

MORELLA BRICEÑO AVILA¹,
BEATRIZ GIL S.¹,
LUZ GÓMEZ R.¹,
WILVER CONTRERAS MIRANDA² y
MARY OWEN DE CONTRERAS³

LA ECOLOGÍA URBANA Y EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

URBAN ECOLOGY AND SCIENTIFIC KNOWLEDGE

RECIBIDO: 20-11-09

ACEPTADO: 18-04-10

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Arquitectura, Grupo de Investigación de Calidad Ambiental Urbana (GICAU), Mérida, Venezuela, E-mails: mba@intercable.net.ve, bmg70@hotmail.com, luzgomez29@hotmail.com

2 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida, Venezuela, E-mail: wilver@ula.ve

3 Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Diseño Industrial, Mérida, Venezuela, E-mail: marowen3@hotmail.com

RESUMEN

La ciudad, como parte de los ecosistemas terrestres, afecta y se nutre de los naturales. Con su crecimiento amplía su área de influencia y rompe el equilibrio vital que garantiza su supervivencia, la de otras especies y su medio. Las acciones tendientes a mejorar la problemática ambiental generada en y por las ciudades, pasa por comprender la visión de fundamento que guía la ecología urbana. En tal contexto, el desafío es centrarse en los vínculos entre los sistemas sociales, políticos, económicos, biológicos, físicos, químicos y geológicos como un todo, buscando explicaciones dinámicas y complejas de cruces sistémicos. Bajo tal premisa, el pensamiento de sistemas complementa y surge como alternativa al método científico tradicional, donde las propiedades y clasificación de los sistemas, además de la entropía en los sistemas complejos, conforman la vía hacia el paradigma de la complejidad -manejado en la actualidad-, de cara a la sostenibilidad urbana. Una visión ecológica, significa que la manera como se aborda la planificación y diseño urbano, podría redundar en el desarrollo de ciudades sostenibles que consoliden la sustentabilidad de la vida humana. **Palabras clave:** ecología urbana, ecosistemas, sistemas urbanos, complejidad.

ABSTRACT

The city, as part of terrestrial ecosystems, are affecting and being nurtured by nature. We observe that the urban growth is expanding its influence area and disrupting the vital balance for its own safety, more than other species and their environment. Actions to improve the environmental problems generated in and by cities lie in understanding the vision for urban ecology. In this context, the challenge is to focus on the linkages between social, political, economic, biological, physical, chemical and geological as a whole, looking for dynamics and complex systemic explanations. Under this premise, the systems thinking complements and emerges as an alternative to the traditional scientific method, where the properties and classification of systems as well as the entropy in complex systems, form the path to the paradigm of complexity toward urban sustainability. An ecological view means that the way it deals with the planning and urban design, could result in the development of sustainable cities that strengthen the sustainability of human life.

Key words: urban ecology, ecosystems, urban systems, systems theory, complexity.

1. INTRODUCCIÓN

La conciencia, las inquietudes, los temores ante los fenómenos no explicados y la forma de pensar para la supervivencia del hombre a través de los tiempos, han sido estrategias que, a su vez, le ha permitido abordar y encontrar soluciones a las grandes cuestionantes de su tiempo. El conocimiento le ha permitido avanzar en los ámbitos tecnológicos, científicos y humanísticos en múltiples disciplinas, bien desde la ciencia, la literatura, la manera de construir y hacer su hábitat privado, hasta llegar a la complejidad de las ciudades.

Lo antes expuesto, es el contexto sobre el cual se diserta en el presente trabajo, la evolución de los aportes de los grandes pensadores de la humanidad; el desencuentro entre el medio ambiente y el entorno urbano; la comprensión analógica entre los sistemas naturales y las urbes; la esencia e importancia de la ecología como base fundamental para llegar a la conceptualización de la Ecología Urbana; hasta llegar, finalmente, a realizar una breve semblanza de la ciencia como actividad humana y el pensamiento de sistemas como complemento y alternativa del método científico tradicional, el reduccionismo y su relación con las distintas teorías que conforman los sistémicas y su proyección para con el sistema urbano.

En el umbral del naciente siglo XXI, se hace recurrente proyectar el respeto y armonía de la sociedad mundial para con el medio ambiente. De ahí, la sostenibilidad y con ésta la Ecología Urbana como ciencia que hace el abordaje de futuro a uno de los más grandes problemas que presenta y presentará el Planeta, el modernismo y acecho del urbanismo. Su buen accionar requiere de herramientas metodológicas, que deben dar respuesta oportuna, planificada, ordenada, sensible, humana, prospectiva y previsiva a la gran dinámica que se suscita en las entrañas de una ciudad y el territorio en que se desarrolla.

Se proyecta la Ecología Urbana en el marco de la evolución del pensamiento científico, lo cual no la limita, sino que abre nuevas líneas de acción para su estudio y no perder la capacidad de soñar por espacios urbanos humanizados, donde los valores inmateriales en conjunción con el espacio construido y los agentes bióticos, garanticen la calidad y felicidad de los seres humanos que en los entornos urbanos trascienden sus existencias y vivencias. Es definir horizontes soñados, de hábitats para el amor y la prosperidad.

