

COMPLEJIDAD Y SISTEMAS COMPLEJOS

COMPLEXITY AND COMPLEX SYSTEMS

Mario Tarride*

TARRIDE, M.: 'Complexity and complex systems'. *História, Ciências, Saúde — Manguinhos*, II (1): 46-66, Mar.-Jun., 1995.

Systemic thinking and complexity are of special interest when it comes to understanding a wide spectrum of phenomena. The present paper synthesizes some authors' ideas regarding a number of topics in this area: the need to use analysis and synthesis complementarily; the holistic evaluation of reality, where living with complexity is an accepted fact, not negated through reductionism; the emergence of order from chaos; and the active participation of a 'model-creator' in the design of artifacts from language.

KEYWORDS: systems, systemic, complex, complexity, chaos.

Introduction

* Professor del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Santiago, Chile.

El deterioro de los ecosistemas, la diversidad de los problemas de salud, el crecimiento de las ciudades, los cambios en los sistemas productivos, son ejemplos de situaciones de creciente complejidad que demandan nuevas formas de enfrentamiento científico tecnológico, con el objeto de otorgarnos mejor calidad de vida. Este desafío, nos motiva a tratar los problemas en términos de "problemas típicos de sistemas" (Bertalanffy, 1987, pp. 29-50), poniendo atención a sus ambientes, componentes y relaciones que cada día crecen en cantidad y complejidad; nos planteamos entonces, la pregunta por la complejidad y los sistemas complejos.

En la vida cotidiana decimos que algo es complejo cuando no lo entendemos, cuando no sabemos cómo opera y normalmente hacemos una asociación con las palabras difícil o complicado. En el diccionario nos encontramos con citas tales como: "que abarca o encierra muchos elementos o partes"; "observable bajo diferentes aspectos"; "confuso, complicado, intrincado"; "grupo o conjunto de cosas, hechos o circunstancias que tienen cualquier ligazón entre sí".

Etimológicamente, la palabra complejo tiene como raíz la expresión 'plexus' que significa entrelazamiento, que engendra complexus; es decir, enredo, conexión, conflagración, apretón, y perplexus (embrollo). Su contrario no es, entonces, simple sino 'implexe' (de implexus), que caracteriza una unidad de acción indescomponible, irreductible por lo tanto a un elemento único (Le Moigne, 1990, a, p. 24).

Para Vallée (1990, pp. 239-43), un primer aspecto de la complejidad está asociado a la relación que se establece entre un sujeto, conociente y actuante, y un objeto en interacción con él; de esta relación emerge el sentimiento eventual de complejidad que el sujeto resiente y que él atribuye al objeto. Por otra parte, dice, la complejidad de un mismo objeto es relativa al sujeto con el cual él está en interacción, y a las capacidades de conocimiento y de acción de ese sujeto; en consecuencia, la complejidad aparece como relación. Y agrega seguidamente: otro aspecto de la complejidad concierne al conjunto de los estados posibles del objeto, conjunto sobre el cual puede ser, en algunos casos, definida una densidad de probabilidad de ocurrencia. Se considera que un sistema tal es tanto más complejo, en la medida que su estado es menos especificado. Habrá allí una complejidad natural del sistema y conjuntamente una complejidad subjetivamente percibida por un observador.

Vallée usa tres formas distintas para referirse a la complejidad: "sentimiento del observador"; "juicio del observador"; "nombre" de una relación sujeto-objeto. No obstante esto, su idea de complejidad tiene una expresión objetiva y otra subjetiva que no pone en confrontación, pudiendo hacerlo, si consideramos que quien reconoce estados en un sistema es siempre un observador.

Para Morin (1986, p. 29), las palabras confusión e incertidumbre constituyen "los signos precursores de la complejidad".

Observamos que diferentes autores tratan el tema desde diferentes perspectivas, y es eso lo que este documento pretende hacer: revisar algunas ponencias que nos permitan acceder un paso más en el camino de la elucidación de la complejidad, no con el objetivo de encontrar 'la' definición, sino como una forma de apertura de pensamiento y de posibilidades de acción.

Por otra parte, un sistema ha sido definido de muchas formas; sin embargo todas hacen referencia a un conjunto de elementos interrelacionados, incluso cuando la concepción de sistema se hace muy cercana a la de modelo o construcción mental del objeto observado.

Esta última idea de sistema ha surgido de una corriente de pensamiento 'subjetivista' que ha ido tomando cada vez más fuerza en el ámbito de la sistémica. La aceptación de la existencia de un mundo exterior, independiente del observador, y del cual éste puede dar cuenta, va dejando paso a la idea opuesta; en consecuencia, las descripciones que se hacen del mundo que nos rodea, no son otra cosa que construcciones mentales efectuadas por el observador, o dicho de otra manera, la realidad es una construcción mental.

De lo anterior se sigue entonces que la caracterización que se haga de un sistema dependerá de la perspectiva que se asuma, y ciertas propiedades atribuidas a los sistemas serán aceptadas, según sea el caso, como provenientes de un “objeto real” o de una “construcción mental”. Cuando Maturana dice que “todo lo dicho es dicho por alguien” (Maturana *et al.*, 1986, p. 13), nos invita a aceptar la existencia del observador de sistema y su relación con el objeto del que da cuenta, pero no nos obliga a asumir una inexistencia de realidad. De esta forma, parece razonable una posición que acepta la existencia de un mundo exterior pero que necesariamente debe ser descrito por un observador con todas sus virtudes y defectos.

Definir un sistema cualquiera no es tarea fácil, especialmente cuando lo están haciendo simultáneamente un conjunto de observadores. La única forma de estabilizar ésto es a través de los acuerdos o consensos, cuestión de la cual no siempre nos damos cuenta o no queremos hacerlo.

Desde esta perspectiva, la cuestión de la complejidad de los sistemas está íntimamente ligada a la definición de los mismos. Si aceptamos que la única posibilidad que tenemos de señalar sistemas, en nuestra historia individual y colectiva, es a través de los acuerdos alcanzados en las interacciones con otros observadores, el concepto de complejo será una consecuencia de nuestra habilidad para referirnos al sistema observado.

