

# Complejidad en ciencias e ingeniería

Estudios socioeconómicos, socioespaciales,  
biofísicos y en educación

## COORDINADORES

Luis Mauricio Rodríguez-Salazar

Blanca Margarita Gallegos Navarrete



gedisa

# COMPLEJIDAD EN CIENCIAS E INGENIERÍA

Complejidad en ciencias e ingeniería  
Estudios socioeconómicos, socioespaciales, biofísicos y en educación

© Luis Mauricio Rodríguez Salazar y Blanca Margarita Gallegos Navarrete (Coordinadores)

Imagen de cubierta: Alejandro Ángel López Abriz  
Diseño de interiores: Rafael Cruz Sánchez

Primera edición: diciembre de 2022, Ciudad de México

Derechos reservados para todas las ediciones en castellano

© Editorial Gedisa Mexicana, S.A.  
Tepeji No. 86 Col. Roma sur  
06760, Ciudad de México  
México.  
[gedisa@gedisa-mexico.com](mailto:gedisa@gedisa-mexico.com)  
[www.gedisa-mexico.com](http://www.gedisa-mexico.com)

ISBN: 978-607-8866-38-0  
IBIC PDZ

Impreso en México / Printed in Mexico

Queda prohibida la reproducción total o parcial por  
cualquier medio de impresión, en forma idéntica,  
extractada o modificada, en castellano o cualquier otro idioma.

# Índice

Introducción.....	11
Apartado uno. Introducción a la complejidad	
Capítulo I. Complejidad <i>Natura Regnum Hominis</i> . Reino cultural emergente de la naturaleza biosociofísica: una reflexión epistemológica.....	21
Luis Mauricio Rodríguez-Salazar y Blanca Estela Gutiérrez-Barba	
Capítulo II. Complejidad de la epistemología representada en diagramas digitales.....	45
Luis Mauricio Rodríguez-Salazar, Victor Fernando Medina-Martínez y José Antonio García-Ayala	
Capítulo III. Reflexión teórica sobre la complejidad urbana arquitectónica...	73
Blanca Margarita Gallegos Navarrete	
Apartado dos. Complejidad aplicada a sistemas sociales y económicos	

Capítulo IV. La ciencia de las emociones como fenómeno complejo. Un análisis bibliométrico.....	97
Jennifer Morales Uribe, Blanca Estela Gutiérrez-Barba y Luis Mauricio Rodríguez-Salazar	
Capítulo V. Sistema de comercialización internacional de la educación virtual, reforma educativa y políticas públicas.....	144
María de la Paz Silva Borjas	
Capítulo VI. Las Redes de Investigadores como sistema complejo.....	171
Hugo Necoechea-Mondragón y María de la Luz Pérez-Revels	
Apartado tres. Complejidad territorial: ciudad, arquitectura y habitabilidad	
Capítulo VII. El orden urbano en zonas marginales visto desde el bucle tetralógico de Morin.....	203
Guillermo Ortiz Taboada y Blanca Margarita Gallegos Navarrete	
Capítulo VIII. De la complejidad a la transdisciplinariedad y viceversa en los estudios urbano-arquitectónicos. Introducción a la complejidad como marco epistemológico.....	227
José Antonio García Ayala y Lucia Rodríguez García	
Capítulo IX. Impacto de las huellas ecológicas en la zona metropolitana del Valle de México.....	251
Delia Patricia López Araiza Hernández y María Carolina Quintana Noriega	
Capítulo X. La habitabilidad como condición de lo humano: hacia una recuperación crítica de su complejidad.....	265
Gladys Elizabeth Ferreiro Giardina, José Trinidad Kañetas Ortega y Edgar Hernández Constantino	

Apartado cuatro. Sistemas complejos en ciencias, ingeniería y educación

Capítulo XI. Ciencia e ingeniería de la luz: entendiendo y manipulando el mundo de los fotones.....285  
Sara Guadalupe Cruz Cruz

Capítulo XII. Experimentación y modelación computacional para la construcción del pensamiento complejo en estudiantes de ingeniería.....313  
Angel Pretelín-Ricárdez

Capítulo XIII. Emergencia del entorno rural indígena en la educación superior.....335  
María del Rocío Echeverría González, Adela Miranda Madrid  
y Judith Ramírez Sosa

Capítulo XIV. Postura y locomoción: la marcha como complejidad biofísica.....357  
Carlos Gerardo García Tovar, Misael Rubén Oliver González  
y Luis Mauricio Rodríguez-Salazar

El presente libro surge a partir de las investigaciones de algunos de los miembros de la Red de Recursos en Sistemas Complejos del Instituto Politécnico Nacional. Las Redes de Expertos junto con las Redes de Investigación, surgen a partir de la Secretaría de Investigación y Progreso que una de sus funciones formar, mediante la investigación y los estudios de maestría, doctorales y tecnológicos. Para que el objeto de algunas profesiones sea crear nuevos conocimientos que sean pertinentes, que contribuyan a resolver problemas relevantes del país, en algunos temas de la ciencia como la tecnología.

