

ARTÍCULO

CENTRO DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD (C3). EN BUSCA DE LA TRANSDISCIPLINA

Alejandro Frank Hoeflich
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM

Centro de Ciencias de la Complejidad (C3). En busca de la transdisciplina

Resumen

En México es urgente resolver problemas prioritarios como los de salud, el agua y la contaminación, entre muchos otros. Para ello se requiere de nuevos enfoques, basados en la interacción de las ciencias físicas y naturales, las ciencias sociales y la tecnología. Desde hace décadas, investigadores de diversas partes del mundo se han hecho conscientes de las limitaciones que implica tratar de resolver problemas a partir del enfoque de una sola ciencia o disciplina. La mayoría de los problemas que enfrentamos hoy en día son de naturaleza compleja. En esta línea de pensamiento, un grupo de científicos de varios institutos y facultades de la UNAM tomó la iniciativa de crear el Centro de Ciencias de la Complejidad. El C3 no es un centro de investigación tradicional, con personal de tiempo completo dedicado a un tema específico, sino que se concibe como un espacio de encuentro.

Palabras clave: Centro de Ciencias de la Complejidad, C3.

Abstrac

It is a high priority in Mexico to solve problems, such as those associated to health, pollution and water, among many others. New approaches are needed, based on a closer interaction among the physical and natural sciences, the social sciences and technology. Already decades ago, researchers from different parts of the world have emphasized the limitations brought about by single-discipline approaches. The great majority of the problems we confront today have a complex nature. Following this line of thought, a group of scientists from diverse institutions at UNAM took the initiative to create the Centro de Ciencias de la Complejidad. The C3 is not a traditional research center with full-time personnel dedicated to a specific theme, but conceived as a place of encounter.

Key words: Centro de Ciencias de la Complejidad, C3.

El Centro de Ciencias de la Complejidad

Frente a la incertidumbre, la globalización y la creciente complejidad de las problemáticas sociales y ambientales, así como de los retos científicos que se desprenden de ellas, se hace necesario proponer y experimentar nuevas formas de generar y aplicar el conocimiento científico. A pesar de que no existe aún una definición universalmente aceptada de la complejidad, se entiende hoy en día que en muchos sistemas de naturaleza diversa, constituidos por un gran número de unidades interactuantes, se genera, bajo ciertas circunstancias, una fenomenología común y característica. En ella sobresale la emergencia de nuevos patrones y procesos que trascienden las características de las unidades y componentes individuales. Este tipo de sistemas se encuentran en ramas de las ciencias naturales, exactas y sociales, y también en la tecnología.

Las ciencias de la complejidad ofrecen herramientas comunes para atacar problemáticas en diversos dominios de la ciencia. El promover una ciencia de la complejidad permitirá desarrollar y transferir entre las distintas áreas de la ciencia y niveles de organización, enfoques y herramientas para la comprensión y eventual solución de problemáticas concretas. Estos enfoques implican tomar en cuenta cuestiones tales como la emergencia de fenómenos producto de la acción concertada de múltiples procesos correlacionados, en ocasiones en conflicto, explorar y entender su robustez y promover el desarrollo de modelos con capacidad predictiva.

La teoría de redes y el desarrollo de metodologías de simulación por computadora, las cuales han tenido un auge particular en años recientes, proporcionan herramientas prometedoras para el entendimiento de la estructura, dinámica y funcionalidad de los sistemas complejos.

El estudio de sistemas complejos para abordar problemáticas concretas requiere, por tanto, de una ciencia integrativa, que trascienda las barreras disciplinarias. Como complemento de la ciencia dominante hasta ahora, que es reduccionista, analítica y especializada y que seguirá siendo útil e instrumental, los retos actuales demandan, además, una ciencia capaz de comprender procesos integrados, más que los componentes de los sistemas y sus comportamientos aislados. Un enfoque integrativo debe romper con la compartimentalización tanto física como conceptual de la ciencia, que dificulta enormemente la imprescindible transferencia de conocimientos.

