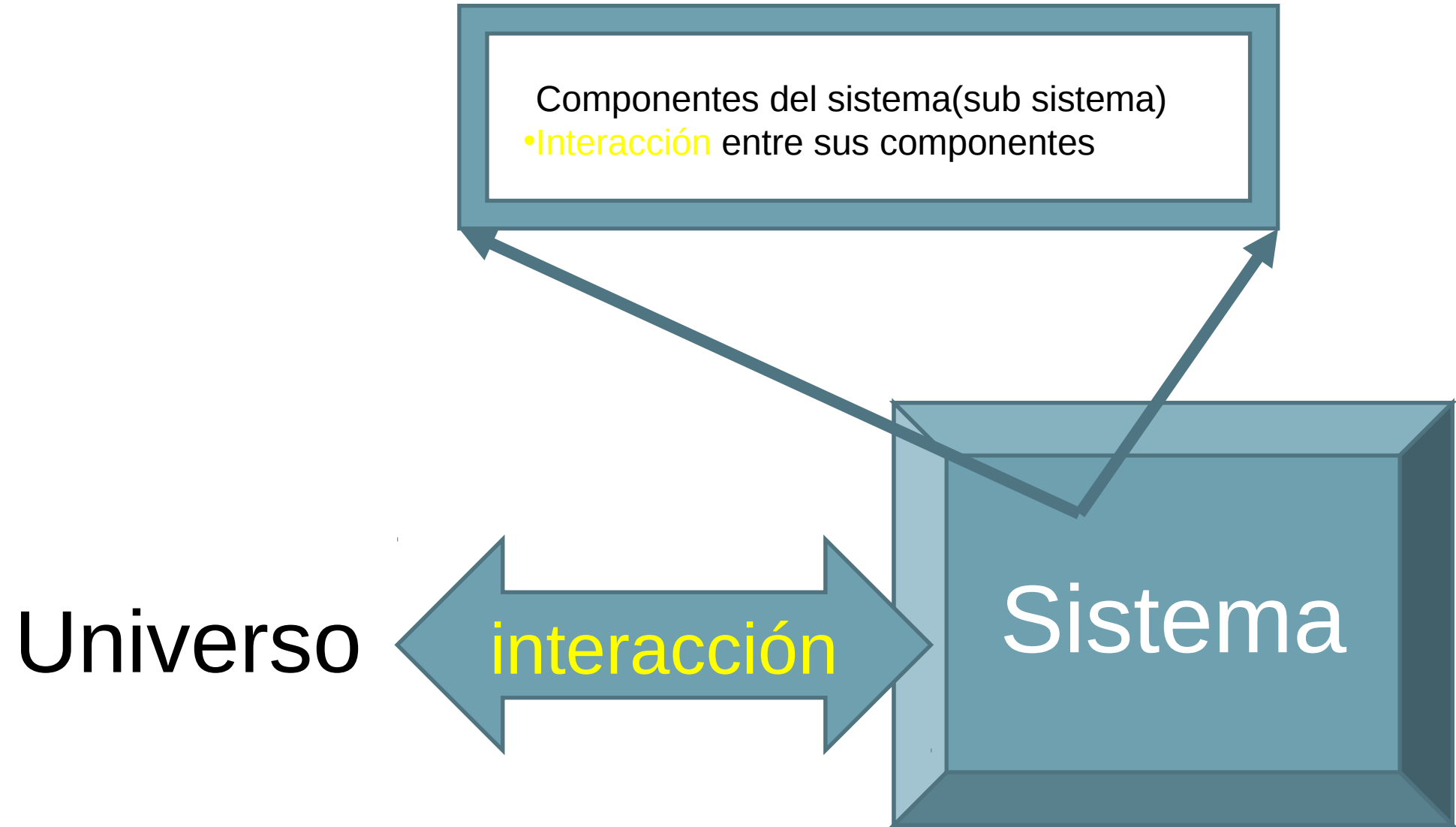
Estructura Compleja

Red Compleja



Proceso Complejo

# Definiendo un Sistema (Termodinámica)



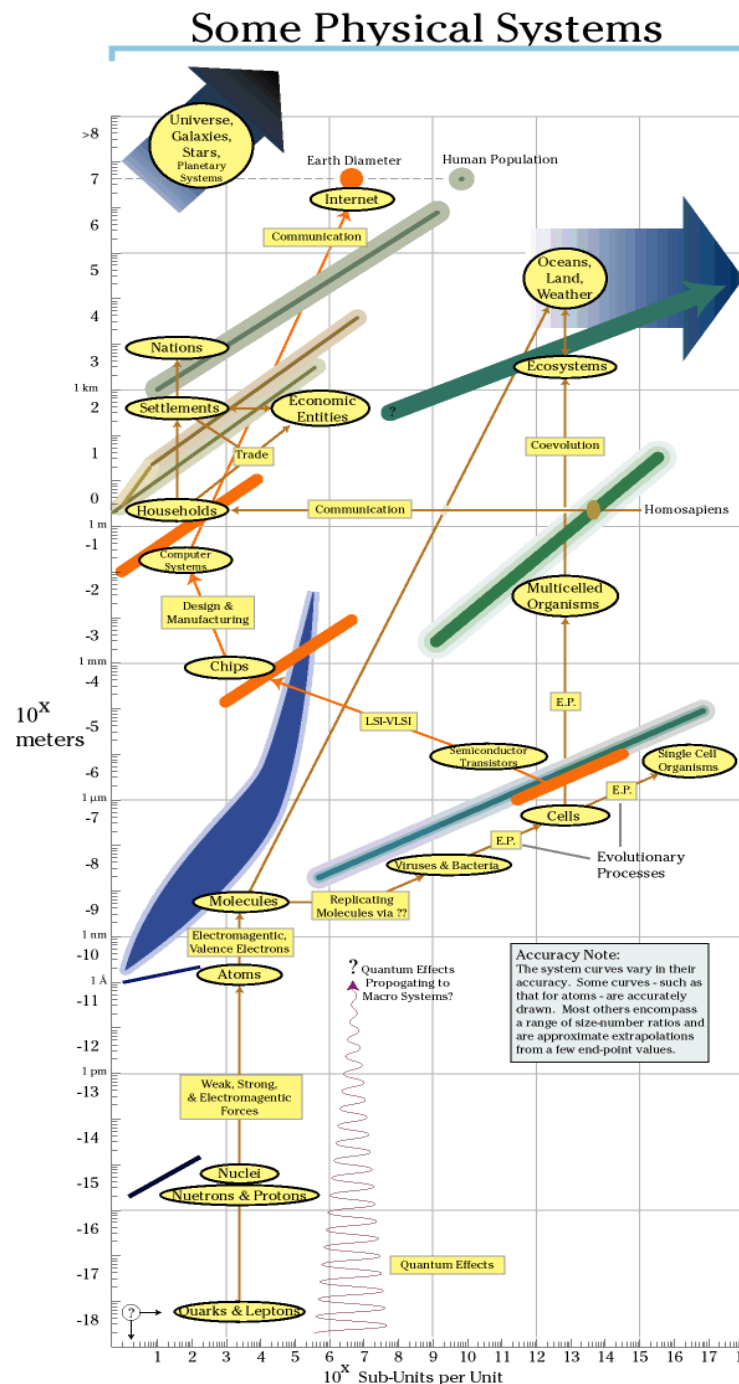
# La **interacción** es muy importante

- ¡El sistema **NO** es igual a la suma de sus partes!