Una de las formas para cumplir con dicho fin, fue la creación de redes de investigación que, a través de las cuales se pretende que el Instituto tenga un mayor impacto en el desarrollo nacional, la formación de recursos humanos de alta calidad académica y profesional, así como la generación de conocimientos científicos de frontera y su transformación en aplicaciones viables a la sociedad. Las redes permiten fomentar la interdisciplinariedad y el trabajo colaborativo, buscando que los investigadores cuenten con

## INTRODUCCIÓN

El presente libro, surge a partir de las investigaciones de algunos de los miembros de la Red de Expertos en Sistemas Complejos del Instituto Politécnico Nacional. Las Redes de Expertos junto con las Redes de Investigación, surgen a partir de la Secretaría de Investigación y Posgrado que una de sus funciones formar, mediante la investigación y los estudios de posgrado, científicos y tecnólogos. Esto con el objeto de alcanzar profundidad en conocimientos avanzados que sean pertinentes, que contribuyan a resolver problemas relevantes del país, en campos tanto de la ciencia como de la tecnología.

Una de las formas para cumplir esta función, fue la creación de redes de investigación, a través de las cuales se pretende que el Instituto tenga un mayor impacto en el desarrollo nacional, la formación de recursos humanos de excelencia académica y profesional, así como la generación de conocimientos científicos de frontera y su transformación en aplicaciones útiles a la sociedad. Las redes permiten fomentan la interdisciplinariedad y transdisciplinariedad, buscando que los investigadores cuenten con

líneas de trabajo relacionadas con el tema de las redes, tanto de investigación como de expertos, distribuidos en cuando menos dos unidades académicas, que en el caso que nos compete lo cubre y lo rebasa.

En este marco, el 31 de agosto de 2018, se creó la Red de Expertos en Sistemas Complejos con la función de realizar consultoría, asesoría e investigación básica y aplicada, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en el campo de sistemas complejos. Un buen ejemplo de complejidad, fuera de las propuestas tradicionales, la presenta el filósofo Luis Villoro, de origen español, radicado en México, que es en donde ha realizado sus mayores contribuciones. Su propuesta resulta interesante, toda vez que no se refiere a la complejidad como objeto de estudio, sino al problema de la modernidad, su historia y su crisis actual, en la que resulta generalizable su planteamiento, que es uno de los objetivos fundamentales de la filosofía: una visión unificada de la totalidad de lo real. A decir de Villoro «Habría que concebir la totalidad como una forma que mantiene en comunicación diferentes elementos, y esta comunicación, lejos de anular las diferencias, les suministra una nueva dimensión para que cada elemento particular se realice». <sup>1</sup> Para Villoro, las totalidades, resultado de la acción conjugada de elementos disímbolos, posibilitan la acción conformadora del todo, bajo la visión de que ningún elemento tiene sentido aislado del todo en el que se conforma, se afirma y se realiza, siendo a su vez un elemento conformador de otra totalidad superior. «Así, comprender el sentido de algo quiere decir comprender la relación entre cada cosa y las totalidades a las cuales se dirige su actividad y en las que se conforma». Esto lo plantea Villoro como una paradoja en la que «la totalidad cobra sentido por la comunicación recíproca de los elementos y cada uno de éstos por sus proyecciones a totalidades».

En ninguno de estos casos, dice Villoro, la integración a la totalidad anula al individuo, sino que permite su realización en un nivel superior.

<sup>1</sup> Todas las citas corresponden al último capítulo «Hacia una nueva figura del mundo?», del libro *El Pensamiento Moderno. Filosofía del Renacimiento*, tomando como punto de partida su reflexión sobre la modernidad planteado en la introducción (será citado con comillas angulares españolas, no altas o inglesas, por no tratarse de citas textuales convencionales). El libro lo publicó a sus setenta años de edad, veintidós años antes de su partida, cuando estaba a ocho años de cumplir el siglo de vida. El primer coordinador le organizó hace unos días un homenaje conjunto IPN-UPN, en el marco del centenario de su nacimiento y en este libro le rinde homenaje a su reflexión filosófica sobre el «pensamiento moderno», retomado en este libro como «pensamiento complejo».