Sistemas complejos: primer acercamiento

Normalmente se da en llamar sistemas complejos a aquellos que tienen muchas componentes y a su vez muchas relaciones. A partir de esta concepción, diversas disciplinas alcanzaron gran desarrollo durante la segunda mitad del siglo XX, abocándose al estudio de los más diversos tipos de sistemas a través del conocimiento de sus partes e interrelaciones. La mayor expresión disciplinaria dedicada a los sistemas complejos llegó a ser la cibernética, que algunos definen como “ciencia de la complejidad” (Ashby, 1976).

Pero el solo hecho de que un sistema tenga muchas partes y/o relaciones no constituye la única forma de caracterizar la complejidad de los sistemas. Simon (1990, p. 126) señala además que considera más complejos los sistemas en los cuales hay mucha interdependencia entre las componentes; los sistemas que son “indecidibles” (indemostrables o no formalmente calculables o no deterministas); y, los sistemas con muchas componentes diferentes.

Simon (1990, p. 127), al igual que Vallée, ubica la complejidad en el sistema observado, pero también “en el ojo del observador”, y agrega: “Aún cuando un sistema sea por naturaleza simple, es decir, descriptible en principio en términos simples, un observador puede no lograr descubrir esta descripción, y puede no ser capaz de caracterizar el sistema más que de una forma compleja.”

Consecuente con lo anterior, este autor nos recomienda no desesperar frente a la complejidad, ni tampoco imaginar grados de complejidad inexistentes en la naturaleza. Si solamente contamos componentes, estamos inclinados a sobreestimar la complejidad de los sistemas reales al calcular el total de relaciones que es posible establecer. Sin embargo, afirma, el mundo está en gran parte vacío o poblado de manera dispersa, donde la mayor parte de las interconexiones potenciales entre las cosas están absolutamente ausentes, o, si ellas existen, son de una importancia mínima. “Los sistemas que existen en la naturaleza son principalmente jerárquicos y cuasidescomponibles” (Simon, 1990, p. 142).

Del reduccionismo al sistemismo

El surgimiento del pensamiento sistémico a mitad del siglo XIX, especialmente entre los biólogos, trajo a la discusión el tema de las relaciones entre las partes que componían un todo y la necesidad de reconocer que dicho todo surgía como expresión de esas relaciones y no podía ser explicado desde el puro entendimiento de sus partes. El pensamiento sistémico, holístico o integrador, se recupera como una forma de apreciar la realidad, viniendo a complementar el tradicional enfoque reduccionista y fragmentario.

Es a Aristóteles a quien se le adjudica el concepto de sinérgia (Bertalanffy, 1987, p. 29), que señala que el todo es algo más que la simple suma de las partes que lo componen. Podemos entender esto desde la perspectiva de cambios de espacios explicativos al momento de integrar componentes; por ejemplo, una madeja de lana que es lanzada contra el suelo no da bote, sin embargo si la transformamos en un ovillo fuertemente enrollado, éste sí da bote. Al cambiar las relaciones entre los componentes del objeto en observación, ha surgido algo que no esperábamos. Esta propiedad ‘emergente’ es el resultado de la integración sinérgica entre las partes y era, al parecer, a lo que Aristóteles se refería. Sin embargo, hoy, decimos que ha ocurrido un cambio de espacio explicativo: el fenómeno sólo

puede ser comprendido desde un espacio explicativo distinto a aquel en el que estábamos ubicados cuando teníamos entre manos una madeja de lana. Este fenómeno casi mágico de la emergencia tiene que ver con nuestra incapacidad de conocer los sistemas en plenitud. Si fuésemos capaces de conocer todos los componentes de un sistema, así como todas sus relaciones, deberíamos entonces ser capaces de predecir completamente su comportamiento, y por consiguiente los fenómenos de emergencia no se producirían.

El enfoque reduccionista, al apreciar la realidad, constituye una buena estrategia para hacer frente a la complejidad. Analizar, fraccionar, partir, reducir, son acciones que nos permiten transformar nuestro objeto de estudio en algo 'simple', accesible al entendimiento, y que en última instancia se manifiesta en la posibilidad de operar con él en algún dominio particular. Nótese que el peligro de este enfoque no está en la reducción, sino, en el no darnos cuenta que hemos cambiado el objeto. Aquello con que finalmente operamos en un determinado dominio, no es lo mismo que teníamos originalmente y peligrosamente concluimos que las explicaciones obtenidas corresponden al objeto original.

La mirada a los sistemas, con preocupación por las relaciones entre sus partes, constituye el primer paso del pensamiento sistémico. Fue Bertalanffy quien en la década del 1940 lanzó el desafío de la construcción de una especie de metadisciplina que denominó Teoría General de los Sistemas. En esta propuesta las matemáticas juegan un rol principal para el manejo de las relaciones entre las partes y las causalidades. En esta época científicos como Wiener, Shannon, Weaver, Turing, entre otros, abordan el problema de la complejidad expresándolo como cantidad de relaciones y estados posibles de los sistemas.

El cúmulo de conocimientos adquiridos, en esta nueva práctica de integrar partes hasta constituir totalidades, va a alcanzar su mejor expresión en la ciencia de la cibernética.

El destacado biomédico inglés, constructor de "cerebros artificiales", W. R. Ashby (1976) organiza los principales temas relativos a máquinas, seres vivos, control, información, de manera insuperable, mostrando conceptos y métodos relativos al tratamiento de sistemas complejos, en que los conceptos de transformación, variedad, retroalimentación y caja negra, constituyen un poderoso instrumental para hacer frente a la complejidad.

El trabajo de Ashby pone el acento en los objetos y trabaja con ellos como si sus descripciones fueran independientes de quienes las hacen. A ésta se le ha denominado Cibernética de Primer Orden, y es a la cual deben su gran desarrollo áreas tales como: inteligencia artificial, robótica, comunica-

ciones, informática, análisis de sistemas, computación, desde fines de la década del 1950.

De los sistemas cerrados a los abiertos

Es también Bertalanffy (1987, b), quien desarrolla la teoría de los sistemas abiertos, dando forma a la idea que al definir un sistema necesariamente estamos definiendo su entorno, por cuanto todo aquello que no está en el sistema queda constituyendo su medio ambiente, con el cual el sistema intercambia materia. Bertalanffy era un organicista, y con esta definición de sistema abierto procura resolver la pregunta por los seres vivos, concibiéndolos como una totalidad que intercambia materia y energía con su entorno.

La física clásica, dominante en el pensamiento científico, sólo trataba con sistemas cerrados, es decir, no reconocía la existencia de entornos para los sistemas en estudio.