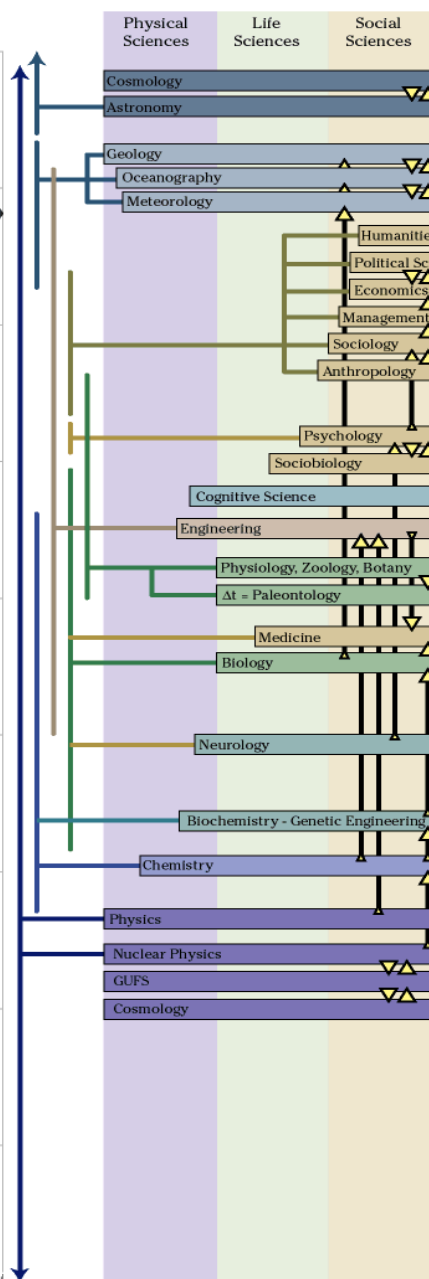




# Estudio de sistemas



## Some Systems of Human Knowledge



14 de Junio 2012

Seminario Universidad de Colima

Fuente:NECSI <http://www.necsi.edu/visual/systems.html>

# Estrategías para hacer ciencia: Reduccionismo

- En el siglo XX la estrategia del reduccionismo fue muy productiva



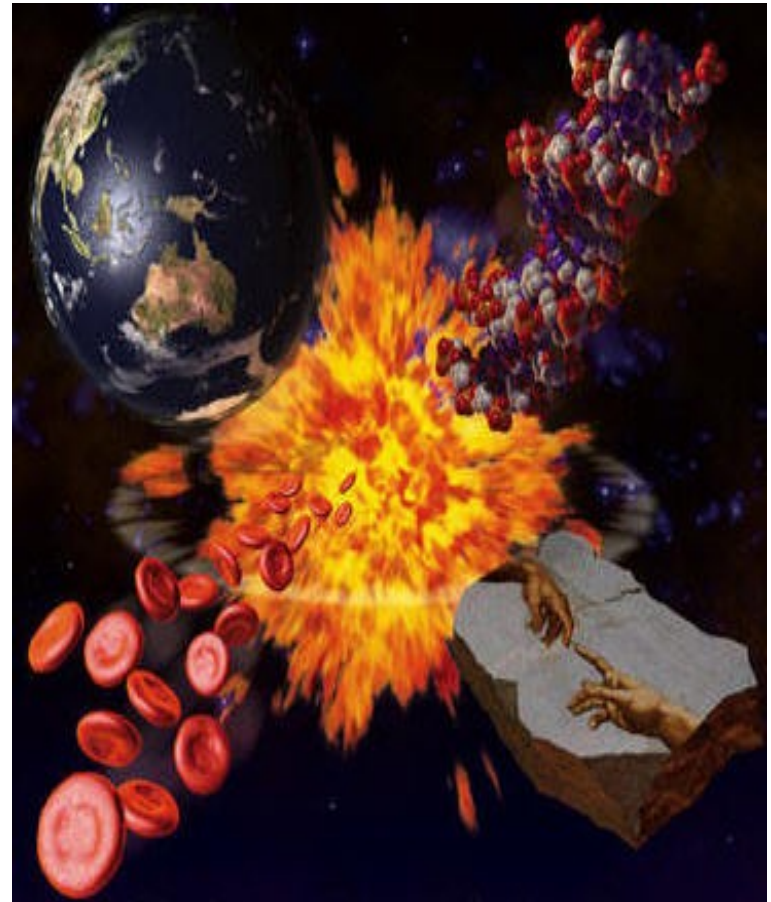
- El sistema es reducido a sus partes, y es suficiente para describir el sistema
- Funciona en muchos casos

PERO...





□ ¿Puede la física de partículas elementales, predecir la vida?



# Holismo – Sistema $\neq \sum$ partes

- Un concepto clave es:  
“propiedades emergentes”
- Propiedades del sistema emergen de las interacciones de sus partes



# Sistemas simples

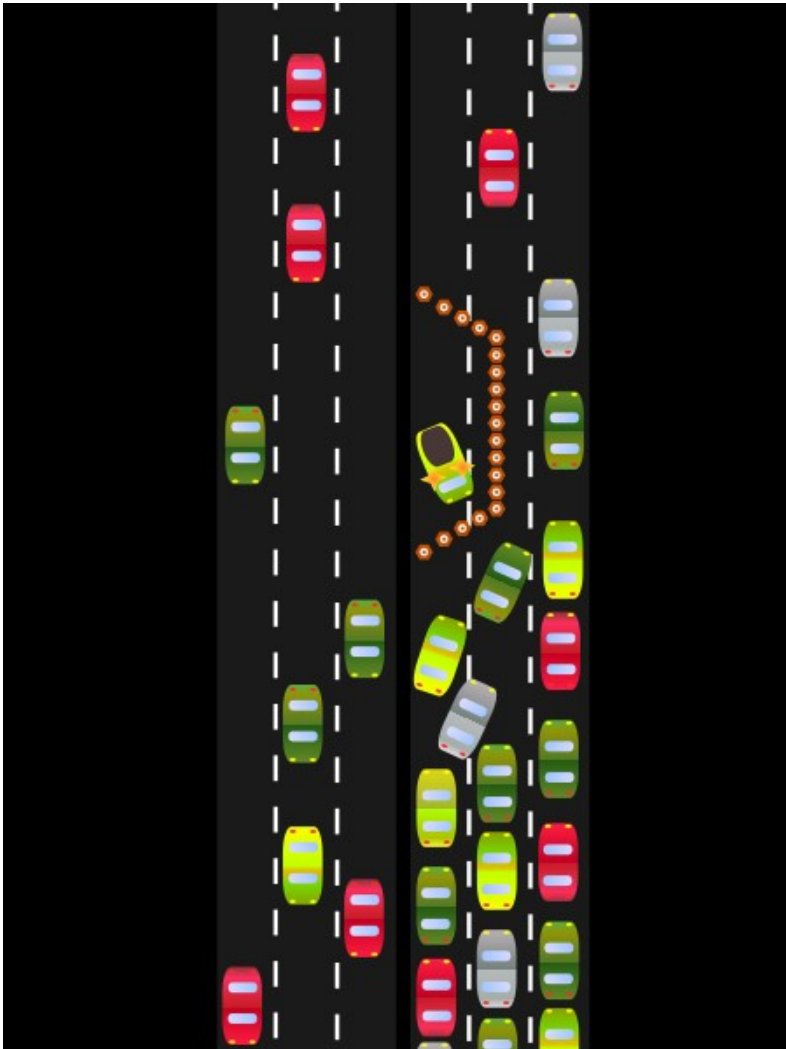
- Única causa → único efecto
- Un cambio pequeño en la causa → cambio pequeño en el efecto
- Predecible
- Estructuralmente estable

**McHUMOR.com** by T. McCracken



"Dear, could I suggest one small change for our next custom built tandem?"

