

## 2. Métodos y herramientas para estudiar la complejidad



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.395.02>

MARGARITA RAMÍREZ RAMÍREZ\*

MARICELA SEVILLA CARO\*\*

MARÍA DEL CONSUELO SALGADO SOTO\*\*\*

### Resumen

En este capítulo se presenta el estudio de modelos y una simulación para comprender a la complejidad, donde primero se aborda a la complejidad desde el punto de vista de sistemas en un ámbito organizacional, social, tecnológico y natural, con el fin analizar y comprender a los fenómenos desde las nuevas propiedades que se derivan de las relaciones e interacciones de sus componentes. Existen herramientas que permiten realizar el análisis desde enfoques cuantitativos y cualitativos que permiten realizar modelados y simulación de escenarios para identificar relaciones y flujos de información que facilitan la toma de decisiones estratégicas. También se destaca la Teoría de Redes y Análisis de Sistemas, que permite estudiar y representar las interacciones de los sistemas complejos, siendo una base para comprender el comportamiento, al disminuir los detalles innecesarios y centrarse en las partes, interacciones y la estructura de las redes que permiten identificar patrones y fundamentar la comprensión de fenómenos. Por último, se presenta a la cibernética como un campo interdisciplinario que proporciona herramientas prácticas para abordar a la complejidad, al facilitar el estudio de los fenómenos emergentes y dinámicos que llevan a la comprensión de los mecanismos

---

\* Doctora en Educación. Profesora-investigadora en la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4252-4289> ; Scopus ID: 55933725500

\*\* Doctora en Educación. Profesora-investigadora en la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9492-9811>

\*\*\* Doctora en Educación. Profesora de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2939-9388>

que permiten a los sistemas autorregularse y que aprendan de su entorno. También se habla de los sistemas dinámicos para explicar cómo los procesos cambian y evolucionan, como la realidad es compleja, que no es estática y que las interacciones generan nuevos resultados.

**Palabras clave:** *simulación, teoría de redes y cibernética.*

## Modelos y simulaciones

En este apartado iniciamos con el análisis de un tema relevante en la solución de situaciones o problemas complejos, la identificación de modelo y herramientas que apoyan en los estudios de complejidad. En primer lugar, se presenta una introducción a los diferentes modelos y herramientas de apoyo a la complejidad, posteriormente analizamos las herramientas más características.

Es posible describir a la complejidad como el estudio de sistemas formados por múltiples elementos, los cuales pueden encontrarse interconectados y cuyas interacciones generan comportamientos emergentes; la complejidad constituye un campo de investigación clave para comprender situaciones organizacionales, fenómenos en ámbitos sociales, tecnológicos y el entorno natural. La perspectiva de complejidad cambia las perspectivas y los supuestos reduccionistas considerando que el todo no puede explicarse únicamente por la suma de sus partes, sino que surgen propiedades y condiciones nuevas de la interacción que se da entre componentes (Morin, 2005).

En un ámbito organizacional, un modelo complejo permite identificar y analizar estructuras y procesos que comúnmente se adaptan de manera dinámica a entornos cambiantes. Los sistemas adaptativos complejos —concepto desarrollado por Holland (1995)— se reconocen por su capacidad de aprendizaje, existe una retroalimentación y autoorganización de los componentes, estos elementos permiten identificarlos con las características de la resiliencia y la innovación en las empresas y organizaciones en general. Un modelo se basa en principios básicos como son la no linealidad, condición de emergencia, la coevolución de las partes, el dinamismo, entre otros; todos estos principios fundamentales de un sistema en el que se puede ex-

plicar cómo se generan los patrones globales a partir de las distintas interacciones y condiciones locales en el sistema.

