

A PROPÓSITO DE LOS MODELOS DE AUTOORGANIZACIÓN

Ricardo Álvarez-León

Summary: The foundations of the ecological theory the ecology of the systems, the trofodinamic, the application models and the sustainability are presented and discussed, exemplifying in each case, the characteristics and the practical cases of application. It is offered this way an useful complement in the qualitative and quantitative understanding of the work of Fritjof Capra, *The Web for the Life*, especially in what refers to the chapter on Self-organization Models.

Key words: Self-organization, ecological theory, trofodinamic, immunologic management, sustainability, upsizing

Résumé: Le texte présente et discute les fondements de la théorie écologique, l'écologie des systèmes, la trofodynamique, les modèles d'application et le caractère durable, en exemplifiant dans chaque cas les caractéristiques et les cas d'application pratiques. Il offre ainsi un complément utile à la compréhension qualitative et quantitative de l'œuvre de Fritjof Capra, *La trama de la vida (La trame de la vie)*, en particulier en ce qui concerne le chapitre sur l'auto-organisation.

Mots clés: Auto-organisation, théorie écologique, trofodynamique, gestion immunologique, durabilité.

“De algún modo, cualquier estudio de la naturaleza es un estudio acerca del orden. En efecto, la naturaleza se nos muestra como una multitud de cosas y procesos que tienen una cierta regularidad y lo que buscamos al estudiarla más a fondo es conocer los mecanismos subyacentes que son la causa del orden que observamos”.
Mariano Artigas

“Toda teoría del curso de los acontecimientos en la naturaleza se basa necesariamente en algún proceso de simplificación y es hasta cierto punto, por consiguiente, un cuento de hadas”. Sir Napier Shaw

INTRODUCCIÓN

La lectura y el análisis de los diferentes capítulos del libro *La trama de la vida*¹, permite conocer la documentada capacidad de síntesis del autor austríaco y, como lo manifiesta David Sempau, el traductor de la obra, “el rigor del análisis, la cohesión de lo expuesto, la claridad de ideas y la solidez de los argumentos”, especialmente cuando se trata de temas tan complejos por su propia naturaleza.

El capítulo cinco, “Modelos de auto-organización” por ejemplo, no es la excepción, y cuando presenta las bases de la organización, los subtemas y sus autores, selecciona las partes más representativas y trascendentes: Pensamiento sistémico (Rand Corporation), Aparición de la biología molecular, Crítica del pensamiento sistémico (Robert Lillienfeld), Importancia del patrón (Jay Forrester, Stanfford Beer, Hans Ulrich), Redes: los patrones de la vida, Aparición del Concepto de auto-organización (Warren

McCulloch, Walters Pitts, Ross Ashby, Heinz von Foerster), Estructuras disipativas (Ilya Prigogine, Henri Bénard, Paul Glansdorff), Teoría láser (Herman Haken, Robert Graham), Hiperciclos (Manfred Eigen), Autopoiesis (Humberto Maturana, Francisco Varela, Ricardo Uribe, Geoffrey Chew) y Teoría de Gaia (James Lovelock, Dian Hitchcock, Lynn Margulis).

Al final del nombrado capítulo cinco, el autor hace su primera síntesis y recuerda que, a finales de los 70 las características comunes de los modelos de auto-organización eran: (i) el flujo continuo de materia y energía a través del sistema, (ii) el estado estable lejos del equilibrio, (iii) la aparición de nuevos patrones de orden, (iv) el papel central de los bucles de retroalimentación y (v) la descripción matemática en términos de ecuaciones no-lineales; así mismo, reformula el trabajo de Erich Jantsch de 1980, titulado “The self-organizing universe”, en el cual el autor realiza una síntesis similar sobre los nuevos modelos de auto-organización, basado fundamentalmente en la teoría de estructuras disipativas de Ilya Prigogine².

Afirma también que para entender el fenómeno de la auto-organización debemos comprender primero la importancia del *patrón*. La idea de un patrón de auto-organización –una configuración de relaciones característica de un determinado sistema– se convirtió en el centro explícito del pensamiento sistémico en cibernética y desde entonces ha sido un concepto crucial. Desde el punto de vista sistémico, la

1 CAPRA, F. (1996). *The Web of Life*. 1st. Edition, Harper Collins, London (U.K.).

2 *Ibid.*

comprensión de la vida empieza con la comprensión del patrón³.

