

## LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD EN LA SOLUCION DE NUESTROS PROBLEMAS SOCIALES

Felipe Lara-Rosano  
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico  
Centro de Ciencias de la Complejidad  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
México, Distrito Federal 04510, México

### RESUMEN

Los procesos sociales y ambientales son complejos. Los flujos de personas, de dinero, de información, de ideas, de residuos contaminantes y de prácticas sociales como la corrupción, el crimen organizado, la depredación de la naturaleza, la migración y la generación de desigualdad social y económica se han globalizado. La ciencia tradicional basada en la causalidad y el determinismo, así como en los promedios estadísticos, no puede explicar y menos resolver los problemas humanos y sociales a que nos enfrentamos en el Siglo XXI. Por ello han surgido las Ciencias de la Complejidad, como una nueva forma de hacer Ciencia investigando los sistemas humanos y sociales, no como sistemas mecanicistas sino como sistemas interactivos, dinámicos, no lineales, y provistos de un sentido teleológico, capaces de adaptación, aprendizaje e innovación, y con una tendencia a estructurarse en redes complejas. Por lo tanto deben conceptualizarse como sistemas adaptativos complejos, un concepto que emerge de la Teoría General de Sistemas, la Cibernética y la Ciencia de la Complejidad. El objetivo de este trabajo es introducir los conceptos, métodos y técnicas del enfoque de los Sistemas Complejos al análisis de problemas en diversos tipos de sistemas sociales.

**Palabras Claves:** complejidad, problemas sociales, realidad social, sistemas dinámicos complejos.

### 1. INTRODUCCIÓN

La solución de los problemas sociales de México es función, tanto de su adecuado planteamiento, como de aplicar las teorías y técnicas más avanzadas del análisis social (Crone 2011), para disponer eficientemente de sus recursos naturales, mejorar su organización productiva, distribuir de manera más equitativa las aportaciones y los beneficios sociales en su población y enfrentar las amenazas del entorno aprovechando sus oportunidades. Sin embargo México se encuentra en perpetua interacción con un entorno turbulento tanto natural como social a nivel global siendo afectado por los siguientes factores: a) Las condiciones del entorno, cuyo grado de impacto depende del contexto y las decisiones que se tomen tanto a nivel interno como externo. b) La vulnerabilidad histórica del país frente a los intereses de

las potencias globales del momento. c) La falta de integración de la sociedad mexicana a nivel social, económico, regional y cultural, lo que implica una multiplicidad de grupos sociales diversos y desconectados, una polarización del ingreso nacional y regional y una inequidad distributiva en términos de costos y beneficios sociales con una gran marginalidad. Por todo lo anterior, nuestros problemas sociales, económicos y políticos son difíciles de abordar con los enfoques reduccionistas tradicionales y su tratamiento mediante el análisis teórico tradicional y las teorías asociadas de planeación y administración lineales es muy limitado (Wallerstein 2001).

### 2. EL CONCEPTO DIALÉCTICO DE PROBLEMA Y SU SOLUCIÓN

Para ubicar mejor el papel de la ciencia en la solución de problemas y el papel que las Ciencias de la Complejidad tienen en la solución de nuestros problemas actuales nos basaremos en el artículo de Weaver (1948) "Science and Complexity". En la primera parte del artículo Weaver ofrece una perspectiva histórica de los problemas enfocados por la ciencia, basándose en una clasificación que separa los problemas simples, con pocas variables, de los problemas de la "complejidad desorganizada" de numerosas variables, que son adecuados para el análisis de estadística y probabilidad. Los problemas en el medio de estos dos tipos pertenecen a la "complejidad organizada" con un moderado número de variables e interrelaciones pero que no pueden ser plenamente analizados con estadísticas y probabilidad.

El hombre, en su vivir cotidiano y sus sistemas sociales no se hallan aislados sino inmersos en una realidad diversificada y dialéctica que ejerce influencias decisivas sobre ellos. Estas influencias son, en relación con sus acciones y sus deseos, a veces positivas, favoreciendo el logro de sus objetivos y otras veces negativas, oponiéndose no sólo al logro de sus objetivos, sino representando inclusive un obstáculo para su propia existencia. Así por ejemplo, la llegada del invierno en ciertas latitudes puede constituir un verdadero reto a la supervivencia humana y lo mismo puede decirse de otros fenómenos naturales como los ciclones, las sequías, los sismos, etc. Entonces el hombre y sus comunidades, ante una realidad hostil o no deseable, deben emprender

acciones que modifiquen esa realidad, hasta hacerla compatible e incluso favorable a sus propios propósitos.