2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y CIUDADES

El hombre contemporáneo, la ciencia y el conocimiento actual están dirigidos -en el campo de la planificación y el diseño urbano-, a la satisfacción y mayor confort en cuanto a la seguridad y movilidad de la sociedad, así como a la vigilancia sobre la fragilidad, inestabilidad e incertidumbre de la vida humana en el planeta. El deterioro ambiental y de la calidad de vida es signado por la actuación del hombre en el contexto que soporta y garantiza su propia existencia. Esta preocupación ha conducido a replantear y resituar el papel del hombre en el planeta y, por supuesto, en su contexto más inmediato, la ciudad, pueblos y caseríos.

La planificación tradicional es incapaz de resolver los problemas en las ciudades, porque son sobrepasados por la rapidez con que ocurren los cambios, su visión normativa y rígida, insuficiente para la complejidad del caso. La problemática ambiental de las ciudades -por ser epicentros en la concentración de la población-, se convierte en el centro del debate sobre la sostenibilidad del ser humano en el planeta, donde el enfoque ecológico que conduce a la reflexión y la actualización de las ciencias, relacionan su quehacer con la cuestión urbana. Resulta obvia la incidencia e impacto que tiene la actuación del hombre en la ciudad, con claras

tendencias a un crecimiento exponencial, dejando su huella y afectando territorios más amplios. De aquí que, la búsqueda de soluciones descansa en enfoques que integren el hecho urbano en toda su magnitud, hacia fuera y hacia adentro de la ciudad, con todas sus particularidades y fenómenos que tienen lugar, derivan de ella y la afectan.

3. LOS ECOSISTEMAS Y LAS CIUDADES

Los diversos sistemas ecológicos de la tierra se conocen en conjunto como ecosistemas, independientemente de su tamaño. El mayor de los ecosistemas es la biosfera. Los ecosistemas son una manifestación de orden acumulado gracias al flujo energético solar. Son sistemas de comunidades de seres vivos dedicados a buscar energía o alimentos, para auto-organizarse, reproducirse y relacionarse con el entorno. Estas actividades afectan su entorno inmediato.

Jacobi (1999), sostiene que las ciudades como ecosistemas están sujetas a los mismos procesos que operan en los sistemas naturales, y por tanto son *“un conjunto de especies que interactúan de manera integrada, entre sí y con su medio ambiente”*.

Desarrollando la idea expresada por esta autora, las grandes ciudades están llenas de organismos (poblaciones), pues muchas especies vivas (incluido el hombre) aprovechan las condiciones de éstos nuevos hábitats artificiales, generando procesos y relaciones que pueden ser comparados con los que tienen lugar en los ecosistemas naturales, con algunas diferencias en cuanto a la intensidad de los mismos. En las poblaciones ocurren una serie de relaciones recíprocas que están presentes en los ecosistemas urbanos, aunque en porcentajes diferentes a los encontrados en ecosistemas naturales, así por ejemplo, aunque la competencia por el alimento se muestre de manera reducida, la invasión por el espacio y el mutualismo, aparecen en altos porcentajes.

En los ecosistemas naturales, la principal fuente de energía es el sol; en la misma medida en que un ecosistema cualquiera pueda conservar y procesar ésta energía, podrá cuantificarse su productividad y en directa relación, su diversidad y complejidad.

La mayoría de los ecosistemas naturales tienen en las plantas verdes, sus propios productores de energía, pues transforman la proveniente del sol en biomasa suficiente para satisfacer el consumo de su población. Las ciudades, sin embargo, sustentan su supervivencia sobre el uso de otras fuente de energía, ya que la cantidad de zonas verdes es comparativamente pequeña en relación con la población que debe mantener, además –en la mayoría de los casos–, las áreas verdes en las ciudades no se emplean para el consumo humano sino para la producción de aire fresco, como barreras acústicas o con fines estéticos. Por tanto las ciudades, dependen de los alimentos que importan de otras regiones para sobrevivir; como también, de la importación de otros recursos como el agua y las materias primas. Pero no sólo efectúan proceso de importación de energía, las ciudades también exportan –y en cantidades nada despreciables– residuos y calor, generado por la intensidad de la actividades que en ellas tienen lugar.

A todas luces, son las ciudades ecosistemas tremendamente ineficientes, por lo que valdría preguntarse la razón de su existencia. Las ciudades, que importan la mayoría de los insumos que requiere para subsistir, le genera al hombre –como población mayoritaria en la comunidad que conforma éste tipo de ecosistemas– bienes manufacturados, servicios, información, tecnología, seguridad y formas de recreación, que justifican sobradamente su existencia. Y aunque los problemas medioambientales que generan, están lejos de ser solventados, parecen ser las ciudades, los medios ideales para la vida humana.