realizando las cosas al realizarse a sí mismo en comunicación con lo otro y con los otros, con la totalidad que lo abarca: comunión con la naturaleza, con la comunidad, con el cosmos. El punto de partida de su ensayo sobre el «pensamiento moderno», que en este libro es retomado como «pensamiento complejo», es una compilación de las ideas expuestas en un ciclo de conferencias desde su pertenencia a El Colegio Nacional, impartidas en 1990 en El Colegio de México, así como de cursos en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. «Tal vez estemos entrando en una forma nueva de ver el mundo y de razonar sobre él», dice Villoro, buscando precisar lo que se entiende por «pensamiento moderno», ya que la «modernidad» tiene muchos sentidos.

Uno de ellos es aquel que es usado para distinguir la novedad que irrumpe en una sociedad ya establecida anunciando un cambio; la adhesión a innovaciones, aunque sean pasajeras, dice, presentadas como propuestas nuevas de pensamiento, relacionadas con la heurística, en el sentido de búsqueda de nuevas soluciones por las ciencias, las cuales son consideradas como «vanguardias». La otra, que es a la que se refiere el filósofo español Luis Villoro, es la de la historia de Occidente, como la forma de vida y de pensamiento sucesora de la Edad Media, época que «comprende un lapso muy amplio, lleno de vicisitudes, transformaciones, contradicciones internas» vistos como totalidad unificada: para nosotros compleja, pero también como una propuesta epistemológica. Es epistemológica porque expresa una manera de pensar las relaciones del hombre con el mundo (que puede ser visto como relación sujeto-objeto o sociedad-naturaleza) con ciertos valores y un estilo general de razonar. No se trata de un sistema de pensamiento, nos dice Villoro, formulada en enunciados precisos, sino de una mentalidad, que para nuestro autor «Las ideas básicas que caracterizan a una época señalan la manera como el mundo entero se configura ante el hombre». Por lo tanto, nos dice, lo que podríamos llamar una «figura del mundo», que para cambiarla se requiere de una configuración imaginaria de una nueva manera de ver el mundo. Una propuesta combinada de imaginación y deseo, anticipadora del futuro, como plantea nuestro autor, retomado en este libro, dividido en cuatro apartados en los que se aborda la complejidad en ciencia e ingeniería

es estudios socioeconómicos, socioespaciales, biofísicos y en educación, antecidos estudios introductorios.

**La primera parte introduce al concepto de complejidad desde tres puntos de vista:**

En el capítulo 1 "Complejidad *Natura Regnum Hominis*. Reino cultural emergente de la naturaleza biosociofísica: una reflexión epistemológica", Luis Mauricio Rodríguez Salazar y Blanca Estela Gutiérrez Barba, desde una investigación multired, buscan enriquecer el entendimiento entre el Medio Ambiente y la complejidad de la emergencia de la sociedad del mundo biológico y social, conformando una sola naturaleza bio-socio-física que da pie a una nueva emergencia creada por el hombre: el *Regnum Hominis*. Se presenta, en el marco de la propuesta de Luis Villoro, la crisis de la modernidad y la búsqueda imaginativa de soluciones bajo ideas básicas que caractericen una nueva época que se configura ante el hombre, no intereses creados.

En el capítulo 2 "Complejidad de la epistemología representada en diagramas digitales", Luis Mauricio Rodríguez Salazar, Víctor Fernando Medina Martínez y José Antonio García Ayala plantean cómo el desarrollo cognitivo no necesariamente se produce mediante un proceso lineal, sino que puede expresarse en ramificaciones derivadas de la estructuración del mundo, organizando las estructuras cognitivas para organizarlo. Bajo esta visión, los autores explican la estructuración que se ha hecho de la epistemología como objeto de estudio, para entender la acción conjugada de elementos disímbolos.

En el capítulo 3 "Reflexión teórica sobre la complejidad urbana arquitectónica", Blanca Margarita Gallegos Navarrete, hace una reflexión teórica sobre la naturaleza compleja de dos disciplinas, cuya interacción es indisoluble: la arquitectura y el urbanismo. También reflexiona sobre la naturaleza biopsicosocial del ser humano y la dialógica entre homo sapiens y homo demens y las necesidades de habitabilidad que de éstos se derivan.