Así, el ser humano ha desarrollado la capacidad de modificar su realidad a través de sus acciones para hacerla más apropiada a sus objetivos y la historia de la humanidad está caracterizada por etapas de desarrollo en las que el hombre se ha ido imponiendo a la naturaleza haciéndola cada vez más favorable en el logro de sus fines. Ejemplos de ello lo constituyen el desarrollo de la ganadería, la invención de la agricultura, el aprovechamiento de la energía hidráulica, fósil y nuclear, el aprovechamiento de los recursos marinos, etc.

Ahora bien, para que esta acción humana modificadora de la realidad se presente, es necesario previamente que el hombre perciba la existencia de un conflicto entre lo que él desea y lo que tiene, entre lo real y lo deseable ya que, en la medida en que este conflicto sea percibido, se verá motivado a actuar en el sentido de resolverlo, modificando la realidad o sus deseos en forma pertinente. Este conflicto entre lo real y lo deseado es lo que aquí definimos como un problema. Esta definición de problema es tan general, que puede aplicarse a cualquier tipo de problema, desde los problemas personales o familiares, hasta los problemas globales. (Lara-Rosano 1990)

En resumen, cualquier tipo de problema que un individuo o un sector de la sociedad pueda tener, se puede definir siempre en términos de una discrepancia entre lo real y lo deseado.

De acuerdo con el concepto de problema presentado en la sección precedente, los elementos de un problema son:

- a) Un elemento objetivo, con existencia independiente del sujeto que tiene el problema y que es lo real.
- b) Un elemento subjetivo, cuya existencia sí depende del sujeto que tiene el problema y que constituye lo deseado por él.

La solución de un problema consiste entonces en la solución de la divergencia entre estos dos elementos.

Al solucionar un problema mediante el cambio pertinente de lo real puede suceder y de hecho sucede frecuentemente, que el proceso de cambio genera nuevos conflictos entre lo real y lo deseado que dan lugar a nuevos problemas. Así, la construcción de un nuevo aeropuerto fuera de la mancha urbana puede ocasionar problemas de acceso a los usuarios del mismo que requieran ser resueltos mediante inversiones en infraestructura especial carretera y ferroviaria. Por lo tanto, es deseable que las decisiones que se tomen respecto al cambio sean precedidas de un conocimiento suficiente de sus implicaciones y probables impactos para evitar que se generen problemas más graves que los que se trataba de solucionar. Es precisamente función del análisis sistémico el advertir sobre las implicaciones a largo plazo de las acciones de cambio propuestas para evitar soluciones aparentes de efecto inmediato pero de graves repercusiones a largo plazo para el conjunto de la sociedad o de uno de sus sectores. Esto implica que toda decisión de acción y por lo tanto de intervención y

cambio debe hacerse siempre en función de un conocimiento objetivo y profundo de la realidad y del problema específico a resolver y de un análisis y evaluación cuidadosos de las alternativas de solución. Para ello hay que recurrir a la ciencia que, en conjunto con la información relevante proporcionada por los datos del caso, nos daría el conocimiento objetivo de dicha realidad y sus posibilidades de cambio (Lara-Rosano 1990)

### 3. LA PRIMERA ETAPA DE LA CIENCIA: LOS PROBLEMAS SIMPLES (Weaver 1948).

A partir del Renacimiento, surge la Física con Copérnico, Kepler, Galileo, Bacon, Descartes y Newton como ciencia empírica, para conocer la verdad del mundo físico. Su paradigma es: el mundo físico es un mecanismo y las partes de este mecanismo se comportan siguiendo leyes universales que permiten explicar y predecir el mundo físico. Así, el objeto de la ciencias es la verdad, descubriendo las leyes universales que rigen el universo mediante la investigación empírica y el método hipotético-deductivo. El funcionamiento del mundo físico se explica entonces de agregar el comportamiento de las partes:

- El todo es la suma de sus partes.
- El estado natural de las cosas es el equilibrio.
- En consecuencia, un mecanismo se mueve de manera estable en el tiempo y el cambio es un movimiento predeterminado y totalmente predecible.
- El sentido del tiempo es irrelevante.

La Física pretende un conocimiento objetivo y descarta la influencia del observador.

Los siglos XVII, XVIII, y XIX constituyeron la época en que la ciencia física se enfocó a analizar problemas simples de unas cuantas variables, tales como tiempo, posición y velocidad; fuerza, masa y aceleración o bien volumen de un gas, presión y temperatura. Este conocimiento nos trajo la tecnología necesaria para la revolución industrial. Del desarrollo sostenido de la Física surge la tecnología moderna y la Revolución Industrial que cambia el mundo. Entra en auge el Capitalismo.

