

Tarea de Sistemas Complejos

Frías Mercado Carlos Elliot

Fecha de Entrega: 22 de Agosto de 2017 11:59pm

3CM6

Computing Selected Topics - Sistemas Complejos

Contents

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Sistemas Complejos en México | 3 |
| 1.1 | Instituciones investigando sobre los sistemas complejos en México | 3 |
| 1.1.1 | Benemérita Universidad Autónoma de Puebla - BUAP . . | 3 |
| 1.1.2 | Centro de Investigación y Estudios Avanzados - CINVES-TAV | 3 |
| 1.1.3 | Laboratorio de Ciencias de la Computacion (LCCOMP) . | 4 |
| 1.1.4 | Instituto Politécnico Nacional - IPN | 4 |
| 1.1.5 | Universidad Autónoma de México - UAM | 5 |
| 1.1.6 | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT . | 5 |
| 1.1.7 | Universidad Nacional Autónoma de Mexico - UNAM . . . | 6 |
| 1.1.8 | Universidad Autónoma de la Ciudad de México - UACM | 6 |
| 2 | Sistemas Complejos en el mundo | 7 |
| 2.1 | Universidad de Sidney - Australia | 7 |
| 2.2 | Centro de Sistemas Complejos de Vermont - EEUU | 7 |
| 2.3 | Universidad de Utretch - Países Bajos | 7 |
| 2.4 | L'Università Degli Studi di Torino - Italia | 8 |
| 2.5 | Universidad de Cardiff - Gales | 8 |
| 2.6 | Universidad de Aalto - Finlandia | 8 |
| 2.7 | Centro de Investigación de Sistemas Complejos de la Universidad de Cranfield - Gran Bretaña | 9 |
| 2.8 | Universidad de Uppsala - Suecia | 9 |
| 3 | Empresas que utilicen los Sistemas Complejos | 9 |
| 3.1 | CosmoTech | 9 |
| 3.2 | CSI | 10 |
| 3.3 | ScalabBLE | 10 |
| 4 | Sistemas Complejos y agentes | 10 |
| 4.1 | Agentes | 10 |
| 4.2 | Modelo Matemático de los agentes | 12 |
| 4.3 | Ejemplos | 12 |
| 4.3.1 | Microfono y Bocina | 12 |
| 4.3.2 | SC con depredador y presa | 12 |
| 5 | Referencias | 13 |

Abstract

En este trabajo abordaré el tema de los Sistemas Complejos, donde mostraré que instituciones y/u organizaciones los estudian tanto en México como en el mundo, de la misma manera mostraré ejemplos de empresas que hagan uso de los mismos y como lo hacen. Para terminar se hablaré de los agentes en los Sistemas Complejos, explicando su modelo, definición y expresión matemática

1 Sistemas Complejos en México

1.1 Instituciones investigando sobre los sistemas complejos en México

1.1.1 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla - BUAP

Dentro de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, dentro de una de las líneas de investigación se encuentra la de Computación Aplicada a Ciencias e Ingeniería teniendo como ramas principales:

1. Ingeniería en Sistemas Inteligentes
2. Computación Matemática

Los objetivos de esta línea de investigación son:

1. Desarrollar y aplicar métodos matemáticos y algoritmos para resolver problemas complejos con información incompleta e inexacta y realizar la mejor toma de decisiones.
2. Desarrollar algoritmos de aprendizaje, adaptativos y evolutivos que permitan el comportamiento inteligente de sistemas.
3. Implementar sistemas inteligentes en cómputo reconfigurable para el control en tiempo real de otros sistemas.
4. Incorporar métodos de las teorías de juegos, grafos y sistemas complejos en los sistemas inteligentes.

