



# La Maestría en Ciencias de la Complejidad, espacio de integración del conocimiento

JOSÉ LUIS GUTIÉRREZ SÁNCHEZ

En el último medio siglo, las ciencias de la complejidad surgieron como espacio de integración de saberes y conocimientos; arraigadas en el desarrollo de las ciencias naturales, las trascendieron y pusieron sus conceptos y métodos al servicio de la comprensión de procesos donde los efectos no son proporcionales a las causas y el comportamiento del todo sólo puede explicarse merced a interacciones de sus componentes. La teoría de los sistemas complejos, su base teórica, constituye un nuevo instrumental para el pensamiento, que supera al del reduccionismo dominante y alienta la integración de las contribuciones de estudiosos de distintos campos a la solución de los problemas de nuestro tiempo. En el Colegio de Ciencias y Humanidades —concebido en la UACM para tender puentes y superar la tendencia a aproximarse a los problemas sólo desde perspectivas disciplinarias— se ofrece, desde 2003, un posgrado, pionero en América Latina, en ciencias de la complejidad.

**PALABRAS CLAVE:** complejidad, integración del conocimiento, Colegio de Ciencias y Humanidades, reduccionismo

**In the last half-century, sciences of complexity emerged as a space where different fields of knowledge are integrated. Although rooted in the development of natural sciences, they have transcended them, and their concepts and methods have helped understand the processes in which effects are not in proportion to causes and the behavior of the whole can only be explained through the interaction of its components. Complex systems theory, its theoretical basis, constitutes a new set of tools for thought, since it transcends dominant reductionism and encourages the integration of contributions by scholars from different fields to the solution of current problems. The College of Sciences and Humanities, created by the UACM (Universidad Autónoma de la Ciudad de México) with the purpose of building bridges between disciplines and overcome the trend to approach problems only from a disciplinary perspective, offers a graduate program, ground-breaking in Latin America, in sciences of complexity since 2003.**

**KEY WORDS:** Complexity, knowledge integration, College of Sciences and Humanities, reductionism

---

## Introducción

Uno de los pilares de la modernidad es la revolución científica de los siglos xvii y xviii. En Occidente, durante un milenio, bajo la hegemonía de la iglesia medieval y el feudalismo, los seres humanos habían renunciado a tratar de comprender y transformar el mundo, puesto que en él, según la palabra de la iglesia, todo ocurría por voluntad divina. Luego de reencontrarse con las grandes corrientes del racionalismo griego, los estudiosos habían recuperado la confianza en las capacidades del ser humano y habían resuelto grandes problemas de la filosofía natural; en particular, habían logrado explicar de forma convincente, y con una capacidad de predicción asombrosamente precisa, los movimientos de los cuerpos celestes que se encuentran alrededor del Sol. De Galileo Galilei (1564-1642) a Pierre-Simon Laplace (1749-1827) y de éste a Max Planck (1858-1947) y Albert Einstein (1879-1955) hay trescientos años de fortalecimiento de la certeza de que el universo obedece leyes naturales<sup>1</sup> y que la razón, máximo atributo de nuestra especie, es capaz de descubrirlas y aprovecharlas en beneficio propio.

Conforme creció el caudal de información en los distintos campos, los estudiosos hubieron de especializarse y, según una clasificación del siglo xix, el conocimiento se separó en propio de las ciencias naturales, las ciencias sociales y las humanidades. El mundo académico se dividió en campos disciplinares: filósofos e historiadores, físicos y biólogos, médicos e ingenieros, sociólogos, antropólogos y economistas... La especialización se fue refinando a lo largo de todo el siglo xx y generó dificultades de comunicación entre los estudiosos, que solían abordar los problemas con la tradición y las herramientas de su propia disciplina,

sin considerar qué podrían aportar los especialistas de otros campos<sup>2</sup>.

En otro lado<sup>3</sup> hemos escrito que “el racionalismo como doctrina filosófica y como actitud ante la vida se levantó sobre tres principios explicativos generales: el materialista, el mecanicista, el determinista”<sup>4</sup> y obtuvo grandes logros mediante la separación de un todo en partes constituyentes, para tratar de reducir la comprensión de lo que se estudia, a la comprensión de dichas partes. A este método de investigación se le llamó del reduccionismo y es la base epistémica de ramas de la ciencia tan exitosas como la biología molecular y la mecánica cuántica.