Cuando se sostiene que los centros urbanos presentan problemas de ineficiencia, puesto que importan todo lo que consumen y exportan residuos en exceso, esto se corresponde con la reflexión realizada por Saura (2003), según la cual *“la contaminación es el precio que hay que pagar por la inexistencia de un retorno de los residuos a los lugares de donde han sido extraídos”*, ocasionando problemas de salud en los seres humanos, incidiendo de forma negativa sobre los ecosistemas receptores y dando lugar a impactos medio ambientales de diferentes grados.

Según Bettini (1998), resulta paradójico observar que esta consecuencia degradadora del medio ambiente es comparable a la condición nómada que vivió el ser humano y la que quiso abandonar al constituirse en comunidades organizadas. Esta organización llevó consigo la especialización en la producción en diferentes sectores, primario, secundario y terciario, llevando a los asentamientos humanos a actuar *“como sistemas heterotróficos muy complejos y bien organizados que han ido explotando zonas cada vez más amplias del territorio para alcanzar, en la actualidad, prácticamente toda la biosfera”* (Saura, 2003). Este fenómeno se ha conceptualizado como *huella ecológica*.

4. INFORMACIÓN EN LOS ECOSISTEMAS

La información reduce la incertidumbre e incrementa la organización y el orden en procura de solventar exitosamente cualquier proyecto o necesidad de una institución o ente individual. Con relación a los ecosistemas, tal información se vincula a los flujos de energía y materia que existe entre ellos y consigo mismos, en forma de mensaje, código e interpretación, para lo cual existe de un lado un emisor y del otro, un receptor capaz de asimilarla. Esta capacidad viene determinada a la vez, según el tipo de información que implica decisiones, formas o patrones. En los sistemas abiertos la

información tiene que ver con el flujo de energía que da lugar a distintas formas de complejidad y niveles de organización.

En un ecosistema la existencia de un alto nivel de información reduce la incertidumbre pudiendo predecir sus estados en el futuro, tal como ocurre en los sistemas humanos, particularmente en su cultura, organización y las maneras como se transmiten (distintas a la genética), códigos y mensajes en el tiempo y espacio, en una misma cultura. En los sistemas terrestres, esta información puede transmitirse a través de los sentidos a modo de señales en los animales, entre los de su propia especie o entre especies diferentes.

La teoría de la comunicación afirma que la existencia del lenguaje entre las especies, es fundamental y en tanto evolucionan, la información se vuelve mas sofisticada y la significación de los mensajes también (Bettini, 1998).

La transmisión de información tiene un costo energético. La interacción entre materia y energía modifica la estructura del sistema. *“La forma como la información se va acumulando da lugar a estratos superpuestos de sofisticación creciente hasta producir un código o una gramática que da sentido y canaliza adecuadamente la nueva información que entra en el sistema”* (Saura, 2003). Esta información se presenta en los sistemas, de formas diferentes, desde la lluvia que cae y produce erosión que cambia el estado original del sistema, su estructura, hasta la producción de nuevas tecnologías de telecomunicación que produce nuevos conocimientos y cambios en la estructura de los sistemas humanos. El *“nivel de información del sistema y la entropía se encuentran relacionados. En los sistemas la energía entrante, produce el efecto general de aumento de la entropía. En los sistemas en que se presenta un alto contenido de información (o de estructura), se canaliza adecuadamente la energía entrante y se actúa como máquinas eficientes que generan poca entropía”* (Saura, 2003).

Por otro lado, en la sociedad, el sistema de información es complejo y presenta mecanismos que la degradan o distorsionan afectando con ello la percepción de la realidad colectiva. Tal distorsión se relaciona con lo político, social y económico en el sentido que muchas veces se deriva información omitiendo parte de la misma, sesgada o filtrada de acuerdo con la conveniencia de uno u otro actor político, económico o social. De ahí que, las ciencias sociales deben tener conocimiento de tal situación a objeto de incidir sobre ello, dando un peso adecuado a la información relevante para los intereses colectivos humanos.

En los ecosistemas urbanos, los flujos de materia y energía son canalizados en función de la información que circula, en donde la cultura se convierte en condicionante fundamental. Constituye un aspecto básico dilucidar la cantidad y distinguir los flujos de información ya que su contenido es un indicador clave para conocer la complejidad de los ecosistemas urbanos.

La información de estos ecosistemas se asocia con dos conceptos, a saber, *“el de diversidad del sistema y el de flujos de potencia de la energía. Cuanto más diverso en elementos sea un sistema más complejidad acumula, y, por tanto, presenta un alto contenido de información. Un sistema complejo es muy eficiente, por lo que respecta, a los usos de los recursos materiales y energéticos, ya que posee un número elevado de circuitos de regulación y control. El resultado de todo ello es que un sistema con una alta diversidad de elementos, complejo y rico en información, es un sistema estable y bien regulado”* (Saura, 2003).