Esta distinción entre sistemas abiertos y cerrados incorpora nuevos elementos de comprensión de los sistemas, especialmente en relación con la capacidad de ciertos sistemas para autoorganizarse. Bajo el enfoque de sistemas cerrados, el segundo principio de la termodinámica, conocido como el principio de la entropía, nos muestra que los sistemas marchan inexorablemente hacia la equiprobabilidad de existencia de sus componentes; desaparición de las organizaciones; fin del universo. Pero esta teoría no daba cuenta de la generación de organización, que en cada momento se está produciendo: neguentropía. Es la concepción de sistema abierto de Bertalanffy la que resuelve en parte este dilema, al señalar que son los sistemas vivientes quienes intercambian materia con su entorno y en consecuencia, importan y exportan energía, lo que permite la producción de organización.

El uso del concepto de sistema abierto, desde la década del 1950 en adelante, ha sido amplio y prolífico. Lo vemos en la termodinámica de Prigogine, en el modelamiento de sistemas ecológicos y en la administración de empresas, entre muchos ámbitos. Este modelo de sistema y ambiente relacionados a través del intercambio de materia y energía, ha sido extendido al intercambio de información, resultando en un modelo rico en despliegue de complejidad, a través de las múltiples relaciones que es posible establecer, ahora no sólo entre las componentes del sistema, sino de él con su ambiente.

Del desorden al orden y del orden al desorden

Una de las consecuencias más importantes del paso de los sistemas cerrados a abiertos es, sin lugar a dudas, la termodinámica de sistemas lejos del equilibrio de Prigogine. El paradigma clásico que identificaba crecimiento de entropía con evolución hacia el desorden es reemplazado por otro en el cual los fenómenos irreversibles son vistos como constructores de organización lejos del equilibrio.

Para Prigogine *et al.* (1990) el equilibrio es un estado de invarianza entrópica. Luego, cualquier variación de entropía en un sistema termodinámico puede descomponerse en dos tipos de contribución: el aporte externo de entropía (sistema abierto), que mide los intercambios con el medio y cuyo signo depende de la naturaleza de estos intercambios, y la producción de entropía que mide los procesos irreversibles (sistema cerrado) en el seno del sistema.

Desde esta perspectiva el orden y el desorden se presentan no como opuestos uno a otro, sino como indisociables. Lo que hasta ayer era considerado como desorden hoy ya no lo es, y los regímenes turbulentos son ahora tratados como ordenados. En tanto que estructuras estáticas como un cristal, tenidas por ordenadas, al ser descritas en su estructura atómica, presentan comportamiento desordenado. “Los sistemas más sencillos se conciben ahora como capaces de suscitar muy arduos problemas de predecibilidad. Sin embargo, el orden se presenta de modo espontáneo en tales sistemas: caos y orden simultáneos” (Gleick, 1988, p. 15).

Para Morin (1986, p. 63) aquello que denominamos caos no es otra cosa que desintegración organizadora, y señala la necesidad de hacerse cargo de esta coexistencia contraintuitiva asumiéndola como una complejidad:

“El verdadero mensaje que el desorden nos aporta en su viaje de la termodinámica a la microfísica, y de la microfísica al cosmo, es emplazarnos a partir a la búsqueda de la complejidad. La evolución ya no puede ser una idea simple: progreso ascensional. Debe ser al mismo tiempo degradación y construcción, dispersión y concentración. Es imposible aislar una única palabra maestra, jerarquizar una noción primera, una verdad primera. La explicación ya no puede ser un esquema racionalizador. El orden, el desorden, la potencialidad organizadora deben pensarse en conjunto, a la vez en sus caracteres antagonistas bien conocidos y sus caracteres complementarios desconocidos. Estos términos se remiten uno a otro y forman como un bucle en movimiento. Para concebirlo, hace falta mucho más que una revolución teórica. Se trata de una revolución de principio y de método. La cuestión de la cosmogé-

nesis es pues, al mismo tiempo, la cuestión clave de la génesis del método.”

El estudio del caos comenzó con Edward Lorenz, en el decenio de 1960, con el hallazgo de que ecuaciones matemáticas muy simples podían modelar sistemas tan violentos como una cascada. Pequeñas diferencias de entrada al sistema llegaban a transformarse rápidamente en enormes diferencias de salida, fenómeno que se denominó “dependencia sensitiva de las condiciones iniciales”. En el tiempo atmosférico, por ejemplo, ello ha sido expresado a través de lo que se ha denominado, metafóricamente, como el “efecto mariposa”; si una mariposa agita con su aleteo el aire de Pekín, puede modificar los sistemas climáticos de New York el mes que viene (Gleick, 1988, p. 16).

Sistemas complejos: segundo acercamiento

“No sé cómo haces tú, pero yo generalmente me rindo ya en la salida. Los problemas más sencillos que surgen de día en día me parecen casi imposibles de resolver en cuanto intento buscar bajo la superficie” (Justice Learned Hand *apud* Weinberg, 1987, p. 123).

Si bien ésta visión nos puede parecer derrotista, tiene la fuerza de la descripción que es coincidente con nuestro sentir cuando enfrentamos hechos u objetos que sobrepasan nuestra capacidad. La necesidad de certeza, de determinismo que sentimos a diario choca también cada día con la incerteza, la indeterminabilidad. Esa es nuestra vida, existencia simultánea en un mundo cierto e incierto.

Para Weaver (Bertalanffy, 1987, a, p. 34) la ciencia clásica estaba familiarizada con la causalidad en un solo sentido o relaciones entre dos variables, así como con la “complejidad no organizada”, ejemplificada por la segunda ley de la termodinámica. Ante lo cual, él sostenía que en la medida que progresaban la experimentación y la observación, el problema pasaría a ser el de la “complejidad organizada”, esto es, de la interrelación entre un número grande, aunque finito, de componentes.

Este concepto de complejidad que algunos hoy denominan complicación, es la idea pionera del tratamiento con sistemas de muchos componentes y relaciones.

La aparición de los primeros computadores permitió hacer algo que hasta entonces parecía una tarea titánica: guardar las relaciones entre los componentes de un sistema al momento del análisis, para luego utilizarlas al momento de la reconstitución. Una de sus máximas expresiones matemáticas es la investigación de operaciones, surgida como una forma de optimizar el uso de los

recursos durante la Segunda Guerra y luego trasladada a la administración de empresas.

