

La teoría de la complejidad: una nueva disciplina multicientífica y sus bases para la aplicación en la administración

Roberto Hernández Rojas Valderrama*
Luis Arturo Rivas Tovar**

Recibido: febrero 2008. Aceptado: abril 2008

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar las aportaciones de diferentes ciencias al estudio de la complejidad, a fin de entender el origen de conceptos que se han vuelto muy comunes en otras disciplinas, tales como: redes geonómicas, paisaje de aptitud, tensión disipativa, mecanismos de adaptación, gradiente de entropía, enredo cuántico, caos determinista, autoorganización, perturbación, autopoiesis, clausura operativa, acoplamiento, variedad suficiente, multidimensionalidad, bloque de construcción de agentes, procesos de agrupamiento, externalidades de red, leyes de poder y orden, entre otras.

Palabras clave: teoría de la complejidad, orden y caos, autoorganización, redes.

Abstract

The objective of this paper is to present the contributions of various sciences to the study of complexity. It is therefore possible to understand the origin of concepts that have become very common in other disciplines such as: networks, landscape aptitude, dissipative order, entropy gradient, chaos, deterministic chaos, self-organization autopoiesis, disturbance, multidimensionality, block construction of actors, processes grouping, laws of power and order, among others.

Key words: Complexity theory, order, chaos, self organization, network.

* Ingeniero en cibernética por la ULSA. Magíster en ciencias computacionales por el ITESM CEM. Magíster en administración de empresas por el ITAM. Doctorando en administración en la ULSA. Socio director de Kimat. rhernandez@scanda.com.mx

** Doctor en Ciencias Administrativas por el IPN de México, y doctor © en Estudios Europeos en el Instituto de Estudios Europeos, Instituto Universitario Ortega y Gasset, España. Catedrático de ES-CA- STO del IPN México, y profesor visitante de la Universidad Politécnica de Madrid. Investigador Nacional Nivel 1. larivast@ipn.mx, larivas33@hotmail.com.

El origen de la palabra “complejidad”, como gran parte del léxico científico occidental proviene de la palabra griega *plektós* que significa “retorcido”. La palabra evolucionó con el tiempo y en latín es *Complexus* que significa trenzado conjunto. De manera popular complejo es “algo difícil de entender” (Flor y Carso, 1993).

Según el Instituto Santa Fe—que es el centro de investigación que se ocupa del estudio de la complejidad a nivel mundial—, la complejidad se refiere a la condición del universo, el cual está integrado y es demasiado rico y variado para ser comprendido por mecanismos lineales simples. Podemos entender muchas partes del universo en múltiples formas, pero los más intrincados fenómenos solo pueden entenderse por principios y patrones pero no al detalle. La complejidad tiene que ver con la naturaleza de la emergencia, la innovación, el aprendizaje y la adaptación (Grupo Santa Fe, 1996).

La teoría de la complejidad debe ser entendida, epistemológicamente, como un cuerpo teórico conjunto, con explicaciones tanto causales como funcionales, aunque en ocasiones (como en el caso de las redes celulares en la genética) resulten ser paradójicas.

De acuerdo con Elster (1997), existen dos formas generales de enten-

dimiento a través de la ciencia: la explicación causal y la explicación funcional.

1. EXPLICACIÓN CAUSAL

La explicación causal tiene como elementos constitutivos los acontecimientos, y como reglas de construcción las causas entre estos acontecimientos.

La explicación causal, entonces, subsume los acontecimientos bajo leyes causales bajo los siguientes principios:

- **Determinismo:** todo acontecimiento tiene una causa.
- **Causalidad local:** una causa siempre actúa sobre lo que es contiguo a ella, en espacio y tiempo. La acción a distancia es imposible.
- **Asimetría temporal:** una causa debe preceder a su efecto, o por lo menos no sucederlo.

2. EXPLICACIÓN FUNCIONAL

La explicación funcional, basada en la selección natural de Darwin, propone los mecanismos de máximo local y equilibrio biológico, por medio de los cuales las especies evolucionan.

Las reglas de la selección natural del máximo local y equilibrio biológico son:

- Una característica estructural o de conducta de un organismo está explicada funcionalmente si se puede demostrar que es parte de un máximo individual local con respecto a la capacidad reproductiva, en medio de otros organismos que han alcanzado máximos locales similares.
- La evolución natural promueve la capacidad reproductiva del organismo individual, no la de la población, la de las especies o la del ecosistema.

La teoría de la complejidad constituye una de las vanguardias en el campo de la ciencia. En este artículo se presenta una revisión de los efectos de dicha teoría como integradora en las siguientes disciplinas: biología, física, sociología, ciencias sociales y economía.

En cada una de estas ramas de la ciencia se investigarán los bloques de construcción (elementos constitutivos) que estas teorías proponen.

3. TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD EN LA BIOLOGÍA

La teoría de la complejidad tiene sus bases biológicas en la selección natural propuesta por Darwin, también denominada teoría evolucionista o evolucionismo darwiniano (Depew, 1995).

De acuerdo con Depew, el evolucionismo darwiniano ha pasado por dos etapas; en sus comienzos tuvo intensa rivalidad como teoría basada en la selección natural, y en la segunda etapa se sintetizó con la genética para después expandirse con la sistemática, la biogeografía y la paleontología.

3.1. Bloque de construcción biológico

El bloque de construcción del que parte la teoría evolucionista de Darwin se basó en el estudio de seres vivos, específicamente en la evolución de las especies animales. El proceso mediante el cual se desarrollan los seres vivos, según esta teoría, es la selección natural.

Por su lado, Gregor Mendel, con base en la teoría de Darwin sobre la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la existencia llevó a cabo estudios para establecer los factores que determinaban la herencia; dichos factores hoy en día se conocen como genes.

Depew y Weber plantearon que la teoría evolucionista de Darwin es una instancia de la dinámica de Newton vista a través de la política económica. Argumentan que la dinámica de sistemas de Newton tiene características de sistema cerrado, determinista, reversible y atomista, y plantean que la selección natural es la

fuerza externa análoga a la gravedad que sigue estos mismos principios.

Al respecto Sterelny (1996) argumentó que la teoría de Darwin no obedece a los criterios de sistema cerrado, determinista y atomista; por el contrario, para Darwin la evolución biológica era un sistema abierto y no era reversible. En cuanto a la característica de atomista se podría considerar si se toman en cuenta a las especies o poblaciones, pero no a individuos. Estas reflexiones dieron como resultado la aparición de un nuevo concepto denominado darwinismo sintético, el cual agrega a la selección natural los conceptos de Boltzman y la revolución probabilística de la física, así como la concepción de la genética.

La unidad fundamental en la etapa del darwinismo sintético la conforma inicialmente el ADN, el cual conformará los genes y las proteínas, las cuales formarán cadenas mayores de células y, a través de redes de construcción, elementos mayores.

En *The Selfish Gene*, del biólogo británico Richard Dawkin menciona que los genes son definidos como las piezas elementales significativas de los mensajes genéticos y, en ausencia de mutaciones, éstos reproducen copias idénticas de sí mismos y entonces son potencialmente inmortales.

De acuerdo con el dogma básico de la biología molecular, el ADN es el repositorio básico de la complejidad de la biología. En general se conocen tres procesos para la formación de ADN, a través de los cuales se agrupan (conforman redes celulares de mayor complejidad): almacenamiento de información, procesamiento de información, ejecución de programas celulares.