Si bien es cierto que todos los organismos vivos están hechos, en última instancia, de átomos y moléculas, son algo más que átomos y moléculas. Existe algo más en la vida, algo inmaterial e irreducible: el patrón de organización. Este patrón de organización, común a todos los seres vivos, tiene como propiedad más importante que tiene forma de red. Donde quiera que encontremos sistemas vivos –organismos, partes de organismos o comunidades de organismos– podremos observar que sus componentes están dispuestos en forma de red. Si vemos vida, vemos redes, aun cuando el estado inicial de la red fue escogido al azar, y al cabo de un tiempo emergieron espontáneamente los patrones ordenados. A esta emergencia espontánea de orden, se le denomina “autoorganización”⁴.

La primera diferencia importante entre el primer concepto de auto-organización en cibernética y los modelos posteriores más elaborados estriba en que éstos incluyen la creación de nuevas estructuras y nuevos modelos de comportamiento en el proceso de auto-organización. La segunda diferencia, que es una característica común a estos modelos de auto-organización es que se trata de sistemas abiertos que operan lejos del equilibrio, por lo que es necesario un flujo constante de energía a través del sistema para que tenga lugar la auto-organización. La tercera diferencia de la auto-organización, común a todos los modelos, es la interconectividad no lineal de los componentes del sistema, que físicamente se manifiesta como bucles de retroalimentación y que es descrita matemáticamente en términos de ecuaciones no lineales⁵.

3 *Ibid.*

4 *Ibid.*

5 *Ibid.*

El láser es un verdadero sistema auto-organizador alejado del equilibrio, porque su acción se produce cuando la intensidad del bombeo exterior alcanza un cierto valor crítico y la coordinación de las emisiones es producida por la propia luz láser⁶. Otros autores llegaron al concepto de auto-organización a través del estudio de sistemas físicos y químicos que atraviesan puntos de inestabilidad y generan nuevas formas de orden⁷. Otros, en cambio, lo hicieron utilizando el mismo concepto y manifestando que el origen de la vida en la Tierra puede haber sido el resultado de un proceso de auto-organización molecular progresiva o fase prebiológica en sistemas químicos alejados del equilibrio, que involucran hiperciclos de bucles de retroalimentación múltiples⁸. Esta teoría, junto con la de estructuras disipativas de Prigogine (1967) y la teoría láser de Haken (1983), comparte los mismos conceptos clave de la auto-organización: el estado de alejamiento del equilibrio del sistema, el desarrollo de procesos de amplificación de bucles de retroalimentación positiva y la aparición de inestabilidades que conducen a nuevas formas de organización.

Puesto que todos los cambios en el sistema se desarrollan dentro de una circularidad básica, se sostiene, al respecto, que⁹ (i) los componentes que especifican la organización circular también deben ser producidos y mantenidos por ésta. Así se llega a la conclusión de que, en dicho patrón de organización, la función de cada componente es ayudar a producir y transformar otros componentes, manteniendo al mismo

6 HAKEN, H. (1983). *Laser theory*. Springer, Berlin (Germany).

7 *Ibid.*; también PRIGOGINE, I. (1967). “Dissipative in chemical systems”. In: CLAESON, S. (ed.) *Fast Reactions and Primary Processes in Chemical Kinetics*. Interscience, New York (USA).

8 EIGEN, M. (1971). “Molecular self-organization and the early stage of evolution”. In: *Quarterly Reviews of Biophysics*, 4 (3 & 4): 149.

9 MATURANA, H. (1980). “Biology of cognition”. In: MATURANA, H. & F. VARELA, *Autopoiesis: The Organization of the Living*. Edit. Universitaria, Santiago (Chile).

tiempo la circularidad global de la red, o sea, la fundamental organización de lo vivo; (ii) el sistema nervioso no es solamente auto-organizador sino autorreferente, de modo que la percepción no puede ser contemplada como la representación de una realidad externa, sino que debe ser entendida como la creación continua de nuevas relaciones en el interior de la red neuronal; y (III) la percepción y, de modo más general, la cognición no representan una realidad externa, sino que más bien la especifican a través de los procesos del sistema nervioso, de organización circular.

Algunos pensadores sistémicos han refinado sus posiciones con la importante distinción entre organización y estructura, que ha sido un tema implícito a lo largo de toda la historia del pensamiento sistémico y no tratado explícitamente hasta el desarrollo de la cibernética¹⁰. La descripción de dicha organización es una descripción abstracta de relaciones y no identifica los componentes. Dichos autores asumen, entonces, que la autopoiesis es un patrón general de organización, común a todos los sistemas vivos, cualquiera que sea la naturaleza de sus componentes. Resaltan que la organización del sistema es independiente de las propiedades de sus componentes. Así, la autopoiesis es una red de procesos de producción, en la que la función de cada componente es participar en la producción o transformación de otros componentes de la red.

