

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas &
Centro de Ciencias de la Complejidad,
Universidad Nacional Autónoma de México

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

Twitter: @cgershen @cgg-mx





Contenido

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones

- 1 Introducción
- 2 Complejidad
- 3 Lenguaje
- 4 Adaptación
- 5 Auto-organización
- 6 Ejemplos
 - Semáforos
 - Transporte Público
 - Burocracias
- 7 Conclusiones



Ciencia tradicional

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

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

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

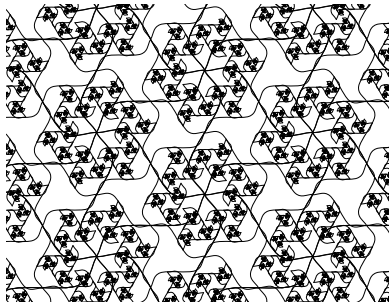
Conclusiones

- 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?

- 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.



¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

Conclusiones



Complejidad

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

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.



¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

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

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

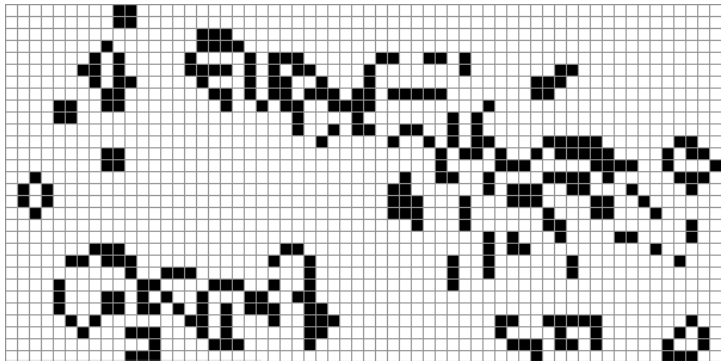
Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones





Ejemplo: Automatas Celulares Elementales

Stephen Wolfram, Andy Wuensche, etc.

- 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?

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

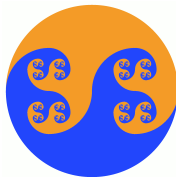
Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

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

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

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?

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson



Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

Conclusiones



Adaptación

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

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

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

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 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.



¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



Photograph by Paul Nicklen

Sailfish in the Whirl
National Geographic, September 2008
© 2008 National Geographic Society. All rights reserved.



¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones





¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



Photograph by José L. Gómez de Francisco
© 2005 National Geographic Society. All rights reserved.

Visions of Earth
National Geographic magazine, March 2005



¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



Photograph by Robert B. Haas

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



¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos

Transporte

Público

Burocracias

Conclusiones



Photograph by Yukihiro Fukuda

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



¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



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

Views of Africa
National Geographic magazine, September 2005



¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones





¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

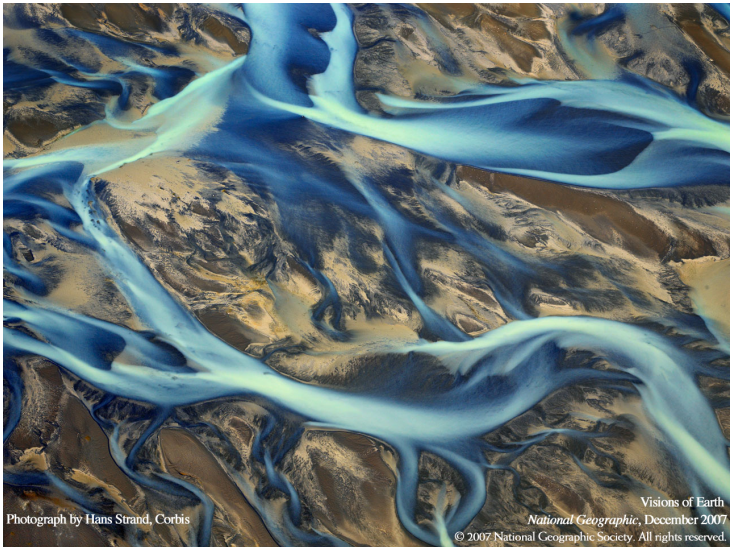
Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



Photograph by Hans Strand, Corbis

Visions of Earth
National Geographic, December 2007
© 2007 National Geographic Society. All rights reserved.