Existen diversas fuentes principales de información, *los individuos, sus atributos y las actividades* que presentan circuitos de relación y regulación con otros individuos y otras actividades. Así también habrá que considerar que en el ecosistema urbano se producen *artefactos que acumulan información*, los elementos de la ciudad, sus estructuras e infraestructuras,

edificios, calles, entre otros, la información abstracta existente como los libros, periódicos, revistas, etc., son elementos que contienen información en el sistema urbano. A los cuales hay que añadir las *organizaciones en forma de asociaciones de individuos* que presentan interconexiones con otros elementos, con los cuales intercambian información para su funcionamiento en el medio urbano y, por último, *la administración* conformada por grandes corporaciones y organizaciones internacionales, así como la *legislación*, que trazan reglas para el intercambio de información y por lo tanto, afectan o pueden afectar estos ecosistemas.

En síntesis, en los sistemas sociales –tal es el caso del urbano– los cambios producidos por la información conducen a una historia, a un desarrollo del sistema en dirección de una transformación a estados cada vez más complejos y más organizados que persisten en el espacio y en el tiempo.

5. FRONTERAS ECOLÓGICAS ENTRE ECOSISTEMAS Y CONCEPTO DE SUCESIÓN EN LA ECOLOGÍA

Los ecosistemas se encuentran en contacto con otros. En estos contactos o fronteras se producen intercambios de información, de materia y energía lo que –en términos de poblaciones–, se deriva de la genética y la cultura. Esta relación puede favorecer al sistema más maduro que explota al más inmaduro, en cuyo caso aumenta su entropía interna, afectando su nivel de organización. Conocer las características y los flujos de información en los límites o fronteras de los ecosistemas persigue determinar la vía por la cual ese intercambio de información, en los sistemas sociales, se canaliza de forma armónica y equilibrada, a la vez que conduce a una mayor organización y estabilidad de los ecosistemas.

La sucesión ecológica plantea el estudio de los cambios en un ecosistema definido en un espacio y tiempo. "Un ecosistema no sujeto a perturbaciones tiende a auto-organizarse... La certeza sobre la capacidad auto-organizativa de los ecosistemas se ha obtenido a partir de la observación sistemática de los cambios en las características funcionales y estructurales de los ecosistemas que se producen a lo largo del tiempo, tales como la variación del número de individuos en las distintas poblaciones, la organización del espacio, el incremento de diversidad y el número y los tipos de relaciones tróficas o de la producción de biomasa del ecosistema" (Saura, 2003). Para la sucesión ecológica son fundamentales los conceptos de fluctuaciones y ritmos. En los primeros operan cambios en el tiempo que se asocian a las poblaciones existentes, sus características demográficas (número de individuos, natalidad o mortalidad) y los cambios tanto, por afectación de otras especies en relación de competencia, como los propios del ambiente donde habita la especie (Rueda, 1995). Los ritmos de actividad se repiten regularmente y son vistos en la adaptación de las poblaciones de especies a las características del entorno (estacionales o diarias).

Cuando las especies cambian y se adaptan a una nueva situación, es probable que la afectación pasada del ecosistema no vuelva, entonces el ecosistema evoluciona a un estadio diferente de un segmento del mismo, conocido con el nombre de *microsucesión*.

Desde la perspectiva holista de sucesión de los ecosistemas, sus cambios estructurales y funcionales más significativos son:

- Aumento de la diversidad en especies;
- Aumento del número de nichos ecológicos; Aumento del número de relaciones de competencia al principio para reducirse al final;
- La diversificación en especies, va unida a una explotación más completa de los recursos existentes;

- La reducción de la productividad disminuye la tasa de renovación, esto es, aparecen especies de vida más larga con un reducido número de descendientes que tienen una mayor supervivencia;
- El contenido total de información del sistema aumenta, tanto por la vía genética como por la cultural, produciendo más orden, en vez de la entropía que cabría esperar;
- La información preexistente (genética y cultural), se manifiesta en estructuras y sistemas captadores y transmisores de la energía, canalizada a rutas adecuadas;
- Los ecosistemas maduros son más eficientes porque el aumento de información permite minimizar la dispersión o las pérdidas energéticas;
- Aumenta la resistencia o adaptación a los cambios ambientales de baja intensidad;
- Los niveles tróficos superiores del ecosistema maduro explotan los inferiores produciendo su simplificación o rejuvenecimiento para mantenerlos en una fase poco madura. De esta manera se permite aumentar la producción de éstos en beneficio de los niveles tróficos superiores, que se organizan en el tiempo, a pesar de esto (Saura, 2003) (Figura 1).

Este enfoque holista y vitalista del concepto de sucesión está basado en el concepto de *clímax* como destino final evolutivo de los ecosistemas, lo que se corresponde con una concepción idealista (Saura, 2003).