3.2. Agrupación y organización biológica

Esta integración de distintos niveles organizacionales nos obliga a ver a las funciones celulares como distribuidas entre grupos de componentes heterogéneos que interactúan en redes grandes. Existe clara evidencia de la existencia de tales redes celulares: por ejemplo, el protenoma se organiza a sí mismo en una red de interacción de proteínas y los metabolitos se interconvierten a través de una red metabólica.

El hallazgo de que las estructuras de estas redes están gobernadas por los mismos principios ofrece una nueva perspectiva de la organización celular.

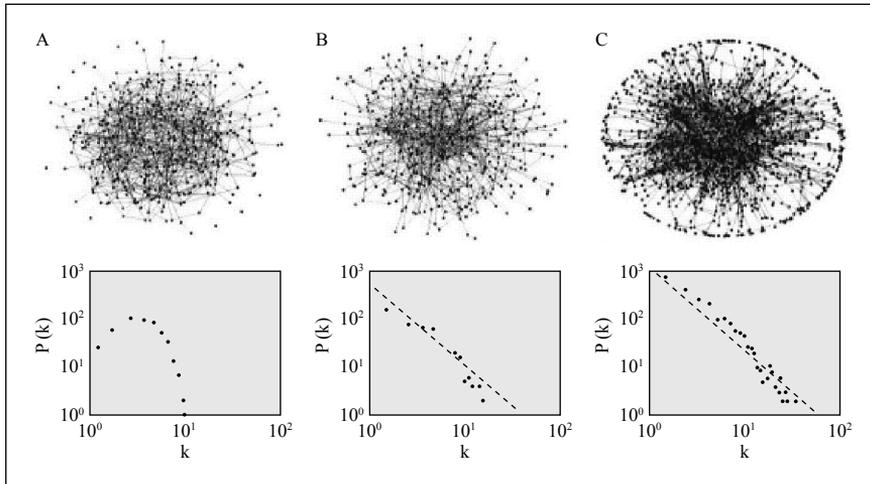
Según Zoltan y Barbasi (2002), una pirámide compleja simple, compuesta de varios componentes moleculares de la célula, genes, RNA, proteínas y metabolitos resume este

nuevo paradigma. Estos bloques de construcción elementales se organizan en pequeños patrones recurrentes llamados trayectorias en metabolismo y motivos en redes genéticas regulatorias. Ambos motivos y trayectorias están igualmente integrados para formar módulos funcionales –grupos de nodos (por ejemplo proteínas y metabolitos) que son responsables de funciones discretas celulares–. Estos módulos se

anidan de forma jerárquica y definen las funciones organizacionales de las células en gran escala.

Estas aportaciones de la biología de la teoría de la complejidad han conducido a estudiar los patrones de agrupación de las redes celulares en redes llamadas “de cableado”, donde se distingue la formación de estructuras no aleatorias a partir de procesos aleatorios.

Figura 1. Formación de estructuras no aleatorias



Fuente: Zoltan y Barabasi (2002).

Las redes genómicas amplias pueden ser descritas con miles de nodos, y por tanto se refieren como “redes complejas”, en contraste con las redes con bajo número de nodos que se estudian en la teoría gráfica tradicional.

Estos nodos generan estructuras no aleatorias que se derivan de N nodos conectados aleatoriamente, como se muestra en la figura 1.

Para conformar estas estructuras no aleatorias a partir de conexiones

aleatorias se parte del concepto de “atractor” a través del cual se agrupan las células y se forman patrones no aleatorios a partir de condiciones iniciales que determinan el destino de las células.

3.2.1. Condiciones iniciales de “dependencia de trayectoria de la célula”

Los destinos de la célula contienen incertidumbre sobre todo en las condiciones iniciales y la trayectoria que seguirá; pero una vez establecidas las condiciones iniciales, las células siguen un atractor definido.

Otra de las aportaciones de la biología a la teoría de la complejidad que merecen mención especial son los “paisajes de aptitud” desarrollados por Kauffman et al. (2000) al analizar la topología y dinámica en la agrupación de genes.

El estudio de Kauffman se basó en redes booleanas aleatorias como modelos para mostrar que, dada una coacción topológica mínima (tal como conectividad dispersa) la dinámica global de una red con N genes (trayectoria que va a seguir) va a estar lejos del caos (desorden), sino que va a estar cerca de las coacciones impuestas por un gen en particular –interacción de genes–, va a ser inevitable exhibir un comportamiento de orden colectivo.

3.3. DINÁMICA DE AGRUPACIÓN

Algunos estudios de la dinámica de agrupación que han realizado notables aportaciones son: los estudios aplicados a biosistemas, los parámetros de control y orden de Kelso, la creación de orden en los biosistemas propuesta por Salthe.

El estudio de Kelso sobre la tensión disipativa es un caso desarrollado de las propiedades de no-ergodicidad de los sistemas complejos. Kelso integra la tensión disipativa del mundo físico impuesta en organismos biológicos, y utiliza los parámetros de orden de Haken para dar sentido a la teorización acerca de cuáles fuerzas de tensión externa crean finalmente el orden biológico antes de que la selección darwiniana se establezca.

Salthe, en su teoría, resalta la importancia de factores causales (flujos de energía intrínsecos) los cuales, con una tendencia creacionista, plantea que son los que constituyen las condiciones iniciales en la selección natural, y que se pueden agregar a las propiedades de no-ergodicidad de los sistemas complejos.

Finalmente, y a manera de síntesis sobre las distintas aportaciones de la biología a la teoría de la complejidad, se pueden distinguir dos grupos de mecanismos (tabla 1) no

mutuamente excluyentes que contribuyen a la existencia de un sistema vivo, y que a su vez representan paradójicamente procesos funcionales (selección natural) y causales (intrínsecos).

Tabla 1. Mecanismos de adaptación Tipo I y Tipo II

Mecanismo tipo I: adaptación (selección natural)	Mecanismo tipo II: coacción interna (causal)
Evolución (neo) darwiniana: mutación aleatoria que genera variaciones fenotípicas, selección de una característica distinta basada en "aptitud" en un ambiente dado.	Inevitabilidad intrínseca (robustez) de una característica por coacciones en el mecanismo de su génesis o diseño: <ul style="list-style-type: none"> • Coacciones de arquitectura • Coacciones físicas • "autoorganización", formación de patrones • Coacciones de desarrollo • Coacciones históricas (filogenéticas, inercia)
Biología como una ciencia histórica	La biología puede ser histórica o ahistórica
Optimización (local) de una característica o funcionalidad	Optimización no necesaria, pero puede secundariamente distinguir una característica
Noción de propósito es central	Autoorganización usada para explicar "en lugar" de una característica
Adaptación como fuerza modular muy poderosa que genera características	Adaptación solo mantiene características favorables que son inevitables por coacciones
La selección natural es creativa	Selección natural es conservativa
Adaptación es la causa de las características	Adaptación es una consecuencia de las características

Fuente: elaboración propia.

4. TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD EN LA FÍSICA

La teoría de la complejidad en la física tiene sus orígenes a partir del desarrollo de la teoría general de sistemas (propuesta por Ludwig von Bertalanffy) y la derivación de ésta en estructuras disipativas y en la cibernética (desarrollada por Norbert Wiener) de primero, segundo y tercer orden.