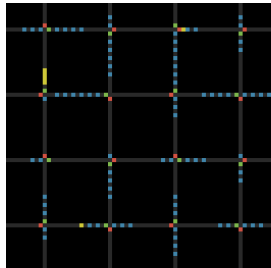
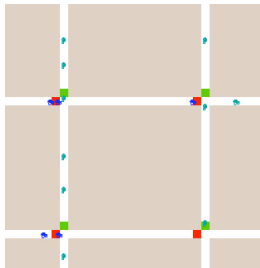
Semáforos Auto-organizantes

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

- Contenido
- Introducción
- Complejidad
- Lenguaje
- Adaptación
- Auto-organización
- Ejemplos
 - Semáforos
 - Transporte Público
 - Burocracias
- Conclusiones

- Simples controladores de semáforos auto-organizantes han sido propuestos (Gershenson, 2005; Gershenson & Rosenblueth, 2009), los cuales ofrecen mejoras considerables sobre métodos tradicionales.
- Simulación multi-agente:
 - <http://tinyurl.com/2a325fe>
- Simulación basada en autómatas celulares elementales:
 - <http://tinyurl.com/trafficCA>





El método

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones

- 1 En cada paso de tiempo, agregar a un contador el número de vehículos que se acercan o esperan ante una luz roja a una distancia d . Cuando este contador exceda un umbral n , cambiar el semáforo. (Siempre que el semáforo cambia, reiniciar el contador en cero.)
- 2 Los semáforos deben permanecer un mínimo tiempo u en verde.
- 3 Si pocos vehículos (m o menos, > 0) están por cruzar una luz verde a una corta distancia r , no cambiar el semáforo.
- 4 Si no hay un vehículo que se acerque a una luz verde a una distancia d y por lo menos un vehículo se aproxima a una luz roja a una distancia d , entonces cambiar el semáforo.
- 5 Si hay un vehículo detenido en el camino a una corta distancia e más allá de una luz verde, cambiar el semáforo.
- 6 Si hay vehículos detenidos en ambas direcciones a una corta distancia e más allá de la intersección, entonces cambiar ambas luces a rojo. Cuando una de las direcciones se libere, restaurar la luz verde en esa dirección.

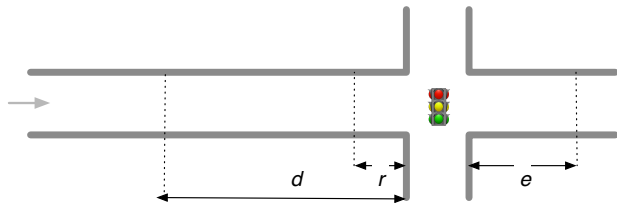


Esquema de instalación

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

- Contenido
- Introducción
- Complejidad
- Lenguaje
- Adaptación
- Auto-organización
- Ejemplos
 - Semáforos
 - Transporte Público
 - Burocracias
- Conclusiones





¿La

Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones

```
1  foreach ( $\Delta t$ ) do
2       $t_i += \Delta t$  ;                                     // local phase
3       $k_i += \text{vehicles}_{\text{approachingRed}}$  in  $d$ ;         // for rules 1 and 4
4      if ( $\text{vehicles}_{\text{stoppedAfterGreen}}$  at  $e > 0$ ) then
5          if ( $\text{vehicles}_{\text{stoppedAfterRed}}$  at  $e > 0$ ) then
6              |  $\text{switchBothRed}_i()$  ;                 // rule 6
7              end
8              else
9              |  $\text{switchlight}_i()$  ;                   // rule 5
10             end
11         end
12     else if  $\text{vehicles}_{\text{stoppedAfterRed}}$  at  $e == 0$  then
13         if bothRed? then
14             |  $\text{restoreSingleGreen}_i()$  ;             // complement to rule 6
15             end
16         if ( $k_i \geq 1$ ) and ( $\text{vehicles}_{\text{approachingGreen}}$  in  $d == 0$ ) then
17             |  $\text{switchlight}_i()$  ;                   // rule 4
18             end
19         else if not ( $0 < \text{vehicles}_{\text{approachingGreen}}$  in  $r < m$ ) then
20             | ;                                       // rule 3
21             if ( $t_i \geq t_{\min}$ ) then
22                 | ;                                       // rule 2
23                 if ( $k_i \geq n$ ) then
24                     |  $\text{switchlight}_i()$  ;           // rule 1
25                     end
26                 end
27             end
28         end
29     end
30 end
```



¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos

Transporte Público
Burocracias

Conclusiones

```
1  switchlighti() begin  
2  |       $k_i = 0$ ;  
3  |       $t_i = 0$ ;  
4  |      switchTrafficLighti();  
5  end
```



Resultados

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

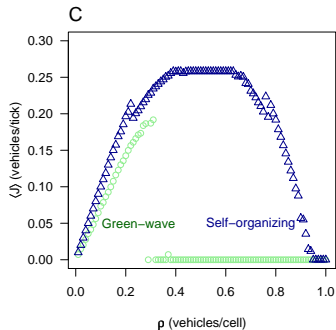
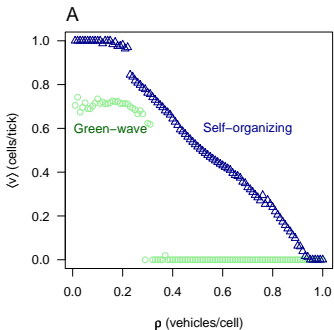
Semáforos

Transporte

Público

Burocracias

Conclusiones



Gershenson C. & D. Rosenblueth (In Press). Adaptive self-organization vs. static optimization: A qualitative comparison in traffic light coordination. *Kybernetes*.



Una Simulación Más Realista (sólo reglas 1–3)

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones

- Simulación de la Avenue de la Loi / Wetstraat (Cools, 2006; Cools, Gershenson & D’Hooghe, 2007)
 - <https://sourceforge.net/projects/morevts/>
- Resultados: Tiempos de espera por viaje promedio para densidades a distintas horas usando SOTL fueron de 34% a 64% de los tiempos con ola verde, y en promedio 50% (25% del tiempo de viaje total).



Resultados de la Wetstraat

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

Conclusiones

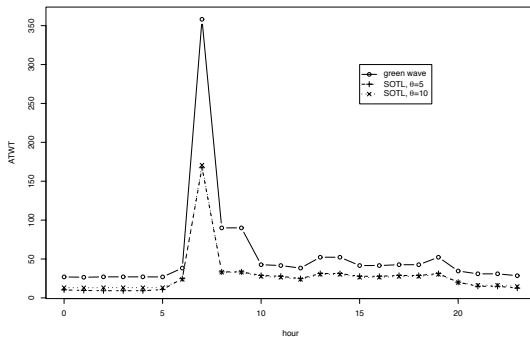


Figure: Tiempos de espera por viaje promedio (ATWT) a distintas horas.



Beneficios para el Medio Ambiente

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

Conclusiones

	Optim	SOTL	Diferencia
<i>ATWT</i> diarios (s)	54.63	27.85	26.77
tiempo de espera diario (hr)	908.61	463.28	445.32
Litros de gasolina en espera	3089.26	1575.17	1514.09
l/año	1127579.85	574935.97	552643.88
CO ₂ tn/año	2706.19	1379.85	1326.35
NO _x kg/año	9053.41	4616.2	4437.21
CO kg/año	136126.8	69409	66717.79
CxHx kg/año	18237.08	9298.81	8938.27

Emisiones por autos detenidos en la Wetstraat

59877 autos/día. Motor neutral: 3.4 l/hr. 2.4 kg CO₂/l de gasolina.



Inestabilidad de Intervalos Iguales en Sistemas de Transporte Público

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

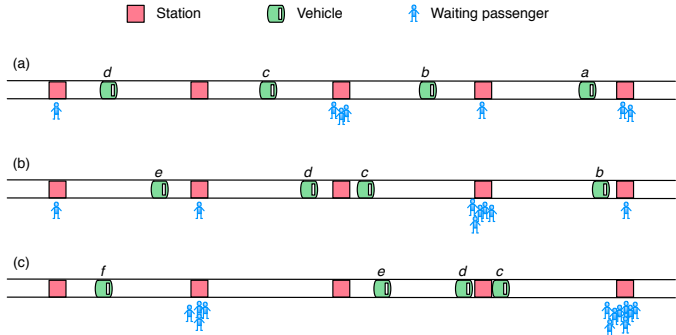
Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

Conclusiones



Gershenson, C. & Pineda, L. A. (2009). Why does public transport not arrive on time? The pervasiveness of equal headway instability. *PLoS ONE* (10): e7292. doi:10.1371/journal.pone.0007292.