El desarrollo de modelamiento de problemas en que ha sido posible formular una cierta función objetivo, describir algunas variables importantes, obtener datos de comportamientos anteriores, determinar parámetros de dichos comportamientos, establecer algunas relaciones e incluso ponderar variables, parece estar más próximo de los que se han denominado sistemas complicados. Es posible en este tipo de problemas establecer un enunciado, modelar e incluso predecir: el uso del método científico es cierto.

Lo anterior no ocurre con los sistemas complejos, de modo que la discusión se plantea en el plano epistemológico: ¿Es posible abordar todos los sistemas desde la perspectiva científica? Simon piensa que las cosas no son tan complicadas y propone el uso de modelos que piensan una realidad mas bien simple. En cambio para Morin, la complejidad está al centro de su discurso y el método a usar para actuar sobre estos sistemas ya no puede ser el científico. De ahí su propuesta de “el método”, que no es un método como tradicionalmente entendemos esta palabra, sino un llamado a enfrentar la complejidad en el proceso acción-reflexión.

Medición de la complejidad

Una premisa epistemológica básica para Orchard, es que dado un fenómeno (objeto) en investigación, no podemos conocerlo completamente en su plena simplicidad ni en su plena complejidad (Orchard, 1987, p. 245).

No obstante lo anterior, se han propuesto diferentes formas de objetivar la complejidad de los sistemas; uno de los problemas a enfrentar es que a medida que aumentan las partes y relaciones consideradas el volumen de cálculos a realizar aumenta tan rápidamente como el cuadrado del número de ecuaciones (Weinberg, 1987, p. 122). Es así como para un fisiólogo estudiar el comportamiento de la retina como un todo, implica transmitir 10 elevado a 300.000 bits (Ashby, 1987, p. 102), una cantidad que sobrepasa en mucho el límite de complejidad teórico de 10 elevado a 93 bits de Bremermann, que sería la capacidad de cálculo de una computadora imaginaria del tamaño de la Tierra, operando en un tiempo equivalente a la edad de ésta (Klir, 1987, p. 13).

Si aceptamos que “la complejidad es imprevisibilidad esencial” (Le Moigne, 1990, b, p. 304), entonces podemos evaluar la complejidad instantánea de un sistema modelizable, por la puesta en correspondencia del número de comportamientos posibles del

sistema (eventualmente ponderados por su probabilidad de ocurrencia) y el número de comportamientos ciertos (o predeterminables de manera certera) de ese sistema.

Para Bertalanffy, así como para otros autores, organización era sinónimo de complejidad, y si Shannon y Wiener habían propuesto medir la pérdida de información a través de la medida de desorden proveniente del concepto de entropía de los sistemas, del mismo modo, ésta sería una medida de ganancia de información o de orden o de neguentropía o de complejidad, por su inverso.

En suma, si consideramos la complejidad como una propiedad evaluable de los sistemas, entonces es posible establecer modelos que nos permitan cuantificarla. Así entonces tenemos:

a. el modelo de la variedad cibernética, de Ashby (Le Moigne, 1990, b; Ashby, 1976).

b. el modelo de la medición estadística de la complejidad o termodinámico, de Shannon (Le Moigne, 1990, b; Ashby, 1976).

c. el modelo de la complejidad de redes, de Marcus (Le Moigne, 1990, b); y

d. el modelo de la complejidad computacional, de Simon (Le Moigne, 1990, b; Simon, 1990).

Estos modelos permiten más bien una evaluación de la complicación de un sistema observado que de su complejidad. Esta constatación es la que ha conducido a la investigación epistemológica contemporánea a renovar los modos de representación de la complejidad a partir de la observación de que la complejidad de un sistema cambia, cuando cambiamos los códigos con que la tratamos, y del postulado de que si la complejidad no está en la naturaleza de las cosas, ella residiría en el modelo que el observador se construye del fenómeno que él tiene por complejo. La complejidad, por lo tanto, no es más propiedad del sistema observado, sino del sistema observante (Le Moigne, 1990, b, p. 311).

Sistemas complejos, tercer acercamiento

A partir de las década del 1960, la pregunta por el observador de sistemas adquiere gran fuerza, y surge así lo que se denominó la cibernética de segundo orden. La preocupación está en los mecanismos que permiten al observador hacer aquello que hace, es decir observar, y en explicar cómo ocurre el conocer. Entre los científicos más destacados puede nombrarse a H. von Foerster, E. von Glaserfeld, G. Bateson, H. Maturana, F. Varela. La fundamentación biológica para construir una respuesta a la tradicional pregunta por

el conocer, tiene una contribución fundamental en Piaget. El constructivismo logra gran desarrollo.

Con base en los conceptos de autopoiesis y en la pregunta por el conocer del conocer, Maturana y Varela (1986) proponen su Teoría Biológica del Conocimiento, que constituye un estudio del observador de sistemas.

Casi simultáneamente la pregunta por la complejidad adquiere una dimensión definitivamente epistemológica a través de Morin, quien llama la atención sobre el tema haciendo concurrir a un mismo punto las preocupaciones de Bachelard, de los cibernetas de primer orden, y los trabajos de Prigogine y Feigenbaum. Diversos autores se han abocado al tema, destacándose Simon en la vertiente norteamericana, el francés Le Moigne por sus aportes a la modelización y, en una línea sistémica-administrativa, el británico Checkland (1981) y su modelamiento de sistemas *soft*.

Para Prigogine, la complejidad y simplicidad de los sistemas ya no puede ser considerada como expresión de jerarquía de los mismos, poniendo en un extremo objetos deterministas e inteligibles y en el otro los hombres y sus sociedades; en tanto que al medio se ubicaba el enigma de un progresivo proceso de 'complejización', de 'emergencia' de lo complejo a partir de lo simple. Hoy, señala, dondequiera que miremos nos encontramos con una mezcla en la que lo simple y lo complejo coexisten sin oposición jerárquica. Esto se hace evidente al observar el comportamiento de sistemas caóticos donde el límite impuesto por el "horizonte temporal" a través del "tiempo de Lyapounov", muestra el cambio de comportamiento de un sistema tenido por simple, en torno de "atractores" de dimensión normal o "fractal" (Prigogine *et al.*, 1990).

