

Sistemas y más sistemas: ¿es todo en el mundo un sistema?

Walter Ritter Ortiz, Sergio A. Guzmán Ruiz, Norma Sánchez-Santillán, Rubén Sánchez-Trejo, Juan Suárez Sánchez y Tahimi E. Pérez Espino

Introducción

En varias ocasiones hemos sentido que nuestras vidas se descontrolan y se encaminan a situaciones caóticas, y no sólo de forma ocasional, sino permanente. El significado de este caos apenas ha comenzado a investigarse, pero no cabe duda de que la comprensión individual o colectiva del mismo puede cambiar radicalmente nuestras vidas. En la vida cotidiana no es nada extraño cuestionar respecto a la existencia de situaciones que no concuerdan con lo que se entiende como sentido común. Así por ejemplo, a diferentes niveles de realidad se puede preguntar:

- ¿Por qué cuando las cosas marchan bien, tarde o temprano dejan de funcionar, y los grupos que se forman con el propósito de ayudarse mutuamente terminan casi siempre en enfrentamientos?
- ¿Por qué a los recursos se les dan usos inferiores que conducen al bajo rendimiento, además de ser insostenibles y en general se aplican a un sólo uso, a pesar de que hay otros superiores, de alto rendimiento, sostenibles y con la posibilidad de emplearse en forma múltiple, que podrían redituarse en un beneficio neto mayor?
- ¿Por qué no se invierte en la protección y fomento de los recursos naturales aun cuando se sabe que eso produce a largo plazo un valor neto positivo, al elevar la productividad y aumentar la sustentabilidad?
- ¿Por qué desapareció el imperio maya?
- ¿Por qué, al intentar premiar la productividad y la creatividad, se termina premiando lo más tri-

lado, se ignora la originalidad y los temas realmente de frontera?

- ¿Por qué se tiende a aceptar lo irracional y se permite que prevalezca en forma repetitiva hasta convertirse en costumbre?

Estas preguntas y otras similares tienen un origen común, de tal manera que pueden resolverse con la misma metodología. Los fenómenos tanto personales como de la naturaleza o de la sociedad son *constitutivamente complejos*; esta propiedad tiende a aumentar al integrarse en otras composiciones y ordenamientos, ya que al interactuar y relacionarse unos con otros se generan nuevos niveles de realidad.

Tales percepciones exigen construir conocimientos correlativamente complejos, coordinados por una metodología innovadora que analice el conjunto de interacciones, por un lado, y sus partes por otro.

Solución de problemas con el enfoque sistémico

El pensamiento sistémico nos permite desarrollar una metodología innovadora para descubrir patrones que se repiten en los acontecimientos de la naturaleza y la vida cotidiana. Proporciona métodos más eficaces para afrontar problemas con mejores estrategias de pensamiento al profundizar y ampliar nuestros puntos de vista; además, por ser integral, el razonamiento es más claro y profundo, y por ende mejora la comunicación.

Para el enfoque sistémico, todas las partes de un sistema mantienen una interacción recíproca y cada parte,

por pequeña que sea, puede influir en el comportamiento del conjunto. Esto implica que la forma de actuar de un sistema no es predecible mediante el análisis de sus partes por separado, donde la estructura del sistema y no el esfuerzo de las personas es lo que determina los resultados. Además sirve para adentrarse con una mayor profundidad en la comprensión de la complejidad de un proceso y descubrir, si es posible, la forma de mejorarlo. A nivel personal permite guiarnos con más eficiencia y nos amplía la visión para ser más creativos y asertivos en el planteamiento y la solución de problemas, lo cual lleva a una mejor funcionalidad de las cosas.

Sistemas y cambios

La estabilidad de un sistema varía de acuerdo a su grado de complejidad y depende de muchos factores como el tamaño, la cantidad y la diversidad de los subsistemas, así como el grado de conectividad que exista entre ellos y con otros sistemas.