1.1.2 Centro de Investigación y Estudios Avanzados - CINVESTAV

El CINVESTAV cuenta con una línea de investigación llamada:

Inteligencia Computacional y Optimización Avanzada (ICOA)

ICOA que tiene como objetivo el estudio de conceptos, modelos, algoritmos y herramientas para el desarrollo de sistemas inteligentes capaces de resolver problemas complejos y cambiantes. Dentro de la Inteligencia Computacional se pueden abordar temas relacionados con optimización, sistemas expertos, redes neuronales, computación evolutiva, inteligencia de enjambre, sistemas inmunes artificiales, sistemas difusos, así como sus aplicaciones. Las principales áreas de

investigación en las que esta se enfoca son optimización combinatoria, multiobjetivo y a gran escala, computación evolutiva, inteligencia colectiva emergente y metaheurísticas avanzadas. Algunos temas particulares de interés incluyen sincronización y control de parámetros en algoritmos evolutivos, auto-organización de sistemas complejos, bioinformática, diseño óptimo de experimentos e hibridación en computación evolutiva multiobjetivo.

1.1.3 Laboratorio de Ciencias de la Computacion (LCCOMP)

El Laboratorio de Ciencias de la Computación (LCCOMP), con sede en la ciudad de México, centra sus intereses en modelos de computación convencional y no-convencional. Así mismo, se realizan estudios e investigaciones en teoría de la computación y lenguajes, autómatas celulares, sistemas complejos, simulación de fenómenos físicos, caos, redes celulares neuronales, fenómenos no-lineales, vida artificial, computación natural, computadoras de reacción y difusión, bio-computación, computación cuántica, algoritmos genéticos, sistemas dinámicos, redes, agentes, historia de la computación e impacto social de la computación. En la modelación de mecanismos abstractos para la implementación de computaciones, como son: computación por choques de partículas, computación por competición de patrones, computación basada en ciclotrones (super choques). Explotando poderosas máquinas: diagramas de de Bruijn, diagramas de subconjuntos y diagramas de parejas.

1.1.4 Instituto Politécnico Nacional - IPN

Dentro del Instituto Politécnico Nacional existe el Centro de Sistemas Complejos (CCSIPN) dirigido por Genaro Juárez Martínez y Andrés Ortigoza Campos, en colaboración con:

1. Grupo Mecánica Fractal (ESIME, IPN)
2. Laboratorio de Sistemas Complejos (UPIITA, IPN)
3. Departamento de Microcomputadoras (IC, UAP)
4. Centro de Ciencias de la Complejidad (C3, UNAM)
5. Cibernética y Sistemas Complejos (CCADET, UNAM)
6. Laboratorio de Comunicación Compleja (LABCOMPLEX, UNAM)
7. Grupo de Sistemas Dinámicos y Caos (FES Acatlán, UNAM)

El Grupo de Sistemas Complejos del Instituto Politécnico Nacional (CCSIPN) desarrolla investigaciones sobre fenómenos no lineales, tales como: ciencia de la complejidad, informática, ciencias sociales, proceso celular, biología sintética, bioinformática, sistemas de reacción-difusión, vida artificial, inteligencia artificial, Virus, infecciones, poblaciones, dinámica de partículas, seguridad y salud pública, auto-organización, sistemas adaptativos, emergencia, proceso evolutivo.

1.1.5 Universidad Autónoma de México - UAM

La UAM en su plantel Iztapalapa cuenta con la Línea de Investigación en Física de los Sistemas Complejos, la cual cuenta con 7 profesores-investigadores que están dedicando sus esfuerzos a temas de frontera en el campo, así tenemos que las líneas de investigación van desde problemas de gran aplicación, como la Física de Sistemas Biológicos, Flujo vehicular y Fotoquímica, hasta los temas fundamentales de la Teoría Cinética Relativista, los Procesos Estocásticos y la Hidrodinámica.

La UAM Azcapotzalco tiene un área de investigación en Sistemas Computacionales cuyos objetivos principales son:

1. Estudiar y desarrollar métodos y técnicas que permitan utilizar a las computadoras como un medio para representar, interpretar, predecir y en su caso modificar sistemas complejos.
2. Desarrollar investigaciones encaminadas a la determinación y modificación de las relaciones existentes entre los elementos de un sistema mediante el uso de herramientas computacionales, tales como la inteligencia artificial, la simulación, los lenguajes formales, etc.
3. Estudiar y asimilar tecnologías novedosas que representen un avance en el estado del arte de las Ciencias de la Computación.