No obstante, el reduccionismo, que va del todo a las partes, no provee el camino de regreso, en general, no explica cómo los componentes se integran y producen comportamientos globales. Y tal limitación es crucial cuando se trata de comprender los procesos de la vida, salud, sociedad, economía, política o la cultura, donde lo que importa es, precisamente, el comportamiento del todo. Más aún, el reduccionismo, aplicado de manera irreflexiva o mal intencionada, “aísla, divide y concentra el poder del conocimiento en pocas manos”<sup>5</sup>.

Sin embargo, frente a la visión del mundo del mecanicismo reduccionista, “estrechamente enfocado a una sola disciplina en alcances y aplicaciones”<sup>6</sup>, desde la propia ciencia y bajo el amparo de la razón — porque es también un producto de la física matemática del siglo xx — surge la visión de los sistemas complejos que provee una teoría “integradora, cualitativa y dialéctica; capaz de *trascender el estudio de las partes*”<sup>7</sup> para convertirse en un aparato para estudiar la *integración de las partes*<sup>8</sup> y comprender las propiedades que emergen como resultado de la interacción de las componentes de un sistema cuyo comportamiento colectivo

es distinto del que presentan tales componentes por separado.

En efecto, el reduccionismo no alcanza (ni siquiera se lo propone porque no provee una hipótesis constructorista) para explicar lo complejo: la emergencia de patrones espacio temporales, la aparición repentina de formas de comportamiento coherente en sistemas de gran cantidad de elementos relativamente simples e indiferenciados, la autoorganización para funcionar en una zona crítica donde se optimizan las capacidades de aprendizaje y adaptabilidad, el desarrollo, la morfogénesis o la evolución. Sin embargo, la física matemática del último tercio del siglo pasado, potenciada por el acelerado desarrollo de las capacidades de cómputo científico, pudo empezar a explorar con éxito el camino inverso del reduccionismo y, en relativamente poco tiempo, descubrió que —no obstante su impredecibilidad intrínseca— en los sistemas complejos es posible identificar regularidades en el comportamiento que lo distinguen del azar.

El desarrollo de la teoría de los sistemas complejos, al descubrir grandes categorías de dinámicas universales, ha permitido proponer una nueva concepción del mundo<sup>8</sup>, que puede ser:

Una herramienta importante para comprender los fenómenos de evolución y revolución social, así como el papel activo y consciente del hombre como promotor de esos cambios; en ese sentido, los fenómenos de transición que se esbozan tanto a nivel físico como en el análisis de la evolución de la estructura de la ciencia<sup>9</sup> podrían estar presentes en todos los niveles [...] Creemos que vale la pena añadir que el entendimiento de las leyes de evolución de la materia, a diversos niveles de los fenómenos de transición y amplificación de fluctuaciones, nos puede ayudar a comprender la dinámica de los cambios sociales revolucionarios hacia una sociedad más justa,

así como el papel del hombre como motor de estos cambios.

Hace treinta años ya, la búsqueda de un camino inverso al del reduccionismo permitió ampliar nuestra comprensión del mundo en muchas direcciones y empezar a superar las barreras disciplinares, pues abona la idea de que por múltiple que pueda ser la realidad, el conocimiento es uno solo y son imposturas las distintas divisiones académicas de los campos del conocimiento. Todavía hay mucho camino por recorrer, pero ahora tenemos un método prometedor para tender vasos comunicantes entre las ciencias naturales, las ciencias sociales y de lo humano y las humanidades.