Dice Feigenbaum:

"Ansío describir las nubes. Pero tengo por erróneo decir que acá hay un pedazo de esta densidad, y allá otro de aquella, y además, acumular tanta información detallada. Los seres humanos, desde luego, no perciben así las cosas, ni tampoco los artistas. En algún punto, la tarea de escribir ecuaciones diferenciales parciales no significa haber trabajado el problema" (Gleick, 1988, p. 191).

Si Prigogine articula su discurso de la complejidad a partir de las jerarquías, Bachelard lo hace desde la condenación de la doctrina de las naturalezas simples y absolutas dice:

"En la realidad no hay fenómenos simples; el fenómeno es un tejido de relaciones. No hay naturaleza simple, ni substancia simple; la substancia es una ligazón de atributos entre las partes y el todo. No hay idea simple, porque una idea simple, como bien vió Dupréel, debe ser insertada, para ser comprendida, en un

complejo de pensamientos y experiencias. La aplicación es complicación. Las ideas simples son hipótesis de trabajo, conceptos de trabajo, que deberán ser revisadas para recibir su justo papel epistemológico. Las ideas simples no son la base definitiva del conocimiento; aparecerán, por consiguiente, como uno u otro aspecto cuando sean dispuestas en una perspectiva de simplificación a partir de las ideas completas" (Bachelard, 1985, p. 130).

Al centro de su discurso está el desafío de la síntesis, pero nos previene respecto de llevar demasiado lejos la composición, en un afán de completitud que nada tiene que ver con organicidad.

Para Bachelard lo simple sólo puede ser destacado una vez que lo complejo ha sido profundamente estudiado.

Para Morin (1983) la necesidad de complejidad se nutre de una problemática fenoménica y de otra fundamental. La primera puede plantearse en términos de que todas las elucidaciones ganadas en el nivel de las moléculas y de los algoritmos deben aclarar las realidades fenoménicas molares que son los seres vivientes, en sus formas, sus comportamientos, su existencia. La segunda dice que ya no es lo elemental lo que la física encuentra como fundamento, sino lo complejo. Ya no es el orden determinista lo que encuentra como principio, sino orden/desorden/organización. Lo complejo se ha convertido en una cuestión de principio que ya no puede ser rechazada. Igualmente encontramos lo complejo como fundamento de los algoritmos de lo viviente, como fundamento de la máquina viviente, como fundamento de la auto-(geno-feno-ego)-eco-re-organización, como fundamento de la existencia individual.

La complejidad surge, pues, en el corazón de lo Uno a la vez como relatividad, relacionalidad, diversidad, alteridad, duplicidad, ambigüedad, incertidumbre, antagonismo, y en la unión de estas nociones que son complementarias, concurrentes y antagonistas las unas respecto de las otras. El sistema es el ser complejo, que es más, menos, distinto de sí mismo. Está a la vez abierto y cerrado. No hay organización sin anti-organización. No hay funcionamiento sin disfunción (Morin, 1986, p. 175).

Modelando la complejidad

Si consideramos que la complejidad está en la modelización del fenómeno tenido por complejo, entonces, estamos obligados a interrogarnos sobre el método de concepción de modelos complejos.

Según Le Moigne (1990, a, p. 5) modelización es la acción de elaboración y de construcción intencional, por composición de

símbolos, de modelos susceptibles de hacer inteligible un fenómeno percibido complejo, y de amplificar el razonamiento del actor proyectando una intervención deliberada al seno del fenómeno; razonamiento orientado particularmente a anticipar las consecuencias de esos proyectos de acción posibles.

Para actuar en la modelización sistémica se debe hacer un esfuerzo por utilizar lo menos posible los conceptos que hoy son familiares a la modelización analítica, tales como: objeto, elemento, conjunto, análisis, estructura, óptimo, control, eficacia, aplicación, evidencia o explicación causal y cierta. En cambio se debe recurrir a: proyecto, procesos, sistema, componentes o unidad activa, concepción, organización, inteligencia, efectividad, proyección, pertinencia, comprensión teleológica (Le Moigne, 1990, a, p. 9).

Aún cuando los sistemas complejos no son reductibles a modelos explicativos, ellos son inteligibles. Nosotros no podemos reducirlos a modelos de *prêt-à-porter* (Le Moigne, 1990, a, p. 4), sino más bien modelizarlos a cada instante a través de un proceso continuado de concebir y producir modelos potencialmente complejos.

Ahora sabemos que complejo es distinto que complicado. Para comprender un sistema complicado, podemos simplificarlo y descubrir así su inteligibilidad; en tanto que para comprender un sistema complejo debemos modelizar para construir su inteligibilidad. Del mismo modo, en la modelización de sistemas descomponibles podemos ir de lo complicado a lo simple a través de la disyunción en tanto que en los sistemas indescomponibles vamos de lo complejo a lo implejo a través de la conjunción.

La sistemografía es el procedimiento por el cual se construyen modelos de un fenómeno percibido complejo, representándolo deliberadamente como y por un sistema general (Le Moigne, 1990, a, p. 26). Las componentes claves de esta representación canónica son: funciones, transformaciones, finalidades, ambiente.

La modelización analítica se adecuaba bien a la aprehensión de fenómenos complicados pero previsibles; la modelización sistémica se ha desarrollado para permitir el pasaje meditado de lo complicado a lo complejo, de la previsibilidad cierta, a fuerza de cálculo, a la imprevisibilidad esencial e inteligible.

Pero la justificación de estos ejercicios de modelización inteligible de fenómenos percibidos complejos, a fin de intervención deliberada, no está dada: ella se construye a sí misma precisamente en la acción modelizadora. Desde ahí, el va y viene entre la práctica y la teoría, entre la sistémica y su epistemología debe ser entendido y reconocido: lo inteligible debe ser suficientemente enseñable para ser practicable. Esta interacción constitutiva en la modelización de los procesos complejos, es ella

misma compleja, por hipótesis. Si ella no es simplificable, ella puede ser sin embargo, inteligible (Le Moigne, 1990, c, p. 109).

La modelización sistémica de la complejidad a través de encuentros transdisciplinarios, hace efectivamente emerger en su práctica la inteligibilidad que cada uno de los especialistas busca en sus propias prácticas cognitivas.

Los métodos de modelización sistémica son fundados epistemológicamente sobre un cimiento constructivista, muy diferente del cimiento post-positivista de la modelización analítica. Desde ahí la complejidad puede ser aprehendida sin mutilación previa. Irreducible a sus componentes, ella puede sin embargo ser modelizada, dependiendo de este modo del entendimiento humano.