Existen diferentes herramientas que permiten realizar el análisis y el estudio de los diferentes temas complejos, entre estas herramientas de complejidad, se encuentran herramientas que manejan enfoques cualitativos y cuantitativos, las cuales permiten identificar relaciones, simular diferentes escenarios y evaluar la fortaleza de los sistemas. Entre estas herramientas destacan las redes complejas, las cuales son útiles para realizar la visualización de diferentes vínculos entre los agentes y los flujos de información (Barabási, 2016), otro modelo importante es la modelación basada en agentes, la cual permite experimentar con reglas simples y observar cual es el efecto en la dinámica global del sistema complejo. Todas estas metodologías son un apoyo y facilitan la toma de decisiones estratégicas en diferentes contextos, caracterizados la mayoría de ellos por la incertidumbre y la alta interdependencia entre los elementos, es posible visualizar los patrones ocultos y los puntos de base de cada sistema.

La utilización de modelos y herramientas en sistemas complejos requiere ser visualizada desde una visión interdisciplinaria, donde la visualización de los componentes y sus interacciones —como son la teoría de sistemas, las matemáticas, la sociología y la informática y computación— confluyen y permiten atender problemáticas reales. Esta perspectiva apoya a las organizaciones, los gobiernos y las universidades a identificar oportunidades de aprendizaje adaptativo, pues es posible gestionar a la complejidad inherente a los procesos y da fuerza a la capacidad de respuesta frente a entornos turbulentos (Snowden y Boone, 2007). El estudio de la complejidad ofrece la posibilidad de enlazar el conocimiento teórico con la parte práctica, la complejidad permite construir soluciones sostenibles y flexibles en un mundo cada vez más interconectado.

Las técnicas y enfoques de simulación más utilizados para estudiar las propiedades de los sistemas complejos —como pueden ser las propiedades emergentes— son la simulación de eventos discretos, la dinámica de sistemas y los modelos basados en agentes. Cada una de las técnicas o métodos tienen características y son identificadas por las propiedades emergentes de los sistemas complejos. Para analizar estas técnicas y enfoques, iniciamos con el concepto de simulación, el cual es posible identificarlo como una técnica

utilizada para modelar el comportamiento de un sistema mediante la creación de una representación, ya sea computacional o matemática, que represente su dinámica; también es posible definir a la simulación como una técnica que reproduce el comportamiento de un sistema real o hipotético mediante un modelo que permite experimentar y analizar los componentes y las dinámicas sin intervenir directamente en el entorno original. Banks et al. (2010) explican que la simulación de un sistema consiste en “el proceso de diseñar el modelo de un sistema y llevar a cabo experimentos con dicho modelo con el propósito de comprender su funcionamiento o evaluar diversas estrategias” (p. 3).

En el campo organizacional y social, la simulación permite apoyar en la representación de fenómenos complejos, poder hacer procesos de evaluación de decisiones y anticipar posibles resultados bajo condiciones controladas. Law (2015) menciona que el valor de un sistema complejo radica en la capacidad de “examinar sistemas que serían costosos, peligrosos o impracticables de experimentar en la realidad”, lo cual los convierte en herramientas flexibles que apoyan el aprendizaje y la planificación.

La simulación puede considerarse como el apoyo en el estudio de sistemas adaptativos complejos, que permite observar cómo las interacciones locales entre los agentes generan patrones emergentes a nivel global (Gilbert y Troitzsch, 2005). Las aproximaciones generadas a través de la simulación ofrecen la exploración de escenarios que son alternativos, la posibilidad de implementar políticas y poder comprender la relación existente entre estructuras y dinámicas en situaciones de incertidumbre.

La simulación puede ser considerada como una herramienta metodológica poderosa, que facilita la comprensión y propicia la mejora de procesos en campos tan diversos como la ingeniería, la economía, la educación y la gestión organizacional, y contribuye en la toma de decisiones fundamentadas.

En el área de las ciencias de la complejidad, la simulación es una herramienta clave y relevante para el estudio de sistemas, en los que las interacciones de múltiples componentes propician fenómenos emergentes difíciles de predecir analíticamente.

Para desarrollar un modelo de simulación es necesario llevar a cabo la descomposición de cada uno de los elementos; en una simulación, se diseña y desarrolla un modelo computarizado de un sistema, utilizando un

software, a través de las aplicaciones es posible simular situaciones semejantes a las que suceden en la realidad y realizar experimentos, con el propósito de entender el comportamiento del sistema.