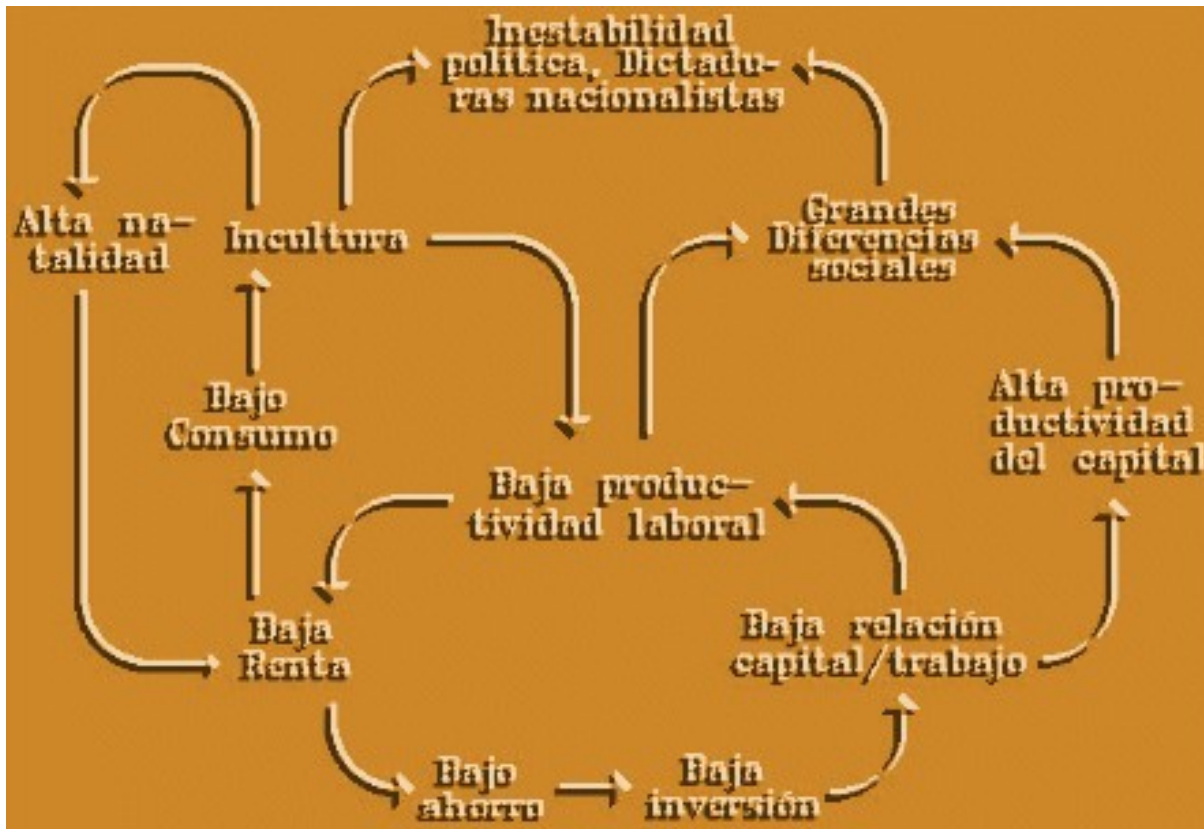
# Sistemas complejos



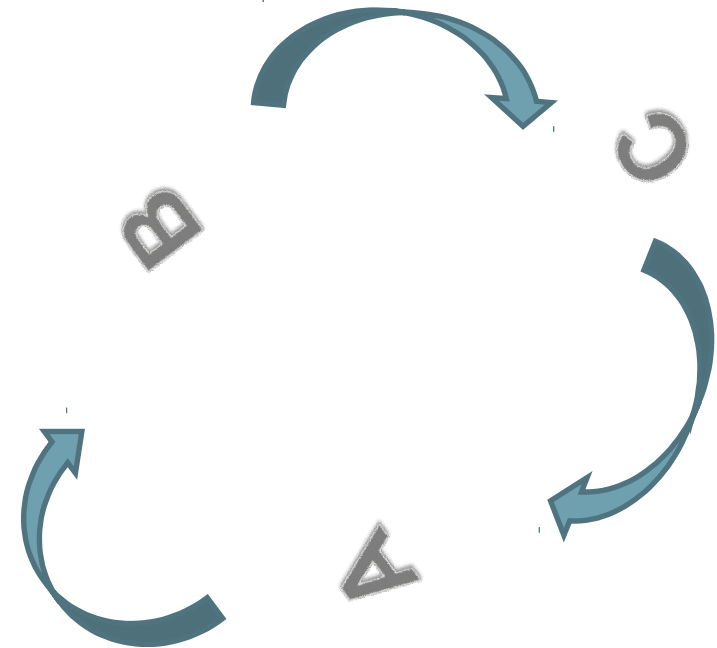
- No existe una definición de un sistema complejo
- Causalidad circular, circuitos de retro-alimentación
- Cambios pequeños en la causa puede implicar cambios drásticos
- No son predecibles
- Propiedades emergentes
- Auto-organización

# Causalidad Circular

No hay una clara  
diferenciación entre  
causa y efecto

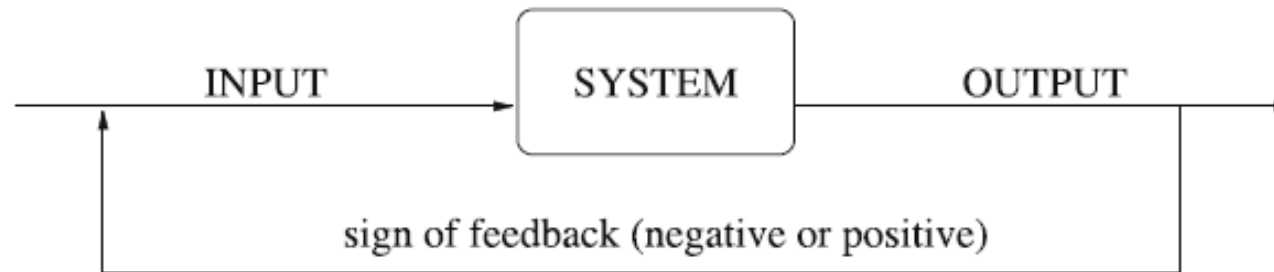


Circulo “vicioso”