El esfuerzo académico y educativo de la UACM de ofrecer formación de posgrado en Ciencias de la Complejidad fue el primero en su tipo en América Latina y se suma al de los centros que, en el mundo, se dedican a la investigación y la difusión de aplicaciones y resultados de dinámica no lineal y sistemas complejos. Por su importancia y cercanía con el trabajo que se lleva a cabo en nuestro programa, importa enumerar los siguientes:

- El Instituto Internacional de Física y Química de la Universidad Libre de Bruselas, donde han desarrollado su trabajo Ilya Prigogine y su equipo.
- El Instituto de Investigación en Sistemas Complejos, en Santa Fe de Nuevo México, donde cada año los más destacados académicos de todo el mundo y de todas las disciplinas, como el biólogo teórico Stuart Kauffman o el economista Brian Arthur investigan y dan conferencias o seminarios de actualización.
- El Departamento de Física Teórica

de la Universidad de Stuttgart, Alemania, donde la investigación en sistemas complejos ha sido liderada por el profesor Hermann Haken.

- En México, desde principios de los años setenta del siglo pasado —inicialmente en la UNAM y con la orientación de Germinal Cocho— se formaron físicos, matemáticos y biólogos que, más adelante, fundaron grupos de trabajo interdisciplinario en la propia UNAM, la Maestría en Dinámica no Lineal y Sistemas Complejos (MDNLYSC) de la UACM, antecedente de la actual, y el Centro de Ciencias de la Complejidad (C3), un proyecto interinstitucional en el que confluyen jóvenes de otras instituciones mexicanas de investigación y educación superior.

Hasta hoy, la Maestría en Ciencias de la Complejidad se desarrolla con la colaboración permanente y desinteresada —sobre todo en la dirección de tesis de grado— de los académicos de la UNAM que, con los propios de la UACM, formaron el grupo de trabajo que elaboró el programa de la MDNLYSC <sup>10</sup>.

## Las ciencias de la complejidad en la UACM

Las ciencias de la complejidad son un espacio para la integración del conocimiento; un lugar de encuentro donde se tiene la posibilidad de conjuntar el interés de estudiosos de la vida, lo social y lo humano en sus distintos niveles de organización, con técnicos y científicos cuyo lenguaje y método de investigación fundamental es la matemática; éstos ponen a disposición de los otros la teoría de los sistemas dinámicos no lineales; aquéllos plantean los problemas y juzgan la pertinencia de las propuestas teóricas sobre la base de su conocimiento del campo en que se quiere aplicarlas y realimentan la búsqueda conjunta.

En los últimos treinta años, las ciencias de la complejidad surgieron como herramienta para entender procesos cuyo estudio no puede reducirse al de sus componentes. Por el vigor con que se desarrollan en el mundo, por las posibilidades que ofrecen para buscar soluciones a los ingentes problemas de la ciudad de México y del país, nuestra universidad ofrece la Maestría en Ciencias de la Complejidad como una forma de impulsar la formación de investigadores y profesionistas capaces de

incorporar sus conceptos, métodos y resultados en sus campos de trabajo.

## Antecedentes

La Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) fue fundada en abril de 2001 como Universidad de la Ciudad de México (UCM); en marzo del año siguiente el rector invitó a un grupo de académicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a plantear los lineamientos básicos para desarrollar un área de ciencias que iniciara las actividades de docencia, investigación y difusión de la cultura, correspondientes a ese campo en la UCM. El resultado del trabajo de ese grupo fue el programa de Maestría en Dinámica no Lineal y Sistemas Complejos (vigente entre 2003 y 2012), antecedente del de la Maestría en Ciencias de la Complejidad, que se ofrece desde 2012 y cuya fundamentación, objetivos y plan de estudios pueden verse en el *Documento maestro*<sup>11</sup>, que orienta las actividades de dicho programa.

Por su naturaleza integradora, el programa se adscribió al Colegio de Ciencias y Humanidades (CCyH), instancia académica de la UACM concebida para tender puentes de colaboración en la práctica académica con los colegios de Ciencia y Tecnología (CCyT) y de Humanidades y Ciencias Sociales (CHyCS) y tratar de llevar a cabo el propósito manifiesto en la exposición de motivos de la *Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México*<sup>12</sup> donde se señala que:

La idea de universidad [...] es nutrida por la aspiración de aproximarse a la verdad, de conocer la realidad, lo cual implica reconocer la unidad de ésta, y el empeño por unir lo diverso [...] por fundir la diversidad con la unidad. Esta

aspiración [...] ha generado enormes avances tanto en la ciencia como en las humanidades.