A comienzos de la década de los 70 se formuló la Teoría de Gaia, la cual considera que el planeta tierra es un sistema auto-organizador vivo, en el cual todos los organismos vivos toman materia y energía y expulsan desechos, y que estos procesos son factibles de expresarse matemáticamente en términos de entropía¹¹.

10 VARELA, F., H. MATURANA & R. URIBE. (1974). "Autopoiesis: The organization of living system, its characterization and a model". In: *BioSystems*, 5: págs. 187-196.

11 LOVELOCK, L. (1972). "Gaia, as seen through the atmosphere". In: *Atmospheric Environment*, 6: pág. 579.

Reconoce que la atmósfera terrestre, con cantidades masivas de oxígeno, casi nada de carbono y mucho metano, es un sistema abierto lejos del estado de equilibrio, caracterizado por un flujo constante de energía y materia. Posteriormente, combinando los conceptos de química, termodinámica y cibernética de esta Teoría de Gaia y los de los orígenes biológicos de los gases atmosféricos, develan gradualmente la compleja red de bucles de retroalimentación (al vincular sistemas vivos con sistemas no vivos) que se supone que es la responsable de la autorregulación del planeta¹².

En este ensayo se analiza el capítulo "Modelos de auto-organización" de la obra *La trama de la vida* de Fritjof Capra, desde el punto de vista de su aporte como fundamentación teórica y epistemológica de la auto-organización, y se plantean los antecedentes y desarrollos de la teoría ecológica, la ecología de los sistemas, la trofodinámica, los modelos de aplicación y la sostenibilidad, ejemplificando, en cada caso, las características y los casos prácticos de aplicación.

TEORÍA ECOLÓGICA

El término "ecología" se deriva de la raíz griega *oikos* (casa); de aquí que la acepción literal de la ecología sea el estudio de las casas o, más ampliamente, el estudio del ambiente que rodea a los organismos. Es, así, usual definir a la ecología como la ciencia que estudia las interrelaciones entre los organismos y su medio. Actualmente, estas definiciones son anticuadas y el verdadero sentido de la ecología moderna es el estudio de la estructura y la función de la naturaleza. La ecología, entonces, se relaciona con los términos "población", "comunidad", "ecosistema" y "biosfera". Estos términos

12 LOVELOCK, L. & L. MARGULIS. (1974). "Biological modulation of the earth's atmosphere". In: *Icarus*, 21.

componen los niveles de organización que se hallan por encima de los organismos¹³.

En este sentido, se sostiene que es buena la tendencia humana de buscar y descubrir regularidades en la aparente confusión de las observaciones de la naturaleza y colocar luego ordenadamente las regularidades identificadas, pero que, a la vez, hay que formularlas necesariamente, de manera abstracta, dentro de un sistema intelectual de relaciones, dándoles un valor explicativo y predictivo¹⁴. La ecología, como ciencia, colabora en la comprensión de la naturaleza y no puede limitarse a una simple descripción o a tratar pequeños problemas técnicos triviales, excusándose siempre en la complicación inabarcable de la naturaleza. No se empeñaría en estudios que nunca se acabarían para enfocar adecuadamente cualquier problema práctico importante, sino que ha de tener como meta exponer, de manera simplificada, y comprender, hasta donde sea posible, el funcionamiento de la naturaleza¹⁵.

Se debe ir más allá; y por eso, a las presentaciones teóricas se les puede dar el nombre de modelos según costumbre generalizada, especialmente cuando admiten forma matemática. Conviene después formular metamodelos, de los que aquellos modelos representan aspectos parciales o casos particulares en condiciones restringidas. Así, cualquier pretensión de hacer una síntesis o resumen de la ecología ha de ser forzosamente teórica, pues ha de manejar lo que son ya abstracciones seleccionadas o extraídas, a veces, bajo la influencia de preocupaciones o prejuicios teóricos.

Las regularidades mejor documentadas y justificadas servirán de base para unos cuantos desarrollos teóricos a un nivel más general: (i) autoecología, (ii) biogeografía, (iii) ecología descriptiva, (iv) ecología trófica, (v) ecología demográfica, (vi) ecosistema en el tiempo y (vii) ecosistema en el espacio. Asociados a estas regularidades se observan los temas que se encuentran con más reiteración, por su interés general para la ciencia: la termodinámica, la organización, la cuantificación y la posibilidad de comprender y formular de manera coherente los sistemas formados por muchos elementos que actúan los unos sobre los otros¹⁶.