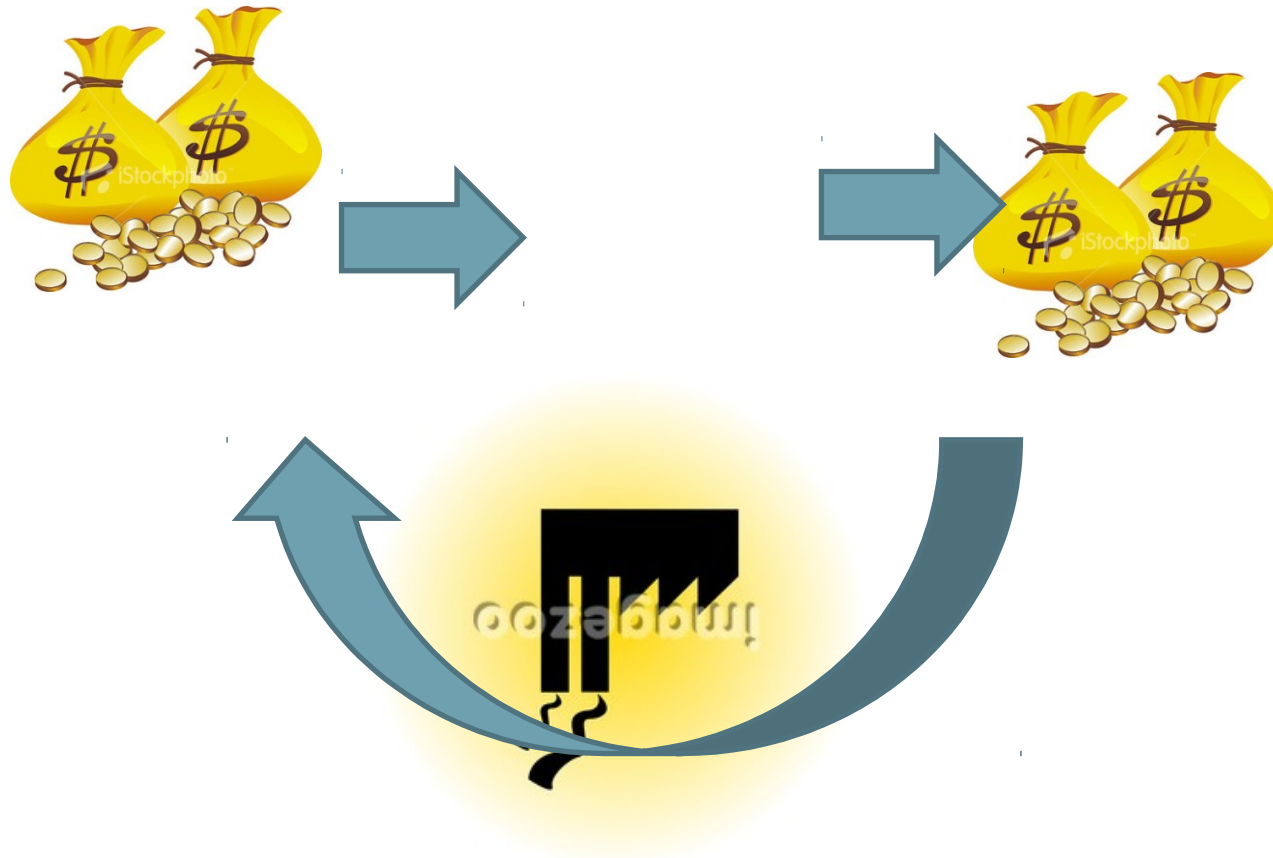


# Retro-alimentación



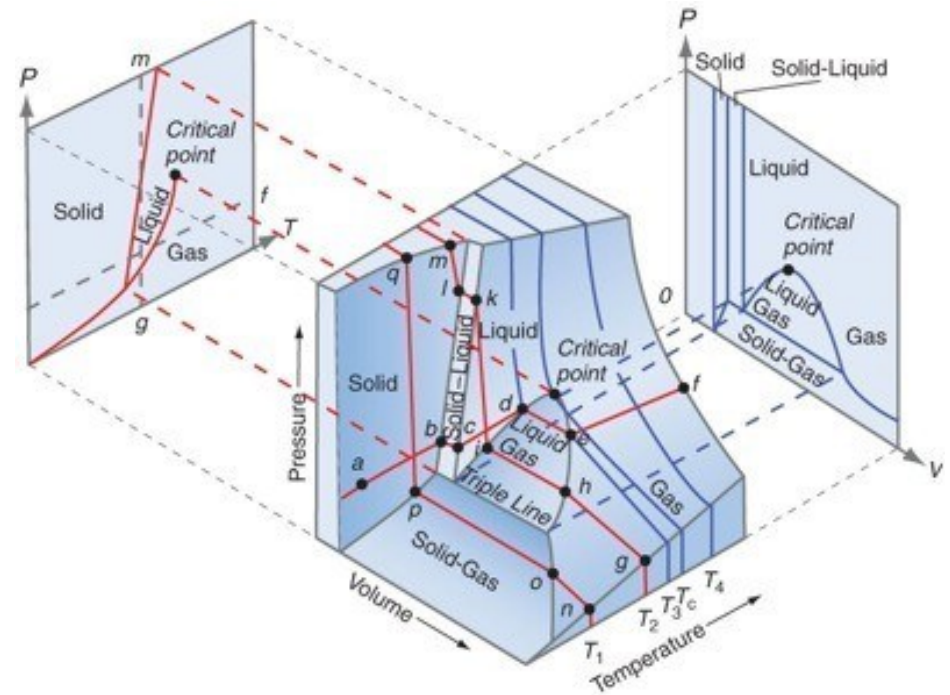
Negativa ➡ estabilizar el sistema  
Positiva ➡ incrementa la  
desviación del estado inicial

# Ejemplo de retro-alimentación Positiva



# Propiedades emergentes

- Muy común en física estadística
- Transiciones de fases
- Surgen de la interacción local de sus elementos
- Clases de universalidad: el comportamiento emergente es independiente de la base material (partículas, moléculas, células, personas, etc.), sólo depende de las interacciones



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

# Ejemplos de sistemas complejos

- Física: sistemas fuera del equilibrio, formación de patrones, etc.
- Biocomplejidad: Morfogénesis, redes de proteínas, cadenas tróficas, etc.
- Socio-física, sociocomplejidad: elecciones, tránsito, normas, corrupción, etc.

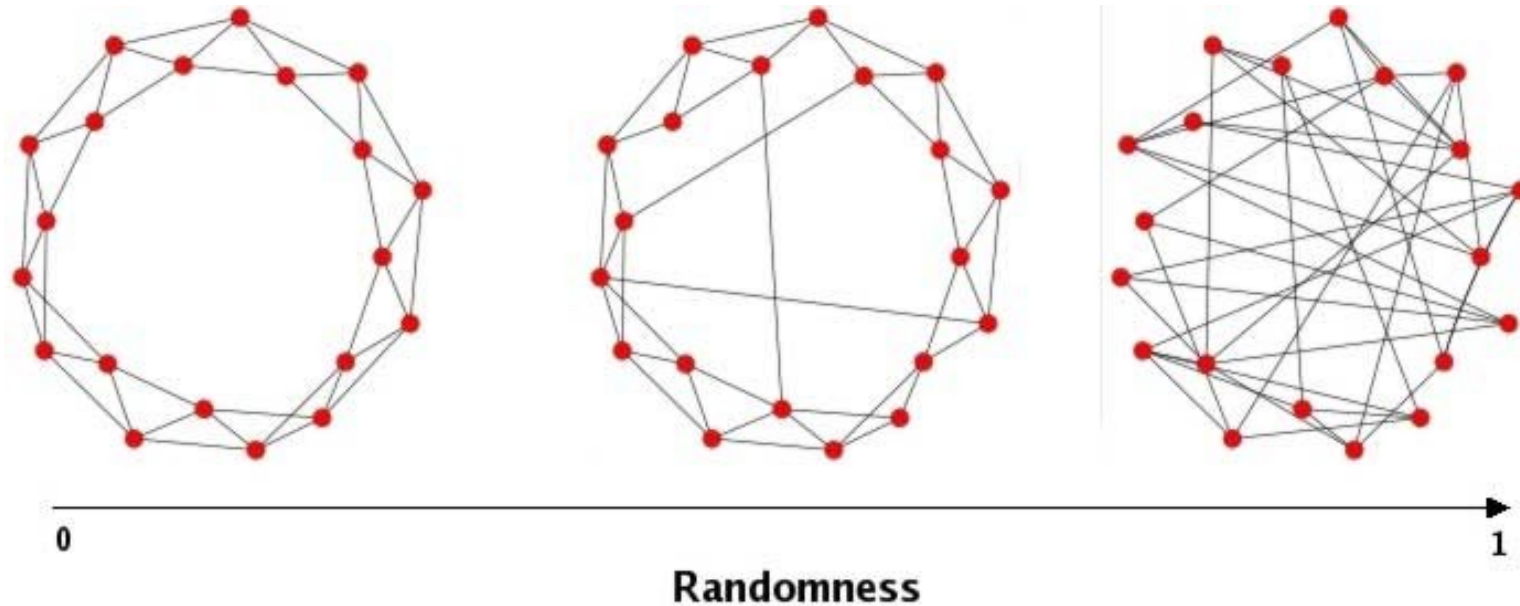


# Herramientas para el estudio de los Sistemas Complejos

- Dinámica no Lineal: ecuaciones diferenciales/en diferencia no lineales (bifurcaciones, caos, etc.)
- Redes complejas
- Autómatas celulares
- Modelación basada en agentes
- Fractales



