

# 1. Fundamentos de los sistemas complejos



HILDA BEATRIZ RAMÍREZ MORENO\*

ESPERANZA MANRIQUE ROJAS\*\*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.395.01>

## Resumen

El estudio de los sistemas complejos ofrece una evolución para la comprensión de fenómenos caracterizados por múltiples variables en constante interacción. Se reconoce que ningún sistema puede explicarse si se analiza de forma aislada o en partes, es necesario visualizarlo en su totalidad e integración de sus componentes. Los sistemas complejos abordan problemas que no responden a lógicas lineales ni ofrecen soluciones únicas. Procesos como el tráfico vehicular, la organización social o el comportamiento ecológico son ejemplos de dinámicas complejas que se transforman con el tiempo y requieren enfoques abiertos y adaptativos.

Características como la no linealidad, la emergencia, la autoorganización y la sensibilidad a las condiciones iniciales permiten identificar patrones inesperados en sistemas naturales, sociales y tecnológicos. Además, conceptos como la teoría del caos y el efecto mariposa ayudan a entender la dificultad de hacer predicciones en entornos variables. Por su parte, la autoorganización ilustra cómo el orden puede surgir sin control central. En un mundo marcado por la incertidumbre, la complejidad no solo amplía las formas de interpretar la realidad, sino que invita a construir respuestas

---

\* Doctora en Educación. Profesora-investigadora de la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4816-8382>

\*\* Doctora en Educación. Profesora de tiempo completo titular "C" en la Universidad Autónoma de Baja California, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1928-9353> ; Scopus ID: 55933198100

más creativas, colaborativas y contextualizadas frente a los desafíos contemporáneos.

**Palabras clave:** *sistema, complejidad, autoorganización.*

## Historia del origen de los sistemas

La Teoría General de Sistemas (TGS) surgió con los trabajos del alemán Ludwig Von Bertalanffy en la década de 1920, cuando se percató de la necesidad de contar con principios unificadores en las ciencias naturales y sociales. La TGS es fundamental para la integración del conocimiento, afirma que las propiedades de los sistemas no pueden ser descritos en términos de sus componentes separados, deben estudiarse en forma global involucrando todos sus elementos.

La TGS se fundamenta en tres premisas básicas donde se menciona que todo sistema existe dentro de otro sistema, los sistemas son abiertos donde se recibe y descarga energía, datos, dinero, información según el propósito del sistema y, por último, las funciones del sistema dependen de su estructura, se refiere a la relación e integración de sus elementos o partes para funcionar de forma adecuada.

Su popularidad se presentó al término de la Segunda Guerra Mundial, donde se le conoce como era de las máquinas o era de los sistemas. Adquirió reconocimiento por la diversidad que presenta, de ahí la importancia de la palabra sistema donde implica integridad, totalidad, unificación de partes y logro de metas.

Un sistema se entiende como un conjunto de elementos organizados que interactúan entre sí para alcanzar un objetivo específico. Todos los sistemas comparten componentes fundamentales: una meta, elementos constitutivos, entradas, procesos y salidas.

El concepto de sistema tiene un carácter multidisciplinario, ya que puede aplicarse en diversos contextos, como un sistema de cómputo, un sistema fotográfico, un sistema nervioso, un sistema de inyección o un sistema educativo. En todos los casos, se destaca la integración de elementos interrelacionados que funcionan de manera coordinada para lograr un fin común.

Ante esto, surge una pregunta clave: ¿a qué se hace referencia cuando se habla de un sistema complejo?

## **La complejidad: ¿qué es la complejidad?**

Para comprender qué se entiende por sistema complejo, es necesario revisar una de las principales teorías que sustentan su estudio: la Teoría General de Sistemas (TGS). La complejidad se enfoca en el análisis de sistemas compuestos por múltiples elementos interconectados, cuya interacción genera comportamientos difíciles de predecir. Esta perspectiva ha sido aplicada en diversos campos del conocimiento, como la física, la biología, la educación, entre otros.

El término complejidad proviene del latín *plexus*, que significa “entrelazado” o “entretejido”. Desde esta visión, lo complejo no es algo que pueda controlarse o manipularse en su totalidad; más bien, se gestiona desde la apertura a futuros posibles y la aceptación de lo inesperado.