Mientras más complejo es el sistema, mayores son los vínculos entre sus partes; acerca de estas últimas se

pueden afirmar verdades, que sin embargo son verdades parciales; la verdad total está condicionada por múltiples singularidades derivadas de las interacciones entre las partes. Esta concepción es particularmente aplicable en el campo de lo biológico, donde se observa que lo esencial tiende a permanecer por mucho que cambien las partes. Esto se debe a que los sistemas biológicos son particularmente estables y se resisten al cambio; sin embargo, cuando éste se da, genera una resistencia por parte del sistema, ya que no puede haber estabilidad sin resistencia.

El tiempo en el que se perciben los cambios depende del número y de la complejidad de las partes que integran al sistema. Así a mayor complejidad, mayor intensidad y cantidad de interacciones entre las partes y más tiempo tardan en apreciarse los cambios. Lo anterior permite plantear y resolver un problema, sobre todo si sabe en qué parte del sistema y cuándo se deben emprender las acciones apropiadas.

La diferencia entre lo simple y lo complejo es una diferencia de organización: los sistemas complejos se comportan de formas que no siguen las reglas sencillas.



Cua Vuit

llas de nuestro universo físico. Por el contrario, son sorprendentemente complicados, pero a la vez flexibles, libres y capaces de trascender sus orígenes físicos. Se caracterizan por la adaptabilidad, reproducción, autocomplicación y autorregulación. La visión sistémica no concibe descripciones supercomplejas: por el contrario, busca que sean simples, clarifiquen el mundo de la naturaleza y lo hagan comprensible.

Historia y complejidad

A lo largo de la historia de la humanidad se observa que conforme se tiene un mayor entendimiento de las leyes de la naturaleza, descubrimos que los problemas de la sociedad, que inicialmente se manejan en forma simple, con relaciones lineales de causa-efecto, en realidad son más complejos, están interconectados y muchas veces se generan en las mismas políticas

En la mayoría de los problemas que se intentan resolver existe de antemano una ineptitud para plantear, comprender y manejar sistemas complejos, además de ignorar que las principales amenazas a la supervivencia de estos sistemas no proceden de hechos repentinos, sino de procesos lentos y graduales

bien intencionadas que tratan de resolverlos, ya que actúan sobre los síntomas y no sobre las causas. Con ello se producen beneficios sólo a corto plazo que inducen a actuar nuevamente sobre los síntomas. Las estructuras y funciones generan patrones de organización jerárquicas donde los componentes del sistema interactúan y generan patrones de inestabilidad y amplificación que tienen un impacto considerable; se puede decir que, en algunos casos, los problemas de hoy no son más que las soluciones que se implementaron ayer. Es decir, en la mayoría de los problemas que se intentan resolver existe de antemano una ineptitud para plantear, comprender y manejar sistemas complejos, además de ignorar que las principales amenazas a la supervivencia de estos sistemas no proceden de hechos repentinos, sino de procesos lentos y graduales. El análisis de sistemas es una herramienta adecuada para enfrentar este reto, ya que nos permite cambiar la percepción del pro-

blema al detectar distintos niveles de interacción entre las variables que conforman el problema: nos facilita apreciar una mayor cantidad de perspectivas de un mismo problema.

La visión sistémica: orígenes y aplicaciones

La idea de la “teoría general de sistemas” nació en 1925 cuando Ludwig von Bertalanffy publicó sus investigaciones sobre sistemas abiertos, y se enriqueció con la aparición de la investigación de operaciones en la Segunda Guerra Mundial, la *Cybernetics* de Norbert Wiener (1948), la teoría de la información de Shannon y Weaver (1949), la teoría de los juegos de von Neumann y Morgenstern (1974), así como el concepto de homeostasis de Cannon (1929), que fuera piedra angular en estas consideraciones.

Surge por la necesidad de contar con un cuerpo sistemático de construcciones teóricas para discutir, analizar y explicar las relaciones generales del mundo empírico.

La teoría general de sistemas es un corte horizontal y vertical que pasa a través de todos los diferentes campos del saber humano, para explicar y predecir el comportamiento de la realidad. Sus principales funciones son:

- Investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en diversos campos y fomentar las transferencias provechosas de unos a otros.
- Estimular el desarrollo de modelos teóricos adecuados en los campos que carecen de ellos.
- Minimizar la repetición del esfuerzo teórico en diferentes campos.
- Promover la unidad de la ciencia al mejorar la comunicación entre especialistas.