Para lograr esto, es clave contar con un espacio físico en donde investigadores de diferentes disciplinas puedan interactuar libremente durante periodos considerables. Por ello, se ha creado el Centro de Ciencias de la Complejidad – C3, que es el primero en su género en México y Latinoamérica, por su estructura y acceso a recursos científicos de alto nivel en las diversas disciplinas. El Centro de Ciencias de la Complejidad está situado en el ala norte del sexto piso de la Torre de Ingeniería en la UNAM, en pleno centro de Ciudad Universitaria. El C3 buscará tender puentes entre las ciencias exactas, las naturales, sociales y humanísticas; entre teoría, experimento y simulaciones en computadora; entre investigadores y profesores de enseñanza superior, media-superior y media; entre las diversas disciplinas del conocimiento, así como entre los actores sociales involucrados en la identificación y solución de problemáticas concretas y los desarrolladores del uso de los conocimientos científicos. El C3 se concibe como punto de encuentro para la comunidad académica, tanto nacional como internacional. Podrá actuar como catalizador para establecer estrategias y herramientas de análisis objetivas, con el fin de coadyuvar en la propuesta y solución de conflictos y problemáticas sociales y ambientales complejas, importantes para el país. Por ello, se enfocará en propuestas de desarrollo científico y tecnológico en diversas áreas y ámbitos, con una visión amplia e integrativa hacia innovaciones y tecnologías eficientes y sustentables.

Para lograr sus objetivos, el C3 contará con investigadores y técnicos de alto nivel, posdoctorantes asociados y estudiantes graduados, así como con equipo de cómputo y programas, para el abordaje de problemáticas complejas de diversa naturaleza, para cuya solución se pueden emplear enfoques teóricos y herramientas comunes. Tal es el caso, por ejemplo, de la teoría de redes o de la minería de datos, respectivamente. Esto le permitirá al

C3 desarrollar proyectos que ya están emprendiendo algunos de sus miembros en diversos grupos interdisciplinarios, pero con una transferencia de conocimientos y herramientas cada vez más eficientes y con mayores alcances. Además, el C3 podrá también impulsar nuevos proyectos que usen la plataforma de investigación generada.

En resumen, el C3 plantea una nueva forma de hacer ciencia, que promueve la generación de innovaciones que se puedan socializar, aprovechando la diversidad y calidad científico-técnica instalada en la UNAM y otras instituciones del país. También se impulsará un nuevo posgrado Nacional dentro de la UNAM enfocado a la formación de investigadores con una sólida formación técnica para análisis cuantitativos y formalización de problemas, así como con capacidad de hacer investigación transdisciplinaria.

Estructura del C3

Un elemento clave del C3 es que su estructura refleja la naturaleza integrada y dinámica de su objeto de estudio, que requerirá de un elevado grado de adaptabilidad constante. No se tiene una división formal en departamentos y el personal académico no es permanente. En su mayor parte, se conforma por personal académico adscrito ya a diversos Institutos y Centros tanto de la unam como de otras Instituciones Nacionales o del extranjero. Lo anterior tiene el objeto de promover una mejor colaboración tanto formal como informal entre los investigadores de las diferentes disciplinas, y a su vez garantizar que la investigación realizada en el C3 se adapte a las nuevas tendencias, necesidades y desarrollos científicos, así como a las problemáticas prioritarias para México.

Proyectos semilla del C3

La iniciativa del C3 actualmente cuenta con una red de más de 150 investigadores nacionales, ya comprometidos con los proyectos del C3. Sin embargo, se tiene la capacidad de estimular la creación de nuevos proyectos. En el C3 se promueven sinergias entre investigadores y técnicos y el desarrollo de programas para abordar proyectos amplios. El grupo fundador del C3 se enfoca en algunos proyectos concretos que involucran problemáticas que van desde el nivel molecular, hasta los sistemas sociales. En todos ellos, se tiene la visión de que las interacciones a un nivel de organización impactan a las componentes y comportamientos de otros niveles. Es importante enfatizar, sin embargo, que se fomenta la apertura de nuevas líneas o aplicaciones de éstas y la generación de herramientas para ser utilizadas en otras problemáticas.