Simulación

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



<http://tinyurl.com/antipheromones>

- *DF*, método por defecto, sin restricciones. Intervalos siempre inestables.
- *MX*, método “máximo adaptativo”: t_{min} y t_{max} , el último se ajusta a la demanda global de pasajeros. Intervalos iguales se mantienen, pero no recuperan.
- *SO*, método auto-organizante: antiferomonas regulan localmente los intervalos, dependiendo de demanda local. Intervalos adaptativos.

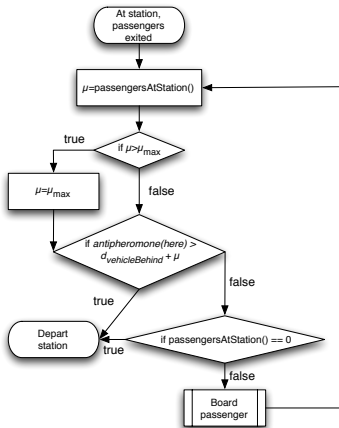


Algoritmo auto-organizante

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

- Contenido
- Introducción
- Complejidad
- Lenguaje
- Adaptación
- Auto-organización
- Ejemplos
 - Semáforos
 - Transporte Público
 - Burocracias
- Conclusiones



Gershenson, C. (2011). Self-Organization Leads to Supraoptimal Performance in Public Transportation Systems.. *PLoS ONE* 6(6): e21469. doi:10.1371/journal.pone.0021469.





Resultados: escenario homogéneo

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos

Transporte Público

Burocracias

Conclusiones

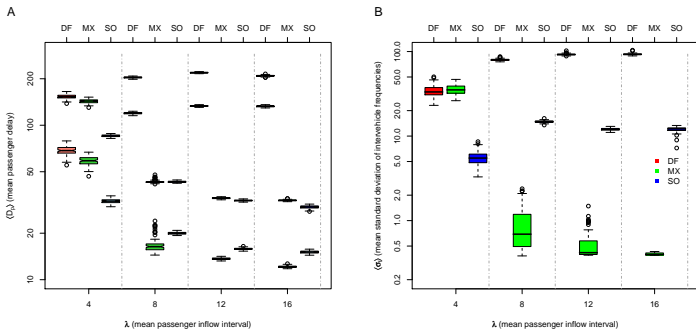


Figure: A. Retrasos de pasajeros. B. Desviaciones estándar de intervalos.



Resultados: escenario heterogéneo

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

Conclusiones

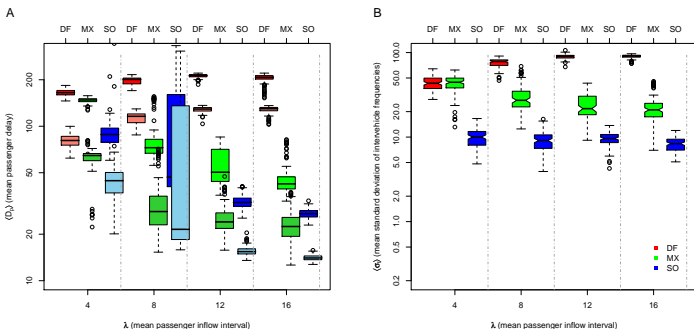


Figure: A. Retrasos de pasajeros. B. Desviaciones estándar de intervalos.



Discusión

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones

- La teoría actual se enfoca en tiempos de espera en estaciones.
- Efecto 'lento-es-más-rápido' permite desempeño supraóptimo.
- Soluciones no predefinidas, se adaptan localmente a demand actual.
- Adaptación concuerda con escala temporal de cambio en el sistema.





Factor social...

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



- Inestabilidad de intervalos iguales es un problema tanto técnico como social.
- En muchos sistemas, la única fuente de retrasos (\Rightarrow inestabilidad) depende del comportamiento de pasajeros.
- Promover comportamientos que reduzcan retrasos y por lo tanto inestabilidad.
- Proveer información adecuada en tiempo real a pasajeros.



Burocracias Auto-organizantes

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos

Transporte
Público

Burocracias

Conclusiones

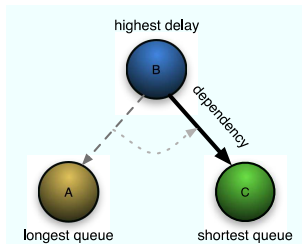
- Mejorar la eficiencia y adaptabilidad de burocracias permitiéndoles auto-organizarse
- El papel de la comunicación
 - síncrona vs asíncrona
 - Retrasos como fricción
- El papel de los sensores
 - Satisfacción pública como medida de eficiencia
- El papel de las jerarquías
 - Redes adaptantes
- El papel del contexto

Gershenson, C. (2008). Towards Self-Organizing Bureaucracies, *International Journal of Public Information Systems*, 2008(1):1-24.