La visión reduccionista del especialista trata una realidad que ha sido dividida y cuyas partes han sido explicadas de manera independiente por diferentes ciencias. El enfoque de sistemas integra las partes hasta alcanzar una totalidad lógica o una autonomía relativa con respecto a la totalidad mayor de la cual también forma parte. No busca establecer una teoría general de prácticamente cualquier cosa, única y total, que reemplace todas las teorías especiales de cada



disciplina en particular. Tal teoría no tendría sentido, porque en la medida en que se aumenta la generalidad se hace a costa del contenido; es decir, entre lo específico que no tiene significado y lo general que carece de contenido, debe existir para cada propósito y para cada nivel de abstracción un grado óptimo de generalidad.

El “principio de palanca” enseña que los actos, aun siendo pequeños, pueden llegar a producir mejoras significativas y duraderas si se realizan en el sitio apropiado

La visión sistémica: una ciencia de relaciones

La introducción del concepto de “sistema” como nuevo paradigma científico da una reorientación del pensamiento y una nueva visión del mundo, ya que en todos los campos del conocimiento existen de uno u otro modo complejidades, totalidades o sistemas.

La tecnología y la sociedad moderna se han vuelto tan complejas que los caminos y medios tradicionales son insuficientes, y es que para comprender un sistema no se requiere sólo conocer los elementos que lo constituyen, sino también las relaciones que existen entre ellos, por lo que se imponen actitudes de naturaleza holística, o de sistemas, con un carácter generalista, que involucre la interdisciplinariedad.

Existe una interrelación entre todos los elementos constituyentes de la sociedad. Los factores esenciales en los problemas, políticas y programas públicos deben considerarse y evaluarse siempre como componentes interdependientes de un sistema total; piénsese en problemas como la contaminación del aire y del agua, la congestión de tráfico, las conglomeraciones urbanas, la delincuencia juvenil, el crimen organizado y la planeación de ciudades, por mencionar algunos. La investigación desarrollada a partir del paradigma del análisis sistémico puede servir de base a un marco más adecuado para hacer justicia a las complejidades y propiedades dinámicas del sistema sociocultural; es uno de los mejores modelos para estudiar las organizaciones humanas como un sistema.

Los negocios y otras empresas humanas también son sistemas: están ligados por tramas invisibles de actos interrelacionados, que a menudo tardan años en exhibir plenamente sus efectos mutuos. Además, es muy difícil observar todo el patrón de cambio si sólo se tienen fotos instantáneas o partes aisladas del sistema.

Las dificultades pueden ser creadas por la manera de pensar en el problema y no ser limitaciones reales de la situación, ya que los problemas son una creación conjunta tanto de los acontecimientos como de lo que se piensa sobre ellos y no se pueden resolver con el mismo nivel de pensamiento que los creó. Es decir, al resolver un problema también se debe eliminar el pensamiento que ayudó a generarlo, porque al ser sistemas inmersos en sistemas también deben ser analizados bajo esta visión.

En las cadenas de causa-efecto hace falta incorporar escalas de tiempo y espacio en las cuales se desarrolla el fenómeno analizado, además de utilizar distinciones que se apliquen a sí mismo; la *recursividad* es la aplicación de la autorreferencia que lleva a niveles cada vez más altos dentro del sistema, al formar parte de la estructura de los procesos de retroalimentación.

Procesos de retroalimentación, patrones de cambio y el principio de palanca

En los procesos de retroalimentación de la naturaleza o de la sociedad, la demora del efecto como resultado de una causa explica por qué los problemas sistémicos son tan difíciles de reconocer. Las causas no son ni directas, ni próximas en el tiempo y tampoco en el espacio con respecto a los efectos, pero una vez identificada la causa, se puede modificar el sistema de solución o conflicto para producir mejoras duraderas que se traducen en una mayor estabilidad. El “principio de palanca” enseña que los actos, aun siendo pequeños, pueden llegar a producir mejoras significativas y duraderas si se realizan en el sitio apropiado.