El proyecto C3 se sometió al CONACYT dentro de la convocatoria de megaproyectos y ha sido aprobado para formar parte de una red temática con otros proyectos interesados en generar nuevas formas de hacer y socializar conocimientos científicos, con un enfoque transdisciplinario y complejo. Esta es la red: "Complejidad, Ciencia y Sociedad". Esta incluye otros proyectos promotores de una ciencia integradora y comprometida con la educación, la divulgación, desarrollo productivo y con la socialización de la ciencia en general. En la primera etapa del C3 se emprenden programas conjuntos de investigación teórica y práctica en el campo de la estructura y dinámica de redes complejas y el desarrollo de herramientas en el campo de la minería de datos. Los resultados de este proyecto serán de utilidad para aplicaciones en las líneas iniciales de investigación y en otras futuras. En

este proyecto se analizarán preguntas aplicables a redes de cualquier naturaleza. Por ejemplo:

- ¿Cómo evolucionan las diversas estructuras de redes?, ¿Cómo emerge la modularidad?
- ¿Cuál es la relación entre la estructura, la función y la dinámica de las redes? Y ¿Cuál es la red "óptima" para un fin particular?
- ¿Cómo emerge una jerarquía de redes asociada con diferentes grados de libertad efectivos?
- ¿Qué tan robustas son las redes a cambios en aspectos estructurales (eg., mutaciones y cambios transcientes) y dinámicos (esquema de actualización, funciones cinéticas)? ¿De que depende esta robustez?

A continuación se enlistan algunas de las líneas con las que el C3 ha iniciado sus actividades y se describen algunas de ellas a manera de ejemplo.

Complejidad ecológica

En este nivel, en el que es difícil hacer experimentos controlados, es fundamental el desarrollo de "software" inteligente para el uso de la comunidad científica y de las instancias gubernamentales, para la predicción de la biodiversidad en áreas no exploradas o con problemáticas diversas. Una aplicación importante de esta área es la de las enfermedades emergentes.

- Biodiversidad:** México es un país con una mega-diversidad biológica que lo coloca dentro de los primeros 10 países a nivel mundial. Uno de los retos a enfrentar es conocer cómo se distribuye esta diversidad biológica en México y predecir su desarrollo futuro, particularmente como resultado de actividades humanas como la agricultura y el calentamiento global. Este tipo de estudios tienen un interés científico muy grande por sí mismos, pero además, sus aplicaciones tienen importantes ramificaciones sociales y económicas en salud pública y agricultura.
- Enfermedades emergentes:** México enfrenta grandes problemas de salud pública a causa de las enfermedades emergentes. Dengue, paludismo, la enfermedad de Chagas y leishmaniasis, entre otras, implican un reto enorme para el sistema de salud pública y grandes costos, tanto económicos como sociales. Por ejemplo, hay entre 1.2 y 2 millones de personas que sufren la enfermedad de Chagas en México y si se pudiera diagnosticar en etapas tempranas para evitar la cronicidad, se podrían ahorrar cerca de \$1.26 mil millones de dólares. Las metodologías que se están desarrollando en el C3 para integrar y analizar los datos biológicos, médicos, epidemiológicos, socioeconómicos y ambientales, para el caso mexicano permitirán identificar reservorios potenciales de esta enfermedad. Estas herramientas serán útiles para explorar alternativas de manejo, control y prevención de esta y, eventualmente, otras enfermedades emergentes en nuestro país.
- Comportamiento colectivo social de animales:** El comportamiento colectivo de animales debido a interacciones sociales entre ellos y también con su ambiente es un área fundamental para entender fenómenos y estructuras emergentes debido a interacciones entre agentes complejos. Por ejemplo, ¿cómo surge espontáneamente la cooperación en

redes sociales? y ¿cómo se da la exploración espacial de ambientes complejos?. Estos estudios resultan fundamentales y serán la base para aplicaciones socioambientales concretas.