La simulación de eventos discretos son aquellas simulaciones en las que se simulan eventos de secuencia finita o infinita, que ocurren de manera asíncrona. Entre los simuladores de eventos discretos se encuentran: Arena, Simul 8, GPSS, MODSIM, ProModel QuEST.

Las simulaciones secuenciales son deterministas, obedecen fácilmente la restricción de causalidad local y son fáciles de implementar. Sin embargo, presentan la desventaja de que las simulaciones de eventos discretos de gran tamaño consumen un tiempo de procesamiento considerable. Ejemplo: inventarios, línea de producción industrial, sistema de control de tránsito aéreo.

En el caso de simulación de sistemas dinámicos, podemos identificar que los sistemas dinámicos son modelos matemáticos de sistemas, y que estos que varían a lo largo del tiempo, se basan en ecuaciones diferenciales para modelar la evolución continua de un sistema. Entre los simuladores de sistemas dinámicos es posible identificar: Simulink. Simulación basada en tiempos, diagrama de bloques, multi-dominio.

Como simulaciones de ingeniería, se puede identificar: modelos epidemiológicos, dinámica de fluidos, ecosistemas.

STELLA. Es un entorno de modelado y simulación orientado a dinámica de sistemas. Permite representar procesos continuos mediante existencias (stocks), flujos (flows), parámetros/convertidores y conectores. Permite la visualización de la estructura y es posible modelar fenómenos económicos, educativos y organizacionales.

SimEvents. Es un simulador basado en eventos discretos, que provee un motor de simulación y una biblioteca de componentes, para modelar procesos impulsados por eventos, evaluar latencia, rendimiento y pérdidas, y experimenta con reglas de enrutamiento, prioridades y demoras en sistemas de comunicación, operaciones y logística. El modelado se realiza mediante entidades que circulan por redes de colas y servidores, permitiendo analizar asignación de recursos, congestión y políticas de servicio; al estar acoplado con Simulink, facilita combinar dinámicas tiempo-continuas con lógicas evento-discretas en un mismo esquema.

Simscape. Simulación de sistemas físicos (eléctricos, mecánicos, hidráulicos, etc.), es un entorno de modelado físico multidominio, integrado a Simulink que permite construir modelos de sistemas reales (mecánicos, eléctricos, hidráulicos, térmicos, entre otros) ensamblando componentes físicos conectados por redes con magnitudes conservadas; el software traduce esa red a ecuaciones y las resuelve de forma simultánea, lo que facilita analizar el comportamiento y probar estrategias de control.

### **Simulación basada en agentes**

La simulación basada en agentes permite modelar sistemas donde los individuos (agentes), siguen reglas locales e interactúan con su entorno, esta simulación es útil en economía, biología, sociología y ecología (por ejemplo, modelos de tráfico, mercados financieros, colonias de hormigas, comportamiento de consumidores). Por otra parte, la modelación basada en agentes es el desarrollo de un modelo de simulación, es la representación simplificada de una realidad. Se inicia especificando los requerimientos y capacidades de las entidades individuales, bajo el supuesto de que el entorno global del sistema emerge debido a las interacciones entre estas entidades o elementos y entre éstos y el entorno.

La estructura de un modelo basado en agentes está conformada por un conjunto de agentes, el modelado de agentes con atributos y comportamientos, el conjunto de relaciones, que es la conexión entre los agentes, y el entorno, el cual es el espacio en el que viven los agentes e interactúan entre sí.

Es importante identificar cuáles son las características de los agentes; estos son autónomos, es decir, son reactivos y proactivos, independientes, esto es, que cada agente tiene atributos que lo distinguen de los demás, otra característica es el estado, las variables de estado son las que guían el comportamiento del agente, la habilidad social es una característica en la que es posible interactuar con otros agentes y esta interacción tiene una topología, quien envía información a quién, se identifican también los mecanismos de interacción, como son los protocolos, el lenguaje utilizado en la interacción entre diferentes agentes, se integran también características como: capacidad adaptativa, heterogeneidad, dirección en base a objetivos y movilidad.

## Herramientas para la creación de sistemas basados en agentes

Existen diversas herramientas que permiten la creación de sistemas basados en agentes, como son AnyLogic, NetLogo y JADE.