Actualmente se tiene la capacidad de generar más información de la que se puede retener, mayor inter-

dependencia de la que se puede administrar, así como realizar cambios con tal rapidez que nadie puede seguirlos. Además, los problemas no tienen una causa simple, local y unívoca, por lo que las organizaciones son incapaces de integrar talentos y funciones en una totalidad productiva. La esencia del pensamiento sistémico radica en un cambio de enfoque y empieza por reestructurar el mismo pensamiento para comprender la complejidad dinámica, las causas, las interrelaciones existentes y los patrones de cambio, no sólo la complejidad de los detalles, los efectos, las relaciones lineales de causa-efecto y los efectos instantáneos que se generan.

La simulación de miles de variables y detalles complejos tan sólo impide ver los patrones e interrelaciones que se buscan: no se debe combatir la complejidad con más complejidad. Esta manera de ver el mundo sólo genera visiones fragmentarias y actos contraproducentes, por lo que se necesita trascender en los hechos para ver las fuerzas que modelan el cambio. Ver sólo los actos individuales y pasar por alto la estructura de dichos actos, forma parte de la impotencia cotidiana frente a las situaciones complejas. Los procesos de retroalimentación, por otra parte, permiten ver que continuamente se reciben influencias de la realidad, pero que también se ejercen influencias sobre ella. Aluden además a todo flujo recíproco de incidencia, el cual es a su vez causa y efecto, trastocando las ideas más arraigadas sobre causalidad planteadas en las concepciones deterministas.

La retroalimentación es una reacción del sistema que se genera en forma de estímulo por la información devuelta que influye en el paso siguiente, mayor en escalas inferiores y menor en superiores. Es la consecuencia de los actos que retornan e influyen en lo que se hace a continuación, donde la acción, la recompensa y la repetición de la acción, forman parte de la retroalimentación de refuerzo. Así, esta última puede ser buena o mala, según lo que amplifique, ya sea al dirigir el crecimiento o el declive según el punto de partida. Por otro lado, la retroalimentación de control se opone al cambio: reduce, limita o contrarresta el cambio inicial y mantiene estable el sistema. Se acepta que sin ella los seres vivos no podrían existir ni fun-

cionar dentro de los ecosistemas y, dentro de éstos, en las sociedades humanas.

Todos los sistemas tienen un objetivo, aunque éste sea tan sólo el de la supervivencia; pero cuanto más complejidad dinámica tenga el sistema, más tiempo le llevará a la retroalimentación recorrer la red entera de conexiones y por ende el sistema tardará más tiempo en responder. Además, estos retrasos pueden producir oscilaciones o reacciones excesivas que llevan al sistema a otro estado diferente del inicial; es decir, el sistema evoluciona.

El efecto palanca y el cambio repentino tienen que ver también con el grado de homogeneidad en el funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo y con su forma de reaccionar en situaciones especiales. El sistema será *continuo* cuando actúa de forma predecible, con arreglo a una serie de estados, y *discontinuo* cuando ocurra algo inusual en una serie determinada de circunstancias especiales; además, conforme aumente la complejidad, también lo harán los diferentes estados del sistema y sus valores representativos serán menos predecibles.

Ver sólo los actos individuales y pasar por alto la estructura de dichos actos, forma parte de la impotencia cotidiana frente a las situaciones complejas

Cadenas de causa-efecto, sus demoras y la lógica difusa

Einstein solía decir: “En la medida en que las leyes de las matemáticas se refieren a la realidad, no son ciertas, y en la medida en que son ciertas, no se refieren a la realidad”. Así también Heisenberg enseñaba que no todas las proposiciones científicas eran verdaderas o falsas. La mayor parte de los enunciados, si no todos, son indeterminados, inciertos, grises; es decir son borrosos. De aquí Kosko (1993) observó que las leyes de la ciencia no son leyes absolutas, sólo enuncian tendencias; su verdad es cuestión de grado. Así, se propone que los sistemas borrosos adaptativos aprenden de la experiencia y desarrollan sus propias reglas. Con esto la probabilidad de su planteamiento decrece a medida que hay más información y los experimentos

probabilísticos constituyen una propiedad más en la naturaleza de las partes y de las relaciones entre ellas.