En esta primera etapa de la ciencia, El científico natural toma posición de observador externo, considera el fenómeno seleccionado como un mecanismo, lo analiza en sus partes e identifica sus leyes, aplicando principios óptimos. Como el entorno puede perturbar los experimentos introduciendo influencias externas indeseables, para evitar estas perturbaciones, se crean los laboratorios como espacios cerrados y aislados a influencias externas, por lo cual se descarta el concepto de sistema abierto. Su método y el éxito de sus resultados confieren a la Física el estatus de depositaria de la Verdad y las otras ciencias tratan de imitar sus métodos mientras las humanidades se concentran en el estudio del Bien y de

la Belleza. . El positivismo se convierte en la nueva religión.

Los científicos clásicos estudian las partes que son constituyentes universales: moléculas, átomos, hadrones, etc. porque para ellos el funcionamiento del todo es la suma de sus partes. Estas partes se comportan predeciblemente de acuerdo con una ley natural, pero éstas no explican las propiedades emergentes del todo.

Este método sirve para sistemas físicos pequeños y sencillos, donde se supone que las partes no dependen entre sí, se pueden suponer lineales y no hay retroalimentaciones o cuando el rango de operación de un sistema físico es tan limitado, como para modelar su comportamiento mediante aproximaciones lineales.

Como reacción al despotismo Ilustrado y producto de la emergencia de la burguesía, la Revolución Francesa proclama la búsqueda del Bien Social y empiezan a surgir las ciencias sociales que tratan de llegar a la Verdad Social, para poder establecer el Bien Social. El primero en proponer una investigación científica de los fenómenos sociales, la política y la moral fue Henri de Saint-Simon (1760-1825).

Auguste Comte, quien fue secretario de Saint-Simon entre 1817 y 1823, desarrolló sus teorías bajo el enfoque del positivismo. Comte creó la palabra sociología, que aparece por primera vez impresa en su Curso de filosofía positiva de 1838.

Sin embargo, las interacciones sociales son no-lineales y no deterministas, presentan explicaciones teleológicas y fenómenos emergentes. En conclusión, el reduccionismo de las leyes físicas no puede aplicarse indiscriminadamente en el análisis de prácticas sociales por lo que las ciencias de la vida y las ciencias sociales, en la que estos problemas simples no son a menudo significativos, no llegaron a tener un carácter altamente cuantitativo o analítico.

#### **4. LA SEGUNDA ETAPA DE LA CIENCIA Y LOS PROBLEMAS DE COMPLEJIDAD DESORGANIZADA (Weaver 1948).**

La dinámica clásica del siglo XIX fue muy adecuada para analizar y predecir el movimiento de una sola bola de marfil cuando se mueve en una mesa de billar. Uno puede, pero con un aumento sorprendente en dificultad, analizar el movimiento de dos o incluso tres bolas en una mesa de billar.

Sin embargo, si tenemos un recipiente cerrado que contiene un gas con miles de millones de moléculas o una gran mesa de billar, con millones de bolas rodando sobre su superficie, chocando unas con otras y con los carriles laterales, el método tradicional de resolver estos problemas ya no es aplicable. Es entonces cuando las ciencias físicas desarrollaron un nuevo enfoque hacia el conocimiento de la naturaleza de un tipo esencial y radicalmente nuevo con base en la probabilidad y la mecánica estadística.

Así surge la Estadística como el análisis de los promedios. En Física, Química, Biología, Sociología, Economía, Demografía, Psicología y otras Ciencias Sociales para abarcar millones de agentes, se utilizan los promedios: estatura promedio, peso promedio, ingreso promedio, escolaridad promedio, etc. La gran sorpresa es que ahora un problema de índole nacional en un país con millones de habitantes se convierte en más fácil, porque los métodos de la estadística son aplicables.

Estas técnicas no permiten conocer el comportamiento de todas esas variables individuales, pero el sistema en su conjunto presenta ciertas propiedades promedio analizables que permiten resolver problemas prácticos, como por ejemplo, en una nación ¿cuántos nacimientos en promedio hay en un año o cuál es el promedio de ingreso mensual de los trabajadores asalariados?

De este modo las técnicas estadísticas no están restringidas a situaciones en que existe una teoría científica de los eventos individuales, sino también se pueden aplicar a situaciones, como el ejemplo de la esperanza de vida al nacer, donde el evento individual como la muerte de un ser humano que acaba de nacer es impredecible.

Por otro lado en las ciencias físicas las leyes de la termodinámica, que describen tendencias básicas e inevitables de todos los sistemas físicos, se derivan también a partir de consideraciones estadísticas.