De los factores determinantes de la estabilidad de los ecosistemas, la persistencia de las estructuras o su organización espacial son los más importantes. Para lo cual la incidencia de origen natural y antrópico influyen determinadamente sobre esta estabilidad. La acumulación de información por parte del ecosistema en su conjunto, se traduce en una aparente parsimonia. En los últimos estadios de la sucesión de los

Ecosistemas: sucesión, cambios estructurales y funcionales

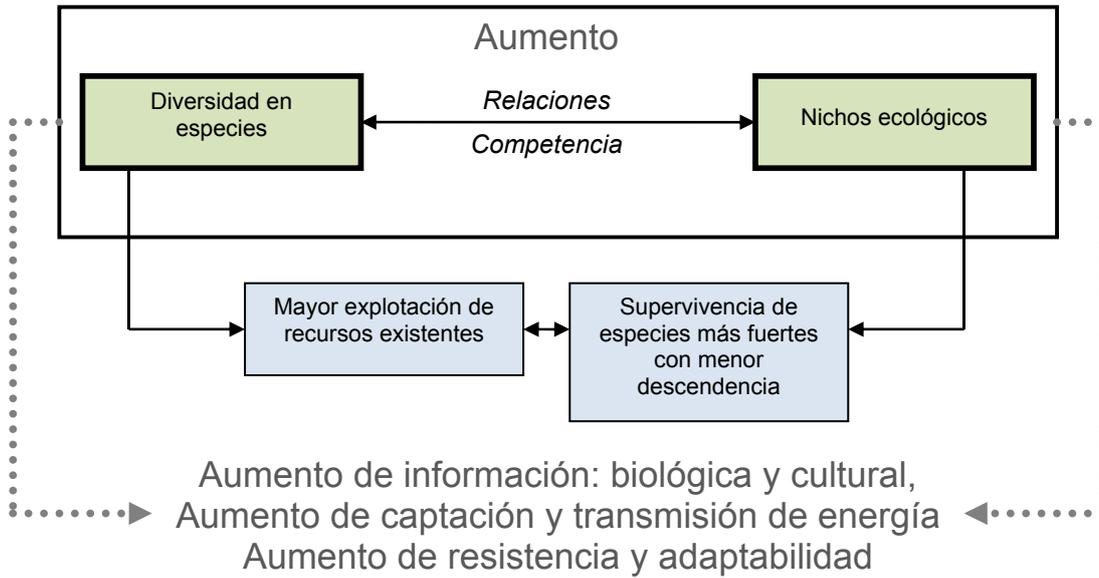


FIGURA 1. Ecosistemas: sucesión, cambios estructurales y funcionales. Fuente: Elaboración Propia.

ecosistemas, la organización de éstos parece ser menos activa puesto que disminuye el número de cambios a medida que se acerca a los estadios de madurez. De hecho, se trata de una estrategia que permite dar respuestas a situaciones poco corrientes, anticipándose a las mismas.

Por ello, es importante prever la interrelación y analogía en cuanto a la sucesión ecológica de un ecosistema natural, con la estructura y organización espacial de la ciudad.

6. LA CIENCIA COMO ACTIVIDAD HUMANA Y EL PENSAMIENTO DE SISTEMAS COMO COMPLEMENTO Y ALTERNATIVA DEL MÉTODO CIENTÍFICO TRADICIONAL, EL REDUCCIONISMO

Checkland (1993), expuso que para comprender el pensamiento de sistemas se puede recurrir a la *historia de la ciencia como actividad humana*. Este autor plantea cuatro momentos históricos que marcaron el pensamiento de sistemas: la ciencia griega; la ciencia medieval; la revolución científica y el método de la ciencia. La ciencia

griega aporta el *“arte del pensamiento racional”*; la ciencia medieval, adopta e introduce el pensamiento de Aristóteles hasta la venida del renacimiento; la revolución científica parte del aprendizaje de una nueva visión del mundo llevada adelante por Nicolás Copérnico (1473-1543 d.C.), Johannes Kepler (1571-1630 d.C.), Galileo Galilei (1564-1642 d.C.) e Isaac Newton (1643-1727 d.C.); y por último, la ciencia actual engloba el planteamiento heredado, a través del método científico.

Desde la ciencia griega, son determinantes tres momentos históricos: el primero, guarda relación con el planteamiento de los fundamentos mismos de la ciencia desde sus leyes; un segundo momento, el pensamiento de sistemas, derivado de los planteamientos de Platón (427/428-347 a.C.) y Aristóteles (384-322 a.C.); el tercer momento, donde la ciencia profesional se separa de la filosofía en ciencias más especializadas como la geometría, astronomía y mecánica, entre otras.

La época medieval se erige como la forjadora de la ciencia experimental, en su

interés por estudiar el funcionamiento del mundo a partir de cosas que se pueden explicar y resolver. Hasta este punto tenemos entonces, el razonamiento y la experiencia como modos de buscar la verdad y adquirir conocimiento, bien por inducción –propio de los medievales– que centra su atención en la observación como medio necesario para descubrir hechos, bien por deducción de conclusiones a partir de premisas incuestionables o silogismos, propio de los griegos. La época medieval aporta a la discusión científica, preguntas metodológicas y cómo investigar fenómenos para generalizar sobre ellos. Además de distinguir las formulaciones falsas de las verdaderas, propuso reglas para el análisis inductivo de los fenómenos y también la utilización de experimentos diseñados para comprobar formulaciones. La inducción se complementa, más adelante, con los planteamientos del fraile franciscano y filósofo William de Ockham (1280/1288-1349 d.C.) interesado en su lógica, centrada tanto en la observación como medio necesario para descubrir hechos acerca del mundo, como en la estructuración de explicaciones científicas.