1.1.6 Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT

El CONACYT cuenta con un proyecto de investigación creado en Julio de 2016 llamado: Red Temática para Apoyo a la Decisión y Optimización Inteligente de Sistemas Complejos y de Gran Escala cuyos objetivos son:

1. Desarrollar métodos de solución de problemas de gran escala, de gran importancia o impacto para el país o internacional afines con las líneas de investigación de los grupos o investigadores participantes, con múltiples etapas de decisión
2. Identificar los métodos adecuados de acuerdo a las características estructurales específicas de instancias de problemas complejos y de gran escala en áreas como logística y cadena de suministros, administración, planeación, gestión de proyectos, transporte, transporte urbano entre otros
3. Profundizar el nivel de consolidación de los investigadores y grupos de investigación involucrados
4. Aplicar los resultados científicos obtenidos en la resolución de casos o problemas de empresas u organizaciones públicas
5. Apoyar el desarrollo o la creación de grupos de investigación en temas afines

6. Preparar recursos humanos de alto nivel en la solución de problemas complejos de gran escala desde perspectivas multicriterio y optimización inteligente .

1.1.7 Universidad Nacional Autónoma de Mexico - UNAM

Dentro de la UNAM existe el Centro de Ciencias de la Complejidad, que tiene el objetivo de ofrecer soluciones en diversos campos, el Centro de Ciencias de la Complejidad (C3) busca tender puentes entre las ciencias exactas, naturales, sociales y humanísticas; entre teoría, experimentos y simulaciones en computadora, y entre investigación básica y aplicada.

A la fecha, el C3 ha conformado siete programas de investigación para desarrollar proyectos concretos a través del enfoque de los sistemas complejos: Complejidad y salud pública, Biología celular, Ecología y ciencias ambientales, Ciencias de los datos e inteligencia computacional, Complejidad social, Arte, ciencia y complejidad así como Neurociencias, son las directrices bajo las cuales están en proceso de desarrollo diversos proyectos de investigación básica y aplicada cuya pretensión es entender, solucionar y prevenir problemáticas que requieren atención urgente para poder tomar decisiones sobre las afectaciones que impactan socioeconómicamente.

1.1.8 Universidad Autónoma de la Ciudad de México - UACM

La UACM cuenta con una maestría en Ciencias de la Complejidad.

El plan de estudios se ha diseñado considerando las diferencias en la formación matemática, por ello, se ofrecen dos orientaciones curriculares, además, el programa está directamente relacionado con modelos matemáticos de procesos no lineales en distintas escalas de organización de la materia;

Los contenidos de las líneas curriculares se han establecido para que quienes cursen

1. Opción A

- (a) Construyan los modelos con las herramientas adecuadas de representación y análisis no lineal
- (b) Interactúen con profesionales de los campos de estudio de los procesos representados para juzgar su pertinencia
- (c) Replanteen los modelos cuando sea necesario, con base en la colaboración del trabajo interdisciplinario

2. Opción B,

- (a) Comprendan el lenguaje, las hipótesis y las limitaciones de los modelos
- (b) Sean capaces de utilizar simuladores y apoyos computacionales para calibrar y juzgar la pertinencia de los modelos

- (c) Colaboren con quienes hayan construido los modelos para su reelaboración cuando sea necesario.

Cada mapa curricular se ha organizado con base en tres grandes líneas curriculares: la de Ciencia y Sociedad (CyS) es común a ambas opciones y se concibe como el espacio de trabajo interdisciplinario de estudiantes y profesores.

Para la opción A, las otras dos líneas son: la de Sistemas Complejos (SC) y la de Dinámica no Lineal (DNL).

A su vez, las otras dos líneas de la opción B son la de Complejidad (C) y la de Fenomenología de la no linealidad (FNL).

