

Complejidad

Adaptación y Auto-organización

Carlos Gershenson

IIMAS & C3, UNAM

<http://turing.iimas.unam.mx/~cgg/teach/Pamplona>





Contenido

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- 1 Introducción
- 2 Complejidad
- 3 Lenguaje
- 4 Adaptación
- 5 Auto-organización
- 6 Conclusiones



Ciencia tradicional

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto- organización

Conclusiones

- Útil, pero \neq verdad absoluta, i.e. ciencia siempre es limitada.
- Método científico tradicional:
 - Galileo, Newton, Laplace y Descartes.
 - Se asume que el mundo es completamente previsible.
 - e.g. demonio de Laplace.
- Aislar y simplificar para predecir.
 - Reduccionismo.
- Muy efectivo para problemas de “espacio estacionario”.
- ¿Dónde están sus límites?
 - Espacios muy grandes: optimización.
 - Espacios “no estacionarios”: adaptación.



Los Límites de la Predicción

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- Siglo XIX: Poincaré, problema de 3 cuerpos.
- Caos determinista:
 - Dinámica determinista pero impredecible.
 - Falta de precisión.
 - Sensibilidad a condiciones iniciales.
- Ejemplos:
 - Pronóstico meteorológico.
 - Mercados de valores.
 - Tráfico vehicular.



¿El caos implica un cambio de paradigma científico?

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

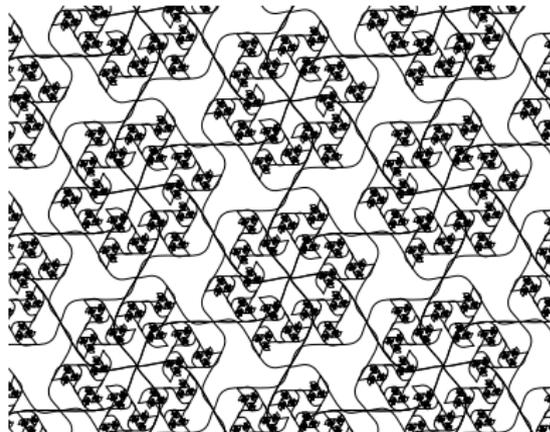
Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- Predicción en teoría vs. predicción en la práctica.
 - En teoría, el caos es predecible.
 - Límites en la práctica.
- Control de caos.
 - Teorema de la sombra.





Complejidad

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- Difícil de definir:
 - del Latín *plexus*, i.e. entretejido → difícil de separar
 - *Interacciones*, interdependencia.
 - Método tradicional inadecuado, no es posible aislar o reducir.
- Ejemplos de sistemas complejos:
 - células, cerebros, ciudades, Internet, un mercado de valores, una colonia de insectos, un ecosistema, una biósfera.
- Interacciones → información y variables nuevas.
 - Otra fuente de imprevisibilidad.
 - No es posible pre-especificar problema.
 - Espacio no estacionario.



Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones



Photograph by Magnus Lundgren

Visions of Earth
National Geographic, July 2008
© 2008 National Geographic Society. All rights reserved.



Ejemplo: El Juego de la Vida

John H. Conway

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

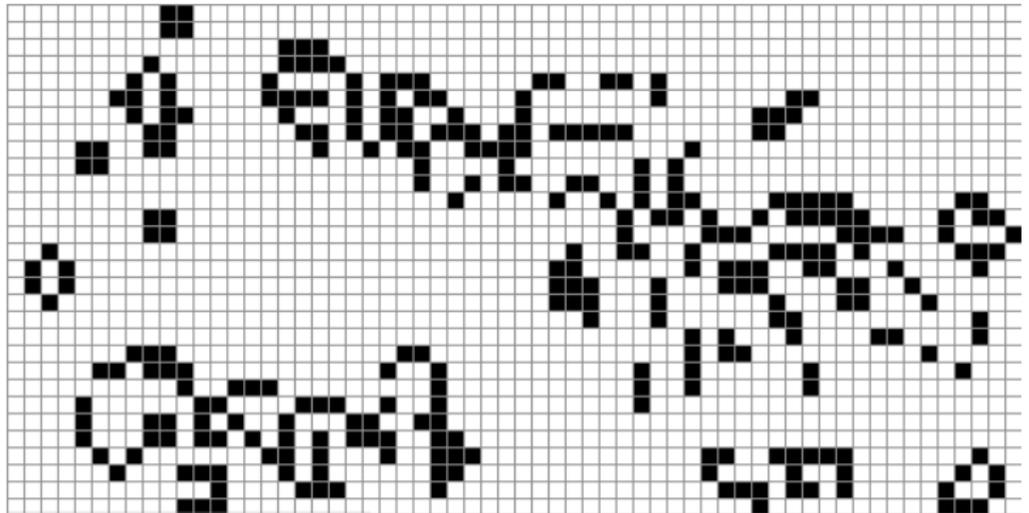
Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones





Ejemplo: Autómatas Celulares Elementales

Stephen Wolfram, Andy Wuensche, etc.