Los avances científicos de la época medieval acompañaron y apuntalaron el desarrollo posterior *“por la exploración de los límites del mundo conocido, la ebullición intelectual del renacimiento, el desarrollo de tecnologías que hicieron posible el uso de instrumentos científicos muy mejorados, así como el incremento de la disposición de los libros impresos”* (Checkalnd, 1993). Por su parte, la revolución científica constituye el verdadero origen del mundo y pensamiento modernos. Allí se unen las explicaciones empíricas y teóricas para dar paso a un mundo real comprensible mediante las ideas. Tiene lugar el planteamiento del método científico, tal como lo conocemos hoy, así como los métodos de la ciencia experimental, momento en el cual, la actividad científica era bien apreciada y valorada. Son fundamentales los aportes de Galileo (1564-1642 d.C.), Kepler

(1571-1630 d.C.), Newton (1643-1727 d.C.), Francis Bacon (1561-1626 d.C.), René Descartes (1596-1650 d.C.), éste último el máximo exponente del racionalismo científico cuyo principio del *reduccionismo* ha permeado las ciencias durante más de 350 años. El *reduccionismo* es entendido como una tesis metodológica, según la cual las verdades de la ciencia deben partir de una comprobación experimental que -comparada con la teoría-, permite explicar, verificar y simplificar el hecho investigado.

De ahí que, el pensamiento de sistemas, surge en contraposición a este principio. Descartes enfatizó la manera científica de pensar, buscando la verdad por medio del razonamiento deductivo a partir de ideas irreductibles básicas, su famosa idea expresada como *“pienso, luego existo”* supone una certeza que, analizando el proceso por el cual se adquiere ese nivel de conciencia, se puede descubrir la naturaleza general del proceso por el cual se puede estar seguro de cualquier cosa. En su segundo discurso proporciona cuatro reglas para *“dirigir adecuadamente la razón de uno mismo”*, estas reglas son: evitar la precipitación y el prejuicio, es decir, aceptar únicamente ideas claras y distintas; la segunda regla, que es la más significativa, consiste en dividir cada una de las dificultades que se examinan en tantas partes como es posible y necesario para resolverla mejor; la tercera, supone plantear una progresión ordenada desde lo simple hacia lo complejo; y por último, la cuarta, exhorta un análisis completo en el que no se omita nada. En el siglo XX se hicieron cambios significativos al reduccionismo, en el sentido del derrumbamiento del modelo de Newton y su reemplazo por el de Albert Einstein (1879-1955 d.C.), el cual ha sido preferido, porque puede generar todos los resultados de Newton y aún más.

En cualquier caso, la experiencia científica hacia el siglo XXI nunca partió de modelos absolutos, y eventualmente puede ser reemplazada por mejores modelos que tengan un poder

descriptivo y de predicción más grande.

El pensamiento de sistemas ha surgido durante los últimos 50 años y es pionero el biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901-1972 d.C.). Este pensamiento complementa el modo principal del pensamiento científico, en el sentido que considera, según Checkland (1993) que la ciencia es un sistema de aprendizaje o indagación, un sistema para averiguar cosas sobre el mundo en que vivimos, es una manera para adquirir conocimiento del mundo verificable públicamente; se caracteriza por la aplicación del pensamiento racional a la experiencia, derivada de la observación y de los experimentos diseñados deliberadamente. Su objetivo consiste en la búsqueda de las leyes que gobiernan las regularidades del universo, leyes que se expresan matemáticamente de ser posible. Más adelante señala el autor tres características fundamentales para este patrón de la actividad humana, *reduccionismo*, *repetibilidad* y *refutación*, en ese orden. *Reduccionismo* considerado en tres aspectos, es necesario simplificar el mundo real para hacer investigaciones sobre él; es necesario aceptar la explicación mínima necesaria para los hechos a explicarse, esto es, la explicación de fenómenos complejos en términos de fenómenos más simples; es necesario descomponer los problemas y analizarlos en fragmentos. En la idea de la explicación de los fenómenos complejos en términos de los más simples, subyace la idea de *emergencia*, básica para el pensamiento de sistemas, según la cual la complejidad posee propiedades características que emergen sólo en el nivel en que se presente y que se hacen irreductibles. La *repetibilidad*, se relaciona con el hecho que damos por cierto lo que se puede demostrar de forma repetida mediante experimentos, aquí los valores de medición se pueden registrar, repetir y ser expresados en datos cuantitativos. La *refutación*, se relaciona con la verificación de las hipótesis a partir de la experimentación, en donde lo más importante

sea refutar la conjetura inicial.

Por todo ello, es innegable e incuestionable la contribución al avance de la humanidad de la ciencia tradicional, pero cuando se trata de incorporar la complejidad proveniente de la intervención humana a los problemas, la situación no es ya tan clara. La ciencia ha guiado descubrimientos e invenciones significativas y, para investigar sobre cuestiones acotadas no hay duda que el método científico reduccionista es el mejor. Por su parte, el pensamiento de sistemas intenta dar respuesta a las limitaciones del método científico como son la complejidad, las ciencias sociales, administración, emergencia, jerarquía, comunicación y control, complementando o abriendo un camino alternativo si se quiere, al método científico.