# Redes complejas

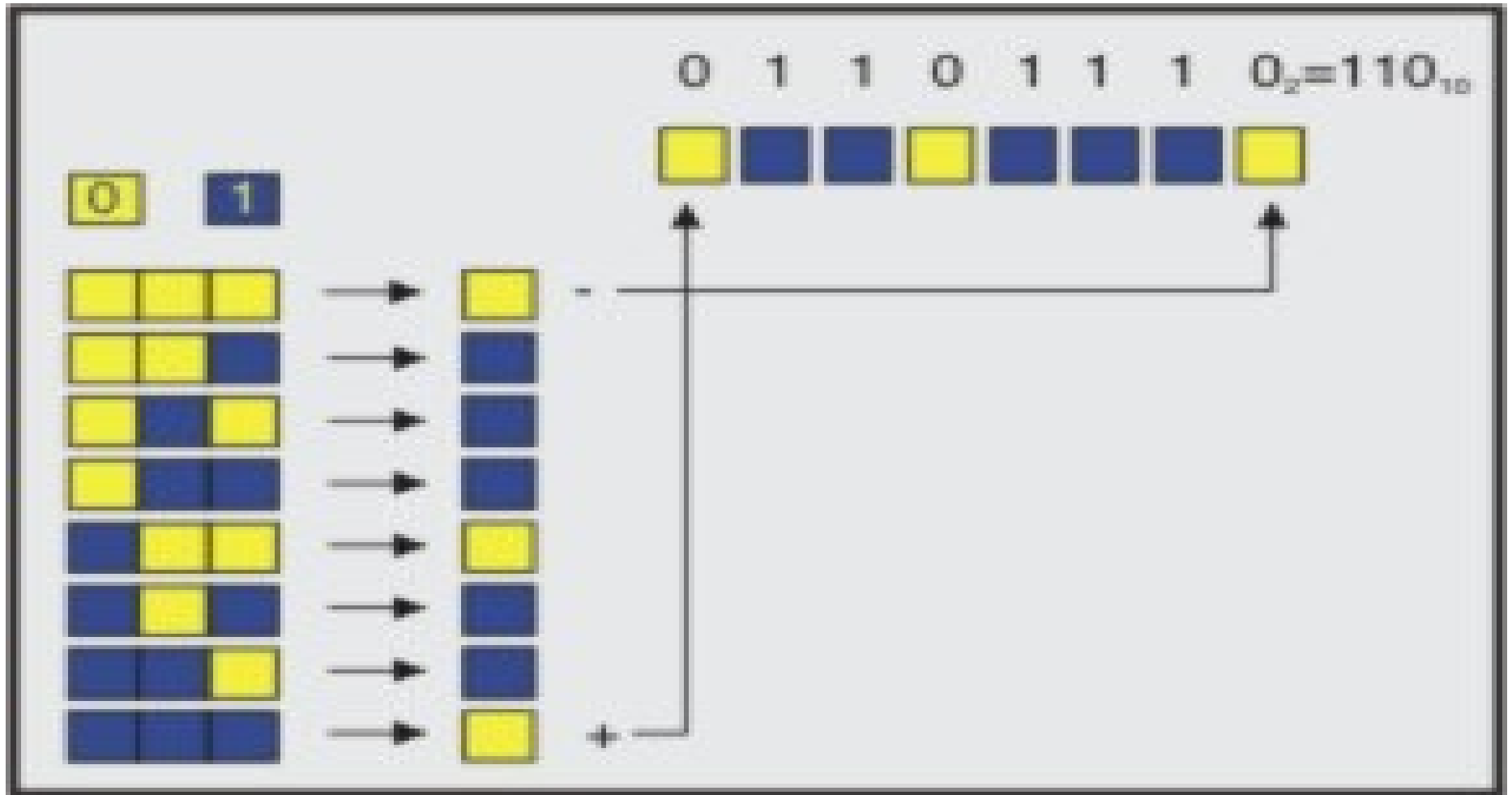


- Aplicaciones en Biología: cadenas alimenticias, cascada de proteínas
- Aplicaciones en la Industria: Redes de distribución y producción
- Aplicaciones a sociología: Redes de influencia (votación), amistad

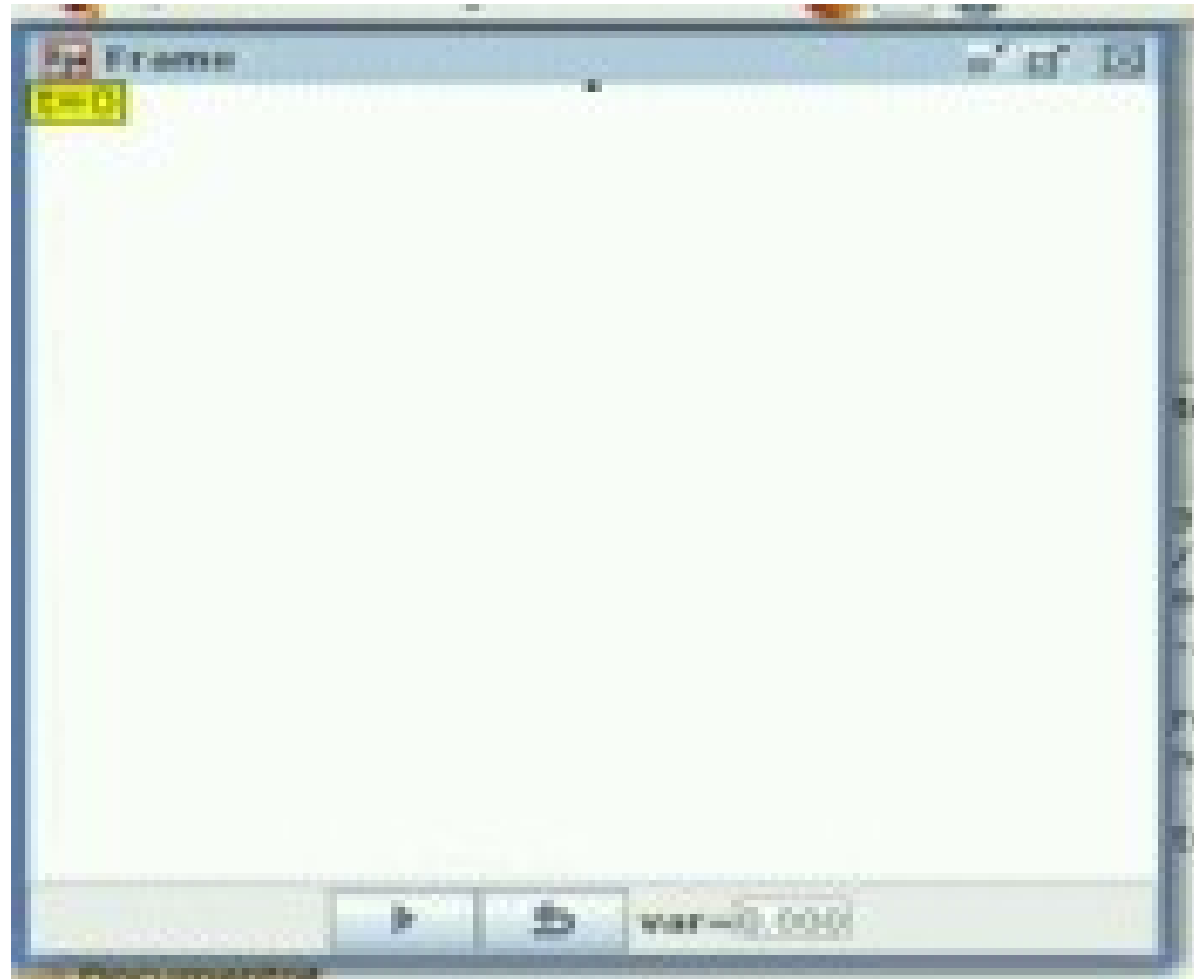
# Formas de hacer ciencia

- Deductiva : Ecuaciones diferenciales, en diferencia, postular comportamientos y deducir dinámicas
- Inductiva: Experimentación-estadística, el sistema es una caja negra y se inducen comportamientos a partir del análisis estadístico de los datos experimentales
- Intuitiva: Autómatas celulares, Modelado basado en Agentes(computadora), es una forma híbrida entre deductiva e inductiva, se postulan interacciones locales y se analizan los datos estadísticamente para encontrar patrones emergentes