Aunque no hay un acuerdo formal sobre el surgimiento de las estructu-

ras disipativas (Reynoso, 2006), este concepto es atribuido a Ilya Prigogine, el cual lo promueve como arquetipo central de la complejidad, sitúa la vida, la evolución y la humanidad en la misma serie que la totalidad de la naturaleza; describe variadas bifurcaciones, equipara caos y complejidad con aleatoriedad y, por último, ejemplifica casos de surgimiento de orden a partir del caos a través de la autoorganización.

4.1. Bloques de construcción

Inicialmente las leyes de termodinámica de la física clásica tenían como elementos constitutivos a la energía; pero la física cuántica agregó como elemento constitutivo a los átomos y los cuantos.

La teoría de catástrofes desarrollada por René Thom, la cual estudia singularidades, es decir, irregularidades, rupturas y quiebras; así como la teoría del caos, cuya primera expresión fue desarrollada por Wiener en 1938, constituyen también una base fundamental para el desarrollo de la teoría de la complejidad en el campo de la física.

4.2. Agrupación y creación de orden

En la física, la formación de grupos se ha visto a través del estudio de las dinámicas que ocurren para la creación de orden.

Dentro de los estudios de las dinámicas fuera de equilibrio, a continuación se citan las principales teorías que tratan acerca de la conformación de patrones o grupos a partir del caos, denominadas teorías de creación de orden.

En este apartado citaremos brevemente: el enredo cuántico y contexto de Gell-Mann y Omme's, la coraza

de granos vía gradientes de entropía de Prigogine, la creación de orden vía diferencial de energía externa de Lorenz, el caos cuántico de Mainzer, y los parámetros de orden en los primeros valores críticos de Haken.

Los primeros estudios de orden a partir del caos se llevaron a cabo en la física clásica al examinar la aleatoriedad de los cuantos y el surgimiento de fenómenos. En estos estudios se distinguen los conceptos que se podrán aplicar a la conformación de grupos en sistemas complejos económicos.

El enredo cuántico, propuesto por Gell-Mann y Omme's, describe la dependencia de trayectoria a través de atractores que se enmarcan dentro de la no-ergodicidad de los sistemas complejos de agentes económicos.

Gell-Mann (1994) define el enredo cuántico a través de la interacción de electrones que interactúan uno con el otro de tal manera que el estado del cuanto de uno es afectado por los otros, por lo que en una serie de intervalos de tiempo sus estados cuánticos son correlacionados. Esto es referido como "enredo". El estado del cuanto de un electrón dado es, por tanto, una función de su enredo con todos los otros electrones con los que está correlacionado.

Cuando se pasa una secuencia de intervalos de tiempo cada electrón

desarrolla “historias correlacionadas” con todos los otros electrones con los que ha tenido contacto. Pocas o ninguna historia dominan. Consecuentemente, no se puede asignar probabilidad de ocurrencia a una o más historias correlacionadas, las historias se confunden por sus interacciones con las historias de otros electrones. Para los físicos cuánticos, las probabilidades emergentes son el inicio del orden emergente de la materia; a menos que alguna fuerza perturbe los enredos de las historias correlacionadas, no se obtendrá la creación de orden.

4.3. La irreversibilidad y la flecha del tiempo

Prigogine, por su parte, desarrolla el concepto de irreversibilidad, el cual es una característica de la no-ergodicidad en los sistemas complejos sociales. Prigogine (1997) observó que la segunda ley de la termodinámica trae la teoría evolutiva a la física. Tomando la teoría evolucionista de Darwin, él argumenta que, tal como la evolución biológica es irreversible, así es la producción de entropía en la física. Éste es el fundamento de su foco en la irreversibilidad del tiempo. Darwin se basó en la “flecha del tiempo” de una vía de Eddington (1930), que es simplemente la idea de que mientras vemos fácilmente en el Universo que el orden se disipa en aleatoriedad, no vemos a la aleatoriedad disipándose en orden.

Prigogine argumenta que, tal como la evolución darwiniana produce complejidad biológica –así como los organismos que fallan a adaptarse a las tensiones impuestas por el medioambiente son selectivamente eliminados–, lo mismo ocurre con el proceso que produce la entropía. La tensión entre la energía alta y baja (y los estados de orden asociados) crea un diferencial de energía que inicia la autoorganización de los agentes y la resultante creación de orden.

Lorenz (1963), por su parte, introduce el modelo de caos determinístico de turbulencia en sistemas de clima construidos con celdas Bernard.

Mainzer sugiere que la existencia de movimiento caótico en sistemas hamiltonianos clásicos depende de irregularidades en los sistemas cuánticos correspondientes. Esto supone una propiedad de la transición de fases de los sistemas complejos que Mainzer llama caos cuántico.

Según la llamada premisa de Mainzer: inicialmente pequeños, existen efectos caóticos de cuantos que pueden acumularse para causar coraza de granos en átomos y, subsecuentemente, en fenómenos naturales de mayor nivel.

Finalmente, como aportaciones de la física a la complejidad cabe mencionar a premisa de Haken, que demuestra que en un punto de inestabilidad

forzado por $Re1$ y, después de haber alcanzado muchos grados de libertad en sistemas complejos por vectores inestables, los pocos vectores que permanecen (los parámetros de orden) gobiernan la naturaleza de la subsecuente autoorganización.

5. TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD EN LA SOCIOLOGÍA

La sociología ha realizado distintas aportaciones a la teoría de la complejidad mediante la inclusión de distintos conceptos tales como: la teoría de sistemas, la clausura de operación, la autoorganización, la autopoiesis, el acoplamiento estructural, la perturbación, y el equilibrio y la estabilidad.

El concepto de sistema está sostenido sobre una paradoja de base: el sistema es la diferencia que resulta entre éste y el entorno.

En campos paralelos como el de la información, la teoría actual, que se entiende como teoría de la diferencia, saca sus fundamentos de la formulación clásica de Gregory Bateson: la información es la “diference that makes a difference”. Por tanto, la información es una diferencia que lleva a cambiar el estado mismo del sistema; por el solo hecho de acontecer, transforma.

5.1. Autopoiesis

Lo social puede quedar explicado bajo la forma de una red de operaciones que genera una fenomenología de autopoiesis que fundamenta a la teoría de la complejidad. Para conformar estas redes los sistemas tienen distintas características.

El concepto de clausura operativa pretende establecer que el sistema produce un tipo de operaciones exclusivas: por ejemplo, un ser vivo que reproduce la vida que lo mantiene vivo, mientras puede permanecer con vida; o un sistema social que produce la diferencia entre comunicación y entorno en el momento en que lleva a efecto procesos de comunicación, es decir, en el momento en que la comunicación desarrolla una lógica propia de enlace de la próxima comunicación, que inventa su propia memoria, y con esto se deslinda (se diferencia) de lo específicamente viviente.

A través de la clausura de operación es como los sistemas pueden desarrollar operaciones que les permitan desenvolverse en su entorno, entre estos procesos de desarrollo se encuentra la agrupación con otros sistemas, pero solo a través de los procesos internos del sistema en cuestión.

Con clausura no se entiende aislamiento termodinámico, sino so-

lamente cerradura operacional, es decir, que las operaciones propias del sistema se vuelven recursivamente posibles por los resultados de las operaciones propias del sistema.