#### **5. LA TERCERA ETAPA DE LA CIENCIA Y LOS PROBLEMAS DE LA COMPLEJIDAD ORGANIZADA (Weaver 1948)**

Existen sin embargo problemas que, en contraste con las situaciones desorganizadas a las que las estadísticas pueden hacer frente, muestran como característica esencial la presencia de una organización entre los elementos del problema, caracterizándose como problemas de complejidad organizada. ¿Por qué la esperanza de vida es mayor en las mujeres que en los varones? ¿Por qué hay predisposiciones genéticas a ciertas enfermedades y no a otras? ¿Por qué una sustancia química es fundamental para la vida como el cloruro de sodio cuando sus elementos químicos componentes aislados son venenosos? ¿De qué depende el precio internacional del petróleo? ¿Cómo puede el peso estabilizarse frente al dólar con prudencia y eficacia?

Todos estos son problemas complejos, pero no son problemas de complejidad desorganizada que los métodos estadísticos puedan resolver sino son problemas que implican tratar simultáneamente con un número importante de factores que están interrelacionados en un todo orgánico. Todos ellos son problemas de complejidad organizada.

Estos problemas y una amplia gama de problemas similares en lo biológico, médico, psicológico, económico, social y político, son demasiado complejos para resolverlos al antiguo estilo decimonónico, con

técnicas que eran tan espectacularmente exitosas en problemas simples de dos, tres, o cuatro variables.

Estos nuevos problemas, por otra parte, tampoco se pueden manejar con las técnicas estadísticas tan eficaces en describir el comportamiento promedio en problemas de complejidad desorganizada.

Estos nuevos problemas y el futuro del mundo que depende de muchos de ellos, requieren que la ciencia haga un tercer gran avance, un avance que debe ser aún mayor que el decimonónico (conquista de los problemas simples) o el del siglo XX (victoria sobre los problemas de complejidad desorganizada).

La Ciencia empieza a aprender a lidiar con estos problemas de la complejidad organizada. En efecto, cientos de estudiosos de todo el mundo ya están avanzando en este tipo de problemas a través de las Ciencias de la Complejidad, la Transdisciplina, la Computación y la Ciencia de los Datos. Las evidencias particulares son que, como nunca antes, los métodos experimentales cuantitativos, los métodos de modelado computacional y simulación y los métodos analíticos de las ciencias de los datos se están aplicando ya a la biología, la medicina, la economía, la educación, la astronomía e incluso la antropología y las demás ciencias sociales. Los resultados son altamente prometedores.

## 6. LA NATURALEZA COMPLEJA DE LA REALIDAD ACTUAL

Desde mediados del siglo XX, al finalizar la Segunda Guerra Mundial, nuestra realidad ha cambiado. El desarrollo de la computación y las telecomunicaciones han creado un mundo fuertemente acoplado donde los procesos sociales y ambientales se han globalizado. En efecto, tenemos ahora un intercambio global de gente, dinero, bienes, información e ideas que ha determinado la globalización financiera y económica que orilla a cada país a desenvolverse en un entorno de competitividad global!

Por otra parte, el desarrollo acelerado de la industria en el mundo con un uso intensivo de carbón, petróleo y gas ha propiciado la producción excesiva de gases invernadero que están provocando ya un calentamiento global de la atmósfera y la hidrósfera con la consiguiente alteración del equilibrio ecológico a nivel global.

Esto nos lleva a enunciar algunas características de la realidad compleja que conviene tener en cuenta al tratar de resolver un problema:

a) **La realidad es dialéctica y está constituida por la superposición de elementos y procesos contradictorios.** Así, coexisten procesos deterministas con procesos estocásticos. (movimientos planetarios vs movimiento de partículas subatómicas o movimiento browniano), procesos reversibles y simétricos en el tiempo con procesos irreversibles. (movimiento armónico ondulatorio vs movimiento bajo fricción), procesos que perduran gracias a su equilibrio con procesos que perduran gracias a su no-equilibrio. (formación de

cristales vs procesos fisiológicos), entidades estables con entidades inestables. (isótopos no radiactivos vs isótopos radiactivos)

b) **La realidad depende de su historia y de su trayectoria evolutiva.** La realidad no surge espontáneamente en el presente en forma descontextualizada, sino su estado depende de su trayectoria, por lo que su contexto histórico es esencial para su análisis y explicación, donde el término "histórico" es relativo a la escala de tiempo del problema específico de que se trate y puede abarcar desde fracciones de segundo (por ejemplo un error de cálculo en ciertas competencias deportivas) hasta milenios (por ejemplo el carácter social de diferentes grupos étnicos). Por consiguiente, en el análisis adecuado de un problema debe contemplarse siempre la naturaleza del proceso histórico que le dio origen. Así, el fenómeno de la migración de indocumentados mexicanos y centroamericanos hacia los Estados Unidos se debe analizar considerando su contexto histórico económico, social y político en las últimas décadas.