## **¿Qué es un sistema complejo?**

Un sistema complejo se distingue por sus dinámicas en constante cambio, irreversibles e impredecibles, que lo hacen diferente a los sistemas generales o sistemas de información. Estos sistemas no pueden comprenderse únicamente desde un enfoque lineal o determinista, pues implican procesos de adaptación, aprendizaje y autoorganización que surgen cuando se encuentran lejos del equilibrio. Su complejidad radica en que están sujetos al tiempo y la evolución, lo que les confiere comportamientos emergentes, inciertos y no reducibles a explicaciones convencionales. En otras palabras, un sistema complejo se define por la interacción de múltiples elementos y por la capacidad de generar nuevas propiedades que no pueden deducirse de manera directa de sus componentes aislados (Reyna, 2025).

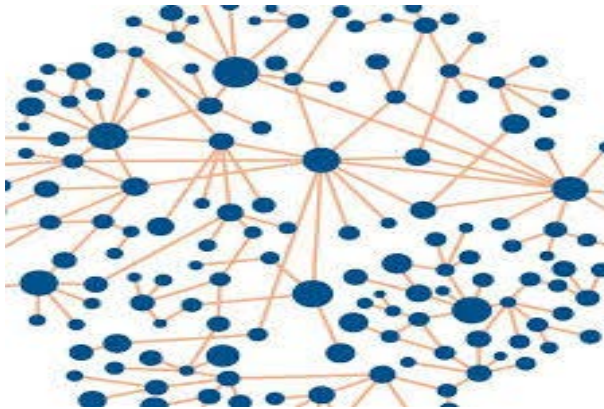
Es un sistema en el cual los procesos que determinan su función son el resultado de los múltiples factores que interactúan entre ellos. Cuantos más

componentes y mayor sea la variedad de sus comportamientos, mayor será su complejidad.

### Características de los sistemas complejos (LESGA, 2016):

- **Interconexión y relaciones:** La complejidad supone la presencia de diversos elementos o componentes que se encuentran conectados entre sí e interactúan de forma no lineal. Dichas interacciones pueden manifestarse de manera directa o indirecta, y comprenderlas resulta fundamental para interpretar la figura 1.1

Figura 1.1. Ejemplo del proceso de interconexión en un sistema complejo



Fuente: Canvus.ai (2025). Representación gráfica de una interconexión en un sistema complejo.

- **Propiedades emergentes:** En los sistemas complejos aparecen propiedades nuevas, es decir, rasgos y comportamientos que no pueden entenderse únicamente observando cada parte por separado. Estas características surgen de las interacciones entre los distintos componentes y generan fenómenos o estructuras inéditas.
- **No linealidad:** La complejidad suele estar asociada con relaciones no lineales entre causa y efecto. De este modo, variaciones mínimas o perturbaciones dentro del sistema pueden generar consecuencias

inesperadas y desproporcionadas en su comportamiento general, lo que dificulta predecirlo y comprenderlo por completo.

- **Adaptabilidad y transformación:** Los sistemas complejos poseen la capacidad de ajustarse y reaccionar ante cambios o alteraciones en su entorno. Pueden autorregularse y autoorganizarse con el fin de conservar equilibrio y estabilidad, incluso en escenarios variables.
- **Jerarquía y escalabilidad:** Con frecuencia, los sistemas complejos exhiben una organización jerárquica, en la que los componentes más pequeños o locales se integran en niveles superiores que conforman un sistema más amplio y sofisticado. Asimismo, son escalables, lo que implica que sus patrones estructurales y de comportamiento se mantienen tanto en escalas reducidas como en niveles mayores.

Para entender mejor el concepto de un sistema complejo en nuestro día a día, lo podemos visualizar en el entorno en las siguientes actividades o procesos:

*Tráfico vehicular:* El movimiento de los autos en la ciudad es un sistema complejo, porque las decisiones de los conductores, las señales de tránsito y el estado de las calles se combinan y pueden provocar situaciones inesperadas, como embotellamientos (ver figura 1.2).

Figura1.2. *Ejemplo de tráfico vehicular*



Fuente: Canvus.ai (2025). Representación del tráfico vehicular.W

*Condiciones climáticas:* El clima surge de la combinación de diversos factores atmosféricos, entre ellos la temperatura, la humedad y la presión.

Su carácter caótico y la alta sensibilidad a las condiciones iniciales hacen que predecirlo resulte una tarea complicada (ver figura 1.3).

Figura 1.3. *Ejemplo de condiciones climáticas*



Fuente: Canvus.ai (2025). Representación de las condiciones climáticas.

*Equilibrio en ecosistemas:* Los ecosistemas representan sistemas complejos en los que la desaparición de una especie puede modificar de forma significativa las interacciones entre los organismos, impactando la biodiversidad y la estabilidad del medio.