La clausura operativa trae como consecuencia que el sistema dependa de su propia organización. Las estructuras propias se pueden construir y transformar únicamente mediante operaciones que surgen en él mismo. La clausura operativa hace que el sistema se vuelva altamente compatible con el desorden en el entorno o, más precisamente, con entornos ordenados de manera fragmentaria, en trozos pequeños, en sistemas varios, pero sin formar una unidad. El axioma de la clausura operativa conduce a los dos puntos más discutidos en la actual teoría de sistemas: a) autoorganización, b) autopoiesis.

5.2. Autoorganización

El concepto de autoorganización es otra aportación de esta ciencia y se refiere a la construcción de estructuras propias dentro del sistema. Como los sistemas están clausurados en su operación no pueden importar estructuras, ellos mismos deben construirlas. Para efectos de agrupación a través de la autoorganización, los sistemas internos generan estructuras propias de autoorganización y, a través de un atractor común entre sistemas, y de las condiciones iniciales de

las que parten, se definirá el patrón de agrupación de los sistemas.

El concepto de “autopoiesis” fue desarrollado por Maturana y Varela, y aunque estos científicos eran biólogos de origen, la repercusión fundamental del concepto se ha dado en el campo sociológico. Autopoiesis significa determinación del estado siguiente del sistema a partir de la limitación anterior a la que llegó la operación. Para efectos de agrupación la autopoiesis le da significado a la trayectoria de atracción que conformará al grupo

En la definición de Maturana autopoiesis significa que un sistema sólo puede producir operaciones en la red de sus propias operaciones. La red en la que esas operaciones se llevan a cabo es producida por ellas mismas.

Un sistema autopoietico produce las operaciones que son necesarias para generar más operaciones, sirviéndose de la red de sus propias operaciones.

Las transformaciones de las estructuras, que sólo pueden efectuarse en el interior del sistema (de modo autopoietico), no se producen a discreción del sistema sino que deben afirmarse en un entorno que el mismo sistema no puede sondear en su totalidad, y que a fin de cuentas no

puede incluir en sí mismo a través de la planeación.

El concepto de acoplamiento estructural (planteado por Luhmann) es otra de las aportaciones a la complejidad. Según esta idea, el entorno sólo puede influir causalmente en un sistema en el plano de la destrucción, pero no en el sentido de la determinación de sus estados internos.

Es en el acoplamiento estructural en donde se encuentra la dinámica de la agrupación de los sistemas sociales, y es el proceso el que permite que los sistemas sociales se agrupen o sean compatibles con un atractor común.

La distinción que Maturana introduce para cimentar el concepto de acoplamiento estructural diferencia, como se puede contemplar, dos planos: el de la autopoiesis en el que se decide la conservación del sistema, y el acoplamiento entre sistema y entorno que sólo está referido a las estructuras y a aquello que en el entorno pueda ser relevante para dichas estructuras.

El concepto de acoplamiento estructural señala con alta capacidad de delimitación que se trata de un pequeño espectro de selección de efectos posibles en el sistema.

5.3. Perturbación

Finalmente, como último concepto aportado por la sociología a la complejidad tenemos el de “perturbación” (descrito por Luhmann), que hace referencia a la antigua teoría de los sistemas en equilibrio. La perturbación está puesta en la línea explicativa del equilibrio en dos sentidos: 1) en la facilidad con la que un sistema puede perder el balance, y 2) en que se debe disponer de una infraestructura, de un mecanismo, por el que en caso de perder el equilibrio pueda regresarse a él; en el caso de la economía, la manipulación de los precios; o en el caso del aumento unilateral de tropas, responder con aumento de armamento.

El acento actual de la investigación sobre los sistemas no está puesto en el equilibrio sino en la estabilidad: hay sistemas que no se encuentran en equilibrio y que son estables (o pueden ser estables). En la economía se dice: el sistema es estable: a) porque existe sobreoferta de mercancía con pocos compradores, o b) porque hay sobreoferta de compradores y escasez de mercancía. El punto decisivo de la reflexión en torno a esta problemática, en la actualidad, consiste en haber caído en la cuenta de que el estado de equilibrio presupone un estado de demasiada fragilidad como para que pueda ser estable.

La información modifica el contexto interno de la autodeterminación sin rebasar la estructura legal con la que el sistema tiene que contar. Las informaciones son, por consiguiente, acontecimientos que delimitan la entropía, sin determinar por ello al sistema. La información sólo es posible en el sistema. Cada sistema produce su información ya que cada uno construye sus propias expectativas y esquemas de ordenamiento.

Una selección es un acoplamiento interno y no un suceso que se desarrolla en el entorno. De aquí que la estructura del tiempo sea distinta en cada sistema.

6. TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD EN LAS CIENCIAS SOCIALES

En los años cincuenta y sesenta, el punto central de las deliberaciones sobre el tema de la complejidad estuvo puesto en la pendiente (gradiente) de complejidad que se establecía entre el sistema y el entorno. Como punto de partida, el entorno fue entendido como dotado de mucha mayor complejidad que el sistema y, debido a eso, tenía que ser establecida una pendiente de complejidad entre ellos.

A la teoría de la complejidad se han incorporado distintos conceptos de lo que podríamos denominar ciencias sociales para resumir en esta arbitra-

ria agrupación a disciplinas muy dispares tales como la administración, la historia o la literatura, que tratan de resolver el tratamiento de la complejidad del ambiente. En este apartado nos ocuparemos de definir los siguientes conceptos: variedad suficiente, reducción de la complejidad, gradación por niveles, racionalidad limitada, sistema como diferencia, bloques de construcción de los sistemas complejos sociales, procesos de desarrollo de organizaciones sociales complejas, conformación de redes, temporalización, y multidimensionalidad

6.1. Variedad suficiente

Según Ashby, el sistema no tiene la capacidad de presentar una variedad suficiente (*requisite variety*) para responder punto por punto a la inmensa posibilidad de estímulos provenientes del entorno. El sistema, de este modo, requiere desarrollar una especial disposición hacia la complejidad en el sentido de ignorar, rechazar, crear indiferencias, recluirse sobre sí mismo. De aquí surgió la expresión reducción de complejidad para referirse a la relación del sistema con el entorno, pero también a la relación consigo mismo, sobre todo cuando se trataba de comprender las instancias de racionalidad.

Al tratamiento teórico sobre la imposibilidad de correspondencia punto por punto del sistema con el entorno

se le puede seguir la huella a partir de la psicología funcional de los años treinta. Los límites visualizados en el modelo estímulo/respuesta (*input/output*) condujeron a pensar que entre el sistema y el entorno debería existir “algo intermedio” encargado de llevar adelante la función de transformación, y que esto no debería consistir propiamente en una función matemática. Este tema fue la tarea prioritaria de la escuela de psicología funcionalista de Egon Brunswik, y la expresión reducción de complejidad se encuentra por primera vez (hasta donde se sabe) en un libro de Jerome Bruner, *Study of Thinking* (1956). Anterior a él se pueden encontrar expresiones semejantes en Kenneth Burke, especialista en literatura, quien ya había hablado de *scope and reduction* (enfoque y reducción) como una operación que logra el texto o el drama concebido como un sistema de acción.