2 Sistemas Complejos en el mundo

2.1 Universidad de Sidney - Australia

La Universidad de Sidney cuenta con el Centro de Sistemas Complejos, el cual reúne a los mejores investigadores de toda la Universidad para promover la investigación y la educación en física, ingeniería, matemáticas, biología y ciencias sociales.

Está compuesto por expertos de las facultades de Ingeniería y Tecnologías de la Información, Ciencia, Arquitectura, Diseño y Planificación, Agricultura y Medio Ambiente, el Centro Charles Perkins y el CSIRO.

Se estudian las propiedades y aplicaciones de sistemas complejos en diversos contextos como la dinámica cerebral, la neurociencia computacional, los fenómenos críticos, la computación distribuida, el modelado epidémico, la imagenología y la nanociencia.

2.2 Centro de Sistemas Complejos de Vermont - EEUU

La universidad de Vermont ofrece la maestría en Sistemas Complejos dentro del Centro de Sistemas Complejos de Vermont el cual es grado de dos años con trayectorias disciplinarias opcionales. Los estudiantes de UVM pueden incorporar el grado como parte de un Programa de Maestría Acelerada.

2.3 Universidad de Utrecht - Países Bajos

La UU cuenta con un centro de estudios de sistemas complejos así como diversas asignaturas de la misma en su maestría en Ciencias de la Computación.

Cursos

El estudiante debe tomar:

- Introducción a los sistemas complejos

Además, al menos uno de los siguientes cursos de matemáticas (o un equivalente) debe ser elegido:

1. Redes complejas

2. Introducción al análisis numérico de bifurcación
3. Biología Matemática

2.4 L'Università Degli Studi di Torino - Italia

En el plan de estudios de la Universidad de Torino existe el doctorado en Sistemas Complejos para la vida científica. El sistema de créditos está vinculado a las condiciones de inscripción a la Universidad: a tiempo completo y a medio tiempo. El estudiante de tiempo completo presenta para cada año de estudio su propio plan de estudio, con un número de créditos entre 37 y 80. El estudiante de medio tiempo presenta para cada año de estudio su propio plan de estudio, con un número de créditos entre 20 y 36. Las condiciones de inscripción a tiempo completo o medio son elegidas año tras año, y las matrículas cambian de acuerdo a ellas

2.5 Universidad de Cardiff - Gales

Esta universidad cuenta con un grupo de Sistemas Complejos el cual se especializa en sistemas de gran escala, análisis de datos a escala, optimización de criterios múltiples y cálculo humano / social.

La investigación abarca cuatro temas clave:

- Seguridad cibernética
- Computación social y móvil Sistemas paralelos y distribuidos
- La optimización multicriterio
- Modelado matemático.

Estas cuestiones fundamentales se basan en cuestiones de escala y complejidad, con especial énfasis en la interacción hombre / sistemas. La mayor parte de la investigación se lleva a cabo en colaboración con colegas internacionales (en Europa, EE.UU., Singapur y Australia).

2.6 Universidad de Aalto - Finlandia

La UA cuenta, dentro de su plan de maestrías, con el de Sistemas complejos el cual tiene como objetivo dar a los estudiantes una sólida base computacional y teórica para la comprensión de sistemas complejos, desde el cerebro humano a una diversidad de sistemas biológicos y sociales. El temario se ha estructurado de tal manera que el estudiante puede elegir qué áreas enfatizar (por ejemplo, neurociencia, teoría de sistemas complejos, aprendizaje de máquina). Después de completar sus estudios, los estudiantes tienen las habilidades necesarias para carreras científicas interdisciplinarias, o, p. Para las posiciones de científico de datos en la industria.