## Teoría del caos

La teoría del caos se enfoca en el estudio de sistemas dinámicos no lineales que presentan una alta sensibilidad a las condiciones iniciales. Esto significa que pequeñas diferencias en el punto de partida pueden generar resultados muy distintos, lo cual dificulta la posibilidad de realizar predicciones a largo plazo. Aunque estos sistemas son deterministas, es decir, siguen reglas definidas, su comportamiento complejo los vuelve impredecibles. Entre sus fundamentos se encuentran la no linealidad, la dependencia crítica de los estados iniciales y la formación de patrones complejos que, aunque puedan parecer aleatorios, emergen de manera organizada dentro de los sistemas (Santos, 2004).

## **Ejemplo del péndulo doble**

El péndulo doble está compuesto por dos brazos articulados, donde el segundo cuelga del extremo del primero. Este dispositivo representa un ejemplo clásico de sistema caótico, ya que es extremadamente sensible a las condiciones iniciales. Variaciones mínimas en la posición o velocidad de partida pueden generar trayectorias completamente diferentes y difíciles de anticipar con el tiempo. Las ecuaciones que describen su movimiento son de carácter no lineal, lo cual refleja la complejidad propia de estos sistemas (Santos, 2004).

## **El efecto mariposa y sus implicaciones**

El “efecto mariposa” es una metáfora que ilustra cómo pequeñas acciones pueden tener grandes repercusiones en sistemas complejos. Popularizado por el meteorólogo Edward Lorenz en la década de 1960, muestra que, en sistemas caóticos como el clima, mínimas variaciones en las condiciones iniciales pueden producir resultados drásticamente diferentes. Esto refuerza la idea de que es prácticamente imposible hacer predicciones precisas a largo plazo en estos contextos.

## **Autoorganización: definición y características**

La autoorganización se presenta como un componente fundamental de los sistemas complejos. Se refiere a la capacidad que tienen estos sistemas para reorganizarse, ajustarse y adaptarse a los cambios del entorno, sin necesidad de un control centralizado. Es, en esencia, el mecanismo mediante el cual el sistema busca recuperar su equilibrio interno frente a perturbaciones externas, modificando su estructura o comportamiento.

Un aspecto clave de estos procesos es la existencia de niveles jerárquicos o escalas. Las interacciones entre los elementos de un determinado nivel pueden dar lugar a nuevas propiedades o estructuras en otro nivel superior, con comportamientos que no se explican únicamente por las partes individuales. Este fenómeno, conocido como emergencia, permite que surjan nuevas formas de organización o funcionalidad a partir de las dinámicas internas del sistema.

Por ejemplo, las moléculas frente a las macromoléculas, las macromoléculas frente a las células y las células frente a los tejidos. De este modo, el sistema autoorganizado se va construyendo como resultado de un orden incremental espacio-temporal que se crea en diferentes niveles, por estratos, uno por encima del otro.

Los sistemas autoorganizados se mantienen dentro del estrecho dominio que oscila entre el orden inmutable y el desorden total, entre la constancia rígida y la turbulencia anárquica. Una condición muy especial, con suficiente orden para poder desarrollar procesos y evitar la extinción, pero con una cierta dosis de desorden como para ser capaz de adaptarse a situaciones novedosas y evolucionar.

Como se observa en la tabla 1.1, la autoorganización es un fenómeno ampliamente presente tanto en sistemas naturales como sociales. En todos los casos, el orden no es impuesto desde una autoridad central, sino que emerge de las interacciones locales entre los elementos del sistema, dando lugar a patrones globales complejos y eficientes (Moriello, 2003).

Tabla 1.1. *Ejemplos de fenómenos de autoorganización en sistemas naturales y sociales*

<i>Ejemplo</i>	<i>Fenómeno de autoorganización</i>
Baile de los estorninos	Estos pájaros se guían por reglas básicas de distancia y orientación respecto a los que tienen cerca. Sin necesidad de un control central, logran crear patrones de vuelo complejos y espectaculares, que surgen de la interacción entre individuos.
Mercados de valores	El valor de las acciones cambia constantemente según las decisiones de miles de inversionistas que buscan obtener ganancias. Aunque no hay una dirección central, el mercado se organiza por sí mismo dando lugar a tendencias, ciclos y comportamientos colectivos.
Colonias de hormigas	Estos insectos emplean feromonas para marcar rutas hacia el alimento. A través de decisiones individuales y simples interacciones, la colonia consigue organizarse de manera eficiente, optimizando caminos y repartiendo el trabajo sin necesidad de un liderazgo central.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los conceptos fundamentales de la complejidad, como el estudio de los sistemas complejos, plantean un desafío considerable para la integración de múltiples disciplinas. Entre ellas se incluyen la dinámica no lineal y la teoría del caos, la física estadística, los procesos estocásticos, la teoría de la información, la teoría de redes, así como las ciencias de la ingeniería, biológicas y computacionales (Fernández, 2016).