La probabilidad ha demostrado ser una poderosa herramienta de predicción y control social, pero no suaviza la discordancia entre la lógica y los hechos. Sin embargo, con la aparición de la lógica difusa se trata de allanar este problema.

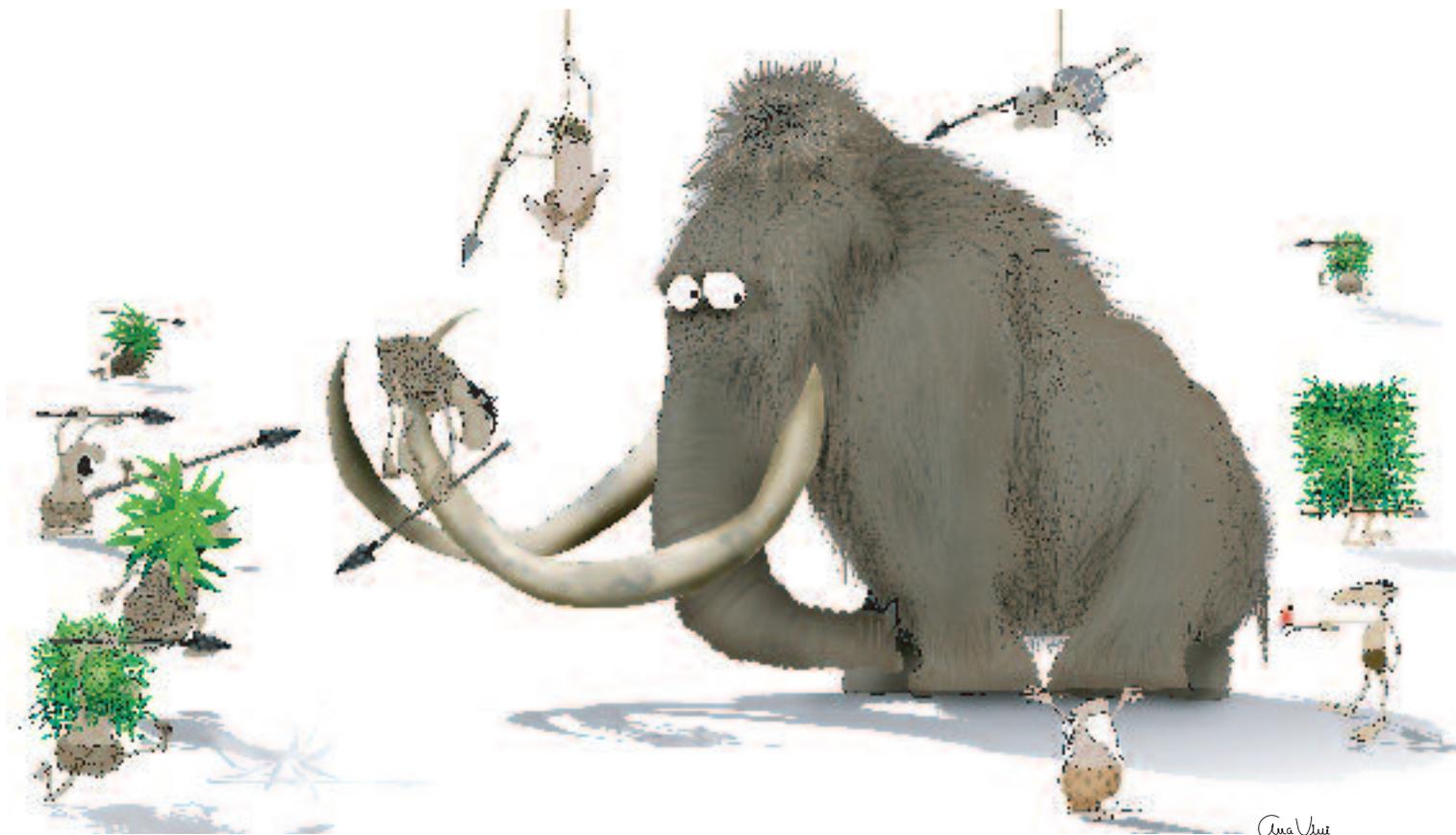
La lógica es una forma de pensar clara y eficaz, considerada hasta hace poco la mejor manera de resolver problemas. Pero no es ni con mucho la adecuada para manejar un mundo de sistemas complejos, ya que nuestro mundo es desordenado, incompleto y con frecuencia ambiguo. La lógica difusa es más adecuada para aplicarse a los sistemas complejos, donde los juicios y decisiones rara vez están perfectamente definidos, por lo que suelen ser aproximados e inciertos. En ellos ocasionalmente se crean paradojas ilógicas y extrañas, porque las escalas de tiempo y espacio podrían incluso superponerse. El pensamiento sistémico toma en cuenta a