6.2. Gradación por niveles

Otra modalidad teórica que de alguna manera consideró el problema de la complejidad fue la teoría de la “gradación por niveles”. La hipótesis de la gradación establece que las crisis ponen de manifiesto un estado excepcional del sistema en el que lo normal es precisamente lo no permitido, lo no necesario. En las crisis se puede hacer lo desacostumbrado: cambiar estructuras en situaciones en que normalmente no se cambiarían.

Una versión más formal de la teoría de gradación por niveles es la que introdujo Ashby, uno de los primeros científicos en el campo de la cibernética. Ashby descubre que un sistema que puede disponer de niveles de gradación se puede designar como ultraestable. El estimulante descubrimiento consistió en articular (¿) que el cambio sólo acontecía en la medida en que el sistema podía delimitar secciones.

La idea de la teoría de la gradación por niveles significó, por tanto, un rompimiento con la hipótesis de la simultaneidad de las interdependencias. Idea que en la actualidad se ha reforzado con el contexto de la teoría de los sistemas acoplados (*loose coupling*), pero que no aporta algo novedoso a la teoría de la complejidad ya que los sistemas que están acoplados con una cierta amplitud son más estables que aquellos que presentan un acoplamiento estricto (*tight coupling*).

7. TEORÍA DE LA RACIONALIDAD

Siguiendo estos rastros de hipótesis sobre la complejidad se llega directamente a la teoría de la racionalidad (Herbert Simon) limitada que surgió de la falacia de la competencia en un mercado perfecto. El mercado, se pensaba, es el que establece los precios y, en ese sentido, deja poco margen de operación al inversionista.

La construcción de la racionalidad limitada fue más allá, al entender que la organización no dependía de la decisión de un sólo hombre *sino del juego de reglas* entre condiciones de mercado (macroeconomía) y condiciones inherentes a la organización (microeconomía).

La evidencia destacada por Simon fue demostrar que las condiciones de cambio de un sistema no se podían calcular en su totalidad porque esto supondría conocer absolutamente todas las variables que pudieran producir en él algún efecto.

Otra idea relevante que ha enriquecido la teoría de la complejidad es la conformación de redes, la cual se lleva a cabo por el proceso de acoplamiento estructural, en donde en órdenes cuantitativamente grandes, los elementos pueden enlazarse sólo a condición de que este acoplamiento se lleve a cabo de manera selectiva.

Sobre el tópico de la selectividad de la comunicación, bajo las características de formaciones de estrella o de cúspide o circular (como las familias), existe mucha investigación empírica, llamada análisis de red, en la que se estudia la capacidad de procesar información y de innovar.

La variable tiempo comienza a jugar un papel decisivo en la medida en que los elementos se conciben con posibilidad de cambiar su relación des-

de el momento en que se pueden enlazar selectivamente o que pueden quedar ensamblados de otra manera. Se introduce, así, otra dimensión de la complejidad: un sistema puede lograr la realización de distintos modelos de respuesta con tal de que haya manera de ordenarlos bajo una secuencia, lo cual conduce al concepto de “temporalización de la complejidad”. Un sistema puede ser más complejo que otro en una dimensión, mientras que este último puede serlo en otra: uno puede tener más relaciones; el otro tiene más elementos, o más posibilidad de cambios en la relación de los elementos.

8. TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD EN LA ECONOMÍA

Según McDaniel (2005), a finales de 1700 emergió un nuevo individuo sociológicamente distinto, que es el empresario, pero solo hasta 1930 fue Schumpeter quien comenzó a definir su rol y actividades en los sistemas económicos.

8.1. Innovación

Schumpeter centra sus teorías en los conceptos de la necesidad innata del hombre de innovar, rompiendo con la teoría clásica donde se entendía a la innovación como producto de la maximización de la utilidad de las empresas.

Acorde con Schumpeter en su análisis de los motivos empresariales enfatiza tres elementos para la innovación: el sueño y la voluntad de encontrar un reino privado; la voluntad de conquistar, de tener éxito no por los frutos del mismo, sino por el éxito mismo; y finalmente la alegría de crear, de que las cosas se hagan. Solamente el primero de éstos está directamente vinculado con la adquisición de propiedad privada (Elster, 1997).

Con base en los conceptos de la teoría económica evolucionista de Schumpeter, se vincula la teoría de la complejidad en la economía también denominada como complejidad económica, la cual tiene fundamentos teóricos en una serie de escritos desarrollados por autores como Anderson, Arrow y Pines (1988), Arthur, Durlauf y Lane (1997), y Blume y Durlauf (2003).

Según Durlauf (2003), actualmente hay tres áreas de trabajo en interfaces empíricas de complejidad.

1. La primera consiste en estudios históricos, sobre todo en cuestiones de actividades económicas con dependencias de trayectorias.
2. La segunda consiste en la identificación de patrones de datos que son consistentes con algunas características de ambientes complejos. Se ha hecho un gran

esfuerzo en identificar leyes de poder que representan una clase particular de distribuciones de probabilidad y leyes de escala, que describen relaciones entre variables que aparentan ser independientes de la escala de medición, que ocurren en series económicas de datos.

3. Una tercera área de trabajo se enfoca en el estudio de interacciones sociales, entre las cuales se encuentran aquellos que analizan las interdependencias entre actores individuales que conforman el corazón de la microestructura de modelos basados en complejidad.

En estas tres ramas de estudio los sistemas complejos en la economía tienen implicaciones que pueden ser resumidas en cuatro: los bloques de construcción-agentes económicos, los procesos de agrupación, las dependencias de trayectoria y las externalidades en red, y las leyes de poder y de escala.

De acuerdo con Durlauf (2003), los sistemas complejos en economía se pueden entender como aquellos que se componen de un conjunto de agentes (económicos) heterogéneos cuyos comportamientos son interdependientes y pueden ser descritos como un proceso estocástico.

Para Durlauf (2001), la no ergodicidad, la transición de fases, las propie-

dades emergentes y la universalidad caracterizan a los sistemas complejos. A través de estas propiedades podemos entender cómo se plantea desde la economía en distintos tipos de agrupación.

1. **No ergodicidad.** Un sistema es no ergódico si los argumentos de probabilidad condicional que lo describen no caracterizan únicamente el comportamiento promedio o de largo plazo del sistema. Un ejemplo de un sistema no ergódico es aquél donde un evento en un punto de tiempo afecta el estado a largo plazo del sistema.
2. **Transición de fases.** Un sistema exhibe transición de fases si puede sufrir cambios cualitativos en sus propiedades agregadas debidos a cambios pequeños en sus parámetros.
3. **Propiedades emergentes.** Las propiedades emergentes de un sistema existen en un nivel superior de agregación mayor que la descripción original de un sistema.
4. **Universalidad.** Una propiedad es universal si su presencia es robusta a especificaciones alternativas de la microestructura del sistema.

9. DEPENDENCIA DE TRAYECTORIA

El concepto de *dependencia de trayectoria* fue propuesto por David (1985), y se refiere a un conjunto

de decisiones descentralizadas, no coordinadas, hechas por agentes en un ambiente donde hay fuertes externalidades de red.

Aunque este estudio de dependencia de trayectoria fue duramente cuestionado por Liebowitz y Margolis (1990, 1995), no lo invalida, pero sí establece los límites de los estudios históricos en la complejidad económica.