Así, por ejemplo, los conceptos fundamentales de la termodinámica están directamente relacionados con los ecosistemas, porque definen algunas restricciones para la construcción de los mismos. La síntesis de dichas leyes y sus ejemplos pueden ser así¹⁷: (i) La energía puede transformarse de una clase a otra, pero nunca se crea ni destruye (por ejemplo la luz es una forma de energía, puesto que puede transformarse en trabajo, calor o energía potencial de los alimentos), y (ii) Ningún proceso que implique transformación de energía se producirá espontáneamente, a menos que ocurra degradación de la energía de una forma concentrada a una forma dispersa (por ejemplo el calor de un objeto tenderá, en forma espontánea, a dispersarse por los alrededores más fríos).

Ya desde la década de los 40 se afirmaba que la conservación y el aumento de la organización de los seres vivos se superponen o están mantenidos por una contracorriente de degradación de energía, así como la degradación de energía recuperable a una forma no recuperable se ha asociado al aumento de valor de una

13 OLIVIER, S. R. (1976). *Elementos de ecología*. 1ª reimpresión. Hemisferio Sur, Buenos Aires (Argentina), pág. 174.

14 MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. 1ª edición. Omega, Barcelona (España), pág. 951.

15 *Ibid.*

16 MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. 1ª edición. Omega, Barcelona (España), pág. 951.

17 ODUM, E. P. (1971). *Ecología*. 3ª edición. Editorial Interamericana, México D. F. (México), pág. 639.

función llamada entropía. Por tanto, los organismos y los ecosistemas se alimentan de entropía negativa, pero el concepto de entropía suele suscitar confusiones y polémicas, especialmente cuando lo utilizan los biólogos¹⁸.

Esto sucede, probablemente, porque lo que designa una función de estado del sistema, que es un proceso muy abstracto, se personaliza como si fuera algo material y, en sentido figurado, se habla de producción de entropía. Así, se dice que los organismos producen entropía¹⁹ y que precisamente, deben alimentarse de entropía negativa²⁰ para mantener el equilibrio. La presentación estadística del mismo concepto hace de la entropía una medida de desorden; cuando un sistema físico pasa de un estado a otro estado más probable, se dice que la entropía aumenta. Sin embargo, y a pesar de la copiosa polémica sobre la entropía, la probabilidad y el orden, debe recordarse que la termodinámica genuina trata fundamentalmente de sistemas cerrados, en los que los estados sucesivos se ordenan y se reconoce una función (entropía) computable sobre cada uno de los estados que siguen²¹.

ECOLOGÍA DE LOS SISTEMAS

La ecología de sistemas o la aplicación de procedimientos de análisis de sistemas, es decir, un estudio sistematizado del holismo, es una ciencia principal con derecho propio, por dos razones²²: (i) se dispone ahora de nuevos ins-

trumentos formales sumamente poderosos en términos de teoría matemática, cibernética y procesamiento electrónico de datos, entre otros, y (ii) la simplificación formal de ecosistemas complejos proporciona la mayor esperanza de soluciones de los problemas ambientales del hombre, que no pueden seguir dejándose a merced de procedimientos de tanteo o de una solución por cada problema, en los que se ha venido confiando.

Carl J. Walters fue un estudiante de George van Dyne, y junto con Jerry Olson y Bernard Patten organizó uno de los primeros programas de entrenamiento para ecología de sistemas cuando estuvieron juntos en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge (USA). Desde entonces, Van Dyne y Patten realizaron, en varias universidades, la preparación de diferentes y nuevas promociones de ecólogos. Estos precursores, juntamente con el centro activo de entrenamiento e investigación creado por Ken Watt y C. S. Holling, que empezaron modelando la dinámica de la población, y Howard T. Odum, quien empezó modelando la corriente de energía, han revolucionado el campo de la ecología y han proporcionado un enlace vital con la ingeniería, donde los procedimientos de análisis de sistemas se han estado utilizando desde hace bastante tiempo.