2.7 Centro de Investigación de Sistemas Complejos de la Universidad de Cranfield - Gran Bretaña

El Centro de Investigación de Sistemas Complejos (CSRC) tiene como objetivo desarrollar y aplicar la teoría de sistemas complejos a los problemas del mundo real relativos a los sistemas de infraestructura. La ciencia de la complejidad proporciona una perspectiva científica global para la investigación con relevancia práctica. Leer menos

En los sistemas complejos del CSRC, el pensamiento de los sistemas se aplica a una amplia variedad de cuestiones, centrándose en los sistemas de infraestructura y las redes de suministro y apoyado principalmente mediante la financiación de los Consejos de Investigación del Reino Unido y la Unión Europea. La investigación realizada abarca una amplia gama de temas, tales como: innovación en nuevos servicios y modelos de negocio; Tecnológicas, conductuales y de políticas hacia sistemas resilientes y sostenibles; Y los mecanismos que explican la interdependencia, la retroalimentación y la coevolución de sistemas multi-escala, espaciales y temporales.

2.8 Universidad de Uppsala - Suecia

La universidad de Uppsala cuenta con el estudio de maestría enfocado en el Modelado de los Sistemas Complejos.

El curso presentará las herramientas de matemáticas, física e informática que se han utilizado en la comprensión de sistemas complejos.

3 Empresas que utilicen los Sistemas Complejos

3.1 CosmoTech

Cosmo Tech fue co-fundada por Michel Morvan y Hugues de Bantel como The CoSMo Company en Lyon, Francia.

Lo que distingue a Cosmo Tech es más que su enfoque de sistemas complejos. La tecnología que apoya este enfoque y capacita a los clientes para tomar decisiones óptimas se basa en un lenguaje de programación exclusivo y propietario y en la metodología de modelado de sistemas que permite a Cosmo Tech modelar todo tipo de sistemas industriales, sociales y naturales.

Estos sistemas se modelan en la Cosmo Tech Simulation Suite (CSS), una interfaz gráfica de fácil uso donde se puede representar cualquier tipo de sistema - industrial, financiero, social, natural -. Una vez modelados en el CSS, los sistemas pueden ser entregados a los usuarios finales como aplicaciones específicas de dominio que permiten y animan a los usuarios a ejecutar múltiples escenarios de 'si ocurre', optimizar las estrategias de acuerdo con los KPIs nominados y determinar la decisión óptima de tomar en un Circunstancia futura específica.

Quizás el adoptante más prominente del software de Cosmo Tech ha sido RTE, el principal operador francés del sistema de transmisión de electricidad, que ha adoptado la aplicación de optimización de inversiones de Cosmo Tech. La

aplicación de innovación de Cosmo Tech ha permitido a RTE identificar reducciones potenciales en riesgo y gastos de más del 14%, y potenciales reducciones en conflictos operacionales del 20%.

3.2 CSI

CSI Complex Systems, Inc. desarrolla soluciones de software de finanzas comerciales para bancos y clientes corporativos en los Estados Unidos e internacionalmente. La empresa ofrece Global Processing System que facilita la gestión de las tareas de procesamiento de la cadena de suministro comercial y no comercial; Global SLA, una solución para gestionar los acuerdos de nivel de servicio entre los clientes externos e internos del banco; Y OpenTrade, una plataforma colaborativa basada en Internet para el flujo de trabajo de la cadena de suministro, la colaboración de socios de la cadena de suministro, la gestión de documentos, el cumplimiento y las aplicaciones de conciliación.

3.3 ScalabBLE

Uno de los objetivos que nos hemos marcado en scalabBle es analizar nuevos modelos de gestión, poner en práctica y hacer públicas nuestras experiencias. Por ello, uno de los ámbitos más relevantes es, precisamente, el diseño organizativo. Estamos convencidos que la forma en que nos organizamos y comunicamos tiene un impacto determinante en la eficacia de los resultados que conseguimos. Por tanto, merece un análisis detallado y pormenorizado

Los sistemas complejos están formados por elementos que interactúan buscando lograr una meta o finalidad común, y donde esas relaciones (o interacciones) no son lineales (entendiendo lineal como causa-efecto), es decir, cada interacción genera cambios en el escenario imposibles de predecir. Para describir sistemas complejos hace falta no sólo conocer el funcionamiento de las partes, sino conocer el funcionamiento del sistema complejo una vez relacionadas sus partes entre sí.