La lógica de la dependencia de trayectoria, sobre todo en el contexto de estándares tecnológicos, deriva enteramente de la presencia de las externalidades de red, como se ilustra en el trabajo de Farell y Saloner (1985, 1986). La dependencia de trayectoria se puede entender como equivalente a la no ergodicidad de los sistemas complejos.

La segunda área de trabajo empírico de la complejidad en la economía ha sido el intento de identificar la presencia en datos económicos de ciertos tipos de propiedades estadísticas que están asociadas con sistemas complejos. En particular las leyes de poder y escala.

El mejor ejemplo de una ley de poder es la ley de Zip relacionada con la frecuencia de los objetos y sus tamaños; se ha utilizado en fenómenos tales como los rangos de la distribución de palabras en textos, así como la

distribución del número de especies, y en datos socioeconómicos.

En la comunidad física ha surgido un subcampo denominado “econofísica”, en donde se llevan a cabo actividades de investigación para encontrar leyes de poder y escala en conjuntos de datos socioeconómicos diferentes. Esta literatura ha sido presentada por Mantegana y Stanley (2000); entre los programas de investigación se encuentran:

- *Salida per cápita*. Canning et al. (1998) encontraron que hay una relación lineal aproximada entre el “log” de la varianza de residuales en salidas de capital reales y el “log” del nivel de salida.
- *Fluctuaciones de precio de acciones*. Gabaix et al. (2002) argumentaron a favor de una ley de poder cúbico para rendimientos de precio de acciones.
- *Crecimiento de firmas*. Amaral et al. (1997) examinaron los rangos de crecimiento de empresas de manufactura. Encontraron que la densidad condicional de los rangos de crecimiento de una firma, dado el log de su tamaño al inicio del año, se aproxima bien a la distribución exponencial.

Las investigaciones en esta área intentan medir las interdependencias en el comportamiento entre individuos.

Una parte de la literatura ha intentado modelar la influencia de grupos en el comportamiento individual. En estos trabajos el investigador construye un modelo de probabilidad para predecir el comportamiento individual dado un conjunto de variables de control individuales y grupales.

De acuerdo con Duraluf (2001), como en los dos casos anteriores, hay razones por las que la evidencia empírica que se ha generado en interacciones sociales no es decisiva. Un problema con mucha de la literatura de interacciones sociales es la falta de atención para distinguir entre diferentes fuentes de efectos sociales. Como argumenta Manski (1993), los efectos sociales pueden ser contextuales: características predeterminadas de un grupo pueden afectar las selecciones individuales; o endógenos: representan retroalimentación directa entre agentes.

10. TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD EN LA BIOECONOMÍA

La teoría de la complejidad en la economía ha generado diversas áreas de estudio. Recientemente se ha denominado bioeconomía al estudio de la economía con base en teorías del comportamiento social que tienen fundamento en la selección natural. Al igual que la economía, la bioeconomía tiene como elementos constitutivos de estudio a los agentes

económicos como son las dinámicas fuera de equilibrio en la formación de grupos. Dentro de los aspectos que la bioeconomía agrega al estudio de la formación de grupos se destaca el estudio de los agentes económicos fuera de equilibrio.

Adicionalmente a las teorías biológicas evolutivas varios autores han utilizado las ciencias exactas (física y matemática) para estudiar la economía a través de dinámicas fuera de equilibrio.

El aspecto económico evolutivo de la bioeconomía se originó por Spencer (1898), Alchain (1950) y Friedman (1953) al utilizar la teoría seleccionista de Darwin para justificar que sólo las firmas racionales sobreviven. Samuelson (1947) y Friedman (1953) se basaron en las matemáticas de la física clásica en la Primera ley de la termodinámica (la ley de conservación de la energía), y en la centralidad del equilibrio para hacer de la economía una ciencia predictiva (McKelvey, 2004).

Para sacar a la economía fuera de su estancia centrada en equilibrio, Nelson et al. (1982) utilizaron la teoría darwiniana seleccionista para introducir la dinámica en la economía ortodoxa. Hoy Salthe (1993), Rosenberg (1994), Eldredge (1995) y Kauffman et al. (2000) todos retoman el seleccionismo de la teoría darwiniana como una teoría basada también en

el equilibrio. Ellos concluyen que las dinámicas más significativas en las esferas biológicas y económicas no son varianzas alrededor del equilibrio” (McKelvey, 2004).

Una de las formas de estudio de la conformación de grupos en agentes económicos fuera de equilibrio se hace a través de la teoría del paisaje de Kauffman.

El orden en las esferas biológicas y económicas es ahora visto como las interacciones de agentes heterogéneos tales como partículas, átomos, moléculas, organismos, personas y firmas. Kauffman (1993) en su libro argumenta que cuando un sistema complejo alcanza un cierto punto, la creación de orden espontáneo de los agentes domina la creación de orden vía el proceso de selección darwiniano.

11. CONCLUSIONES

La teoría de la complejidad puede ser resumida como la teoría de las implicaciones de las partes en el todo y el estudio de todas las cosas. Es una teoría de la importancia del todo. Este concepto nos obliga a recoger las aportaciones de diversas disciplinas que, más que contradecirse, se complementan.

Aportaciones de diferentes mentes desde diversas tradiciones han enriquecido el léxico sobre la complejidad.

Conceptos tales como: redes geonómicas, paisaje de aptitud, tensión disipativa, mecanismos de adaptación, gradiente de entropía, enredo cuántico, caos determinista, autoorganización, autopoiesis, perturbación, clausura operativa, acoplamiento, variedad suficiente, multidimensionalidad, bloque de construcción de agentes, procesos de agrupamiento, externalidades de red, leyes de poder y orden, entre otras, forman parte de un poderoso léxico que puede ser ahora compartido y enriquecido por diferentes disciplinas.

En este documento hemos pretendido dar una introducción a todos estos estimulantes conceptos, más como una provocación que con un afán explicativo.

El espíritu que nos ha motivado a escribir este trabajo se basa en una idea simple: el estudio de la complejidad requiere de un nuevo tipo de científico transversal y transdisciplinar, donde las búsquedas de las respuestas están en las implicaciones de las partes que en el estudio de las partes mismas.

La lección aprendida, por tanto, es que los grandes descubrimientos del futuro requerirán la comunión de múltiples formas de contemplar el mundo.

A manera de conclusión, en la tabla 2 se resumen las contribuciones de la complejidad en las ramas de la ciencia estudiadas en este artículo.

Tabla 2. Aportaciones de la biología, la física, la sociología, las ciencias sociales y la economía a la teoría de la complejidad

Área	Concepto	Autor	Descripción
Biología	Selección natural	Charles Darwin	Proceso por el cual se desarrollan y evolucionan los seres vivos.
	Factores de herencia (genes)	Mendel	La herencia es transmitida por un número considerable de factores independientes.
	Darwinismo sintético	Sterelny	Agrega a la selección natural los conceptos de genética y probabilidad.
	Bloques de construcción biológica (genes)	Richard Dawkin	Piezas elementales de los mensajes genéticos.
	Trayectorias y motivos	Zoltan	Mecanismos a través de los cuales se definen funciones organizacionales.
	Paisajes de aptitud	Kauffman	Comportamiento de orden colectivo en la dinámica de agrupación de genes.