El método de la modelización sistémica se justifica por una axiomática a la que el modelizador debe necesariamente referirse, si desea evitar incurrir en una impropiedad sistémica a causa de su caracterización analítica, la que no tendrá otro efecto sino el de destruir la complejidad, en lugar de concebirla en su integral potencialidad (Le Moigne, 1990, c, p. 114).

Le Moigne (1990, c, p. 115) señala que en el artículo 'La invención de la realidad', E. von Glaserfeld dice: "No considerar más al conocimiento como la búsqueda de la representación icónica de una realidad ontológica, sino como la investigación de la manera de comportarse y de pensar que conviene. El conocimiento se torna entonces una cosa que el organismo construye con el fin de crear un orden en el flujo de la experiencia."

Pensamiento complejizador

El trabajo de Morin en el desarrollo de un pensamiento complejizador, parece estar fundado en un esfuerzo abarcador, en que la sentencia de que el único principio que no inhibe el progreso es: "todo sirve" (Feyerabend, 1986).

Le Moigne (1990, c, p. 108) cita el "imprevisible esencial" de P. Valéry, que nos obliga a reconocer la complejidad e incita al actor responsable a pasar de la tranquila pasividad del cálculo cierto, a la activa adaptación a la deliberación incierta. Este desafío es ampliamente desarrollado por Morin en sus volúmenes de el método.

En el camino de Morin, el pensamiento complejo no está orientado a sustituir la "simplificación atomizante" por una "simplificación globalizante" (Morin, 1983, p. 417). Tal pensamiento no apunta a lo elemental — en donde todo se funda en la unidad simple y el pensamiento claro — sino a lo radical, en donde aparecen incertidumbres y antinomias, donde el pensamiento complejo tiende a la multidimensionalidad.

El mundo de la organización viviente, sostiene Morin, contiene intrínsecamente no solo equilibrios y acuerdos sino también concurrencias, antagonismos y conflictos. En consecuencia, el problema del pensamiento complejo es tratar con la unidad/deunidad de la vida sin reabsorber, reducir o debilitar uno de los dos términos. Coincide con Maturana en que debemos tener permanentemente en cuenta que las emergencias son las realidades, cualidades, propiedades surgidas de la organización de un sistema y que presentan un carácter nuevo y, por ello, no reductible a las cualidades o propiedades consideradas aisladamente o dispuestas de manera diferente. Aquello que no nos es comprensible en un determinado nivel de descripción, alcanza sentido en otro más abarcativo en que la reducción a través del 'o', ha sido cambiada por una inclusión por medio del 'y'.

Para Morin, el surgimiento de las contradicciones, como una apertura a conocimiento nuevo, lejos de significar un insoluble, se convierte en sí mismo en un progreso del conocimiento. Antagonismo y complementariedad son dos polaridades de un mismo fenómeno, entre las cuales oscilan los procesos vivientes que se hacen y deshacen y los bucles organizacionales unen sus oposiciones sin anularlas jamás.

Pero el pensamiento complejo tampoco debe dejarse encerrar en la confusión, lo vago, la ambigüedad, la contradicción. "Debe ser un juego/trabajo con/contra la incertidumbre, la imprecisión, la contradicción." Su exigencia lógica debe ser, entonces, mucho mayor que la del pensamiento simplificante, ya que permanentemente se bate en una 'tierra de nadie', en las fronteras de lo decible, de lo concebible, de lo alógico y de lo ilógico (Morin, 1983, p. 447).

Por medio de la circularidad, Morin rechaza la reducción de un dato complejo a un principio mutilante tal como: la materia, el espíritu, la energía, la información, la lucha de clases, u algún otro. Para Morin la paradoja, el círculo vicioso, la antinomia son fuentes generadoras de pensamiento complejo. Concebir la circularidad, dice, es "abrir la posibilidad de un método que, al hacer interactuar los términos que se remiten unos a otros, se haría productivo, a través de estos procesos y cambios, de un conocimiento complejo que comporte su propia reflexividad" (Morin, 1986, pp. 31-2).

Los procesos simplificadores deben ser integrados, acogidos, cooperativos en todo pensamiento complejo, pero lo que hoy debe ser rechazado, es el reino de la simplificación (Morin, 1983, p. 451).

La complejidad en Morin queda evidenciada en la misma forma como en sus libros trata sus ideas a medida que las desarrolla. Aquel sistema analítico simplificador, dominante por largos años es sustituido por Morin, por un análisis complejizador en que la

circularidad causal es usada al servicio del análisis y en que los elementos antagónicos, concurrentes se evidencian y no se reducen o sintetizan rápidamente. Del mismo modo que los complementarios van surgiendo de manera incierta con sus correspondientes antagónicos incorporándose en el juego, a veces angustiante, de la circularidad, en la cual el propio Morin está incerto en cuanto observador/conceptuador.

El paradigma de la complejidad

La cuestión de un supuesto antagonismo entre una 'ciencia clásica' y otra 'nueva ciencia' no es tal. Lo que se ha producido es el reconocimiento de la necesidad de abordar los problemas actuales de manera diferente y complementaria a la tradicional. El desarrollo alcanzado por la ciencia y la tecnología, nos ha llevado de manera ineludible a la situación de requerir formas cada vez más potentes de entendimiento de nuestra realidad. Desde esta perspectiva, el desarrollo, constitución y consolidación de nuevos paradigmas resulta no solo natural sino una necesidad.

Ante el principio de simplificación (disyunción/reducción), Morin (1984, a) propone el principio de complejidad. Es cierto, dice, que éste se funda en la necesidad de distinguir y analizar como el precedente, pero además pretende establecer la comunicación entre lo que es distinguido: el objeto y el entorno, la cosa observada y su observador. Sostiene que no se esfuerza en sacrificar el todo a la parte o la parte al todo, sino en concebir la difícil problemática de la organización. Se esfuerza en abrir y desarrollar por doquier el diálogo entre orden, desorden y organización para concebir, en su especificidad, en cada uno de sus niveles, los fenómenos físicos, biológicos y humanos.