En la discusión y el análisis sobre la utilidad de los modelos que explican los sistemas naturales, se pueden destacar, por lo menos, seis aspectos²³:

(I) *El carácter de los modelos matemáticos*. Los símbolos matemáticos proporcionan una taquigrafía útil para describir sistemas ecológicos complejos, y las ecuaciones, por su parte, permiten emitir enunciados formales acerca de cómo propenden los componentes del ecosistema a actuar recíprocamente entre sí. El sis-

18 SCHRÖDINGER, E. (1945). *What is life?* 1st. edition. Cambridge University Press, Cambridge (U.K.).

19 Tanta más cuanta más energía cambian y cuanto más alta es su temperatura.

20 Energía concentrada y en configuración poco probable.

21 MARGALEF, Op. cit., pág. 951.

22 WALTERS, C. J. (1971). "Ecología de sistemas: método de los sistemas y los modelos matemáticos en ecología", págs. 306-324 In: ODUM, E. P. (ed.), Op. cit., pág. 639.

23 *Ibid.*

tema matemático se designa como modelo y constituye una representación abstracta e imperfecta del mundo real.

(II) *Las diversas razones de construir los modelos.* En efecto, al proporcionar una descripción abstracta y simplificada de algún sistema, se le puede utilizar simplemente para dirigir esfuerzos de investigación o definir un problema para su estudio más detallado. Con mayor frecuencia, los modelos matemáticos se desarrollan para la predicción de cambio dinámico con el tiempo. El fracaso de un modelo en cuanto a predecir el cambio es útil en sí mismo, porque señalará las fallas en el marco conceptual a partir del cual el modelo se desarrolló. Los modelos pueden valorarse en términos de tres propiedades u objetivos: (a) realismo: grado en el cual los enunciados matemáticos corresponden; (b) precisión: capacidad de predicción del cambio numérico y de imitar los datos en los cuales se basa, y (c) generalidad: amplitud de la aplicabilidad del modelo o número de situaciones distintas en las cuales se podrá aplicar.

(III) *La anatomía de los modelos matemáticos.* Conviene concebir el modelo matemático como provisto desde cuatro elementos básicos: (a) variables del sistema: juegos de números que suelen utilizarse para representar el estado o la condición del sistema en cualquier momento; (b) funciones de transferencia o relaciones funcionales: ecuaciones que representan las corrientes o acciones recíprocas entre los componentes; (c) funciones forzantes: entradas al sistema o factores que afectan los componentes del sistema, y (d) constantes matemáticas o parámetros: los modelos pueden ser estocásticos, cuando incluyen los efectos de la variabilidad fortuita en funciones forzantes y parámetros, y determinísticos, si ignoran esta variación fortuita.

(IV) *Los instrumentos matemáticos básicos en la construcción de modelos.* Las relaciones funcionales o ecuaciones que definen un modelo ma-

temático pueden adoptar una diversidad de formas: (a) teoría y transformación de conjuntos: representan cualquier clase de modelo, por ejemplo, el cambio de estado del estado inicial; (b) álgebra matricial: descripción y manipulación de listas y tablas de números, y (c) ecuaciones de diferencia o diferenciales: desarrollo de modelos que describen cuantitativamente la forma en que los sistemas cambian con el tiempo.

(V) *Los análisis de las propiedades del modelo.* Las propiedades de los modelos matemáticos se exploran con el auxilio de una diversidad de técnicas, que permiten verificar una parte del sistema con respecto a cambios en otra parte: (a) retroalimentación, (b) control, (c) estabilidad y (d) sensibilidad.

(VI) *Los métodos para el desarrollo de modelos.* No existen reglas o criterios fijos para guiar las actividades de la construcción de modelos matemáticos; en principio, todo modelo matemático puede considerarse como una extensión, una generalización o un caso especial de cualquier otro modelo. En general, y para efectos prácticos, se han adoptado al menos dos estrategias relativamente distintas en el modelado ecológico: (a) método del sistema compartimental²⁴ y (b) método de los componentes experimentales²⁵.

Más recientemente, algunos autores resaltan que los modelos poblacionales parten del supuesto de que no existe interacción entre las especies, lo cual confirma lo expresado por Ludwig von Bertalanffy en su trabajo "The theory of open systems in physics and biology",

24 El que destaca las cantidades de energía y de materiales en compartimentos del ecosistema; propende a ser general pero no fiel, pues usa datos de la observación sin perturbar los sistemas en estudio.

25 Análisis detallado de los procesos ecológicos: depredación, competición, entre otros; o sea, se centra en las acciones recíprocas y en las ecuaciones de los sistemas; propenden ser fieles y precisos, pues provienen de datos de la labor experimental en procesos aislados del ecosistema; los datos de la naturaleza sólo se usan como control.

al formular sus teorías generales sobre los sistemas. No obstante, en la actualidad, es posible construir modelos que permiten expresar tales interrelaciones e interacciones, los cuales son tema de análisis en el comportamiento y la competencia entre las especies, las relaciones predador-presa y las interrelaciones de dichas especies²⁶. Las especies, a su vez, se catalogan, de acuerdo con su táctica o ardid de desarrollo evolutivo, en modalidades de estrategia: generalistas, pioneras, colonizadoras, y especialistas²⁷.