la lógica pero también considera el tiempo, la autorreferencia y la recursividad.

En los múltiples procesos de causa-efecto hace falta incorporar el tiempo, además de utilizar distinciones que se apliquen a sí mismo y a la recursividad; esto es la aplicación de la autorreferencia, que sirve como enlace para ir a niveles cada vez más altos al formar parte estructural de los procesos funcionales de retroalimentación.

Los actos crean la realidad, y por lo mismo son ellos los que pueden cambiarla. Las relaciones humanas están ligadas por tramas de actos interrelacionados, que a menudo tardan años en exhibir plenamente sus efectos mutuos. Al concentrarse en partes aisladas, hacen que los problemas más profundos nunca se resuelvan.

La inteligencia emocional es piedra angular de la organización racional y es lo que permite concentrar energías y paciencia para aclarar y ahondar continuamente en la visión de la realidad objetiva. Sin una



Ana Uru

orientación sistémica, no hay motivación para examinar cómo se interrelacionan las disciplinas. La visión sin pensamiento sistémico termina por pintar seductoras imágenes del futuro sin conocimiento profundo de las fuerzas que deben dominarse para poder llegar a su entendimiento.

En un mundo confuso, desordenado y en constante cambio, lo que más se necesita es creatividad e innovación. Pero son a su vez estas propiedades las que pueden generarlas. Además, si se aplican las metodologías de la visión sistémica, se contaría con la capacidad y oportunidad de proyectar y adoptar un nuevo futuro al cambiar el pensamiento, la conducta, las actitudes, los valores y la comunicación. A medida que la sociedad experimente cambios profundos, rápidos y significativos, nuestros métodos también tendrían que ser diferentes.

Conclusiones

Los elementos de la naturaleza son sistemas que a su vez están inmersos, rodeados o incluidos en otros sistemas. Se consideran complejos el clima, la ecología, la economía y la sociedad, entre otros. Tanto en el análisis como en la búsqueda de una solución de los problemas complejos con el enfoque sistémico se considera que todas las partes son dependientes entre sí y cuando se analizan las causas y los efectos de éstos no necesariamente se debe considerar que estén próximos en espacio y tiempo.

En la mayoría de los problemas que se enfrentan día con día existen reiterados fracasos al tratar de resolverlos, que se atribuyen a la ineptitud para plantear, comprender y manejar los sistemas complejos. Una posible solución es a través del pensamiento sistémico, el cual actúa con una estrategia de investigación que involucra el uso de metodologías y procesos matemáticos no lineales, de forma que su aproximación científica consiste en tratarlos como sistemas abiertos en constante intercambio de energía, materia e información a todos los niveles. Así, una vez que se identifica la causa se puede modificar el sistema para producir soluciones con mejoras duraderas, todo a partir de considerar que la visión sistémica es una ciencia de relaciones.

El principio de palanca enseña que nuestros actos, aún y cuando los consideremos pequeños, pueden llegar a producir cambios significativos y duraderos, sobre todo si se realizan en el lugar y tiempo apropiados.