Complejidad

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Conclusiones

- Repetición, e.g. reglas 254, 250
- Estructuras anidadas, e.g. reglas 90, 22
- Pseudoaleatoriedad, e.g. reglas 30, 45
- Estructuras localizadas, e.g. regla 110



rule 250



rule 90



rule 30



rule 110

<http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>



¿La complejidad implica un cambio de paradigma científico?

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- Límites en teoría y en la práctica.
- El reduccionismo, por definición, ignora las interacciones.
- La información producida por interacciones co-determina el futuro del sistema.
- \therefore no es posible predecir a partir de condiciones iniciales y de frontera.
 - Irreducibilidad computacional.
- \Rightarrow ¿Qué alternativa nos queda?
- Adaptación, como complemento de la predicción.





Lenguaje

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- El lenguaje le da forma a nuestro mundo, y vice versa.
- Ilusión: Encontrar una descripción “verdadera” del mundo (Platón, Aristóteles).
- Hay muchas descripciones del mundo (Heráclito, Wittgenstein).
- Las verdades no son absolutas, sino contextuales.
- Al no poder describir “completamente” a un sistema, debemos de estar listos para cuando aparezcan nuevos aspectos.



¿De qué color es la esfera?

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

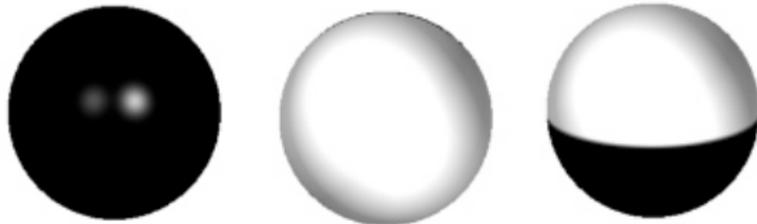
Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones





Adaptación

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- Habilidad de un sistema de cambiar de comportamiento en presencia de una perturbación.
 - Predicción trata de actuar antes de que una perturbación afecte el comportamiento esperado de un sistema.
 - Adaptación como generalización de predicción/anticipación.
- Sistemas vivos como inspiración.
- Adaptación como creatividad:
 - Sistemas buscan soluciones para problemas desconocidos.
- Auto-organización como método.



Auto-organización

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- Elementos interactúan de forma tal que el comportamiento del sistema es un producto principalmente de estas interacciones.
 - No de un sólo elemento ni de una fuente externa.
 - Ejemplos de sistemas auto-organizantes:
 - células, cerebros, ciudades, Internet, un mercado de valores, una colonia de insectos, un ecosistema, una biósfera.
 - Depende parcialmente del observador
 - ¿Cómo queremos *describir* un fenómeno?
- Diseño de sistemas auto-organizantes:
 - Enfoque en en el comportamiento de los componentes, de forma tal que, por medio de sus interacciones, realicen la función del sistema, sin diseñarla directamente.
 - Elementos buscan soluciones constantemente.
 - Al cambiar el problema, el sistema se adapta.



Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones





Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones



Photograph by Doug Perrine, SeaPics
© 2005 National Geographic Society. All rights reserved.

Spirit of the Wild
National Geographic magazine, September 2005



Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones





Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones



Photograph by Robert B. Haas

Latin American Aerials
National Geographic, October 2007
© 2007 National Geographic Society. All rights reserved.



Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones



Photograph by Yukihiro Fukuda

Visions of Earth
National Geographic, July 2008
© 2008 National Geographic Society. All rights reserved.



Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones



Photograph by George Steinmetz
© 2005 National Geographic Society. All rights reserved.

Views of Africa
National Geographic magazine, September 2005



Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones





Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones





Conclusiones

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

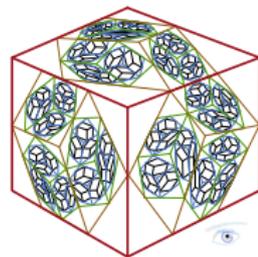
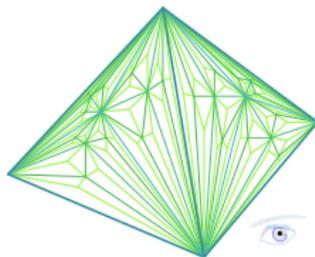
Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- El mundo no es previsible.
- La complejidad no es una rama de la ciencia tradicional, es una nueva manera de hacer ciencia.
- Adaptación no reemplaza, sino complementa a la predicción.
- Auto-organización como método.
- Hay que estar preparados para problemas nuevos, esperando lo inesperado, y dotando a nuestros sistemas de cierto grado de creatividad para enfrentarse a lo desconocido.





¡Tarea!

Complejidad

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Conclusiones

- 3 ejemplos de sistemas complejos.