TROFODINÁMICA

Las relaciones entre las especies son principalmente de carácter trófico o nutritivo. Algunos autores denominan, a las cadenas tróficas o alimenticias que se generan o se llevan a cabo en los diferentes ecosistemas del planeta, el banquete de la vida. El filósofo griego Empédocles, respecto a dichas cadenas afirmaba que “no existe el nacimiento para ninguno de los seres mortales, tampoco existe la muerte, sólo existen la mezcla y la disociación; nacimiento y muerte son dados por los hombres”, para describir la mezcla y disociación entre ellos²⁸.

En un ecosistema, la energía es lo más importante; por tanto, los seres que hacen parte de éste deben crear sus propios depósitos, de manera que se traspase de unos a otros a lo largo del mismo proceso. Sin embargo, a pesar de existir estos depósitos, la energía va disminuyendo poco a poco y creando, de esta forma, niveles dentro del proceso. En orden de consumo de

energía, los niveles de los organismos son: autótrofos, heterótrofos, fagótrofos y saprótrofos.

Al existir estos niveles, se puede decir que existen una escala ascendente y otra descendente dentro de la cadena alimenticia, las cuales corresponden a los predadores y, seguidamente, a los organismos que se alimentan de la materia orgánica en descomposición.

Al alimentarse se trasmite la energía formando de esta forma la escala trófica, de manera que los niveles inferiores sirven de alimento a los superiores. Las plantas, que se encuentran en el primer nivel de la escala, no transforman gran cantidad de energía, pues sólo necesitan un pequeño porcentaje de esta para subsistir, mientras que los seres que les siguen en la escala, en este caso los herbívoros, aumentan su eficiencia en la producción de la misma, pues el porcentaje utilizado es mayor; por tanto, se puede afirmar que la eficiencia del sistema es inversamente proporcional a la cantidad de energía disponible. Sin embargo, en la escala ascendente la energía va siendo transmitida hasta la cima de la pirámide, de manera que cada vez es más eficiente. Pero en la cúpula no está el hombre²⁹.

En la cúpula están los predadores, y éstos, a su vez, dan inicio a otra trama, la descendente, cuyos principales actores son los buitres, gallinazos e hienas, que dan continuidad a la vida. Así mismo, los residuos que no fueron consumidos son fuente de alimento para microorganismos que, a su vez, se convierten en fuente de alimento para otros, iniciando de esta forma nuevamente el banquete de la vida. El hombre ha dado a los predadores el título de reyes de la naturaleza³⁰, pero esta comparación

26 Mutualismo, comensalismo, parasitismo, neutralismo, amensalismo y competencia, entre otras.

27 RAMÍREZ-GONZÁLEZ, A. (1999). *Ecología aplicada: Diseño y análisis estadístico*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Serie Ecología, Bogotá (Colombia), pág. 325.

28 ÁNGEL-MAYA, A. (1996). *La trama de la vida: bases ecológicas del pensamiento ambiental*. Ministerio de Educación-Educación Ambiental / Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Asuntos Ambientales, IDEA, Bogotá (Colombia), pág. 77.

29 Primer paradigma que es necesario superar para comprender en qué consiste la responsabilidad ambiental.

30 Leones y chitas en África, pumas y jaguares en América, águilas en los cinco continentes.

es ambigua, pues la naturaleza no es una monarquía sino un sistema de gran complejidad y equilibrio dinámico. Estos predadores tienen su función en la regulación de la energía, y no son simples parásitos del trabajo acumulado por los demás. Están articulados al sistema, como un escalón más, sin mayores privilegios³¹.

Augusto Ángel-Maya también discute el equilibrio en su libro *La trama de la vida: bases ecológicas del pensamiento ambiental* y dice que este término se relaciona directamente con la estática, con el balance que debe existir entre los elementos de un sistema, los cuales, a su vez, se rigen por ciertos límites impidiéndose de esta forma que se llegue a la destrucción del mismo y sí haya una complementariedad mutua.