Continúa

Área	Concepto	Autor	Descripción
Física	Estructuras disipativas	Prigogine	Arquetipos centrales de la complejidad.
	Enredo cuántico	Gell Mann y Omme's	Dependencia de trayectoria a través de atractores.
	Irreversibilidad	Prigogine	Tal como la evolución biológica es irreversible, así es la producción de entropía en la física.
Sociología, ciencias sociales	Autopoiesis	Maturana y Varela	Determinación del sistema a partir de la limitación anterior a la que llegó la operación.
	Autoorganización	Varela	Construcción de estructuras propias dentro del sistema.
	Acoplamiento estructural	Luhmann	El entorno sólo puede influir causalmente en un sistema en el plano de destrucción, pero no en sentido de la determinación de sus estados internos.
	Perturbación	Luhmann	Facilidad de que un sistema pueda perder el balance y la disposición de una infraestructura para regresar a él.
	Variedad suficiente	Ashby	Falta de variedad suficiente para responder punto por punto a estímulos provenientes del entorno.
	Reducción de la complejidad	Bruner	Función de transformación entre el sistema y el entorno.
	Gradación por niveles	Ashby	Las crisis ponen de manifiesto un estado excepcional del sistema.
Economía	Innovación	Schumpeter	La innovación a través del sueño y la voluntad de encontrar un reino privado.
	Dependencia de trayectoria	David	Conjunto de decisiones descentralizadas no coordinadas hechas por agentes en un ambiente donde hay fuertes externalidades de red.

REFERENCIAS

Aguirre, J. L. (2004). *Prospectiva Tecnológica Industrial de México 2002-2015*. Consejo de desarrollo tecnológico y científico de Nuevo León.

Anderson, P., K. Arroz y D. Pines (1988). *The Economy as an Evolving Complex System*. EE.UU.: Addison Wesley.

Anderson, J., M. Tushman (1990). *Technological discontinuities and dominant design: A cyclical mo-*

- del of technological change. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 2, pp. 604-633.
- Amaral, L. et al. (1997). Scaling Behavior in Economics: The problem of Quantifying Company Growth. *Physica A*, 1-24.
- Amiti. Asociación Mexicana de la Tecnología de Información. México.
- Arthur, W. (1994). *Increasing returns and path dependency in the economy*. EE.UU.: The University of Michigan Press.
- Arthur, W. (1999). *Complexity and the Economy*. Santa Fe Institute. EUA
- Arthur, W., S. Durlauf y D. Lane (1997). *The Economy as an Evolving Complex System II*. EE.UU.: Addison-Wesley.
- Atilio, A., J. Ricart (2003). Corporate strategy revisited: a view from complexity theory. *European management review*. España.
- Auger, P., A. Barnir, J. M. Gallagher (2003). Strategic Orientation, Competition, an Internet-Based Electronic Commerce. *Information Technology and Management*.
- Becker, G. (1986). Let the marketplace judge Microsoft. *Business Week*, 26.
- Blume, L. y S. Durlauf (2001). *The Interactions-Based Approach to Socioeconomic Behaviour in Social Dynamics*. EE.UU.: MIT Press.
- Bowles, S., P. Hammerstein (2003). *Does Market Theory Apply to Economy?* EE.UU.: Santa Fe Institute.
- Bynolfsson, E., C. F. Kemerer (1996). Network Externalities in Minicomputer Software: An Econometric Analysis of the Spreadsheet Market. *Management Science*. EE.UU.
- Canning, D., L. Amaral, Y. Lee, M. Meyer, H. E. Stanley (1998). Scaling the Volatility of GDP Growth Rates. *Economic Letters*, 60, pp. 335-341.
- Collis, D. (1992). The strategic management of uncertainty. *European Management Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 125-135.
- Conlisk, J. (1997). *Modern capitalism: its growth and transformation*. Inglaterra: St Martin's Press.
- Cusumano, M., Y. Mylonadis (1992). Strategic Maneuvering and Mass-Market Dynamic. The Triumph of VHS Over Beta. *Business History Rev.*
- Cyert, R., J. March (1963). *A behavioral theory of the firm*. EE.UU.: Prentice-Hall.
- David, P. (1985). Clio and the Economics of QWERTY. *American Economics*, 75, 332-337. EE.UU.
- Dess, G., G. T. Lumpkin, J. G. Govin (1997). Entrepreneurial Strategy making and performance: Test of contingency and configuration Models. *Strategic Management Journal*. EE.UU.
- Depew, D., B. Weber (1996). *Darwinism Evolving: Systems Dyna-*

- mics and the Genealogy of Natural Selection* (Review). EE.UU.: MIT Press.
- Daft, R., A. Lewin (1993). Where are the theories for the new organizational forms? An editorial essay. *Organizational Science*, 4. EE.UU.
- Duncan, R. (1972). Characteristics of organizational environments and perceived environmental uncertainty. *Administrative Science*, 17, 313-327. EE.UU.
- Duralauf, S. (2003). *Complexity and Empirical Economics*. EE.UU.: University of Wisconsin.
- Duralauf, S. (2001). A Framework for the study of Individual Behavior and Social Interactions. *Social Methodology*, 31, 47-87, 2001. EE.UU.
- Dutta, S., B. Lanvin, F. Paua (2004). *The Global Information Technology Report 2003-2004*. EE.UU.: Oxford University Press.
- Eddington, A. S. (1930). *The Rotation of the Galaxy*. Clarendon Press, Oxford.
- Eguíluz, V., M. Zimmermann, C. Cella-Conde, M. San Miguel (2005). Cooperation and the Emergence of Role Differentiation in the Dynamics of Social Networks. *The American Journal of Sociology*. EE.UU.
- Elster, Jon (1997). *El cambio tecnológico*. Madrid: Gedisa.
- Emery, F., E. Trist (1965). The casual texture of organizational environments. *Human Relations* 18, 49-63.
- ESANE Consultores S.C. (2004). Fase 1. Análisis de los nichos de mercado mundial de software y servicios relacionados, y perfil de la industria mexicana de software y servicios relacionados. Criterio 2. Análisis de las características de oferta y demanda en los nichos de mercado mundial de software y servicios. México: Secretaría de Economía.
- ESANE Consultores S.C. (2004). Fase 1. Análisis de los nichos de mercado mundial de software y servicios relacionados, y perfil de la industria mexicana de software y servicios relacionados. Criterio 2. Perfil de la industria mexicana de software y servicios relacionados. México: Secretaría de Economía.
- Fagerberg, J. (2003). Schumpeter and the revival of evolutionary economics: an appraisal of the literature. *Journal of Evolutionary Economics*. Portugal: Springer-Verlag.
- Fahey, L., K. Narayanan (1986). *Macroenvironmental analysis for strategic management*. EE.UU.: West Publishing Company.
- Farell, J. G. Saloner (1985). Standardization, Compatibility and Innovation. *American Economic Review*, 75, 332-337.
- Farell, J. G. Saloner (1986). Installed base and compatibility: innovations, product preannouncements.