7. DESDE EL REDUCCIONISMO Y LA TEORÍA DE LOS SISTEMAS A UNA APROXIMACIÓN DEL SISTEMA URBANO

Aplicada a la ciudad como construcción humana, la complejidad es un factor determinante a considerar, para la cual el método científico tradicional no satisface el número casi infinito de variables que interactúan en el medio para dar lugar a su configuración. La clave para entender los fenómenos que subyacen en la ciudad es la desagregación en fenómenos más delimitados o pequeños de menor complejidad y probablemente direccionados bajo el esquema de alguna disciplina científica más específica, o la interconexión de varias, para hallar respuestas y escenarios mayores. También se trata del estudio de los fenómenos, sus partes componentes, las interrelaciones y propiedades que surgen o pueden surgir al ser desagregados, como parte de la organización, conjunto o unidad. Y por último, de entender que la complejidad implica establecer las fronteras o límites entre los fenómenos o problemas tratados, así como una revisión continua de las hipótesis planteadas.

En el marco de las ciencias sociales la ciudad constituye un territorio ideal para el conocimiento de los fenómenos de la realidad, que trata esta ciencia. A diferencia del método científico tradicional utilizado por las ciencias naturales, los científicos sociales se han avocado a la tarea de buscar alternativas. Ya antes se ha aplicado el método científico al estudio de fenómenos sociales, encontrando problemas para explicar las situaciones encontradas, dada la complejidad de éstos y la incapacidad de repetir experimentos a modo de laboratorio, en donde las circunstancias se presentan bien delimitadas y son perfectamente cuantificables. La ciudad, por otro lado, no es un laboratorio como se entiende al modo tradicional, en ella ocurren cambios constantes que hacen prácticamente imposible obtener los mismos resultados en similares circunstancias, por lo que los métodos y herramientas de aproximación a la realidad son precisamente eso, aproximaciones, que a lo sumo proporcionan unos resultados en un determinado momento del tiempo que es preciso establecer, así como un número determinado de variables, factores, aspectos y parámetros que se adscriben a ese contexto determinado por espacio y tiempo.

Algunas características se pueden derivar como fundamentales, en primer lugar, las ciencias sociales carecen, a diferencia de las naturales, de un cuerpo de leyes generales que permita determinar predicciones ciertas y confiables, por lo que más allá de un cuerpo teórico delimitado, las ciencias sociales tomarán alguna claridad en cuanto a los caminos metodológicos a seguir para la resolución de problemas en el marco de esta ciencia. No obstante, pareciera que es posible encontrar similitudes con los patrones y agrupaciones que se establecen desde las ciencias naturales, para los cuales cabrán muchas posibles interpretaciones.

Otro aspecto importante, es que el ser humano individual, es una parte integrante de los fenómenos estudiados y por lo tanto tiene

una interpretación, en términos de su significado, para los actores involucrados.

En las ciencias sociales es un problema establecer predicciones, por el hecho de que los sistemas sociales son fuertemente influenciados por el crecimiento del conocimiento humano y ese crecimiento determina, en parte, el futuro. De allí que la predicción, sea tan poco certera porque el ser humano elige y cree según una determinada situación, que no siempre se puede predecir. Por lo cual se puede afirmar que *en lugar de leyes, en los sistemas sociales habrá tendencias, que en determinadas circunstancias, podrán generar interpretaciones, que con un nuevo conocimiento podrán adquirir nuevas consideraciones y crear así nuevas situaciones.*

Otro problema al que se enfrentan las ciencias sociales, es el referido a la toma de decisiones, particularmente importante en el contexto de la ciudad, porque de él se derivan ejecuciones que –en la práctica–, afectan la vida urbana. El propósito de aplicar métodos científicos a la administración es aportar alternativas, visualizar escenarios y estrategias para determinar políticas y acciones basadas, no en estudios de laboratorio porque estos son inapropiados y difíciles de determinar, sino en modelos y simulaciones de la realidad, en el marco de una situación idealizada.

Otros factores importantes para entender el pensamiento de sistemas son la *emergencia* y la *jerarquía*, y la *comunicación* y el *control*. Los primeros dos factores estudiados por Bertalanffy (1976) al establecer una forma de pensamiento en términos de *todos*, propuso ampliarlo para hacer referencia a cualquier tipo, y no solamente a los sistemas biológicos. Los otros dos aspectos descansan en los aportes de los ingenieros de control, comunicación, y electricidad. Ya Aristóteles había determinado que *“el todo es más que la suma de sus partes y que cada objeto en el mundo tiene un propósito o naturaleza inherente”*. Sin embargo, esta idea fue derrotada por el pensamiento científico que vendría