Inteligencia computacional

La modelación matemática tradicional ha sido útil para describir y estudiar ciertos fenómenos y aspectos de sistemas complejos, como por ejemplo en la genética poblacional. Sin embargo, tales modelos no han sido capaces de describir la complejidad en el sentido de una jerarquía de grados de libertad efectivos (agentes) cualitativamente diferentes a distintas escalas. Puede ser que la complejidad no se pueda modelar con modelación matemática analítica, y entonces es necesario recurrir a la simulación para tratar de crear sistemas complejos artificiales, o entenderlos mejor a nivel fenomenológico a través de la minería de datos. Por estas razones, la Inteligencia Computacional juega un papel importante en el C3, tanto por las metodologías que proporciona a las diversas líneas, como porque se desarrollará como un área de investigación en sí misma que permitirá explorar diferentes escenarios y el papel de distintos tipos de interacciones y agentes.

Las áreas iniciales a explorar son: a) Sistemas económicos: mercados financieros. b) Minería de datos en enfermedades emergentes. c) Vida Artificial. d) Relación entre área de aplicación y metodología para el ejemplo de enfermedades emergentes.

Complejidad social

Si bien la biología es el nicho natural presente del estudio de los sistemas complejos, no es muy aventurado pronosticar que la sociología será un nicho por excelencia del futuro. Al adentrarse en los fenómenos sociales se abre una caja de Pandora de alcances ilimitados. En el C3 se propone abordar problemáticas sociales que son ya objeto de estudio por parte de participantes del proyecto. En un inicio los estudios se centrarán en aspectos de la salud pública, urbanismo y educación. Tanto para problemas relacionados con el sistema de salud pública como con la dinámica de las comunidades urbanas, uno de los puntos de partida será el análisis de la interrelación entre las estructuras socio-políticas formales y las informales, las llamadas comunidades de práctica.

a) **Salud:** Con relación a enfermedades de interés nacional, aprovechando la experiencia previa, se profundizará en estudios integrales sobre el sida y la diabetes.

2. Ambas enfermedades son de particular impacto en la salud de los mexicanos e implican costos sociales y económicos muy importantes. También en este rubro se elaborará un estudio desde la perspectiva de las ciencias de la complejidad del Sistema de Salud Pública.

b) **Urbanismo:** En el momento actual y en diversos niveles se hace patente la necesidad de modos de organización urbana, a la vez robustos y flexibles. Con frecuencia la robustez está asociada a la estructura formal y la flexibilidad a la estructura informal, a las llamadas comunidades de práctica y ayuda mutua. Se estudiarán estas comunidades de práctica

y de ayuda mútua y se llevarán a cabo experimentos piloto en dos frentes importantes: i) Propagación en medios sociales y epidemias; ii) Finanzas con vocación social.

c) **Educación:** Respecto a la educación se continuará con el trabajo sobre comportamientos universales en las ciencias y las artes, y sobre el desarrollo mismo de las ciencias de la complejidad. Evidencia preliminar sugiere que estos análisis pueden contribuir a la inclusión de una temática novedosa en las carreras de arquitectura, artes plásticas y música. Una función fundamental del C3 será la de fomentar la organización de mini cursos y diploma-dos dirigidos a los investigadores en las ciencias exactas, naturales y sociales, así como al profesorado de la enseñanza media, media superior y superior. De suma importancia será la implementación de un programa de doctorado en las ciencias de la complejidad, el cual, además de formar generaciones con nuevos horizontes contribuirá a la consolidación de una red de trabajo multidisciplinaria. De tal manera que las dos áreas a enfatizar serán: i) Universalidad en las ciencias y artes y ii) Enseñanza.