Contraria a esta aspiración de unir lo diverso es la tendencia a separar, a especializar, a disgregar. Esta tendencia ha aportado, igualmente, resultados útiles en el campo del conocimiento y la cultura, sin embargo, también ha evidenciado sus debilidades. Una de ellas es la tendencia de los especialistas a ignorar o minusvaluar todo aquello que no pertenece a la especialidad propia, y a desarrollar la incapacidad de comprender no sólo los otros campos de especialización, sino también la necesaria interdependencia y unidad de todos los campos del conocimiento. Como resultado de estas actitudes, el especialista tiende a otorgar un valor absoluto a sus conocimientos especializados e, incluso, a pretender abarcar con sus conocimientos parciales la realidad total. Esto es lo que se ha denominado especialismo, y que hace décadas fue señalado por Ortega y Gasset como un grave peligro para la cultura y la humanidad.

Para que las aportaciones humanísticas, técnicas y científicas sean realmente tales, es necesario un esfuerzo permanente para superar los límites de toda especialidad, e integrar, en planteamientos científicos y de amplia perspectiva cultural, los conocimientos especializados. Para cumplir con esta finalidad, la organización académica de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, que será definida por los propios universitarios, deberá procurar la integración de los diversos campos del conocimiento e impedir que las fronteras artificiales de las disciplinas reduzcan la capacidad de comprensión de la realidad.

La cita es larga, pero vale la pena porque fundamenta no sólo la adscripción del programa de Maestría en Ciencias de la Complejidad al Colegio de Ciencias y Humanidades

sino la congruencia del mismo con la filosofía institucional que, a su vez, recoge y actualiza una preocupación educativa presente en los esfuerzos de la UAM-X y el CCH de la UNAM<sup>13</sup>, de los años setenta del siglo pasado, por superar la fragmentación del conocimiento.

## El plan de estudios

La Maestría en Ciencias de la Complejidad ofrece dos orientaciones curriculares, según la formación y los intereses académicos y laborales de quienes solicitan su ingreso: la orientación A, supone que los aspirantes poseen la formación matemática propia de las licenciaturas en física, matemáticas, ciencias de la computación o áreas afines; la orientación B, se ofrece a quienes, interesados en el programa, provienen de licenciaturas de ciencias biológicas y de la salud o de humanidades y ciencias sociales<sup>14</sup>.

El plan de estudios está organizado en tres líneas curriculares: ciencia y sociedad, complejidad y dinámica no lineal. Los contenidos de la primera son comunes a las dos orientaciones; los de la segunda y la tercera se distinguen por el énfasis que se pone en la formalización matemática. Sin embargo, el objetivo general es común a las dos y establece:

El programa de la MCC tiene el propósito de propiciar que los profesionistas de distintos campos que se formen en él desarrollen aptitudes para la investigación en ciencias de la complejidad, orientadas a y aplicables en sus respectivos campos de interés y congruentes con los objetivos de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México establecidos en su Ley.

Asimismo, se describe que para lograr este propósito los egresados deben:

1. Comprender los fundamentos, alcances y significado de la modelación de

procesos y fenómenos no lineales como herramientas de representación necesaria en la solución de problemas.

2. Identificar en la realidad las posibilidades de aplicar la teoría de los sistemas complejos para la comprensión de procesos físicos, biológicos o sociales que tengan lugar en su ámbito de trabajo.
3. Apropiarse de una cultura científica y humanística que les permita:
  - a. Comunicarse adecuadamente con técnicos y profesionistas de distintos campos del conocimiento a fin de identificar la mejor forma de colaborar con ellos en la solución de problemas de interés común, en los cuales puedan aplicarse las herramientas del análisis no lineal y la visión de la teoría de los sistemas complejos.
  - b. Profundizar su educación ya sea formalmente o mediante el aprovechamiento de las múltiples fuentes de información disponibles hoy en el mundo.
  - c. Construir un sistema de valores en el cual la búsqueda del bienestar y la felicidad de los seres humanos sea el más importante, para normar su actividad como científico.
  - d. Transformar su práctica profesional para contribuir a resolver los problemas de la gente, recuperando para ella el bien social que es la ciencia.