Redes de Agentes Aleatorias

- N nodos (agentes) resolviendo tareas
- Cada uno con K_i dependencias, escogidas aleatoriamente
- La tarea se termina cuando los requerimientos de todas las dependencias han sido contestados
- Desempeño de la red como número de tareas completadas
 - Minimizar retraso de respuesta y tiempo muerto (colas vacías)
 - Balance de pedido y respuesta de tareas
- Topologías: homogénea, normal, de escala libre, y simétrica





¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

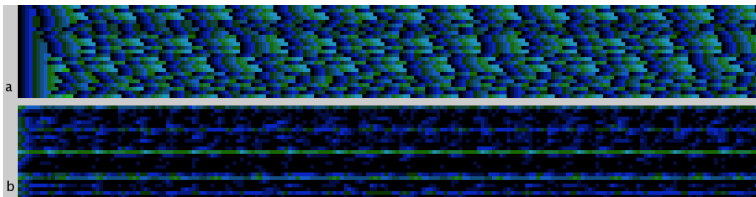
Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones



<http://rans.sourceforge.net>

- e.g. $N = 25$, $K = 5$, topología homogénea.
- a) Retrasos de respuesta. b) Longitud de colas.
- Colores más claros indican valores más altos.



Resultados de simulaciones, $N = 15, K = 2$

¿La Complejidad Implica un Cambio de Paradigma Científico?

Carlos Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

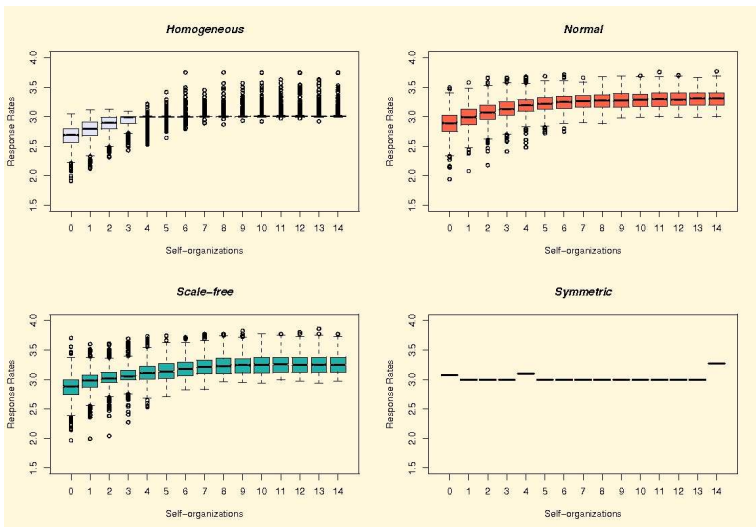
Adaptación

Auto-organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte Público
Burocracias

Conclusiones





Conclusiones

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

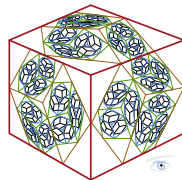
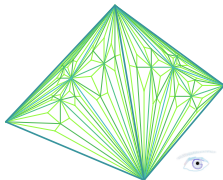
Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

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.





Anuncio: Complexity Digest

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

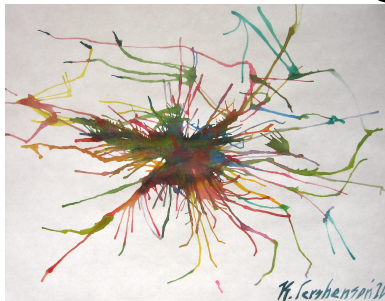
Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones

<http://comdig.unam.mx>
Twitter: @cxdig





¿Preguntas?

¿La
Complejidad
Implica un
Cambio de
Paradigma
Científico?

Carlos
Gershenson

Contenido

Introducción

Complejidad

Lenguaje

Adaptación

Auto-
organización

Ejemplos

Semáforos
Transporte
Público
Burocracias

Conclusiones

Más información:

- <http://turing.iimas.unam.mx/~cgg/>
- <http://tinyurl.com/DCSOS2007>
- <http://arxiv.org/abs/0905.4908>