## **¿Por qué es importante estudiar la complejidad?**

En años recientes ha crecido el interés por comprender la complejidad, especialmente porque los problemas del mundo actual ya no pueden resolverse mediante ideas simples o soluciones lineales. Temas como el cuidado del medio ambiente, la organización del territorio, la mejora de procesos en las instituciones o el estudio del cerebro humano, requieren nuevas formas de análisis que tomen en cuenta la diversidad de factores que influyen entre sí. Por ello, aprender sobre la complejidad ayuda a tener una visión más amplia, útil para interpretar mejor lo que ocurre en sistemas reales donde todo está conectado y cambia constantemente.

## **Comprensión de fenómenos del mundo real**

Comprender la complejidad ofrece una vía para analizar fenómenos sociales, naturales y tecnológicos desde una perspectiva amplia, donde se reconocen sus múltiples niveles, relaciones e influencias mutuas. Tal como plantea Arvizu Arvizu (2020), los sistemas regionales presentan propiedades emergentes que no pueden explicarse únicamente al observar sus componentes por separado; es en la interacción entre ellos donde surgen comportamientos globales que transforman la dinámica del sistema.

Esta lógica también se refleja en otros contextos, como en el funcionamiento de las organizaciones, las redes neuronales o los ecosistemas. En todos estos casos, lo que ocurre a nivel colectivo no se deriva directamente

de las partes individuales, sino de la red de conexiones que las vincula y les da sentido.

En ese mismo sentido, Borja Saavedra, Contreras Vásquez y Bonilla García (2025) destacan que las redes digitales constituyen una manifestación contemporánea de sistemas complejos. Estas redes generan patrones dinámicos de interacción que desbordan las estructuras jerárquicas tradicionales y ponen en evidencia nuevas formas de organización, circulación de información y toma de decisiones.

### **Limitaciones del pensamiento lineal**

En escenarios donde predominan la incertidumbre y la variabilidad, especialmente en contextos sociales o educativos, las explicaciones basadas en esquemas lineales, aquellos que suponen una relación directa y predecible entre causa y efecto, resultan claramente insuficientes. Este tipo de pensamiento, aunque útil en ciertos casos, no logra dar cuenta de situaciones en las que pequeños cambios generan consecuencias inesperadas, donde la retroalimentación modifica el curso de los acontecimientos o donde las soluciones deben ser constantemente reformuladas a medida que el entorno evoluciona.

En el ámbito educativo, el pensamiento complejo ha ganado espacio como una forma de interpretar los procesos de enseñanza y aprendizaje desde una perspectiva más amplia. Martínez Romero (2021) propone que esta mirada permita dejar atrás modelos que entienden el aprendizaje como una secuencia fija y generalizable, para reconocerlo como un proceso relacional, influido por el entorno, las tecnologías, los conocimientos previos y las personas que participan en él. Lejos de seguir un camino único, aprender implica recorrer rutas diversas, llenas de matices y adaptaciones, lo que ha llevado a revisar críticamente las prácticas pedagógicas que por mucho tiempo se mantuvieron sin cuestionamientos.

La tabla 1.2 compara estas dos formas de entender los procesos: por un lado, el enfoque lineal; por otro, el enfoque complejo. En ella se destacan las implicaciones que cada perspectiva tiene tanto para analizar la realidad

como para tomar decisiones en contextos que exigen flexibilidad y una mirada más integral.

Tabla 1.2. *Comparación entre pensamiento lineal y pensamiento complejo*

<i>Aspecto</i>	<i>Pensamiento lineal</i>	<i>Pensamiento complejo</i>
Relación causa-efecto	Directa, única y predecible	Múltiple, retroalimentada, no lineal
Dinámica del sistema	Estática o estable	Dinámica, cambiante, con propiedades emergentes
Variables	Aisladas, independientes	Interconectadas e interdependientes
Soluciones	Únicas y definitivas	Múltiples, adaptativas y contextuales
Ejemplos	Resolución de ecuaciones, cadenas de producción	Ecosistemas, conflictos sociales, aprendizaje humano
Enfoque	Reduccionista	Sistémico e integrador

Fuente: elaboración propia.