### AnyLogic

Herramienta que incluye los métodos de simulación más comunes: dinámica de sistemas, sistemas de eventos discretos, simulación basada en agentes. La simulación con agentes es muy flexible y se usa en cualquier nivel, los agentes pueden ser empresas, consumidores, movimientos.

### JADE (Java Agent Development Framework)

Es un framework implementado en lenguaje Java, que permite trabajar la implementación de sistemas multi-agente, capaces de reaccionar y modificar comportamientos en función del razonamiento del sistema al que están conectados, ofrece herramientas gráficas.

### NetLogo

Es un entorno de modelado programable basado en agentes, permite simular fenómenos naturales y sociales, es ideal para modelar sistemas complejos que evolucionan con el tiempo, los modeladores pueden dar instrucciones a cientos o miles de agentes, es posible la aplicación de código abierto. A continuación, se presenta un modelo de simulación social en un ambiente académico:

Figura 2.1. Modelo de simulación



Fuente: elaboración propia.

En este simulador se integra la identificación de tipo de personalidad y, por otra parte, la identificación de estilo de aprendizaje.

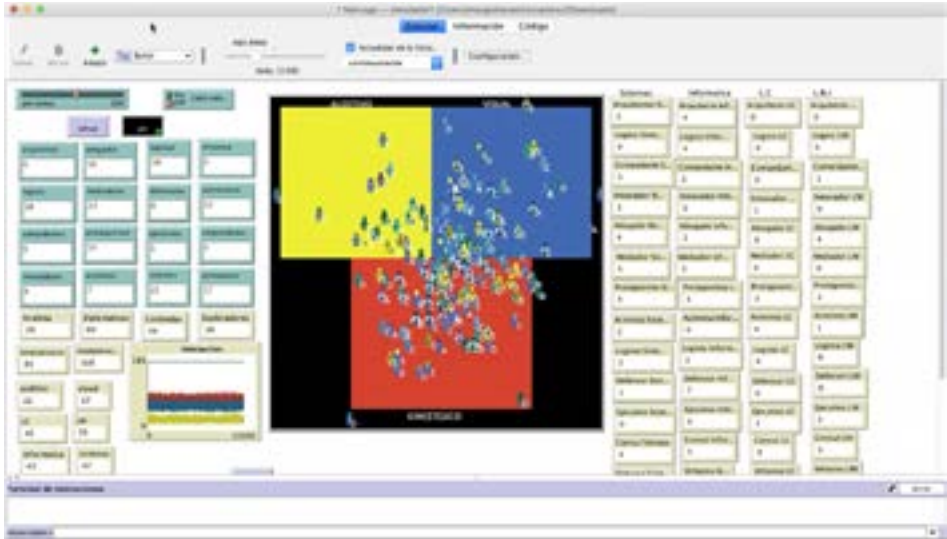
El primer componente es la identificación de estudiantes por carrera y el reconocimiento de estilos de aprendizaje, la información recolectada de estos componentes, constituye la base de conocimiento, con base en las respuestas adquiridas se realiza la simulación y distribución de las personalidades de cada carrera analizada y los estilos de aprendizaje predominantes.

Figura 2.2. Identificación de agentes



Fuente: elaboración propia a partir de Netlogo.

Figura 2.3. Distribución de estudiantes por rasgos de personalidad y estilos de aprendizaje



Fuente: elaboración propia a partir de Netlogo.

## Teoría de redes y análisis de sistemas

Obregón y Sevilla (2025) expresan que los sistemas complejos se caracterizan por estar formados por muchos componentes en interacción que dan lugar a la emergencia de fenómenos colectivos.

En las redes, estos componentes están considerados como los nodos que las conforman, así como las interacciones y enlaces que los conectan. Los sistemas complejos pueden observarse en sistemas reales físicos, sociales y biológicos, por ejemplo, el sistema digestivo, el comportamiento de un grupo social y los eventos atmosféricos, por lo tanto, las interacciones dependen de cada sistema complejo, no son específicos de un campo en particular.