**La segunda parte, muestra la complejidad aplicada a sistemas sociales y económicos:**

En el capítulo 4 “La ciencia de las emociones como fenómeno complejo. Un análisis bibliométrico”, Jennifer Morales Uribe, Blanca Estela Gutiérrez Barba y Luis Mauricio Rodríguez Salazar, reflexionan sobre la importancia de las competencias socioemocionales en el desarrollo integral del sujeto y su relación con el ser pro-ecológico, poniendo al sujeto en el centro de la educación ambiental. En este capítulo se da cuenta de los estudios teóricos reportados en la Web of Science y la complejidad que envuelve el abordaje de las emociones expresado en el VOSviewer como comunicación recíproca de los elementos y cada uno de éstos por sus proyecciones a totalidades.

En el capítulo 5 “Sistema de comercialización internacional de la educación virtual, reforma educativa y políticas pública”, María de la Paz Silva Borjas, reflexiona sobre la internacionalización de la educación y las nuevas modalidades de estudio con la utilización de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). Pero también llama la atención sobre la insuficiencia de la regulación en la educación virtual y su complejidad, además hace una crítica respecto a que el tema de educación no se discutiera en el reciente tratado trilateral entre México, Estados Unidos y Canadá como totalidad unificada en dicho tratado.

En el capítulo 6 “Las redes de investigadores como sistema complejo”, Hugo Necoechea Mondragón y María de la Luz Pérez Reveles describen a las redes de investigadores como un sistema complejo, donde se conjugan actores de diversas procedencias con el fin de abordar la complejidad de su problemática, así como en la propuesta de soluciones. Se hace énfasis en la necesidad de colaboración entre redes que permitan generar nuevos conocimientos, innovación y desarrollo tecnológico para favorecer el trabajo a través de grupos intra e interinstitucionales con esquemas de colaboración multi e interdisciplinaria para enriquecer el entendimiento de la problemática acorde con las necesidades del desarrollo económico y social nacional, siguiendo las tendencias regionales, nacionales e internacionales, e impulsar la capacidad creadora de los miembros de la red.

### La tercera parte a la complejidad territorial: Ciudad, arquitectura y habitabilidad:

El capítulo 7 “El orden urbano en zonas marginales visto desde el bucle tetralógico de Morin”, se enfoca en el análisis del orden urbano en zonas marginales, visto desde el bucle tetralógico de Morin. En este capítulo Guillermo Ortiz Taboada y Blanca Margarita Gallegos Navarrete destacan la importancia de la participación ciudadana en la revitalización de los barrios marginalizados así como la necesidad del enfoque transdisciplinario para la comprensión de la complejidad del fenómeno urbano.

En el capítulo 8 “De la complejidad a la transdisciplinariedad y viceversa en los estudios urbano-arquitectónicos. Introducción a la complejidad como marco epistemológico”, José Antonio García Ayala y Lucía Rodríguez García, reconocen la necesidad de un enfoque basado en el pensamiento complejo, para el entendimiento profundo de las problemáticas urbano-arquitectónicas. Hacen énfasis, en la complejidad como marco epistemológico para entender la realidad del fenómeno urbano, constituido por procesos que interactúan y se interdefinen entre sí, de tal manera que no son aislables.

El capítulo 9 “Impacto de las huellas ecológicas en la zona metropolitana del Valle de México”, las autoras Delia Patricia López Araiza Hernández y María Carolina Quintana Noriega habla del impacto de las huellas ecológicas en la zona metropolitana del Valle de México. Definen y advierten sobre la biocapacidad de los sistemas naturales, (la cual no es infinita), y cómo esta biocapacidad es inversamente proporcional al crecimiento de la población.

En el capítulo 10 “La habitabilidad como condición de lo humano hacia una recuperación crítica de su complejidad”, Gladys Elizabeth Ferreira Giardina, José Trinidad Kañetas Ortega y Edgar Hernández Constantino, muestran la habitabilidad como condición de lo humano y la necesidad de estudiarla desde la complejidad que se hizo presente a partir de la pandemia del COVID 19. Los autores muestran cómo esta pandemia puso de manifiesto, la crisis de la habitabilidad de los espacios urbanos arquitectónicos afectados por un sistema capitalista neoliberal generador de grandes desigualdades sociales.

### **La cuarta parte, a los sistemas complejos en ciencias, ingeniería y educación:**

En el capítulo 11 “Ciencia e ingeniería de la luz: entendiendo y manipulando el mundo de los fotones”, la autora Sara Cruz y Cruz habla de la ciencia e ingeniería de la luz y sus altas perspectivas de aplicación y el éxito continuo en la generación de tecnologías que ha permitido responder a las diferentes problemáticas del mundo contemporáneo. Mediante un breve recorrido histórico que parte desde los griegos, explica la concepción o naturaleza de la luz; para llegar hasta nuestros días reconciliando dos teorías importantes: la ondulatoria y la corpuscular. Finalmente, partiendo de que la acción conjugada de elementos disímolos, posibilitan la acción conformadora del todo, bajo la visión de que ningún elemento tiene sentido aislado del todo en el que se conforma, plantea los nuevos horizontes de la luz en las diferentes tecnologías.