Las especies pertenecientes a un sistema desarrollan muchos mecanismos de defensa y de adaptación, ya que de esta forma evitan el peligro que acecha su propia subsistencia y al mismo tiempo la de la comunidad a la que pertenecen, reduciendo de esta forma la capacidad de carga de los mismos. Existen ciertos controles para mantener el equilibrio en los ecosistemas, y estos dependen del tipo de ecosistema y de su complejidad. Entre más sencillos sean los controles, más dependerán de los estímulos externos como la temperatura y la humedad. Entre más complejos sean éstos, mejor crearán sus propios sistemas de control como la depredación y la territorialidad.

Además del control, el ecosistema posee sus propios colchones de seguridad, es decir, ciertos márgenes dentro de los cuales es posible que la especie viva y se reproduzca. Estos márgenes reciben el nombre de resiliencia, o márgenes de posibilidades de vida, o factores limitantes³², lo cual significa que, a pesar de que

hay ciertos límites, el ecosistema no permanece estático sino que está en constante cambio, en constante evolución, haciendo que los seres creen sus propias barreras ante cambios bruscos de temperatura, salinidad y otros factores que los afecten de una u otra forma.

MODELO DE APLICACIÓN Y SOSTENIBILIDAD

Fridjof Capra y Gunter Pauli, en su libro *Steering Business toward Sustainability*, les ofrecen a las empresas la opción de la sostenibilidad, y Gunter Pauli, con base en los aportes de Fridjof Capra en los libros *The turning point* (1982) y *The Web of Life* (1995), concibió la teoría gerencial o gerencia inmunológica, en el libro *Avances: lo que los negocios pueden ofrecer a la sociedad*³³.

En este último libro, se discute cómo la gerencia ha sido comparada, a menudo, con el sistema nervioso central de los seres humanos, un centro inteligente que orienta y controla. Se ha vuelto obvio que "cero deserciones, cero defectos y cero emisiones" requiere de un enfoque fundamentalmente diferente. Por ello, el sistema inmunológico ofrece la mejor inspiración para las prácticas gerenciales que se requiere que hoy triunfen a largo plazo. El sistema inmunológico es altamente descentralizado; la gerencia también necesita serlo. Así como dicho sistema sabe atacar problemas locales sin que se le pida intervención, ni pidiendo aprobación de un tomador de decisiones de nivel superior, la gerencia sólo puede responder rápida y efectivamente cuando se manejen los problemas y

31 ÁNGEL-MAYA, A. Op. cit., pág. 77.

32 Esteno: límite estrecho de su desarrollo; euri: límite amplio de su desarrollo.

33 CAPRA, F. & G. PAULI (eds.). 1995. *Steering business toward Sustainability*. 1st edition. UNU Press. Tokio (Japan); CAPRA, F. (1996). Op. cit.; PAULI, G. (1998). *Avances: lo que los negocios pueden ofrecer a la sociedad*. 2ª edición, Agora. Instituto ZERI para Latinoamérica, Fundación ZERI de Ginebra, Bogotá (Colombia), pág. 256.

las oportunidades a medida que se presentan y donde se presentan. Como los grandes computadores centrales mostraron ser importantes pero no suficientes, no es sorprendente que las unidades de procesamiento hayan sido reemplazadas por redes que ofrecen múltiples ciclos de retroalimentación de información, de autocorrección y, en última instancia, de autoorganización³⁴.

Así mismo, Gunter Pauli, en el libro *Upsizing*, se propone demostrar que hacer más dinero y generar más empleo, reduciendo al mismo tiempo la contaminación, es perfectamente posible, y de paso plantea que la era del *downsizing* ha terminado para bien. De este trabajo, Fritjof Capra comenta que es “el mejor libro de Pauli, el más impresionante, el más informativo y el mejor documentado”³⁵.

En dicho libro, se afirma que, al reflexionar acerca de la famosa ley de Darwin o de la supervivencia del más fuerte, se ve que existe una gran equivocación en nuestra concepción acerca de la manera como la naturaleza en realidad funciona. En la naturaleza, las especies no sobreviven porque sean las más fuertes: sobreviven porque trabajan juntas, colaborando en la generación de alimento, energía y refugio y permitiendo la reutilización de todo lo que se produce, de modo que todo se pueda desarrollar y crecer. La ciencia racional que se basaba en la causa y en el efecto, generalmente llevaba a procesos individuales, buscando un producto o combinando numerosos componentes extraídos de diferentes materias primas. La ciencia generativa realiza un esfuerzo creativo para asegurar que nada se desperdicie³⁶.

34 *Ibid.*

35 PAULI, G. (1997). *Upsizing, ciencia generativa: Más ingresos, más empleo y cero contaminación*. 1ª edición. Universidad de Manizales/ Instituto ZERI para Latinoamérica, Manizales (Caldas), pág. 220.