La física estadística se ha involucrado en el estudio de sistemas que están conformados por múltiples componentes que se encuentran en una intercomunicación constante y el surgimiento repentino e inesperado de eventos que afecta directamente a los elementos involucrados.

Este enfoque presenta un paralelismo con el análisis de redes, lo que ha dado origen a la denominada física estadística de redes, disciplina en la cual

las propias redes se convierten en el objeto central de estudio (Obregón y Sevilla, 2025).

Desde inicios de 2020, diversos estudios han señalado que los enlaces en las redes tradicionales describen únicamente interacciones entre pares de elementos. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que muchos de los sistemas reales requieren considerar interacciones de orden superior, es decir, aquellas que involucran simultáneamente a tres o más componentes. Por lo anterior, se han propuesto modelos basados en redes de orden superior, hipergrafos y complejos simpliciales, que constituyen un marco matemático natural para representar la organización de numerosos sistemas, tanto artificiales, biológicos y sociales.

Siguiendo con el tema de la teoría de redes complejas, ScienceDirect (s. f.) las define como un marco interdisciplinario, que se nutre de la física estadística, las matemáticas, la informática y las ciencias sociales, para examinar sistemas complejos compuestos por componentes únicos y relaciones importantes entre componentes. Esta teoría proporciona un enfoque basado en principios para modelar y analizar sistemas como las redes sociales y los sistemas biológicos, donde la estructura y las interacciones entre los componentes son esenciales para comprender el comportamiento del sistema. En una representación de red, se eliminan los detalles innecesarios para centrarse en las partes constituyentes y sus interacciones, y la estructura resultante se denomina topología de red. La mayoría de las redes del mundo real, incluidas las de los dominios computacional y biológico, presentan propiedades topológicas no triviales sustanciales, lo que significa que sus patrones de conexiones no son ni puramente regulares ni puramente aleatorios.

A través de redes complejas se describen sistemas biológicos, sociales o de comunicación, los nodos representan individuos u organizaciones, y los enlaces simbolizan las interacciones entre ellos (Red Científica, 2025).

### **Redes de mundo pequeño**

La clase de redes que cumplen con las reglas del “mundo pequeño” tiene como característica principal que su topología se distingue en que siempre

existe un camino relativamente corto que conecta a cualquier par de nodos de la red.

Redes reales (como las redes de colaboración social, biológicas o tecnológicas) presentan esta propiedad: alta clustering coefficient (agrupamiento local) y corta longitud de camino promedio (pequeña distancia global).

De acuerdo con estudios realizados, se observa que estas redes siguen patrones de autoorganización propios de los sistemas complejos: los nuevos nodos tienden a establecer conexiones con aquellos que ya cuentan con numerosas relaciones. En otras palabras, los nodos no se conectan entre sí al azar, sino que se agrupan en torno a los hubs, los nodos más atractivos (Red Científica, 2025).

## Redes sociales y grafos

Contrario a lo que se pudiera pensar, las redes sociales existen desde hace millones de años, de igual manera el interés por investigarlas tampoco es nuevo. En el campo de las ciencias sociales se han detectado estudios del siglo XIX donde ya se consideraban como objeto de estudio de las matemáticas y surge el interés por el estudio de las redes o grafos, cuyas propiedades han sido analizadas durante siglos en la búsqueda de principios y leyes generales que expliquen su comportamiento (Lara-Rosano, Gallardo y Almanza, 2021).

Un grafo se define como la representación abstracta de un sistema en el cual los elementos, denominados nodos, se relacionan entre sí mediante conexiones que indican la presencia de una interacción. Pero al igual que en la investigación en ciencias sociales, el estudio de los grafos ha seguido una trayectoria lineal y muy focalizada.

Lara-Rosano, Gallardo y Almanza (2021) refieren que los grafos que más recibieron atención hasta mediados del siglo XX fueron los aleatorios, es decir, aquellos cuyos nodos se conectan siguiendo algún procedimiento estocástico. Uno de los teóricos que se ocupó de ese tipo de redes fue Paul Erdős (1913-1996), quien aportó un modelo de construcción de sistemas simples mediante la vinculación de pares de nodos de manera aleatoria (mediante un sorteo, el lanzamiento de una moneda, entre otros mecanismos probabilísticos); aunque son consideradas “muy regulares”, contienen

propiedades que resultaron ser fundamentales para el posterior desarrollo de la teoría de las redes complejas, ya que permitieron identificar patrones de conectividad y sentar las bases para comprender fenómenos como el mundo pequeño y las redes libres de escala.