## Nuevas formas de pensar e investigar

La complejidad no puede reducirse a una colección de conceptos teóricos ni a un conjunto de métodos aplicables. Más allá de su dimensión técnica, representa un cambio profundo en la manera de comprender el conocimiento y de relacionarnos con el mundo. Asumir una perspectiva basada en la complejidad implica reconocer que los sistemas no siguen caminos fijos ni responden a patrones estables. Su comportamiento está marcado por la incertidumbre, por la aparición de eventos inesperados y por una constante transformación motivada por las relaciones que los atraviesan y se modifican con el tiempo. En contextos donde todo cambia con rapidez y los fenómenos no responden a patrones fijos, lo aprendido no pueden concebirse como bloques estables ni aplicables en cualquier situación. Por el contrario, se construyen desde realidades concretas, en interacción con los entornos y con las condiciones específicas que los atraviesan. Esta construcción es dinámica, en constante transformación, y responde a la necesidad de interpretar y actuar sobre lo que sucede en el mundo real.

Desde este enfoque, Núñez y Solano (2024) mencionan que para comprender los sistemas sociales es necesario incorporar los principios de to-

talidad y sinergia. Analizar cada parte por separado no basta, lo esencial está en cómo esas partes se relacionan, se influyen mutuamente y dan lugar a nuevos significados y formas de funcionamiento. Muchas veces, esas conexiones solo se hacen visibles cuando se deja de fragmentar la realidad y se reconoce que lo que ocurre en un punto puede modificar lo que sucede en otro. Pensar así no solo amplía la comprensión, también invita a transformar la manera en que se investiga, colocando en el centro las relaciones, los vínculos y el carácter cambiante de los procesos sociales.

En el campo organizacional, esta forma de entender la complejidad adquiere un sentido práctico. Hernández Cansino, Urbiola Solís y Carreón Vázquez (2022) proponen considerar a las organizaciones como sistemas complejos adaptativos. Bajo esta visión, cobran importancia aspectos como la autoorganización, la retroalimentación continua y el aprendizaje colectivo. Estos no son rasgos complementarios, sino condiciones necesarias para afrontar contextos donde las reglas, los retos y las respuestas posibles están en permanente transformación. Cuando lo estable deja de ser suficiente, la clave está en la capacidad de las organizaciones para reformular sus caminos, ajustarse a lo que ocurre y generar respuestas que conecten con su entorno de forma oportuna y creativa.

## **Aplicaciones prácticas de los sistemas complejos**

Aunque los sistemas complejos cuentan con un respaldo teórico bien establecido, su verdadero valor se evidencia cuando se aplican al análisis de fenómenos concretos. Más que una categoría conceptual, representan una forma de pensamiento que ha resultado esencial en distintas disciplinas, al ofrecer herramientas que permiten comprender procesos que no pueden explicarse desde una lógica simplificada.

Una de sus principales aportaciones es la posibilidad de articular distintos niveles de análisis, reconociendo que los hechos no ocurren de manera aislada ni siguen un orden previsible. En campos como la biología, la educación, la economía, la tecnología o las ciencias sociales, los fenómenos emergen de relaciones múltiples, influencias cruzadas y entornos en cons-

tante transformación. En este escenario, pensar desde la complejidad permite captar matices que de otro modo quedarían fuera del análisis.

Adoptar esta perspectiva no implica únicamente describir lo que sucede, sino intervenir con mayor sensibilidad a las dinámicas propias de cada contexto. Supone reconocer que todo fenómeno está conformado por variables en interacción, que las relaciones entre ellas no son lineales, y que las condiciones que las rodean pueden cambiar con rapidez. Desde este enfoque, el pensamiento complejo no busca imponer respuestas fijas, sino ampliar las posibilidades de comprensión y de acción, atendiendo a la diversidad, la ambigüedad y la transformación que caracterizan a la realidad social y natural.

### **Ciencias naturales (biología, ecología, física)**

En el ámbito de las ciencias naturales, el enfoque de los sistemas complejos ha abierto nuevas posibilidades para comprender fenómenos que, por su carácter dinámico y entrelazado, no pueden abordarse con enfoques lineales ni mediante explicaciones simplificadas. En biología, por ejemplo, estudios como los de Márquez-Díaz (2021) y Domínguez (2025) muestran que el cerebro humano no opera como una estructura rígida, sino como un sistema que se reorganiza a partir de su interacción con el entorno. Las conexiones sinápticas se modifican de forma continua, permitiendo procesos esenciales como el aprendizaje o la adaptación. Esta flexibilidad no es resultado de una suma mecánica de partes, sino de una red viva de relaciones que funcionan al mismo tiempo y en distintos niveles.