La línea curricular de ciencia y sociedad es, por así decirlo, el sello de la casa. Según el documento maestro:

En el contexto de la formación que se quiere propiciar mediante este plan de

estudios, la línea curricular de Ciencia y Sociedad es un eje articulador; se trata de estudiar sus contenidos desde la perspectiva de la teoría de los sistemas complejos porque arroja nueva luz sobre la ciencia como un proceso, sugiere cómo puede ser la dinámica del mundo que ha producido saberes y conocimientos —desde la Antigüedad Clásica hasta nuestros días— y hace posible identificar los artefactos que la visión lineal había impuesto para la interpretación de esa dinámica, elaborar la crítica correspondiente y sugerir formas de representar y comprender los procesos sociales posiblemente más cercanas a la naturaleza de los mismos.

## Líneas de generación o aplicación del conocimiento

Concebido como un programa de posgrado orientado a la investigación, para obtener el grado, los estudiantes deben llevar a cabo una investigación y defender una tesis en la que apliquen las categorías y herramientas de la teoría de los sistemas complejos. El Taller de complejidad, en particular, tiene el propósito de iniciar a los estudiantes en la búsqueda de soluciones a problemas de la ciudad de México. No obstante, es deseable, aunque no indispensable, que la tesis se desarrolle sobre este tipo de problemática.

Las líneas de investigación que en la actualidad se llevan a cabo en el programa pueden agruparse en dos grandes categorías: sociocomplejidad y biología teórica. La mayoría de los proyectos de investigación son desarrollados por los miembros del Grupo de dinámica no lineal y sistemas complejos<sup>15</sup> de la UACM o en colaboración con académicos de la UNAM o del C3. Los proyectos específicos se enlistan a continuación:

### 1. SOCIOCOMPLEJIDAD

- a) Sociocomplejidad y simulación computacional de dinámicas sociales
- b) Dinámica de la economía y los mercados financieros
- c) Aplicaciones de la teoría de los sistemas complejos en la organización de los servicios públicos y la solución de problemas urbanos, por ejemplo:
  - i. Promoción de la salud y enfermedades complejas
  - ii. Red hidráulica
  - iii. Vialidad y transporte
  - iv. Educación
  - v. Sustentabilidad y medioambiente
  - vi. Seguridad

### 2. BIOLOGÍA TEÓRICA

- a) Dinámicas en conflicto, frustración y emergencia de patrones
- b) Morfogénesis y evolución biológicas
- c) Genómica computacional y reconocimiento de patrones
- d) Dinámica de medios excitables
- e) Epidemiología, inmunología y ecología matemáticas
- f) Modelos matemáticos de la evolución de genes y proteínas
- g) Máquinas moleculares biológicas
- h) Medioambiente y complejidad

Asimismo, se lleva a cabo investigación de carácter general o aplicada a las líneas anteriores en

- a) Dinámicas en conflicto, frustración y emergencia de patrones
- b) Modelos basados en agentes y cómputo neuronal
- c) Cómputo emergente y redes complejas

## Conclusión

Sin duda, la experiencia educativa más prometedora —por su orientación crítica y de servicio a quienes menos tienen y su intención de crear un espacio académico autónomo e innovador— surgida en México en el último medio siglo es la fundación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Superar las inercias de la educación y la academia tradicionales ha sido una de las mayores dificultades que el proyecto universitario ha enfrentado. Todavía está presente la organización curricular que separa y fragmenta el conocimiento y eso merece la atención autocrítica de los universitarios.

No obstante, por su vocación de servir de puente entre los tres colegios, el de Ciencias y Humanidades es el germen de una organización diferente y de la construcción de una nueva cultura, en la que los estudiosos de las humanidades identifiquen en las aportaciones de la ciencia instrumentos críticos de liberación, útiles para poner la academia al servicio de los condenados de la tierra y, a su vez, para que los científicos aprendan a ser conscientes de su responsabilidad social y recuperen el sentido humanista que tuvo la ciencia cuando fue, durante el Renacimiento y la Ilustración, una de las manifestaciones de la capacidad de los seres humanos para valerse por sí mismos, para no delegar sus responsabilidades en la divinidad, para asumirse como agentes de su propio destino.