## Cibernética y sistemas dinámicos

### Cibernética

El ser humano, por su naturaleza y curiosidad, se ha interesado en entender cómo los sistemas logran adaptarse, mantenerse en equilibrio y comunicarse con su entorno, de esta inquietud, surge la cibernética como un instrumento o método para aprender y analizar a la complejidad, que es lo que en esta sección se revisará enfocándose en la teoría, los principios y el papel que desempeña en la comprensión de la complejidad.

Para iniciar, el término cibernética proviene del vocablo griego *kybernetes*, cuyo significado es el que gobierna o dirige (Lara-Rosano, 2002). La Real Academia Española (2024) define a la cibernética como una ciencia que analiza y reflexiona acerca de las similitudes y aproximaciones entre los sistemas de control y comunicación, en otras palabras, busca comprender como los organismos y las tecnologías procesan la información, regulan su funcionamiento y se adaptan a los cambios ambientales.

La cibernética se originó en el estudio de las leyes que describen a los fenómenos como la autorregulación, la autoorganización, la autonomía, la comunicación, la adaptación y la complejidad, aplicables a diversas áreas del conocimiento; se reconoce como una ciencia que trasciende las fronteras de las disciplinas tradicionales e individuales, y que fija las bases para la evolución y avance de tecnologías como las computadoras, internet y la inteligencia artificial, además de influir en otros campos del conocimiento (Metaphorum, 2024).

La cibernética se puede comprender como un sistema de control que se apoya en la retroalimentación como un mecanismo que permite regular la efectividad de una acción. La introducción de esta teoría influyó en Gregory Bateson, en particular debido a las implicaciones epistemológicas de la re-

troalimentación y los procesos recursivos en el análisis de la comunicación (Lara-Rosano et al., 2021).

El término de cibernética se ha definido de diferentes maneras, gracias a las contribuciones de múltiples pensadores que han marcado su desarrollo. Esta ciencia se orienta al diseño, al descubrimiento y a la aplicación de principios de regulación y comunicación, centrándose en sus comportamientos. Gracias a ello, se pueden analizar sistemas en diversas áreas como la biológica, social y tecnológica, convirtiendo a la cibernética en una disciplina que trasciende las fronteras del conocimiento (Sociedad Americana de Cibernética, s. f.).

También es importante mencionar que se basa en el enfoque de sistemas, al considerar que todo objeto de estudio funciona como un sistema en constante articulación o relación con su entorno, y comprender que un sistema es una estructura compuesta de elementos relacionados entre sí de una manera muy estrecha, cuyo comportamiento repercute en el todo y que depende de la acción de los demás componentes (Lara-Rosano, 2002).

En la relación de la cibernética con la complejidad, según Wiener (1948), la primera facilita el análisis de fenómenos emergentes y dinámicos, al ofrecer así un camino para comprender a la complejidad sin llevarla a la simplicidad o reduccionismos. En el mismo tenor, la cibernética contribuye a la comprensión de la complejidad al ofrecer un lenguaje que facilita la comunicación entre disciplinas y promueve la interdisciplinariedad (Tabilo, Ramírez-Correa y Diaillo, 2023). Basándose en los principios de la cibernética, según comenta Lara-Rosano (2002), estos permiten comprender los mecanismos donde los sistemas dinámicos logran autorregularse y conservar el equilibrio, como la retroalimentación, que constituye un eje central al referirse al proceso en el cual un sistema utiliza la información derivada de sus propios resultados para ajustar su comportamiento; otro principio importante para entender la complejidad es la adaptación y el aprendizaje, que hace notar que los sistemas cibernéticos se autorregulan y aprenden del entorno al incluir mecanismos de memoria, repetición y conexiones que mejoran el desempeño ante nuevas situaciones; otro principio es la tendencia a resistir el desorden, es decir, la entropía, de tal forma el sistema busca cómo seguir funcionando ante situaciones externas o cambios en el entorno.