c) **El significado de la realidad depende de su contexto.** La realidad se manifiesta en toda su complejidad en la influencia del entorno en la génesis del problema, lo que equivale a decir que un problema no puede aislarse, descontextualizándolo, del entorno natural y social en el que surgió, sino que los diferentes aspectos de dicho entorno forman parte inseparable de dicho problema. Así, un problema de apariencia meramente técnica, puede ser en realidad un problema en el que intervengan factores técnicos, administrativos, económicos, sociales y políticos. Tal es el caso, por ejemplo, de la construcción de un nuevo aeropuerto o de la constitución de una zona de reserva ecológica. Esta característica convierte al proceso de solución de problemas en un proceso complejo en el que generalmente deben intervenir varias áreas del conocimiento en forma "interdisciplinaria". (Ackoff 1978)

d) **La realidad está constituida por una diversidad de agentes interactuantes y auto-organizados en co-evolución.** En la realidad actúa un gran número y diversidad de agentes biológicos, humanos y sociales a diferentes niveles y escalas, que interactúan unos con otros del mismo nivel según reglas locales, conformando redes de mundo pequeño en las que la posibilidad de interacción entre cualquier pareja de agentes del mismo nivel se puede dar a través de un número reducido de interacciones intermedias. Asimismo también son posibles las interacciones con otros agentes de distinto nivel.

e) **La diversidad de agentes interactuantes y auto-organizados en co-evolución provocan la aparición de propiedades y fenómenos emergentes en la realidad.** Las interacciones entre agentes dan como resultado propiedades y fenómenos emergentes, que

ninguno de sus integrantes aislado tiene. Un ejemplo es una universidad, conformada por diversos tipos de miembros: los alumnos, los profesores, los administradores, los ayudantes de profesor, los técnicos, los empleados administrativos, los departamentos, los consejos académicos, los investigadores, las facultades, que interactúan unos con otros a diferentes escalas, dando como resultado propiedades y fenómenos emergentes como el aprendizaje, los programas y planes de estudio, la investigación, la obtención de grados académicos, la capacitación para el trabajo, etc. Otro ejemplo es el cerebro, conformado por diversos tipos de células cerebrales, que interactúan unas con otras a diferentes escalas, conformando módulos funcionales que tienen a su cargo diversas funciones cognitivas, como procesamiento de señales sensoriales, reconocimiento de patrones, memoria, inferencias, lenguaje y comunicación, producción y gestión de emociones, toma de decisiones, planeación y control de movimientos voluntarios, etc.

**f) En la realidad humana y social no sólo hay causalidad mecanicista, sino la presencia de factores teleológicos e intencionales en los agentes humanos y sociales.** En la realidad actúan agentes animales, humanos y sociales que tienen motivos intencionales u objetivos que son complejos, dinámicos e incluso pueden ser contradictorios. Así, de acuerdo Rosenblueth, Wiener & Bigelow (1943) en algunos sistemas biológicos animales y en los sistemas humanos y sociales no puede explicarse el comportamiento exclusivamente desde el punto de vista causal: es imprescindible considerar el componente teleológico o intencional, que funciona en un contexto de incertidumbre. Esto aumenta la complejidad.

**g) Los procesos en la realidad son no lineales.** No hay proporcionalidad entre estímulos y respuestas. Pequeñas acciones pueden tener grandes efectos (efecto mariposa). Por ejemplo, el asesinato del archiduque Francisco Fernando, heredero de la corona del Imperio Austrohúngaro en Sarajevo por un estudiante bosnio en 1914, desata la Primera Guerra Mundial con millones de muertos y la desintegración de grandes imperios del siglo XIX como el imperio austrohúngaro, el imperio alemán, el imperio ruso, el imperio turco, así como el debilitamiento del imperio chino y el debilitamiento y posterior desmembramiento de las potencias coloniales como Inglaterra, Francia, Holanda, Italia y Portugal. Asimismo grandes eventos pueden tener resultados mínimos. Ej. La Revolución Mexicana (con su millón de muertos) no terminó con la desigualdad, la discriminación, la falta de democracia, ni la hegemonía del partido burgués oficial.

**h) Las propiedades emergentes de una entidad compleja no surgen de sus elementos, sino de las interrelaciones entre sus elementos.** Por tanto, no se puede comprender una entidad compleja descomponiéndola en partes, porque al hacerlo se destruyen las interrelaciones que dan sentido al todo. Así,

el funcionamiento de un organismo vivo o de un cerebro no se puede comprender desmembrándolo en partes, aplicando un enfoque anatómico reduccionista.