Una lógica similar se observa en el estudio de los ecosistemas. Según Borja Saavedra et al. (2025), la vida no se sostiene desde la autonomía de los organismos, sino desde las relaciones que establecen entre sí y con el medio. Estas interacciones generan ciclos de retroalimentación que mantienen el equilibrio ecológico y, al mismo tiempo, permiten la transformación del sistema ante los cambios. Lo relevante no es solo la presencia de vínculos, sino su capacidad para dar origen a patrones nuevos que fortalecen la resiliencia del conjunto.

En la física, este tipo de pensamiento ha dado lugar a aplicaciones renovadas de teorías como la del caos, especialmente en el análisis de fenómenos donde los efectos no son proporcionales a las causas. Desde la turbulencia de los fluidos hasta la dinámica atmosférica, se ha comprobado que pequeñas alteraciones iniciales pueden generar cambios de gran magnitud con el paso del tiempo. La Real Academia de Ciencias (RAC, 2024) ha documentado recientemente casos en los que la no linealidad es clave para comprender procesos como la combustión o la estabilidad de los sistemas hidrodinámicos. En esta misma línea, el trabajo de Rojas Yanguas (2023) demuestra que, incluso en series de datos que antes se consideraban aleatorias, es posible identificar estructuras complejas al aplicar modelos basados en el caos.

## Ciencias sociales y educación

El enfoque de la complejidad ha abierto nuevas formas de acercarse a fenómenos que, por años, fueron analizados con herramientas conceptuales poco flexibles. En las ciencias sociales, por ejemplo, ha permitido revisar cómo se interpretan procesos como los conflictos sociales. Becerra (2020) advierte que no se trata de situaciones con una única causa ni con un desarrollo previsible. Más bien son expresiones de relaciones cambiantes, marcadas por la presencia de múltiples actores, por contextos históricos específicos y por condiciones que rara vez se mantienen estables por mucho tiempo.

Al tratar de comprender estos procesos, es necesario abandonar la idea de que pueden resolverse con fórmulas cerradas. La propuesta no gira en torno a encontrar una respuesta definitiva, sino a mantener la atención en los factores que los sostienen, en las tensiones que los atraviesan y en las transformaciones que pueden aparecer incluso en escenarios donde, aparentemente, nada cambia. Esta forma de análisis no busca controlar la complejidad, sino acompañarla, reconociendo que los fenómenos se mueven con el tiempo y se configuran desde múltiples relaciones.

Este mismo enfoque ha resultado especialmente útil en el campo educativo. Según Martínez Romero (2021), el aprendizaje y la enseñanza pueden entenderse como procesos abiertos, donde intervienen muchos elementos:

desde las personas y los saberes que circulan, hasta los recursos tecnológicos, los espacios, los tiempos e incluso las emociones que se hacen presentes. Lejos de ajustarse a una estructura rígida, aprender se convierte en una experiencia que se construye en situaciones concretas, con recorridos diversos y resultados que no siempre se anticipan. Esta forma de comprender el aprendizaje no reduce su valor, sino que lo enriquece al poner en evidencia su carácter profundamente humano.

Algo similar ocurre cuando se traslada esta perspectiva al estudio de las organizaciones. Hernández Cansino, Urbiola Solís y Carreón Vázquez (2022) sostienen que las instituciones no funcionan como sistemas cerrados, sino como organismos vivos capaces de adaptarse a las circunstancias. En estos espacios, la posibilidad de reorganizarse, de aprender colectivamente y de responder a escenarios cambiantes no es un lujo, sino una necesidad. La autoorganización, el intercambio continuo de información y el aprendizaje compartido son pilares para su permanencia, sobre todo en contextos donde la incertidumbre se vuelve parte del entorno habitual.

## **Tecnología, redes e inteligencia artificial**

En años recientes, distintas tecnologías emergentes han comenzado a incorporar principios derivados del enfoque de la complejidad, no solo como referentes teóricos, sino como marcos funcionales para mejorar su capacidad adaptativa. En el caso de la inteligencia artificial, se observa que las redes neuronales artificiales se han desarrollado tomando como modelo el comportamiento de las redes neuronales biológicas. Tal como lo señala Domínguez (2025), estos sistemas replican mecanismos de aprendizaje profundo y ajuste dinámico que les permiten responder de forma más eficiente en entornos caracterizados por la incertidumbre y el cambio constante.