El principio de explicación de la ciencia clásica tendía a reducir lo conocible a lo manipulable. Actualmente, dice, hay que insistir con fuerza en la utilidad de un conocimiento que pueda servir para ser reflexionado, meditado, discutido, incorporado por cada uno en su saber, su experiencia, su vida. De acuerdo con esto, formula la hipótesis de que es posible construir un paradigma de complejidad, en y por la conjunción de un conjunto de principios de inteligibilidad tales como: universalidad insuficiente, irreversibilidad del tiempo, causalidad compleja, teoría científica del sujeto, pensamiento dialógico... por mencionar sólo algunos (Morin, 1984, a, pp. 359-62).

El paradigma de complejidad no es anti-analítico, no es anti-disyuntivo. El análisis apela a la síntesis que apela al análisis, y

esto hasta el infinito en un proceso productor de conocimiento (Morin, 1986, p. 430).

El conocimiento complejo, sostiene Morin, necesariamente debe traer un nuevo modo de actuar que no ordene, sino organice; que no manipule, sino comunique; que no dirija, sino anime.

Como una forma particular del uso de la complejización, Morin (1983) llega a proponer un paradigma de lo viviente, con base en los macroconceptos de autonomía, genotipo, fenotipo, ego, ecología, re — de reproducción, repetición, recursión —, en torno al concepto central de vida que es organización procesadora de información. Expresa su paradigma incomprensible, inseparable y matricial, en el macroconcepto: “auto-(geno-feno-ego)-eco-re-organización (computacional/informacional/comunicacional)”.

No obstante su propuesta, señala: “el paradigma de complejidad aún no puede nacer, ya que el paradigma de simplificación aún no puede morir” (Morin, 1983, p. 437). Pero lo que a nuestro entender actualmente ocurre, es la coexistencia propia de la transición.

Una epistemología compleja

“El desafío de la complejidad es un desafío epistemológico” (Le Moigne, 1990, b, p. 312). Y es un desafío, porque como sostiene Morin (1984, b) necesitamos tomar conciencia de los límites del conocimiento, tanto en lo biológico, como en lo cerebral, antropológico, sociológico y cultural, para saber del progreso del mismo, permitiéndonos conocer nuestro conocimiento y hacerlo progresar en nuevos territorios y enfrentarnos con la indivisibilidad y la indecidibilidad del real.

Esta epistemología, según Morin (1984, b), no deberá ser encarada como una especie de catálogo donde se acumularían, por yuxtaposición, todos los conocimientos, sino que deberá ser considerada como un principio de complejización de nuestra conciencia, que introduce en toda la conciencia la conciencia de las condiciones bio-antropológicas, socioculturales y noológicas del conocimiento.

Un estudio epistemológico de este tipo es desarrollado por Maturana y Varela (1986) en su construcción de una explicación del conocer, en que coinciden con la visión de Le Moigne (1990, c, p. 108) que dice: “los estudios de epistemología sistémica toman el bucle del conocimiento construyendo el conocimiento que lo construye en su propio movimiento experimental”.

Si tomamos como base la explicación del conocer de Maturana, con sus ontologías constitutivas y trascendentales, podemos concluir en el siguiente esquema de entendimiento de la complejidad:

desde las ontologías trascendentales no existe la pregunta por el observador de sistemas, de modo que damos cuenta de la realidad ignorando el hecho que dicha realidad es dicha por alguien, y de este modo los sistemas aparecen con propiedades que no explicamos, sino que sólo aceptamos. La realidad existe con independencia del observador y podemos dar cuenta de ella. En este camino la complejidad es una propiedad de los sistemas y podemos explicarla o no, dependiendo de lo inteligible que los sistemas sean. En este marco podemos ubicar todos los desarrollos metodológicos de fines de la década del 1950 y década del 1960, especialmente aquellos reconocidos como pertenecientes al campo del análisis de sistemas y de las estadísticas multivariadas. El manejo de la complejidad aquí obliga a efectuar descomposición y recomposición de sistemas. La fragmentación de la complejidad y la asignación de ponderaciones a las relaciones, en que la corriente de pensamiento empirista ejerce toda su fuerza como mecanismo validador o probatorio, son los principales mecanismos de abordaje de la complejidad. El enfoque de caja negra, es uno de los métodos más usados para hacer frente a la complejidad: todo lo que se pueda decir de un sistema será extraído de la información que se recoja de los cambios de estados observados a la salida, conforme a los estímulos entregados a la entrada por el experimentador.

En el camino explicativo de las ontologías constitutivas, la pregunta por el observador está presente, de modo que el dar cuenta de sistemas se constituye en una operación de distinción que dicho observador realiza en un determinado dominio fenoménico. Maturana dice que esto es así, porque en la experiencia el observador no puede distinguir entre ilusión y percepción, ambas las vive de la misma manera, y sólo hace la diferencia cuando las explica. En consecuencia no es posible usar criterios de validación haciendo referencia a una realidad independiente del observador, y debemos aceptar que el fenómeno es tal, cuando es distinguido por un observador en el lenguaje. La noción de existencia de un objeto está asociada a la operación de distinción y no a la existencia de un objeto 'allá afuera', independiente del observador.

El seguir uno u otro camino explicativo, dice Maturana, depende del emocionar del observador. Ciertas emociones harán que el observador siga el camino de las ontologías trascendentales y otras el de las ontologías constitutivas.

Re-introduccion

Por todo lo expuesto, ya sabemos que el final de este documento, no es el final, sino sólo un punto en el proceso de construcción deconstrucción de la conceptualización que se lleva a efecto en relación a cualquier objeto de la realidad circundante y de nosotros mismos como observadores de sistemas.

La complejidad no es complicación y no es lo contrario de lo simple, sin embargo el desarrollo del pensamiento ha pasado por todos estos conceptos permitiéndonos entender, describir, distinguir, modelar, calcular, predecir etc. Lo simple y lo complicado, hasta ayer lo complejo, ha dado paso al concepto de complejidad visto más bien como un 'método', como una forma de pensar, de mirar, que una propiedad de los objetos. La realidad objetiva, independiente del observador, es reemplazada por una realidad interpretada e incluso construida por el observador. El reduccionismo y la simplicidad son reemplazados por la síntesis y la complejidad.

Este escenario nos obliga a pensar en términos de una nueva epistemología de la complejidad, así como también en la construcción de nuevos paradigmas y metodos de la complejidad, que nos permitan abordar con eficiencia la tarea de comprender nuestro entorno en vez de manipularlo.