**i) Los elementos de la realidad y sus interrelaciones son dinámicos y cambian con el tiempo.** Tanto las relaciones entre las partes de una entidad compleja como las relaciones entre éstas y el todo son dinámicas y cambian con el tiempo. De hecho, provienen de la historia evolutiva tanto de las partes como del todo. Por tanto, la realidad compleja no puede comprenderse en forma sincrónica, haciendo un corte en el tiempo, sino en forma diacrónica, estudiando las transiciones entre sus fases, desde una perspectiva evolutiva.

**j) Para conocer la realidad es necesario un enfoque transdisciplinario.** Un problema no puede aislarse del entorno natural y social en el que surgió, sino que los diferentes aspectos de dicho entorno forman parte inseparable de dicho problema. Así, un problema de apariencia meramente técnica, puede ser en realidad un problema en el que intervengan factores técnicos, administrativos, económicos, sociales y políticos. Esta característica convierte al proceso de solución de problemas en un proceso complejo en el que generalmente deben intervenir varias áreas del conocimiento en forma transdisciplinaria" (Nicolescu 1996). Lo anterior significa que para que un problema se pueda solucionar es necesario tomar en cuenta todos los aspectos que lo afectan relevantemente. Esto implica que el enfoque del problema deba ser totalizador y transdisciplinario, es decir, considerar el problema como una totalidad conformada por diferentes aspectos. Para lograr una colaboración transdisciplinaria, señala Nicolescu, es necesario establecer conexiones y formalizar acuerdos entre diferentes campos del conocimiento, según el problema que se enfrente de la realidad; ello implica crear "puentes" entre las disciplinas que normalmente no se comunican. Esto no implica desdeñar o confrontar las investigaciones y logros de la ciencia unidisciplinaria, sino de aprovecharlos y potenciarlos de una novedosa manera: fusionar esos hallazgos y procedimientos de investigación bajo un principio de complementariedad con el propósito de comprender el mundo presente "en el cual uno de los imperativos es la unidad del conocimiento" (Nicolescu, 1996: 35).

**k) Para sobrevivir en la realidad los sistemas requieren aprendizaje, plasticidad, adaptación y evolución, es decir, deben ser sistemas adaptativos complejos.** En los agentes y sus colectivos, así como en sus interrelaciones debe haber plasticidad, aprendizaje, adaptación y evolución. De acuerdo con Darwin, en la lucha por sobrevivir los organismos biológicos desarrollaron variaciones que fueron más o menos adaptadas a sus entornos, que incluían a otros organismos. Los organismos mejor adaptados

sobrevivieron y aumentaron en número, mientras los menos adaptados perecieron.

Para abordar este tipo de problemas, ha surgido el enfoque de los sistemas complejos

## 7. EL ENFOQUE DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Un Sistema Complejo está caracterizado por:

1. Agentes biológicos y agentes psíquicos y sociales que tienen motivos intencionales u objetivos que son diversos, dinámicos, con prioridades diferentes y pueden ser contradictorios.
2. Agentes que al actuar modifican la realidad y son modificados por ésta.
3. Tienen propiedades emergentes que surgen a partir de las interacciones entre ellos.
4. Presentan procesos de auto-organización en los agentes biológicos, psíquicos y sociales
5. Presentan estados de caos y horizontes de predictibilidad.
6. Tienen agentes y colectivos que presentan percepción, homeostasis, acción, adaptación y resiliencia.

Para facilitar el análisis de un sistema complejo se introducirá la teoría cibernética de los efectos.

## 8. LA TEORIA CIBERNÉTICA DE LOS EFECTOS (De Latil 1958)

Se llama efecto a un acontecimiento que se produce en un sistema llamado efector y que depende condicionalmente de varios otros llamados factores. El principio fundamental de la teoría de los efectos establece que un efecto se produce al conjugarse sinérgicamente el conjunto de factores que constituyen el conjunto necesario y suficiente de sus condicionantes. Este principio reemplaza el principio de casualidad tradicional que afirma que todo efecto tiene una causa y la misma causa produce siempre el mismo efecto. Los factores pueden ser causales o teleológicos (intencionales).

Cuando algún valor de los factores es aleatorio hay *contingencia*. Las contingencias puede provenir del interior del supra-sistema o del entorno, es decir, del exterior. La sustracción del efecto a las contingencias del entorno se logra mediante la adaptación por homeostasis, que es un mecanismo de retroalimentación que tiene por objeto adaptar al organismo a las variaciones del medio exterior, manteniéndolo en condiciones operativas.

Cuando un efecto se produce, tiende a desaparecer por la *ley universal de la entropía creciente*, que postula que todo sistema en un estado de baja entropía (orden) tiende a pasar a un estado de mayor entropía (desorden). En esta transición los valores de los factores pueden deslizarse hacia regiones más indiferenciadas, saliéndose de sus valores permisibles, por lo cual el efecto deja de existir.