En el capítulo 12, Experimentación y modelación computacional para la construcción del pensamiento complejo en estudiantes de ingeniería, Angel Pretelín Ricárdez presenta el diseño y desarrollo de una secuencia didáctica basada en un enfoque de modelación exploratoria llevada a cabo con estudiantes de ingeniería, quienes exploraron a través de la experimentación con dos simulaciones de sistemas complejos. La implementación de la secuencia didáctica se llevó a cabo siguiendo los seis principios de las *Model Eliciting Activities* propuestas por Hamilton y colaboradores. Finalmente, después de analizar los resultados, se muestra que los estudiantes aplicaron e integraron sus conocimientos empíricos y teóricos, para construir su pensamiento complejo, lo que les permitió tender “puentes” entre disciplinas a partir de la exploración y análisis de modelos computacionales de manera holística.

En el capítulo 13 “Emergencia del entorno rural indígena en la educación superior”, María del Rocío Echeverría González, Adela Miranda Madrid y Judith Sara Ramirez Sosa, hablan del principio de emergencia del entorno rural indígena en la educación superior. Muestran las estrategias que en la ruralidad remota son utilizadas para dar la oportunidad a sus juventudes para que cursen estudios superiores, donde en su mayoría, tienen que hacer grandes recorridos para acceder a este tipo de educación

o incluso la necesidad de mudarse a las zonas donde existen los equipamientos necesarios. Enfatizan, a partir de la relación entre educación y pobreza, las implicaciones económicas, sociales y políticas de este fenómeno, así como las profundas desigualdades que se dan en este ámbito educativo.

Finalmente, en el capítulo 14 “Postura y locomoción: la marcha como complejidad biofísica”, Carlos Gerardo García Tovar, Misael Rubén Oliver González y Luis Mauricio Rodríguez Salazar plantean que los animales, al igual que los humanos, son capaces de realizar movimientos de diversa complejidad combinando postura y locomoción. Entre los factores que permiten la movilidad está la conformación anatómica y el sistema nervioso central, en donde la totalidad cobra sentido por la comunicación recíproca de los elementos que los conforman y por sus proyecciones a totalidades. A partir de la epistemología de la imaginación, se crean configuraciones imaginarias anticipando el movimiento y ponen de manifiesto la complejidad del movimiento, usando como modelo de estudio al canino.

## CAPÍTULO II

### COMPLEJIDAD DE LA EPISTEMOLOGÍA REPRESENTADA EN DIAGRAMAS DIGITALES

Luis Mauricio Rodríguez-Salazar<sup>1</sup>

Victor Fernando Medina-Martínez<sup>2</sup>

José Antonio García-Ayala<sup>3</sup>

#### Introducción

A diferencia del capítulo anterior que fue un trabajo interredes, en un doble sentido, entre dos redes, sí, pero a su vez dos diferentes tipos de redes, una de investigación (REI) y una de expertos (REX), la Red de Medio Ambiente (REMA) y la Red de Expertos en Sistemas Complejos (RESC), conformando una relación de redes REI-REMA y REX-RESC. Este capítulo es un trabajo intra intrared, ya que no es como en los demás capítulos que conforman el libro, en los que se presentan los diversos enfoques de la complejidad desde las cuatro líneas de investigación que conforman la RESC. En este capítulo es una relación intra intrared, ya que se presenta la relación entre

<sup>1</sup> Profesor Investigador del Núcleo Básico del Programa de Maestría en Ciencias en Metodología de la Ciencia, del Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional. Becario EDI-IPN, COFFAA-IPN. Investigador Nacional Nivel 1. Integrante de la Red de Expertos en Sistemas Complejos (RESC-IPN) y la Red LaTE Conacyt. Director del proyecto SIP: 20220437 DEL IPN y participante en el proyecto PAPIIT IN401222 EN LA Facultad de Psicología de la UNAM.

<sup>2</sup> Estudiante del programa de Doctorado en Ciencias en Arquitectura y Urbanismo de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional. Becario Conacyt ( CVU 788128) y becario BEIFI en el proyecto SIP: 20220437.

<sup>3</sup> Profesor-Investigador de la ESIA Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional. Doctor en Urbanismo por la UNAM, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Arquitectura por el IPN y miembro del SNI del Conacyt Nivel 1. Integrante de la Red de Expertos en Sistemas Complejos (RESC-IPN). Director del proyecto SIP: 20221376.