4 Sistemas Complejos y agentes

4.1 Agentes

Una tendencia en muchos sistemas ahora es diseñar objetos que reaccionan ante eventos en su entorno, estos se conocen como objetos activos o como agentes, a partir de esto aparecen los Sistemas Complejos Adaptables

Los Sistemas Complejos Adaptables tienen como características:

1. Es un sistema compuesto de muchos individuos Partes o agentes.
2. Las partes individuales, o agentes siguen reglas sencillas
3. No hay líder o individuo que está coordinando la acción de otros.

4. Mediante las interacciones de los agentes se generan patrones emergentes
5. Si se alteran elementos del sistema, el sistema se adapta o reacciona
6. Cualquier interacción puede retroalimentarse directamente sobre sí misma o después de una serie de etapas intermedias, esto se conoce como recurrencia
7. El comportamiento global del sistema de elementos no está predicho por el comportamiento de los elementos individuales
8. Tales sistemas pueden estar abiertos y puede ser difícil o imposible definir los límites del sistema
9. Los sistemas complejos operan en condiciones de lejos del equilibrio.
10. Tiene que haber un flujo constante de energía para mantener la organización del sistema
11. Los sistemas complejos tienen una historia. Ellos evolucionan y su pasado es co-responsable de su comportamiento actual
12. Los elementos del sistema pueden ignorar el comportamiento del sistema en su conjunto, respondiendo sólo a la información o estímulos físicos disponibles a nivel local

La complejidad es causada por el comportamiento colectivo de muchos agentes interactivos básicos. Tales agentes pueden producir fenómenos cotidianos como colonias de hormigas, atascos de tráfico, mercados de valores, ecosistemas forestales y sistemas de cadena de suministro. Los sistemas complejos, sin embargo, no tienen que ser complicados.

Los agentes pueden trabajar como individuos no interactivos o como conjunto colectivo.

Los SCA se modelan de vez en cuando por medio de modelos basados en agentes y modelos basados en redes complejas. Los modelos basados en agentes se desarrollan mediante diversos métodos y herramientas, principalmente mediante la identificación de los diferentes agentes dentro del modelo. Otro método de desarrollo de modelos para SCA implica el desarrollo de modelos de red complejos mediante el uso de datos de interacción de diversos componentes.

Un modelo basado en agentes (ABM) es uno de una clase de modelos computacionales para simular las acciones e interacciones de agentes autónomos, tanto entidades individuales como colectivas como organizaciones o grupos, con el fin de evaluar sus efectos sobre el sistema como un todo. Combina elementos de teoría de juegos, sistemas complejos, emergencias, sociología computacional, sistemas multi-agentes y programación evolutiva. Los métodos de Monte Carlo se utilizan para introducir aleatoriedad. Particularmente dentro de la ecología, los ABM también se denominan modelos basados en individuos (IBMs), y los individuos dentro de IBM pueden ser más simples que los agentes completamente autónomos dentro de los ABM. El modelado basado en agentes está relacionado

con el concepto de sistemas multi-agentes o con la simulación multi-agente, pero distinto de éste, en el sentido de que la meta de ABM es buscar una comprensión explicativa del comportamiento colectivo de agentes que obedecen reglas simples, típicamente en sistemas naturales. En lugar de diseñar agentes o resolver problemas prácticos o de ingeniería específicos.

4.2 Modelo Matemático de los agentes

Los modelos matemáticos nos ayudan a

1. Describir el sistema (modelos descriptivos)
2. Predecir cómo se comportará el sistema si cambiamos algo (modelos predictivos)
3. Averiguar cómo obtener el comportamiento óptimo del sistema (modelos prescriptivos)

Los Sistemas Complejos “simples” se puede modelar fácilmente, ya que se integran en una trayectoria directa mientras que aquellos basados en el mundo real son más difíciles de modelar porque a menudo no se pueden derivar ecuaciones gobernantes, esto crea desafíos para los matemáticos.