De manera análoga, el funcionamiento de las redes digitales que dan soporte a internet y a las plataformas sociales presenta características propias de los sistemas complejos. La circulación de información, las interacciones entre usuarios y la propagación de contenidos no siguen rutas lineales ni predecibles, sino que emergen de múltiples conexiones simultáneas y descentralizadas que producen dinámicas difíciles de anticipar, pero altamen-

te interdependientes. En estos espacios, la información circula de forma descentralizada, las interacciones entre usuarios generan dinámicas emergentes, y los patrones de comportamiento que se forman son difíciles de anticipar, pero profundamente interdependientes, como lo analizan Borja Saavedra y colaboradores (2025).

Por otro lado, tecnologías como blockchain ejemplifican cómo los principios de la complejidad se traducen en sistemas funcionales. Estudios como los de Albiol Perarnau et al. (2024) y Esteban (2023) muestran que estos sistemas distribuidos no dependen de una entidad central para operar con seguridad; por el contrario, su fiabilidad surge de los procesos de consenso generados entre múltiples nodos autónomos que interactúan en tiempo real, consolidando una estructura que se autorregula y se adapta constantemente, en línea con los fundamentos del pensamiento complejo.

## **Reflexiones finales y conexión con la transdisciplina**

El estudio de la complejidad no solo implica conocer nuevas teorías o modelos, sino también adoptar una forma distinta de observar el mundo. Al cierre de este capítulo, es necesario reflexionar sobre cómo el pensamiento complejo transforma nuestra manera de comprender, investigar y actuar frente a los desafíos actuales, invitándonos a cruzar fronteras entre disciplinas, integrar saberes diversos y asumir una visión más holística de la realidad.

## **Pensamiento complejo y comprensión integral**

El pensamiento complejo, formulado por Edgar Morin y ampliado por otras contribuciones actuales, propone una forma distinta de aproximarse al conocimiento. A diferencia de los enfoques que tienden a descomponer los fenómenos en elementos aislados, este marco plantea la necesidad de entender cómo se relacionan esos elementos entre sí, cómo se influyen mutuamente y qué dinámicas surgen a partir de esas interacciones. El análisis detallado sigue siendo importante, pero cobra mayor sentido cuando se

integra en una comprensión más amplia que dé cuenta de los vínculos y procesos que configuran la realidad.

Desde esta perspectiva, Martínez Romero (2021) subraya que comprender de manera integral supone reconocer que los fenómenos no se presentan como compartimentos separados, sino como estructuras dinámicas formadas por la interacción constante entre lo biológico, lo social, lo cultural y lo tecnológico. Esta forma de abordar la complejidad no busca simplificar lo que es diverso, sino ofrecer herramientas para captar cómo se entretejen distintos niveles en procesos abiertos, en constante transformación. Cada fenómeno cobra sentido en función de estas conexiones, de las tensiones que surgen entre ellas y de los cambios que se producen cuando esas relaciones se reconfiguran. La complejidad no descarta lo simple, pero lo reconoce como parte de una red más grande y cambiante, en la que los procesos están siempre en movimiento y abiertos a transformaciones.

### **Construcción de puentes entre disciplinas**

Uno de los aportes más importantes del pensamiento complejo es su capacidad para conectar distintas áreas del conocimiento. En un contexto como el actual, donde los problemas sociales, ambientales y tecnológicos son cada vez más amplios y entrelazados, es evidente que una sola disciplina no basta para entenderlos ni resolverlos.

Tanto Martínez Romero (2021) como Becerra (2020) coinciden en que la transdisciplina —es decir, la unión de saberes de diferentes orígenes— ayuda a construir soluciones más pertinentes. Esto incluye no solo lo científico o técnico, sino también lo ético, lo social y lo cultural. Bajo esta lógica, el estudio de sistemas complejos se convierte en un espacio común donde personas de distintas áreas pueden compartir experiencias, aprender unas de otras y buscar respuestas en conjunto, más adecuadas a la realidad.

## La complejidad frente a los desafíos contemporáneos

Pensar desde la complejidad es especialmente útil en un mundo como el actual, marcado por cambios constantes, avances tecnológicos rápidos e interdependencia global. Fenómenos como las pandemias, las crisis ambientales o los conflictos sociales han dejado claro que no siempre se pueden prever las consecuencias ni aplicar soluciones simples a problemas que tienen muchas causas y efectos relacionados entre sí.