Morin nos ha propuesto los principios de un paradigma de la complejidad; nos ha señalado la necesidad de una epistemología compleja; y nos ha propuesto un método complejizador. Del mismo modo Le Moigne nos ha mostrado los caminos de la modelización, donde la sistémica constituye para él un paradigma que sintetiza de la siguiente manera:

“Un fenómeno percibido complejo, en consecuencia irreductible a un modelo determinante de previsión cierta de sus comportamientos, se representa por un sistema complejo. Un sistema complejo se representa por un complejo de acciones teleológicas en un ambiente activo. Este complejo de acciones es a la vez sincrónico (funcionalmente), diacrónico (transformación) y recursivo (autonomización). El se describe por su organización proyectiva en niveles; cada nivel asegura la conjunción de las funciones de transformación recursivas de auto-producción, de auto-mantenimiento y de auto-relación. Esta organización de sistema complejo se articula por la conjunción de operaciones, de información y de decisión: las informaciones, composición de símbolos (signos, significados, significantes) son generados y memorizados por las operaciones proyectivas (acciones teleológicas), que ellas representan por proyección. El comportamiento teleológico del sistema complejo, o su estrategia (planes de acción) son elaborados por el proceso

decisional que se ejerce en el seno de la organización. Él se ejerce por computación simbólica en interactividad con el proceso informacional que engendra la actividad de la organización. Este proceso de producción y de memorización de símbolos es consustancial a la organización: él asegura la mediación entre las operaciones y las decisiones inteligentes que permiten su adaptación teleológica; al mismo tiempo él desarrolla el sistema propio de finalización del sistema complejo, finalización inteligente y memorizante que asegura su autonomización y así su identificación estable” (Le Moigne, 1990, a, p. 170).

Este punto constituye un buen comienzo, ya que abre las puertas al ejercicio de la práctica, que al decir de Maturana nos permitirá en el hacer conocer.

El abordaje de los problemas que afectan a los ecosistemas y a los seres humanos, en cuanto individuos y grupos sociales, es hoy el desafío que debemos asumir, en que el pensamiento complejizador y las herramientas de modelización sistémica deberán mostrar toda su potencialidad.

TARRIDE, M.: 'Complexidade e sistemas complexos'. *História, Ciências, Saúde — Manguinhos*, II (1): 46-66, mar.-jun., 1995.

O pensamento sistêmico e a complexidade revestem-se de especial interesse para a compreensão dos mais diferentes tipos de fenômenos. A necessidade de usar complementarmente análise e síntese, a avaliação da realidade de maneira holística, onde a convivência com a complexidade é um fato que se aceita e não se nega através do reducionismo, assim como o surgimento da ordem a partir do caos e a participação ativa do 'modelizador de sistemas' no desenho de artefatos a partir da linguagem, são alguns dos materiais que compõem este particular esforço de síntese do pensamento de determinados autores.

PALAVRAS-CHAVE: sistemas, sistêmica, complexo, complexidade, caos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashby, W. Ross. 1987. 'Sistemas y sus medidas de información'. En *Tendencias en la teoría general de sistemas*. Buenos Aires, Ed. Alianza Universidad.
- Ashby, W. Ross. 1976. *Introducción a la cibernética*. Buenos Aires, Editorial Nueva Visión.
- Bachelard, Gaston. 1985. *O novo espírito científico*. Rio de Janeiro, Tempo Brasileiro.
- Bertalanffy, L. von. 1987, a. 'Historia y situación de la teoría general de sistemas'. En *Tendencias en la teoría general de sistemas*. Buenos Aires, Ed. Alianza Universidad.
- Bertalanffy L. von. 1987, b. *Teoría general de los sistemas*. Editorial Fondo de Cultura Económica.

- Checkland, Peter
1981 *Systems thinking, systems practice.*
New York, John Wiley & Sons.
- Feyerabend, Paul
1986 *Tratado contra el método.*
Editorial Tecnos.
- Gleick, James
1988 *Caos: la creación de una ciencia.*
Editorial Seix Barral.
- Klir, George J.
1987 'Teoría polifónica general de sistemas'.
En *Tendencias en la teoría general de sistemas.*
Editorial Alianza Universidad.
- Le Moigne, Jean-L.
1990, a *La modélisation des systèmes complexes.*
Paris, Dunod. Collection Afcet Système.
- Le Moigne, Jean-L.
1990, b 'Conception de la complexité et complexité de la conception'.
Revue Internationale de Systémique, vol. 4, nº 2, pp. 295-318.
- Le Moigne, Jean-L.
1990, c 'Systémique et complexité: études d'épistémologie systémique'.
Revue Internationale de Systémique, vol. 4, nº 2, pp. 107-17.
- Maturana, H.
1991 *El sentido de lo humano.*
Santiago, Editorial Hachette.
- Maturana, H. y
Varela, F.
1986 *El árbol del conocimiento.*
Santiago, Ed. Universitaria.
- Morin, Edgar
1988 *El método: el conocimiento del conocimiento.*
Madrid, Ediciones Cátedra.
- Morin, Edgar
1986 *El método: la naturaleza de la naturaleza.*
Madrid, Ediciones Cátedra.
- Morin, Edgar
1984, a *Ciencia con consciencia.*
Barcelona, Anthropos, Editorial del Hombre.
- Morin, Edgar
1984, b *O problema epistemológico da complexidade.*
Lisboa, Publicações Europa-América.
- Morin, Edgar
1983 *El método: la vida de la vida.*
Madrid, Ediciones Cátedra.
- Orchard, Robert A.
1987 'Sobre un enfoque de la teoría general de sistemas'.
En *Tendencias en la teoría general de sistemas.*
Editorial Alianza Universidad.
- Prigogine, Ilya y
Stengers, Isabelle
1990 *Entre el tiempo y la eternidad.*
Editorial Alianza Universidad.
- Simon, Herbert
1990 'Sur la complexité de systèmes complexes'.
Revue Internationale de Systémique, vol. 4, nº 2, pp. 125-45.
- Vallée, Robert
1990 'Sur la complexité d'un système relativement à un observateur'.
Revue Internationale de Systémique, vol. 4, nº 2, pp. 239-43.
- Weinberg, Gerald M.
1987 'Una aproximación por computación a la teoría general de sistemas'.
En *Tendencias en la teoría general de sistemas.*
Editorial Alianza Universidad.

Recebido para publicação em novembro de 1994