El modelomatemático generado siempre dependerá de lo que se esté analizando y

4.3 Ejemplos

4.3.1 Microfono y Bocina

Un ejemplo clásico es la retroalimentación de audio. En este sistema existen dos partes: un altavoz y un micrófono. ¿Qué Ocorre cuando cerramos el bucle girando el altavoz y el micrófono para que estén uno contra el otro? El micrófono recibe algo de sonido y lo envía más alto a través de el altavoz. Entonces ese sonido vuelve de nuevo, sale más fuerte, entonces se creó un bucle, un círculo vicioso, produciendo un chillido agudo.

4.3.2 SC con depredador y presa

Veamos un ecosistema simple con dos poblaciones: depredadores y presas. A medida que aumenta la población de depredadores, la población de presas disminuye. Pero, en algún momento, las presas se hacen escasas y algunos depredadores mueren de hambre. Cuando la mayoría de los depredadores han muerto, y quedan algunas presas, entonces la población de presas puede regenerarse con el tiempo. Cuando la población de presas aumenta, hay abundante alimento disponible para los depredadores restantes y éstos podrán prosperar y reproducirse. Este ciclo de variación de la población de depredadores y presas se repite con el tiempo.

5 Referencias

1. <http://uncomp.uwe.ac.uk/LCCOMP/Principal.html>
2. <http://www.gdl.cinvestav.mx/computacion/index.php?page=temarios>
3. http://www.ifuap.buap.mx/PNPC/DCF/f_Lineas_generacion_conocimiento.pdf
4. <https://sites.google.com/site/uamxpecci/proyecto/instituciones>
5. http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16877/1/Genaro_CCSIPN2013.pdf
6. <http://hcu.uaz.edu.mx/documents/48606/a7b2d06d-9d9e-4753-a1fc-c8bc7cda161a>
7. <http://comunidad.escom.ipn.mx/sistemascomplejos/institutions.html>
8. <http://abaco.izt.uam.mx/investigacion/fisica-de-sistemas-complejos.php>
9. [http://www.gaceta.unam.mx/20151103/el-centro-de-ciencias-de-la-complejidad-
puente-academico/](http://www.gaceta.unam.mx/20151103/el-centro-de-ciencias-de-la-complejidad-puente-academico/)
10. [http://www.conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politica-cientifica/3824-
ojo-publicar-hoy-se-inauguran-las-instalaciones-del-c3-de-la-unam](http://www.conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politica-cientifica/3824-ojo-publicar-hoy-se-inauguran-las-instalaciones-del-c3-de-la-unam)
11. <http://complejidad.uacm.edu.mx/index.php/sintesis-del-plan-de-estudios>
12. <http://sydney.edu.au/complex-systems/>
13. [https://www.uvm.edu/~cmplxsys/teaching-learning/ms-in-complex-systems-
and-data-science/](https://www.uvm.edu/~cmplxsys/teaching-learning/ms-in-complex-systems-and-data-science/)
14. https://en.unito.it/sites/sten/files/call_phd_33.pdf
15. <https://www.cardiff.ac.uk/computer-science/research/groups/complex-systems>
16. <http://www.aalto.fi/en/masters/complex-systems>
17. [https://www.cranfield.ac.uk/som/research-centres/complex-systems-research-
centre#](https://www.cranfield.ac.uk/som/research-centres/complex-systems-research-centre#)
18. <https://www.uu.se/en/>
19. <https://cosmotech.com/platform/methodology/>
20. https://en.wikipedia.org/wiki/Complex_adaptive_system
21. https://code.org/curriculum/science/files/CS_in_Science_Background_papers.pdf
22. <https://pdfs.semanticscholar.org/359c/5ac63abda292491508e464bcb3099ebfb46a.pdf>
23. <http://www.ipam.ucla.edu/programs/workshops/agent-based-complex-systems/>
24. http://www.2016.csdm-asia.net/IMG/pdf/11_SMITH_MILES_SWITCH.pdf