## Referencias

<sup>1</sup> El marqués de Laplace expresaría tal confianza al escribir: “Podemos considerar el estado presente del universo como el efecto del pasado y la causa de su futuro. Se podría concebir una inteligencia que, en un momento dado, conociera todas las fuerzas que animan la naturaleza y las posiciones de los seres que la componen; si esta inteligencia fuera lo suficientemente vasta como para someter los datos a análisis, podría condensar en una simple fórmula el movimiento de los grandes cuerpos del universo y del átomo más leve; para ella nada sería incierto y siempre podría ver tanto el futuro como el pasado (LAPLACE, Pierre-Simon Marqués de, *A Philosophical Essay on Probabilities*, Dover, Nueva York, 1951 (1819), p. 4).

<sup>2</sup> Incluso, poco después de la Segunda Guerra Mundial, surgió la tesis de que en el mundo académico y del conocimiento habría dos culturas irreconciliables: la de los intelectuales y artistas, por un lado, y la de los técnicos y científicos, por otro (cfr. SNOW, Charles P., *The Two Cultures*, Cambridge University Press, Cambridge, 1959).

<sup>3</sup> COCHO, Germinal, José Luis Gutiérrez y Pedro Miramontes, “Ciência e humanismo, capacidade criadora e alienação”, en *Conhecimento Prudente para uma vida decente: Um discurso sobre as ciências revisitado*, Edições Afrontamento, Coimbra, Portugal, 2005.

<sup>4</sup> Hay un mundo real independiente de la percepción de los seres humanos, un mundo con cualidades esenciales, un universo que puede reducirse, en última instancia, a materia; todo ocurre merced a fuerzas que operan sobre los cuerpos y producen movimiento; como la maquinaria no puede desobedecer las leyes que la rigen, todo en el universo está determinado, independientemente de si puede o no ser calculado.

<sup>5</sup> COCHO, Germinal, José Luis Gutiérrez y Pedro Miramontes, “Ciencia: crisis de la razón y sinrazón”, en *Totalidades y complejidades: crítica a la ciencia reduccionista*, Julio Muñoz Rubio, (coord.), CEBICH-UNAM, México, 2014.

<sup>6</sup> *Ibíd.*



<sup>7</sup> Cursivas en el original.

<sup>8</sup> COCHO, Germinal, “Algunos aspectos de la termodinámica de la vida”, en *El origen de la vida, Simposio conmemorativo en homenaje a Alexander I. Oparin*, Facultad de Ciencias de la UNAM, México, 1975.

<sup>9</sup> Discutidas por Thomas S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas*, una obra cuya primera edición en inglés es de 1962.

<sup>10</sup> Grupo de trabajo UNAM-UACM, *Ciencias de la complejidad, Programa de maestría, UACM, México, 2012.*

<sup>11</sup> *Ibíd.*

<sup>12</sup> Asamblea Legislativa del Distrito Federal (2004-2005), *Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México*, en *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, 5 de enero de 2005, UACM, México, 2005.

<sup>13</sup> En sus orígenes el CGH de la UNAM trataba de lograr la integración, a partir de propiciar que sus estudiantes se apropiaran de dos lenguajes: el de la matemática y el idioma español y aplicaran dos métodos: el científico y el histórico-político.

<sup>14</sup> Véase los perfiles de ingreso, egreso y las líneas de generación o aplicación del conocimiento en Grupo de trabajo UNAM-UACM, p. 42-43; 39-41 y 60, respectivamente.

<sup>15</sup> El Grupo de dinámica no lineal y sistemas complejos se constituyó en junio de 2013 y está formado por Maruxa Armijo, Fernando Camacho, José Luis Gutiérrez, Arezky Hernández, Damián Hernández, Lourdes Marquina, Luis Olivares y Fernando Ramírez, profesores-investigadores de tiempo completo adscritos a alguno de los tres colegios de la UACM.