Para saber más

- Boulding, K. E. (1985), *The world as a total system*, Thousand Oaks, CA, Beverly Hills: Sage Publications.
- Briggs, J. y D. Peat (1999), *Seven life lessons of chaos. Timeless wisdom from the science of change*, Nueva York, Harper-Collins.
- Forrester, J. W. (1969), *Industrial dynamics, Productivity*, The MIT Press.
- Kauffman, S. (1985), *Organization and complexity*, Londres, Oxford University Press.
- Meadows, D., D. L. Meadows, J. Randers y W. W. Behrens (1972), *The limits of growth*, Nueva York, Signet, Universe Books, págs. 157-197.
- Neuman, von J. y O. Morgestein (1974), *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press.
- Senge, M. P. (1990), *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*, Doubleday.

Bibliografía

- Cannon, W. B. (1929), "Organization for physiological homeostasis", *Physiological Review*, 9, 399-431.
- Kosko, B. (1993), *Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic*, Hyperion.
- Shannon, C. E. y W. Weaver (1949), *The mathematical theory of communication*, Urbana, University of Illinois Press.
- von Bertalanffy, L. (1968), *General systems theory: Foundations, development, applications*, Nueva York, George Braziller.
- von Neumann, y O. Morgenstern (1974), *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press, 3a. edición.
- Wiener, N. (1948), *Cybernetics*, John Wiley & Sons, Nueva York.

Walter Ritter Ortiz es doctor en Biología, con la especialidad en Ecología y Medio Ambiente (UNAM). Realizó su licenciatura en física y matemáticas (UAG) y la maestría en Ciencias Geofísicas, con la especialidad en Climatología (UNAM). Es investigador en el Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), y jefe de la sección de Bioclimatología. Fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Actualmente su área de especialidad es la simulación y manejo de recursos naturales, así como el cambio climático y la dinámica de sistemas.

walter@atmosfera.unam.mx

Sergio A. Guzmán Ruiz es investigador de la sección de Bioclimatología del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Cuenta con más de 30 artículos publicados en revistas nacionales e internacionales en áreas de teoría del clima, productividad oceánica y clima, productividad terrestre y clima, microclimatología, cambio climático y dinámica de sistemas.

sergio@atmosfera.unam.mx

Norma Sánchez-Santillán es doctora en ciencias y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Actualmente es investigadora y profesora del Área de Investigación Departamental "Desarrollo y Manejo de los Recursos Naturales Renovables Acuáticos", de la UAM-Xochimilco. Sus líneas de investigación es la climatología aplicada al análisis de los ecosistemas y el análisis de los sistemas costeros. Tiene trabajos publicados en libros, capítulos de libros y artículos de investigación, de difusión y divulgación de la ciencia. Coordina el proyecto "El cambio global del clima en Méxi-

co, sus teleconexiones climáticas mundiales, los efectos sobre los ecosistemas naturales, rurales y urbanos y las repercusiones socioeconómicas" en la UAM-Xochimilco.

santilla@correo.xoc.uam.mx

Rubén Sánchez-Trejo es candidato a doctor en ciencias (biología). Desde 1990 es profesor-investigador en el Departamento El Hombre y su Ambiente de la UAM-Xochimilco. Ha publicado artículos en libros, capítulos de libros y revistas especializadas a nivel nacional e internacional. Actualmente coordina el Programa de "Ecología y Conservación de Fauna Silvestre" en la UAM-Xochimilco y desempeña funciones de investigación relacionadas con el tema "El clima y su influencia en la biodiversidad de la fauna silvestre y sus ecosistemas".

rtrejo@correo.xoc.uam.mx

Juan Suárez Sánchez es biólogo agropecuario por la Universidad Autónoma de Tlaxcala y doctor en ciencias en el área de Ecología y Ciencias Ambientales (UNAM). Es coordinador de la maestría de Ciencias Ambientales (Universidad Autónoma de Tlaxcala). Su línea de investigación son los sistemas acuáticos.

jsuarezs@hotmail.com

Tahimi E. Pérez Espino es ingeniero químico por la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Actualmente estudia la maestría en Ciencias Ambientales (Universidad Autónoma de Tlaxcala). Su línea de investigación es la dinámica y análisis de sistemas.

eltamiritter@yahoo.com.mx