Para concluir, se debe pensar que la cibernética se establece como un campo científico que integra muchas disciplinas y a la vez las trasciende, porque ofrece un marco que permite comprender los procesos de regulación, comunicación y adaptación presentes en los sistemas, también proporciona herramientas prácticas para abordar la complejidad y fomentar el diálogo interdisciplinario en la construcción de nuevo conocimiento.

## Sistemas dinámicos

Para hablar de sistemas dinámicos, aunque sea de una manera breve, primero se debe abordar la teoría de sistemas dinámicos, que explica el comportamiento como un fenómeno emergente de sistemas multicomponentes y autoorganizados que van evolucionando con el tiempo (Perone y Simmering, 2017). Los sistemas dinámicos proporcionan una base para comprender procesos de cambio, inestabilidad y autoorganización, lo que resulta básico en el análisis de la complejidad social (Lara-Rosano et al., 2021). Comenta Arce (2005) que los sistemas dinámicos muestran que, en la realidad, las cosas son irreversibles, que están en constante cambio y evolución y, como resultado, esto los acerca a las ciencias humanas.

Los sistemas dinámicos se pueden observar en los fenómenos, ya sean naturales o sociales, pueden analizarse si son conceptualizados como un sistema, esto es como elementos que se encuentran en constante interacción y al mismo tiempo mantienen relaciones con otros sistemas que forman parte de ese mismo entorno, como lo comentan Acatlita y Urbina, (s. f.).

Estos sistemas se utilizan para explicar cómo los procesos cambian y evolucionan, a diferencia de los tradicionales que suelen ver los fenómenos como lineales o estáticos desde un punto de vista reduccionista, este enfoque reconoce que la realidad es compleja, que el presente depende del pasado y que las interacciones entre diferentes elementos generan resultados nuevos e inesperados.

Los sistemas dinámicos presentan una serie de propiedades que explican cómo funcionan y por qué resultan útiles para comprender la complejidad de los fenómenos (Agility at Scale, 2025). Estas propiedades muestran cómo

interactúan sus componentes, cómo responden al entorno, al tiempo, de qué manera generan comportamientos que no siempre son predecibles.

Entre sus principales características se encuentran:

- **Multidimensionales:** consideran muchas variables que interactúan al mismo tiempo.
- **Irreversibles:** esta propiedad describe que no pueden retroceder en el tiempo, que cada cambio deja huella y modifica el futuro.
- **Evolutivos:** los sistemas dinámicos están en constante cambio y transformación, nunca permanecen estáticos.
- **No lineales:** un cambio pequeño en el entorno del sistema puede producir un gran efecto.
- **Emergentes:** el dinamismo de estos sistemas permite que surjan resultados nuevos al combinar elementos.
- **Autoorganizados:** no requieren un control central, pueden modificar su estructura a partir de la interacción con el entorno y las partes del sistema.
- **Adaptativos:** los sistemas responden y se ajustan a nuevas condiciones cuando el entorno cambia.

Los sistemas dinámicos son una herramienta para comprender la complejidad, porque permiten analizar cómo los fenómenos cambian con el tiempo y cómo las interacciones entre múltiples elementos generan resultados inesperados. Este enfoque reconoce que la realidad no es estática ni lineal, un pequeño cambio puede producir un gran efecto, cada acción deja huella y los sistemas se transforman de manera constante, además, muestra que los sistemas pueden autoorganizarse y adaptarse sin un control central, lo que ayuda a explicar procesos naturales, sociales u organizacionales en toda su riqueza y diversidad (Lara-Rosano et al., 2021).

Para ejemplificar lo anterior, hay que visualizar un río en movimiento donde se sabe que su curso nunca permanece igual; el agua fluye, pero se puede desviar ante la presencia de obstáculos y así abrir nuevos caminos; la presencia de ramas, piedras, objetos o variación de la corriente puede alterar su trayectoria. Con este ejemplo, se puede ver de manera concreta que este fenómeno natural puede tener resultados no predecibles exactos, generar no-

vedades, evolución y adaptación constante de la realidad que es dinámica, cambiante e impredecible y, al igual que los sistemas dinámicos, ofrecen las herramientas para entender a la complejidad.