## 9. MECANISMOS CIBERNÉTICOS DE ADAPTACIÓN (Lara-Rosano 1992)

Para evitar que un efecto deseable desaparezca o para que un efecto indeseable persista, el sistema puede proveerse de mecanismos cibernéticos de adaptación que tienen por objeto neutralizar la contingencia y el crecimiento de la entropía.

Algunos mecanismos cibernéticos de adaptación son:

1. *Sinergia*, que se da acoplando dos o más factores hasta lograr la emergencia del efecto deseado.
2. *Retroalimentación* (feedback), La retroalimentación consiste en una relación entre el efecto y uno de los factores, de modo que al producirse, el efecto actúa sobre uno o mas factores, manteniéndolos estrictamente dentro del dominio del efecto, con lo cual, el efecto seguirá produciéndose indefinidamente. Existen dos tipos de retroalimentación: negativa y positiva. En la retroalimentación negativa, al variar un factor el efecto también varía, y su valor se hace incidir sobre ese u otros factores, que compensan esa variación, de manera que todos los valores de los factores caen en el dominio del efecto y el efecto se mantiene en equilibrio en un nivel constante. En la retroalimentación positiva la acción refuerza la desviación inicial entre el efecto y lo deseado y el efecto se atenúa o se desboca más allá de lo inicialmente deseado. La catálisis es retroalimentación positiva. Hay catalizadores biológicos (las vitaminas) y catalizadores sociales o simbólicos: ideas, conceptos, creencias, ideologías, emociones, rumores.

## 10. SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEJOS

Los sistemas adaptativos complejos son efectores complejos organizados y auto-regulados para sustraerse a sí mismos o a uno de sus efectos, dentro de ciertos límites, a la contingencia, al aumento de la entropía o a ambas. Por ejemplo, un ser vivo, un sistema ecológico, un grupo social, una red de distribución eléctrica, etc.

El medio ambiente o entorno de un sistema adaptativo complejo envía distintos tipos de señales, tales como mensajes, ondas electromagnéticas, presiones mecánicas, emanaciones de sustancias químicas, etc que, cuando pueden ser detectadas y analizadas por un sistema adaptativo complejo cualquiera, pueden proporcionarle información sobre ese entorno por ejemplo, dimensiones espaciales, formas, su naturaleza. etc. de manera que, ante una contingencia o un cambio provocado por el entorno, pueda responder homeostáticamente en la forma más adecuada, sin perder su aptitud. Esta información es

esencial para la interacción apropiada con el entorno y la respuesta homeostática.

Cuando un sistema tiene la capacidad para detectar y analizar las señales que le llegan del entorno para extraer información sobre él mismo, formarse imágenes del mundo y de sí mismo y, de acuerdo con ellas, mediante una función de decisión homeostática, determinar lo que debe hacer para cumplir con sus fines, frente a la situación propia y del entorno que ha detectado, el organismo es un sistema adaptativo complejo.

Considerando que la homeostasia se basa en una retroalimentación que proviene del entorno, en la cual se procesa la información correspondiente y se da una respuesta de adaptación, para que pueda ocurrir la homeostasia, se necesitan tres elementos: (Lara-Rosano 2002)

1. Receptores o sensores: se encargan de detectar las señales del medio externo que puedan dar información acerca de éste. Por ejemplo, la vista en los animales permite detectar cambios en la posición de los objetos de su entorno; recibe e interpreta señales luminosas.

2. Procesador o controlador homeostático: es el centro cibernético del sistema adaptativo complejo y el que, mediante la función de percepción, interpreta las sensaciones que provienen de los receptores y determina lo que debe hacer el sistema para cumplir con sus fines. Un ejemplo de procesador homeostático es los centros nerviosos en los vertebrados.

5. Actuadores: su función es ejecutar la decisión enviada por el procesador homeostático a través de los conductores eferentes. Por ejemplo, un músculo que se contrae al recibir el impulso eléctrico del nervio.

## 11. ¿COMO PODEMOS ANALIZAR Y RESOLVER UN PROBLEMA SOCIAL CON TODA ESTA COMPLEJIDAD?

Respondiendo a esta pregunta, debemos diseñar y construir un sistema social adaptativo complejo que de las soluciones pertinentes y las adapte dinámicamente. Este diseño y su implementación deberá cumplir los siguientes principios:

**Primer principio: Interacción diversificada auto-organizante.** En la solución deben participar los diversos involucrados (stakeholders) en el problema, aportando sus propios puntos de vista en una rica interconexión, para tener la capacidad inherente de producir patrones coherentes espontáneos auto-organizados, sin ningún plan o programa centralizado.