Borja Saavedra y su equipo (2025) destacan que pensar en términos de sistemas complejos permite identificar efectos inesperados, encontrar puntos clave para intervenir y fomentar formas de resistencia y adaptación colectiva. Por su parte, Cacace (2023) muestra cómo estas ideas pueden aplicarse en la gestión pública, sobre todo en momentos de crisis, proponiendo políticas más flexibles, colaborativas y pensadas a largo plazo. Lejos de buscar certezas absolutas, este enfoque invita a mantener una actitud abierta, aprender de cada situación y adaptarse con responsabilidad a lo que el entorno vaya planteando.

## Referencias

- Albiol Perarnau, M. et al. (2024). *Blockchain en salud: transformando la seguridad y confiabilidad de los datos*. PubMed Central. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10803907/>
- Arvizu Arvizu, M. S. (2020). Emergencia y complejidad en los sistemas regionales: una perspectiva desde la gobernanza territorial. *Región y Sociedad*, 32(78), 1–35. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73722020000100108&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73722020000100108&script=sci_arttext)
- Becerra, G. (2020). La teoría de los sistemas complejos: una aproximación epistemológica al estudio del conflicto social. *Configuraciones*, 9(17), 29–52. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-14352020000100107>
- Borja Saavedra, M. C., Contreras Vásquez, L., y Bonilla García, N. (2025). Sistemas complejos en la era digital: una revisión sistemática de las dinámicas de interconexión y emergencia en redes complejas. *Journal Scientific MQRInvestigar*, 10(2), 1–15. <https://www.researchgate.net/publication/391145950>
- Cacace, M. (2023). Teoría de la complejidad y los sistemas de salud: una lectura necesaria para la gestión pública sanitaria en crisis. *Revista de Administración y Gestión*

- en Salud Familiar y Comunitaria*, 3(2). <https://revista.famfyg.com.ar/index.php/AMFG/article/view/229>
- Domínguez, M. O. (2025). Redes neuronales artificiales: fundamentos y aplicaciones. *Revista Digital de Tecnología y Sociedad*, 13(2), 45–60. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun>
- Esteban, C. R. (2023). *Integración de blockchain en sistemas robóticos* [Tesis de maestría, Universidad de Alicante]. <https://rua.ua.es/entities/publication/2a427006-5443-450d-9145-d9ca-8e8a4f99>
- Fernández Miguel, A. (2016). Dinámica no lineal, teoría del caos y sistemas complejos: una perspectiva histórica. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, 109(1–2), 107–126. <https://rac.es/ficheros/doc/01213.pdf>
- Hernández Cansino, C., Urbiola Solís, A. E., y Carreón Vázquez, G. (2022). Contribuciones desde el enfoque de los sistemas complejos adaptativos al estudio de las organizaciones. *Administración y Organizaciones*, 25(49). <https://rayo.xoc.uam.mx/index.php/Rayo/article/view/501>
- LEGSA. (2016). Complejidad y sistemas complejos: Un acercamiento multidimensional. <https://legsa.com.mx/pyru/complejidad>
- Márquez-Díaz, J. E. (2021). Neurotopología bajo el enfoque de las redes neuronales biológicas y artificiales. *Tecnura*, 25(68), 128–145. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/19455/18268>
- Martínez Romero, E. (2021). Teoría de sistemas complejos: marco epistémico para la investigación en educación. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 26(89), 437–460. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-66662021000200437>
- Moriello, S. A. (2003). Sistemas complejos, caos y vida artificial. *Red Científica*. <http://www.redcientifica.com/autores/smo>
- Núñez, J., y Solano, A. (2024). Principios de totalidad y sinergia en los sistemas sociales. *ULEAM Bahía Magazine*, 12(1), 81–90. [https://revistas.uleam.edu.ec/index.php/uleam\\_bahia\\_magazine/article/download/556/2731](https://revistas.uleam.edu.ec/index.php/uleam_bahia_magazine/article/download/556/2731)
- Percio, D. (2016). Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación de la investigación interdisciplinaria. *Journal de Ciencias Sociales*.
- Real Academia de Ciencias. (2024). *La dinámica no lineal y el caos determinista*. RAC. <https://rac.es/ficheros/doc/c30b5a5ee5a9cb1e.pdf>
- Reyna, J. (2025). Sistemas complejos. Instituto de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias, Investigación e Ingeniería.
- Rojas Yanguas, C. (2023). *Series temporales y caos: aplicaciones modernas en el análisis de sistemas complejos* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Madrid].
- Santon. (2004). Física del caos. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). [https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/Fisica\\_del\\_caos.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Fisica_del_caos.pdf)