## Referencias

- Acatlita, E. y Urbina, J. (s. f). *Introducción a los sistemas dinámicos continuos y discretos*. En Carreon, G., *Sistemas Complejos aplicados a la economía y fenómenos sociales*. Instituto de Investigaciones Económicas. Universidad Nacional Autónoma de México. Libro Digital. <https://complejidad.iiec.unam.mx/libro/index.php>
- American Society for Cybernetics (ASC). (s. f.). *Definición de cibernética*. <https://asc-cybernetics.org/definitions/>
- Arce, M. (2005). Los sistemas dinámicos como teoría cognitiva. *Summa Psicológica UST*, 2(2), 47–52 <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4808700.pdf>
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., y Nicol, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation* (5ª ed.). Prentice Hall.
- Barabási, A. L. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press.
- Gilbert, N., y Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the Social Scientist* (2ª ed.). Open University Press.
- Giraldo, D., y Giraldo, E. (2009). *Sistemas dinámicos*. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/a3032ad3-2d43-4352-8c96-c7ab9532476e/content>
- Holland, J. H. (1995). *Hidden order: How Adaptation Builds Complexity*. Addison-Wesley. <https://www.redalyc.org/pdf/860/86005007.pdf>
- Lara-Rosano, F. (2002). *Cibernética y sistemas cognitivos*. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. [https://conceptos.sociales.unam.mx/conceptos\\_final/514trabajo.pdf](https://conceptos.sociales.unam.mx/conceptos_final/514trabajo.pdf)
- Lara-Rosano, F., Gallardo Cano, A., y Almanza Márquez, S. (2021). Teorías, métodos y modelos para la complejidad social: Un enfoque de sistemas complejos adaptativos. *Comunicación Científica*; Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.52501/cc.013>  
<https://doi.org/10.52501/cc.013>
- Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5ª ed.). McGraw-Hill.
- Metaphorum. (20 de octubre de 2020). Cybernetics: A Brief History. *Metaphorum*. <https://metaphorum.org/cybernetics>
- Morin, E. (2005). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Obregón, B., y Sevilla, F. (2025). *Redes y sistemas complejos*. [https://matematicas.posgrado.unam.mx/wp-content/uploads/2024/06/Obregon-Quintana-Bibiana\\_temario.pdf](https://matematicas.posgrado.unam.mx/wp-content/uploads/2024/06/Obregon-Quintana-Bibiana_temario.pdf)
- Perone, S., y Simmering, V. (2017). Applications of Dynamic Systems Theory to Cognition and Development. *Advances in Child Development and Behavior* <https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2016.10.002>

- Real Academia Española. (2024). *Cibernético, cibernética*. *Diccionario de la Lengua Española* (23ª ed.). <https://dle.rae.es/cibern%C3%A9tico>
- Red Científica. (2025). *Sistemas complejos, sistemas dinámicos y redes complejas*. [https://www.cs.us.es/~fsancho/Blog/posts/Sistemas\\_Complejos\\_Sistemas\\_Dinamicos\\_Red\\_Complejas.md](https://www.cs.us.es/~fsancho/Blog/posts/Sistemas_Complejos_Sistemas_Dinamicos_Red_Complejas.md)
- ScienceDirect (s. f). *Complex Network Theory*. <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/complex-network-theory>
- Siles, I. (2007). Cibernética y sociedad de la información: el retorno de un sueño eterno. *Signo y Pensamiento*, 26(50), 84–99. Pontificia Universidad Javeriana.
- Snowden, D. J., y Boone, M. E. (2007). A Leader's Framework for Decision Making. *Harvard Business Review*, 85(11), 68–76.
- Tabilo, J., Ramírez-Correa, P., y Diallo, S. (2023). A Brief Review of Systems, Cybernetics, and Complexity. *Complexity*, 2023, 1-22. <https://doi.org/10.1155/2023/8205320>
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press.