36 Es bien conocido que los elementos de la flora y la fauna en la naturaleza no funcionan de manera aislada. Por el contrario, con-

La supervivencia del más fuerte necesita ser reemplazada por la evolución, a través de la interdependencia y la cooperación. La naturaleza brinda una singular plataforma para la tolerancia, el respeto por la diversidad y la eficiencia, donde nada se desecha. La naturaleza tiene un concepto circular del tiempo, no lineal, y por ello la muerte nunca es una razón para la depresión y la pena, sino un acto final para permitir que el siguiente ciclo se realice³⁷.

Revisando la ley de la entropía, Gunter Pauli la define, a la vez, como compleja y sencilla, ya que ella prescribe que todo en la Tierra se mueve de un estado de orden a un estado de desorden. Por ello, se contradice con la nueva idea basada en la evolución a través de la interdependencia y la cooperación. Dondequiera que la vida termina para uno, empieza la vida para otro. La ley de la entropía debería ser reemplazada por la ley de co-generación. La ley actual no tiene sentido para el mundo que necesitamos crear.

El *Upsizing* y la aplicación de la ciencia generativa, o gerencia inmunológica, a través de la metodología de cero emisiones desarrollada por Georges Posada, no fueron difíciles de desarrollar y aplicar, porque hay muchas lecciones que se aprendieron de la naturaleza. Las diferentes revoluciones relacionadas (verde, azul, amarilla, marrón, negra) han generado resultados, pero tienen sus propias limitaciones y crean sus propios problemas; por ello, estas

forman un sistema, un ecosistema con todos los elementos relacionados entre sí, de una manera interdependiente. Por lo tanto, afirmar que los tipos de especies que han sobrevivido hasta hoy son los más fuertes, es una simplificación excesiva. La supervivencia de la naturaleza depende de la integración de la especie al sistema. Sólo mediante la cooperación en una forma fuertemente entrelazada es que tiene posibilidad de sobrevivir, la oportunidad de desarrollarse y generar un sistema cada vez mejor, en el cual todos evolucionen y progresen. El ecosistema demuestra una gran tolerancia ante la diversidad, y en realidad necesita tales diferencias para asegurar que cada elemento extrae lo mejor y lo más valioso de los recursos que éste proporciona.

37 PAULI, G. Op. cit.

nuevas concepciones de cómo hacer más se han enriquecido con lo que la Tierra y la naturaleza ya están generando de una manera sostenible³⁸.

Cuando el concepto de tiempo es lineal, las culturas producen leyes lineales, y éstas son la verdad dentro de esa lógica. La ley de la evolución y la ley de la entropía son creaciones típicas de esa lógica, y sólo funcionan dentro del paradigma que las ha creado. El mundo del *Homo sapiens sapiens* es aquél en que la entropía ha desaparecido y el progreso se basa en la cooperación y el respeto por la diversidad. ¡Es un mundo por el que vale la pena trabajar!³⁹

CONCLUSIONES

El trabajo de Fritjof Capra representa una excelente base teórica y epistemológica de los conceptos básicos de la auto-organización, al interpretar, con rigor y cohesión, los argumentos y las teorías formuladas a través de la historia del conocimiento del hombre, sobre el funcionamiento de la naturaleza.

Al incluir los conceptos y aplicaciones de la teoría ecológica, las relaciones tróficas y los

modelos de aplicación y de sostenibilidad, se ofrece la posibilidad de aplicación de los conceptos y teorías conocidos, para tener un análisis no sólo cualitativo sino también cuantitativo de los ecosistemas en general.

Los recientes conocimientos han permitido no sólo ir conociendo los orígenes y causas de los fenómenos y problemas del planeta, sino ir vislumbrando las alternativas más viables para entenderlos y solucionarlos o, por lo menos, para ir manejándolos de la mejor forma posible.

AGRADECIMIENTOS

Se expresa un sincero reconocimiento por la lectura crítica del manuscrito y las sugerencias formuladas al mismo de parte de las profesoras del Instituto de Humanidades Sofía Villarreal Castañeda, del Departamento de Lengua y Literatura, y María Inés Jara Navarro, del Departamento de Filosofía, quien, como docente de la cátedra de Pensamiento Complejo, ha orientado la discusión de una buena parte del contenido de este aporte por parte de los profesores y alumnos inscritos en dicha asignatura. ■

38 *Ibid.*

39 *Ibid.*