Regulación genética y epige-nética en la diferenciación celular, el desarrollo y la morfogénesis: aplicación a enfermedades complejas

La revolución de la genética gracias a lo que se denominan ciencias genómicas ha generado un conocimiento detallado de prácticamente todas las macromoléculas de una célula. Este enfoque y la genética molecular experimental clásica está proporcionando conocimiento acerca de prácticamente cada una de los componentes moleculares de los sistemas biológicos. Está claro en la comunidad científica que el reto es ahora integrar como se interconectan estas piezas y entender su funcionamiento concertado en forma integral. Este reto requiere de la combinación de herramientas teóricas, modelaje, manejo de la información genómica, bioinformática y ciencias de la computación, así como enfoques y metodologías experimentales de validación de estos modelos. A esta nueva forma de hacer biología se le ha llamado recientemente "Biología de Sistemas" y en su vertiente más prometedora recupera aspectos importantes de la tradición de Biología Teórica que había ya identificado aspectos genéricos que subyacen tras el funcionamiento y estructura de los seres vivos. Este tipo de investigación en Biología se está ya haciendo en nuestro país, principalmente por algunos grupos pioneros de la UNAM que ahora se unen en esta propuesta a la que además se suman expertos en ciencias físicas, matemáticas, ciencias de la computación y otros biólogos quienes han trabajado desde distintas perspectivas en la problemática de sistemas biológicos complejos. En el C3 se desarrollan las siguientes líneas:

- a) **Validación de predicciones de teoría de redes usando a *Escherichia coli* como modelo experimental:** Este organismo es uno de los mejor estudiados a nivel molecular y en México se han hecho trabajos pioneros con él. Además es muy adecuado para experimentación y se usará para validar empíricamente las predicciones de los modelos de redes a desarrollar en esta iniciativa, así como para postular nuevas hipótesis.
- b) **De los genes al fenotipo, desarrollo y morfogénesis:** Los enfoques teórico-experimentales con capacidad predictiva que aquí se proponen usando diversos modelos teóricos y experimentales, se abocan al estudio de temas centrales de la biología contemporánea: la regulación genética y epigenética de enfermedades complejas como el cáncer, la

interrelación de la estructura dinámica de las redes de regulación como la maquinaria de toma de decisiones a nivel celular, el control de la diferenciación y proliferación celular, y los patrones morfogénéticos. La morfogénesis normal y alterada (p.e. tumoraciones) depende del balance entre división y diferenciación celular en organismos multicelulares.

- c) **Cáncer como una enfermedad compleja:** Para profundizar en estas líneas y explorar su potencial contribución a entender alteraciones complejas como el cáncer, se pretende seleccionar un tipo de cáncer importante en México, que se estudiará con una perspectiva integrativa y de los sistemas complejos.
- d) **Diseño de fármacos:** También se explorarán diversos enfoques para coadyuvar en el desarrollo de nuevos fármacos útiles para la prevención o tratamiento del cáncer.

El C3 ha cumplido recientemente su primer año de trabajo. Se han incorporado nuevos proyectos y el número de investigadores aumenta cada día. Confiamos que este ambicioso proyecto continúe desarrollándose exitosamente para beneficio de nuestro país.

Alejandro Frank Hoeflich, Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM, frank@nucleares.unam.mx

Christopher Stephens, Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM, stephens@nucleares.unam.mx

Elena Álvarez-Buylla, Instituto de Ecología, UNAM; eabuylla@gmail.com

Germinal Cocho Gil, Instituto de Física, UNAM, cocho@fisica.unam.mx

Gustavo Martínez-Mekler, Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, mekler@fis.unam.mx

Octavio Miramontes Vidal, Instituto de Física, UNAM, octavio@fisica.unam.mx