- ments, and predation. *American Economic Review*, 76, 940-955.
- Farell, J. G. Saloner (1992). Converters, compatibility, and the control of interfaces. *J. Industry Economic*, 40, 9-35.
- Fellner, W. (1961). Two propositions in the theory of induced innovations. *Economic Journal*, 71, 305-8.
- Fichman, R., C. Kemerer (1993). Adoption of Software Engineering Process Innovations. The Case of Object-Orientation. *Sloan Management Review*, 34, 2, 7, 22.
- Flod, R. Carso M. (1993). *Dealing with complexity*. 2 edition. UK: Plenum Press.
- Gabaix, X., P. Gopikrishnan, V. Plerou, H. Stanley (2002). *A simple theory of Asset Market Fluctuations, Motivated the Cupic and Half Cubic Laws of Trading Activity in the Stock Market*. EE.UU.: MIT.
- Galbraith, J. (1973). Designing complex organizations. *Harvard Business Review*, 71 (4), 78-91.
- Gardner, R. (1995). *Juegos para empresarios y economistas*. España: Antoni Bosch.
- Garud, R., P. Karnoe (2001). Path creation as a process of mindful deviation. In R. Garud, P. Karnoe (eds.). *Path Dependence and Creation*. EE.UU.: Laurence Earlbaum Associates.
- Gell-Mann, M. (1994). *The quark and the Jaguar*. EE.UU.: Freeman.
- Gintis, H. (2005). *Behavioral Game Theory and Contemporary Economic Theory*. Stuttgart: Lucius & Lucius.
- Greenstein, S. (1993). Lock-in and Costs of Switching Mainframe Computers Vendors: What Do Buyers See? EE.UU.: University of Illinois Faculty. Working Paper 91-0133.
- Hicks, J. (1932). *The Theory of Wages*. London: MacMillan.
- Huang, S. (2004). *Back to the biology in systems biology: What can we learn from biomolecular networks?* Henry Stewart Publications.
- Huff, A. S., J. O. Huff (2000). *El cambio estratégico*. México: Oxford University Press.
- Janboun, N., K. Azaddin, A. Yusuf (2003). Environmental Uncertainty, Strategic Orientation, and Quality Management: A Contingency Model. *The Quality Management Journal*. EE.UU.
- Katz, M., L. Shapiro (1985). Network Externalities, Competition and Compatibility. *American Economic Review*, 73, 424-440.
- Katz, M., L. Shapiro (1992). Product introduction with network externalities. *J. Industry Economic*, 40, 55-83.
- Kauffman, R., J. McAndrew, Y. Wang (2000). Openings the "Black Box" of Network Externalities in Network Adoption. *Information Systems Research*. EE.UU.
- Kennedy, C. (1964). Induced bias in innovation and the theory of distribution. *Economic Journal*, 74, 541-7.

- Lawrence, P., W. Lorsch (1967). *Organization and environment*. EE.UU.: Homewood.
- Lee, J., J. Lee, H. Lee (2003). *Exploration and exploitation in the presence of network externalities*. Korea: Graduate School of Management.
- Leibowitz, S., J. Margolis (1990). The fable of the keys. *J. Law Economic*, 22, 1-26.
- Leibowitz, S., J. Margolis (1995). Path dependence, lock-in, and history. *J. Law Economic*, 11, 205-226.
- Lorenz, Eduard N. (1963). Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of Atmospheric Sciences*, 20(2); pp. 30-141.
- Markam, J. (1986). The Megacorp and Oligopoly: Mirco Foundations of Macro Dynamics. *Business History Review*.
- Malerba, F., R. Nelson, L. Orsenigo, S. Winter (1999). *History-Friendly Models of Industry Evolution: The computer Industry*.
- Mantegana, R., H. E. Stanley (2000). *Introduction to Econophysics*. EE.UU.: Cambridge University Press.
- Manski, C. (1993). Identification of Endogenous Social Effects: The Reflection Problem. *Review of Economic Studies*, 60, 531-542.
- Mckelvey, B. (2004). Toward a 0th Law of thermodynamics: Order-Creation Complexity Dynamics from Physics and Biology to Bioeconomics. *Journals of Bioeconomics*.
- McDaniel, B. (2005). A Contemporary View of Joseph A. Schumpeter's Theory of the Entrepreneur. *Journal of Economic Issues*.
- Metcalfe, J. (1998). *Evolutionary economics and creative destruction*. London: Routledge.
- Miles, D., C. Snow (1978). *Organizational Strategy, structure, and process*. EE.UU.: McGraw-Hill.
- Millar, D., P. Friesen (1984). *Organizations: A quantum view*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Namiki, N. (1989). Miles and Snow's Typology, perceived environmental uncertainty, and organizational performance. *Akron Business and Economic Review*, 20, (2), 27-89.
- Nelson, R., R. Sydney, G. Winter (1982). *An evolutionary theory of economics*. EE.UU.: Belknap.
- Pindyck, R., D. Rubinfeld (1998). *Microeconomía*. Madrid: Prentice Hall Ibérica.
- Prigogine, Ilya. (1997). *The End of Certainty*. Editions Odile Jacob. Estados Unidos, New York.
- Puu, T., I. Sushko (2002). *Oligopoly Dinamics*. Alemania.
- Reynoso, C. (2006). *Complejidad y caos, una exploración antropológica*. Buenos Aires: Editorial SB.
- Ross, J.; D. Oliver (1999). *From Fitness Landscapes to Knowledge Landscapes*. EE.UU.: Systemic Practice and Action Research.

- Russell, D., J. Russell (1992). An examination of the effect of organizational norms, organizational structure, and environmental uncertainty on entrepreneurial strategy. *Journal of Management* 18 (4), 639-647.
- Ruelle, D. (2003). *Causalidad y caos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Salter, W. G. (1960). *Productivity and Technical Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schumpeter, J. (1939). *Business cycles: a theoretical historical and statistical analysis of the capitalist process* (2 vol.). EE.UU.: McGraw-Hill.
- Simon, H. (1959). Theories of decision making in economic. *American Economic Review*, 49, 253-383.
- Sitabhra, S., S. Raghavendra (2004). *Phase transition and patten formation in a model of collective choice dynamics*. Taramani, India: The Institute of Mathematical Sciences, CIT.
- Stacy, D. R. (2000). *Strategic Management and Organizational Dynamics: The Challenge of Complexity*. London: Prentice Hall.
- Stathakopoulos, V. (1998). Enhancing the performance of marketing managers- Aligning strategy, structure and evaluation systems. *European Journal of Marketing*, 23 (5), 536-558.
- Sterelny, Kim (1996). Review of Darwinism Evolving: System Dynamics and the Genealogy of Natural Selection. *British Journal for the Philosophy of Science*.
- Starbuck, J. (1976). Organizations and their environments. In M. D. Dunnette (ed.). *Handbook of industrial and organizational psychology*, 1069-1124. EE.UU.: Rand McNally.
- Utterback, J. (1971). The process of technological innovation within the firm. *Academy of Management Journal*, 12, 75-88.
- Vatter, H. (1955). *Small Enterprise and Oligopoly. A study of the Butter, Flour, Automobile, and Glass Container Industries*. EE.UU.: Oregon State College.
- Vega, F. (2000). *Economía y juegos*. España: Antoni Bosh.
- Westland, J. Congestion and Network Externalities in the Short Run Pricing of Information Systems Services. *Management Science*, 38, 992-1009.
- Whang, S. (1992). Contracting for Software Development. *Management Science*, 38 (3), 307-324.
- Winter, S. (1984). Schumpeterian competition in alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 5, 287-320.
- Zahara, S., A. Pearce (1990). Research evidence on the Miles Snow Typology. *Journal of Management*, 16 (4): 414-444.
- Zoltan, N., A. Barbasi (2002). Life's complexity pyramid. *Science*, 25.