- Ejemplo: regla 110



# Autómata Celular regla 110



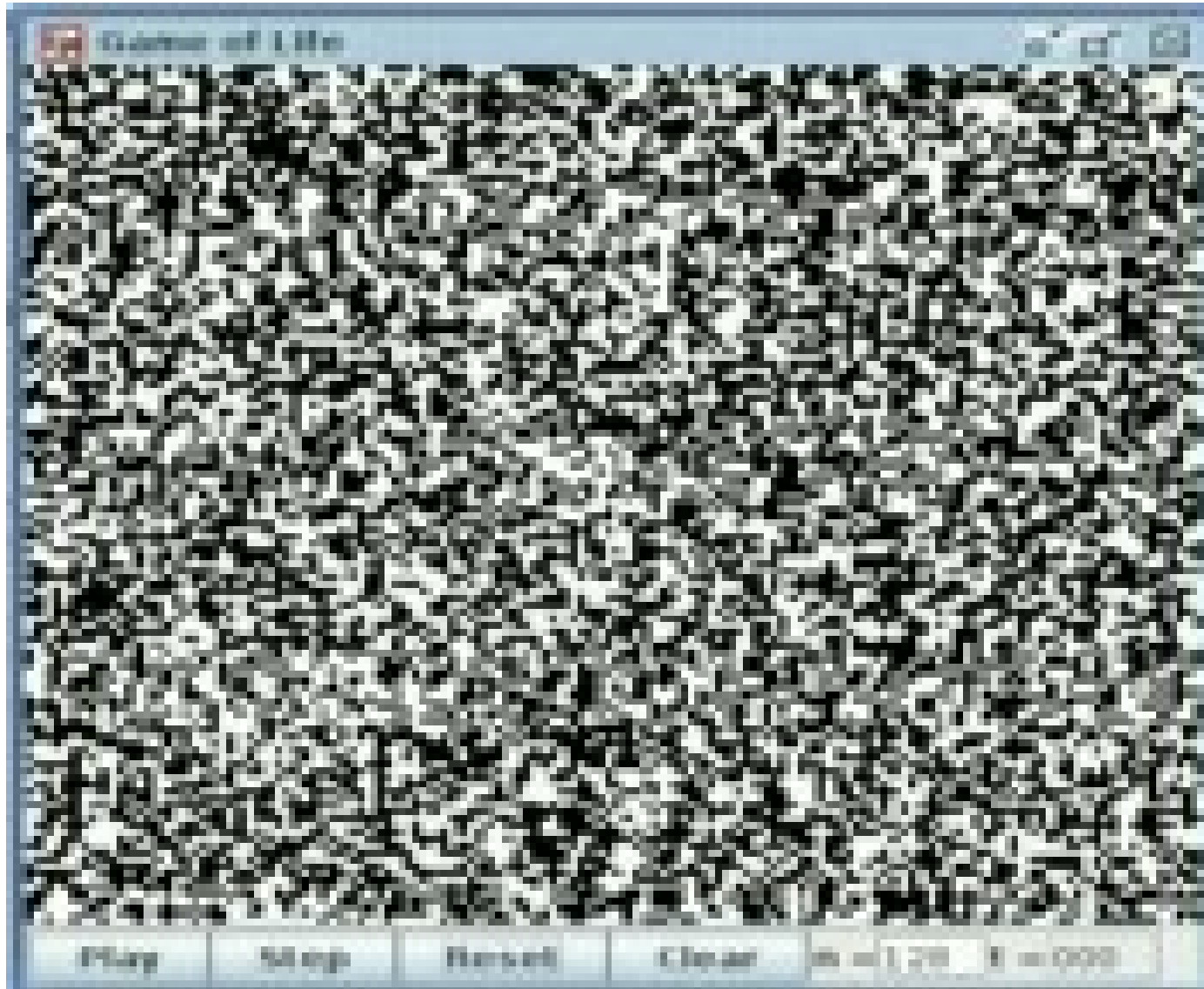
# Formación de Patrones

- Ecuaciones diferenciales parciales no lineales: Reacción difusión
- Autómatas celulares
- Reacción de Belousov-Zhabotinsky
- Formación de patrones en pieles de animales