**Segundo principio: Diagnóstico participativo de la realidad.** Para definir el problema debe conocerse la situación actual, haciendo interactivamente un diagnóstico de la misma.

**Tercer principio: Definición participativa de lo deseable.** Para completar la definición del problema debe definirse interactivamente una situación deseable a la que se quiere llegar.

**Cuarto principio: Planeación auto-organizada de acciones.** Los involucrados deben proponer interactivamente en forma guiada medios y acciones para cambiar lo real, acercándolo a lo deseado, definiendo los recursos necesarios, las estrategias de cambio, los responsables y los tiempos.

**Quinto principio: Implantación de acciones y seguimiento auto-organizado.**

## 12. CONCLUSIONES

La solución de problemas complejos sociales implica la consideración del tipo de análisis sistémico conveniente, de acuerdo con el problema específico que se intenta resolver.

La solución de un problema social requiere tres fases:

**Definición del usuario, del sistema, de su entorno, de los enfoques de las Ciencias de la Complejidad aplicables y construcción del modelo conceptual y computacional del problema.** Es imprescindible identificar primeramente el sujeto que tiene el problema, que puede ser un individuo, un colectivo, un sistema social, etc. porque en función del sujeto es que se define el problema como discrepancia entre una realidad y lo que el sujeto desearía tener como realidad específica. Identificación de las disciplinas de conocimiento que tienen que ver con el problema, para constituir el equipo transdisciplinario de investigación. A continuación hay que definir el sistema, que es la fracción de una realidad compleja donde se origina el problema, así como el entorno constituido por porciones de la realidad que influyen en el sistema o bien que son influidas por él. En tales consideraciones hay que tomar en cuenta que el problema a resolver es el que dicta tanto las dimensiones a tomar en cuenta en el sistema, como en el entorno. Sobre esta base se definen las variables que deben considerarse en el análisis sistémico y se emprende el análisis del sistema aplicando la metodología del microanálisis sintético por descomposición y por recomposición para construir el modelo conceptual del problema. Estas actividades deben ser el producto de talleres participativos en los que participe tanto el equipo de investigación como el sujeto que tiene el problema.

**Diagnóstico del problema y planeación de la solución.** Con el auxilio del modelo conceptual y eventualmente del modelo computacional se hace un diagnóstico participativo de la realidad y una definición participativa de lo deseable, para disminuir su discrepancia, integrando al usuario en estos procesos. Sobre este diagnóstico se definen las acciones de cambio deseables y factibles para resolver el problema, que tienen que definirse mediante una interacción guiada diversificada auto-organizante, que integre una planeación auto-organizada de acciones.

**Implantación y seguimiento de la solución.** El proceso de solución debe ser dinámico, construyendo un Sistema Adaptativo Complejo constituido por el usuario mediante un proceso de auto-organización guiada por el equipo investigador. Este sistema adaptativo complejo será una

organización con la capacidad de enfrentar el contexto complejo de forma apropiada y dinámica, evaluando y adecuando su aptitud frente a la complejidad.

Así, el diseño e implementación del Sistema Social Adaptativo Complejo crea o refuerza valores sociales en el usuario para estimular el desarrollo de éste con más autonomía, sentido de colaboración, cohesión social, educación, equidad y responsabilidad social.

### 13. REFERENCIAS

- Ackoff, R.L. "The Art of Problem Solving". New York: Wiley, 1978. Edición española: "El arte de resolver problemas". México: LIMUSA, 1981.
- Crone J A. (2011) How Can We Solve our Social Problems?, Los Angeles: Sage.
- De Latil, Pierre (1958) El Pensamiento Artificial: Introducción a la Cibernética. Buenos Aires: Editorial Losada
- Lara-Rosano F. (1990). "Metodología para la planeación de sistemas: un enfoque prospectivo". México: Dirección General de Planeación, Evaluación y Proyectos Académicos UNAM.
- Lara-Rosano F. (2002). "Cibernética y Sistemas Cognitivos" en Ingeniería de Sistemas: un enfoque interdisciplinario. J. Acosta Flores (ed). México: Alfaomega.
- Nicolescu B. (1996) La Transdisciplinariedad.
- Rosenblueth, A., Wiener, N., Bigelow, J.: Behavior, Purpose and Teleology. *Philosophy of Science* 10, 18-24 (1943)
- Wallerstein I. (2001) Conocer el Mundo, Saber el Mundo: el Fin de lo Aprendido. México: UNAM/ Siglo XXI
- Weaver, Warren (1948) "Science and complexity," in *American Scientist*, 36: 536-544.