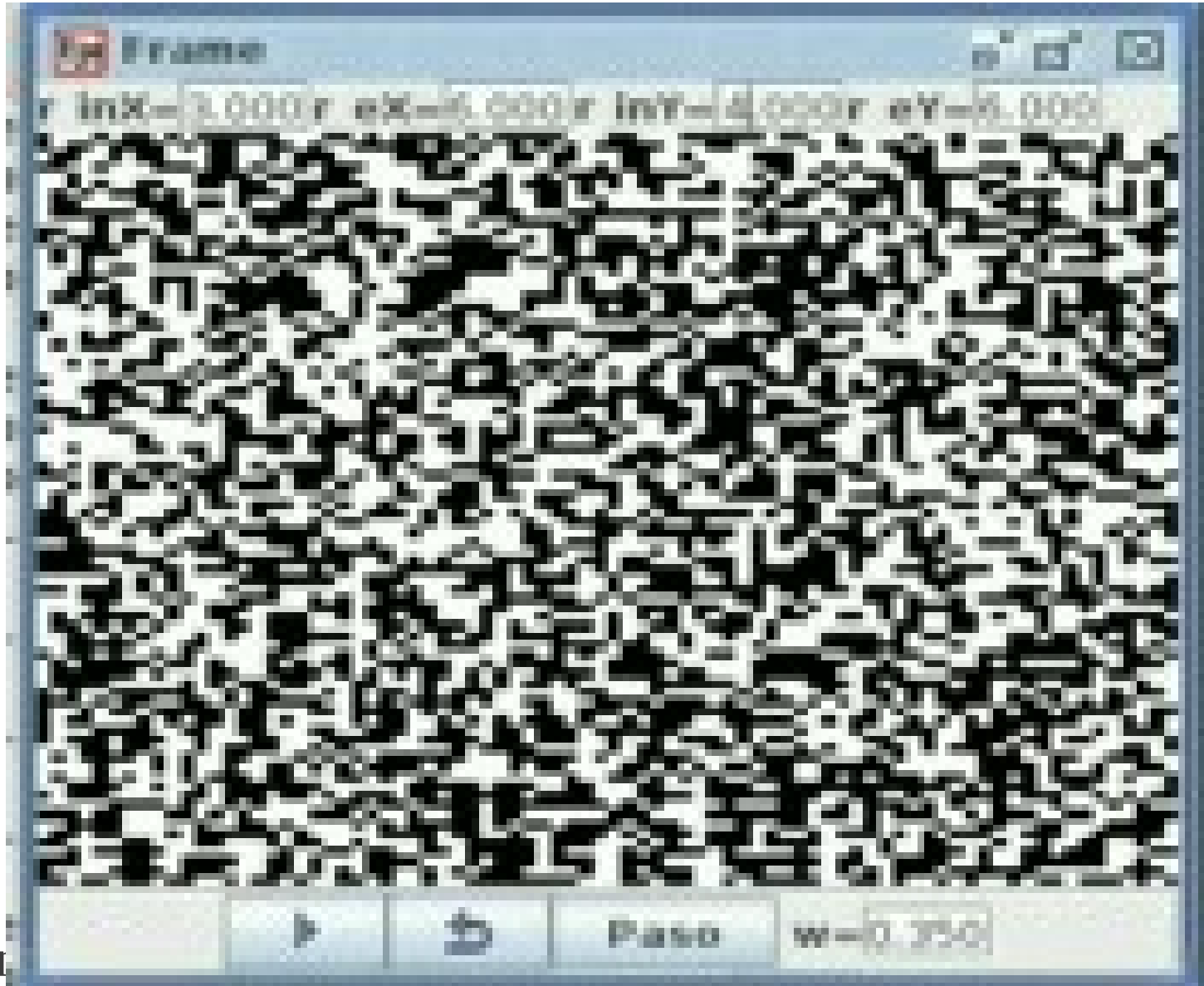




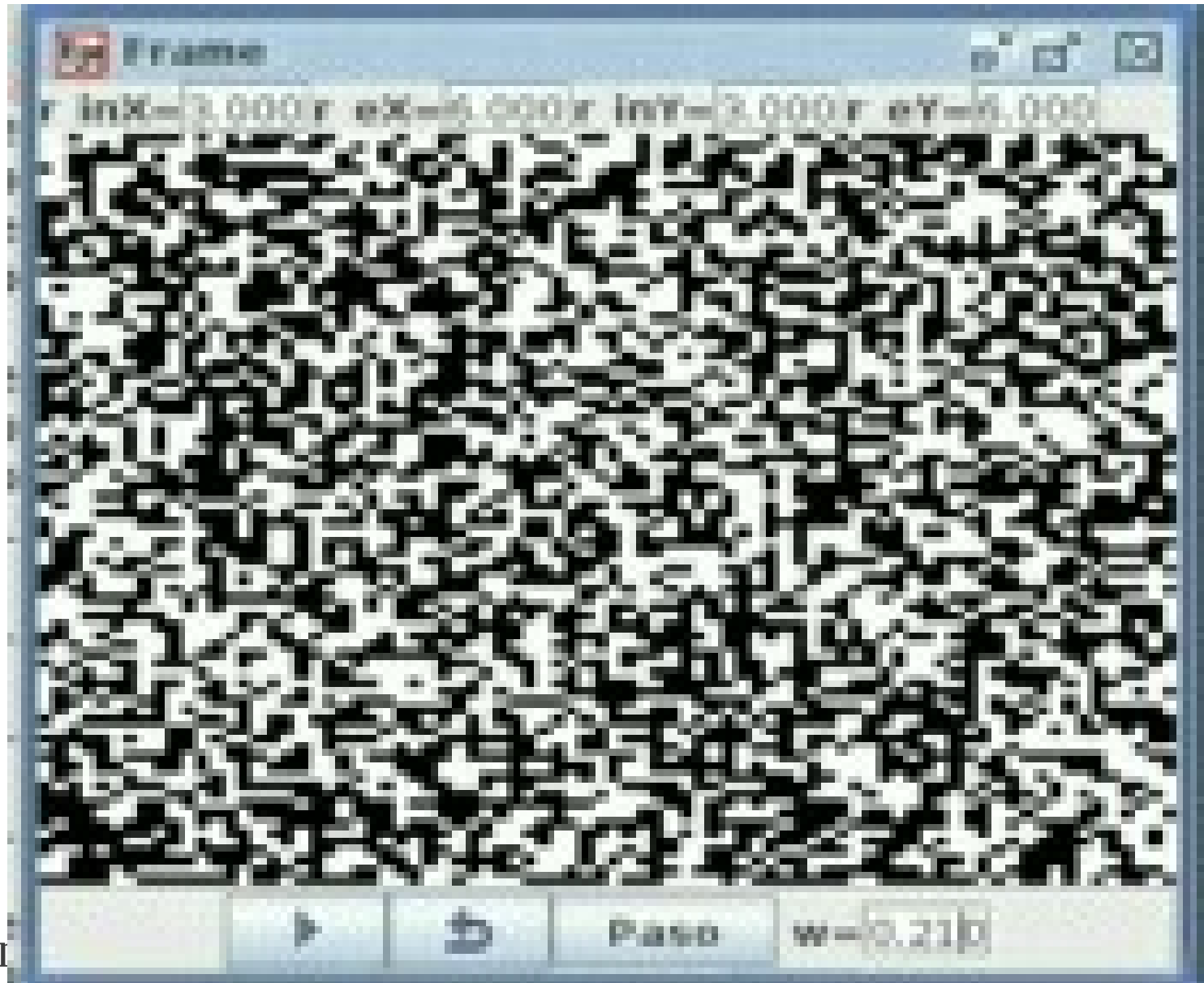
# Autómata Celular: Juego de la Vida



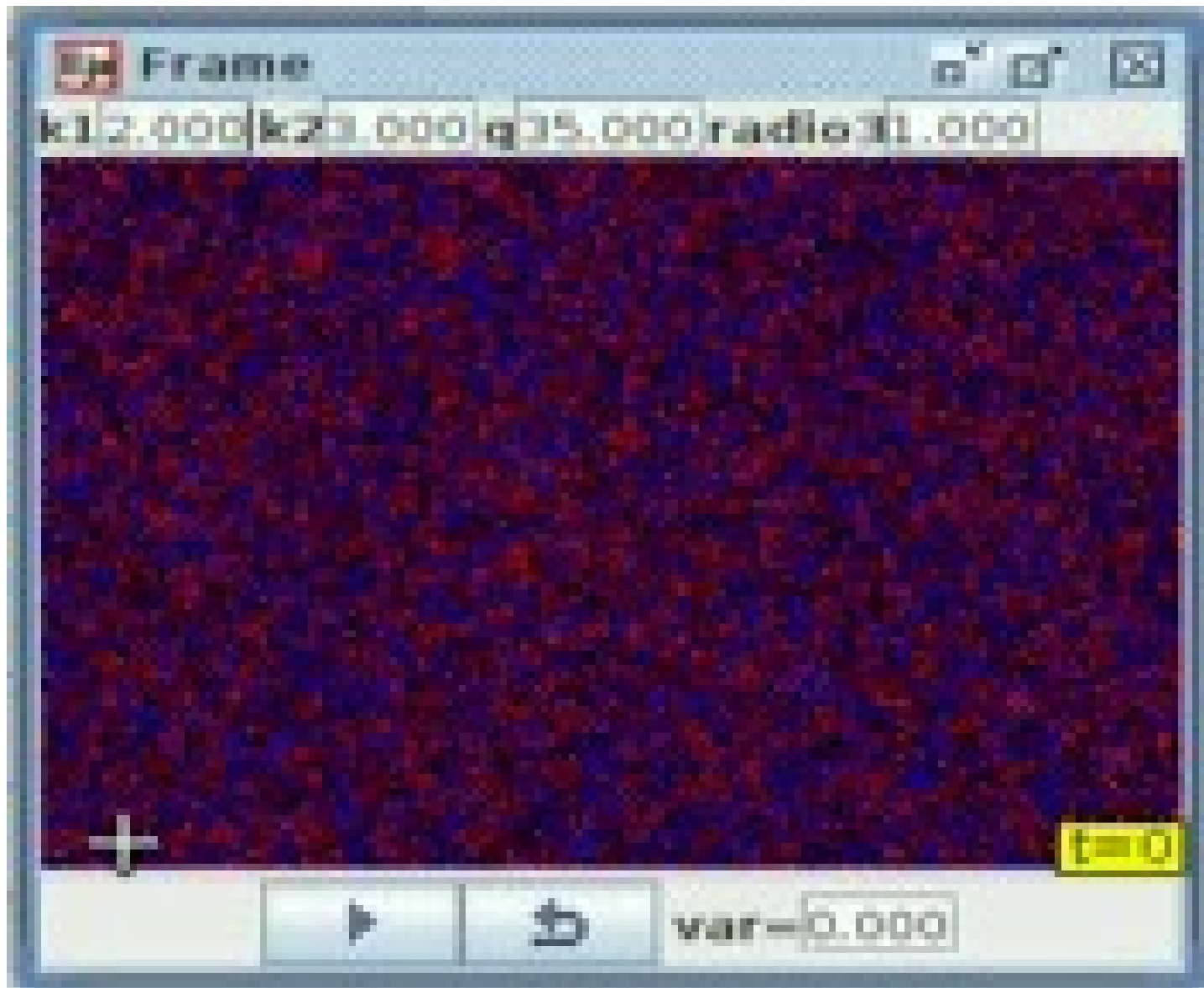
# Formación de patrones Cebra



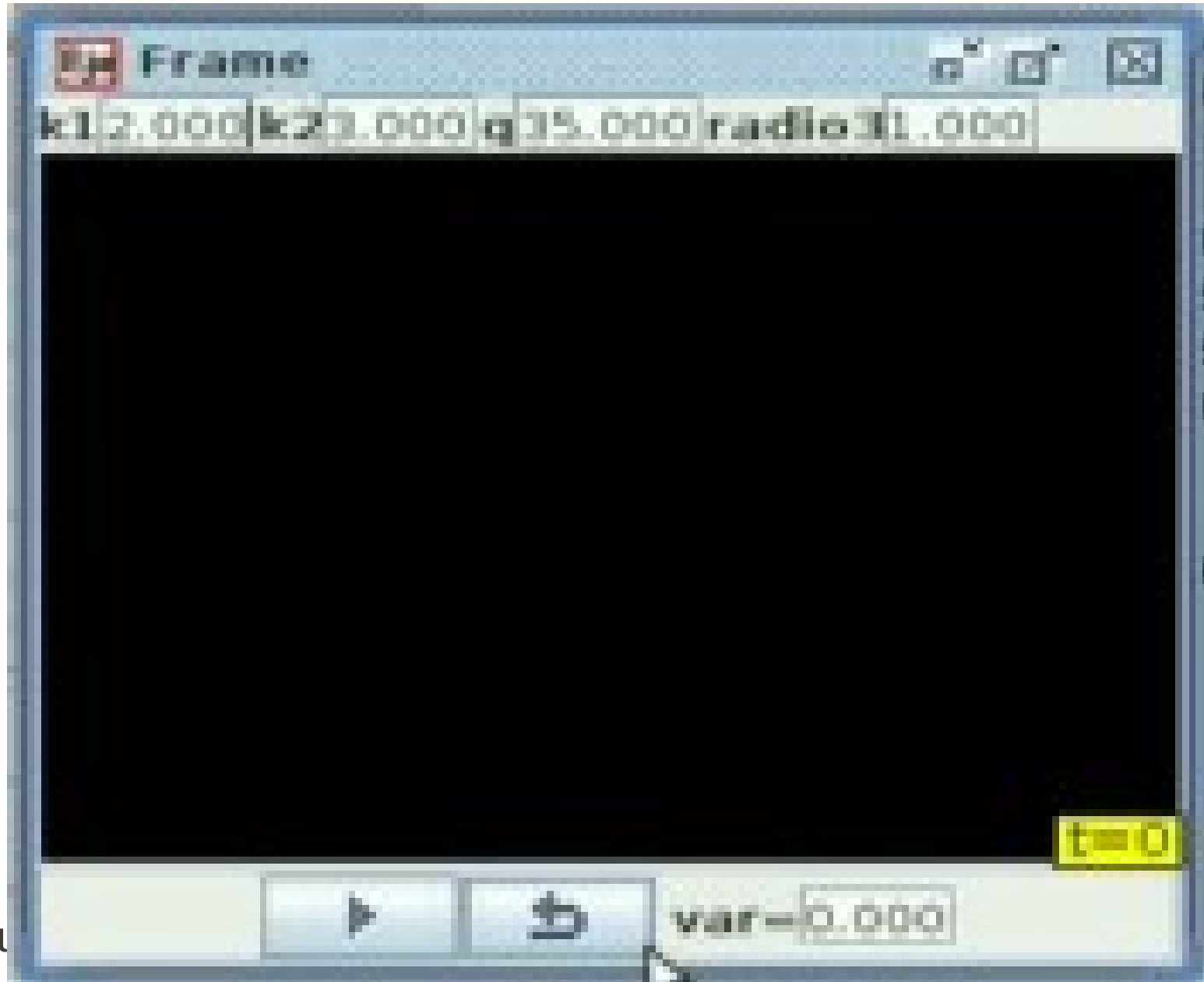
# Leopardo



# Reacción de BZ



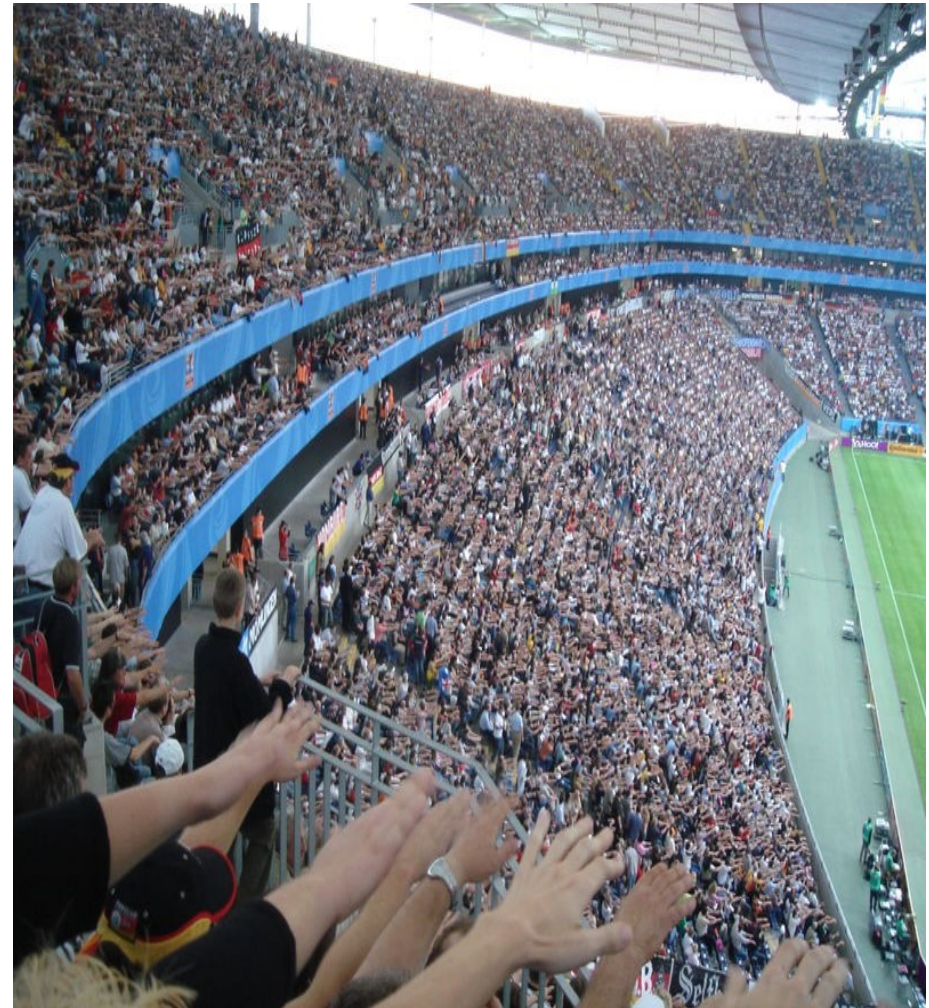
# Reacción BZ: condiciones regulares





# Socio-complejidad

- Simular sistemas sociales
- Ciudades
- Cultura
- Segregación
- La ola



# Ejemplos particulares

- Formación de opinion: espínes en Física



Aprobación de reformas

Concensos, ¿cuántas personas se pueden poner de acuerdo?

14 de Junio 2012

Seminario Universidad de Colima



Elecciones



propagacion de rumores

## □ simular politicas publicas



corrupción

# Netlogo

Una plataforma para el modelado basado en agentes



- ▮ Si ya sabemos cuales son sus caracateristicas, por que no podemos definir un sistema complejo?





□ depende del observador



Simple o complejo?

14 de Junio 2012

Seminario Universidad de Colima



- Depende de la escala de medicion temporal y espacial
- Numero de Deborha=tiempo de relajacion/tiempo de observacion
- Todos los sistemas son complejos desde cierta escala temporal o espacial!
- Una defici3n puede servir en 1rea, pero no para otra



# Conclusiones

- Prácticamente los sistemas complejos se encuentran en todos lados, ya que depende del observador ver sus propiedades.
- La perspectiva desde los sistemas complejos ha abierto un nuevo panorama para el estudio matemático y computacional en las ciencias sociales y naturales

# Bibliografía

- ▮ Péter Erdí, Complexity explained, Springer, 2008.