después durante el siglo XVII, y este propósito sería rescatado posteriormente por la biología moderna. Durante el siglo XX el propósito ha sido discutido en un debate más amplio entre el *reduccionismo* y el *holismo*. Más adelante, el concepto de *complejidad organizada* se volverá la materia sustantiva de la nueva disciplina de *sistemas*; y el modelo general de ésta, asume que existe una jerarquía de niveles de organización, cada uno más complejo que el que está debajo. Un nivel se caracteriza por las propiedades emergentes que no existen en el nivel inferior. A esta complejidad se le relaciona con *holismo* y esta corriente de pensamiento en la biología ha continuado desde el siglo XX, cada objeto que esta disciplina estudia es considerado un *sistema de sistemas*, esto es, se ubican en un nivel de jerarquía y a la vez son parte de entidades de nivel superior y en cada nivel de integración algunas nuevas características aparecen. La cualidad de abarcar diversos aspectos y –más importante aún– sus relaciones, para entender el *todo* como unidad, se aplica actualmente, al estudio de los sistemas urbanos con el concepto de *interfases* en donde es muy importante el intercambio de información.

A las ideas de jerarquía y emergencia han seguido las de comunicación y control, a este respecto Bertalanffy (1976) hace referencia a *sistemas abiertos* y *sistemas cerrados*, los primeros son aquellos que importan y exportan material, allí existe intercambio de materiales, energía e información para los cuales son fundamentales mecanismos de control y comunicación.

7.1 EL PARADIGMA SISTÉMICO

Lo expuesto anteriormente proporciona un marco de referencia y posicionamientos de los modelos de pensamiento en la actualidad. No obstante, el estudio de la Ecología Urbana se centra en el pensamiento de sistemas, en donde cabe el desarrollo de los ecosistemas.

Durante el siglo pasado fueron generándose variados planteamientos con una orientación

distinta a la visión reduccionista que sentaron las bases para la formulación de la Teoría General de Sistemas (TGS), cuyo principal postulante fue Ludwig von Bertalanffy (1976). Algunos desarrollos importantes se dan en el campo de la cibernética, en el campo del modelado de fenómenos naturales, en el campo de las matemáticas, por nombrar algunos. Hoy, la TGS ha sido reconocida en los diferentes campos científicos y disciplinas, desde las ciencias naturales a las humanas.

“El enfoque de sistemas es una manera de pensar en términos de interconexión, relaciones y contexto. Según este enfoque, las propiedades esenciales de un organismo, de una sociedad o de otros sistemas complejos son propiedades del conjunto, que surgen de las interacciones y las relaciones entre las partes. Las propiedades de las partes no son intrínsecas, y se pueden entender sólo dentro del contexto del todo más amplio. El pensamiento se concentra no en los componentes básicos sino en los principios básicos de la organización. Es “contextual”, lo cual es lo opuesto del pensamiento analítico” (Gallopín et al., 2001).

“Un sistema es una unidad o entidad con un propósito en alguna medida claro y fronteras suficientemente definidas, que se constituye gracias a la interrelación e interacción entre sus partes componentes”, en todo sistema “hay tal variedad y complejidad, que resulta difícil centrar la atención de manera precisa... esta complejidad se acrecienta cuanto mayor es el grado de intervención humana en el asunto” (Ponsot, 2008), tal es el caso de la ciudad. En efecto, Bertalanffy (1976) afirmaba que *“...Ahora hemos aprendido que para comprender no se requieren sólo los elementos sino las relaciones entre ellos- digamos, la interacción enzimática en una célula, el juego de muchos procesos mentales conscientes e inconscientes, la estructura y dinámica de los sistemas sociales, etc.”* (Bertalanffy, 1976 en Ponsot, 2008).

Es ampliamente conocido y aceptado que la ciudad como parte de estos sistemas sociales, formada y condicionada a la vez por ellos,

requiere esta visión para comprenderla y aportar soluciones. La idea de sistema es “*divide y vencerás*”, se trata de descubrir el sistema, los subsistemas que lo componen y el suprasistema que lo contiene, en términos de relaciones de dependencia entre ellos. El estudio de sistemas requiere pues de la precisión de la jerarquía, fronteras, propiedades y características de los mismos (Figura 2).

En síntesis, un sistema es una parte de la realidad definida por un conjunto de elementos interrelacionados como, moléculas, organismos, organizaciones sociales e inclusive conceptos abstractos. Tales interrelaciones pueden ser de naturaleza diferente, en este sentido, el comportamiento y propiedades del sistema surgen no

sólo de las propiedades de sus elementos, sino también de la naturaleza e intensidad de sus interconexiones. Siendo esto coincidente con lo expuesto por Gallopín *et al.* (2001) donde los *sistemas socio ecológicos pueden ser definidos como las unidades básicas para el desarrollo sostenible* (Figura 2).

La idea de que las sociedades urbanas son complejas, requieren una visión para su estudio que incorpore tanto la complejidad como la incertidumbre, propias de este tipo de organizaciones o sistemas. La búsqueda del desarrollo sostenible, plantea nuevos y profundos desafíos a las maneras en que definimos los problemas, identificamos las soluciones y llevamos a cabo las acciones.

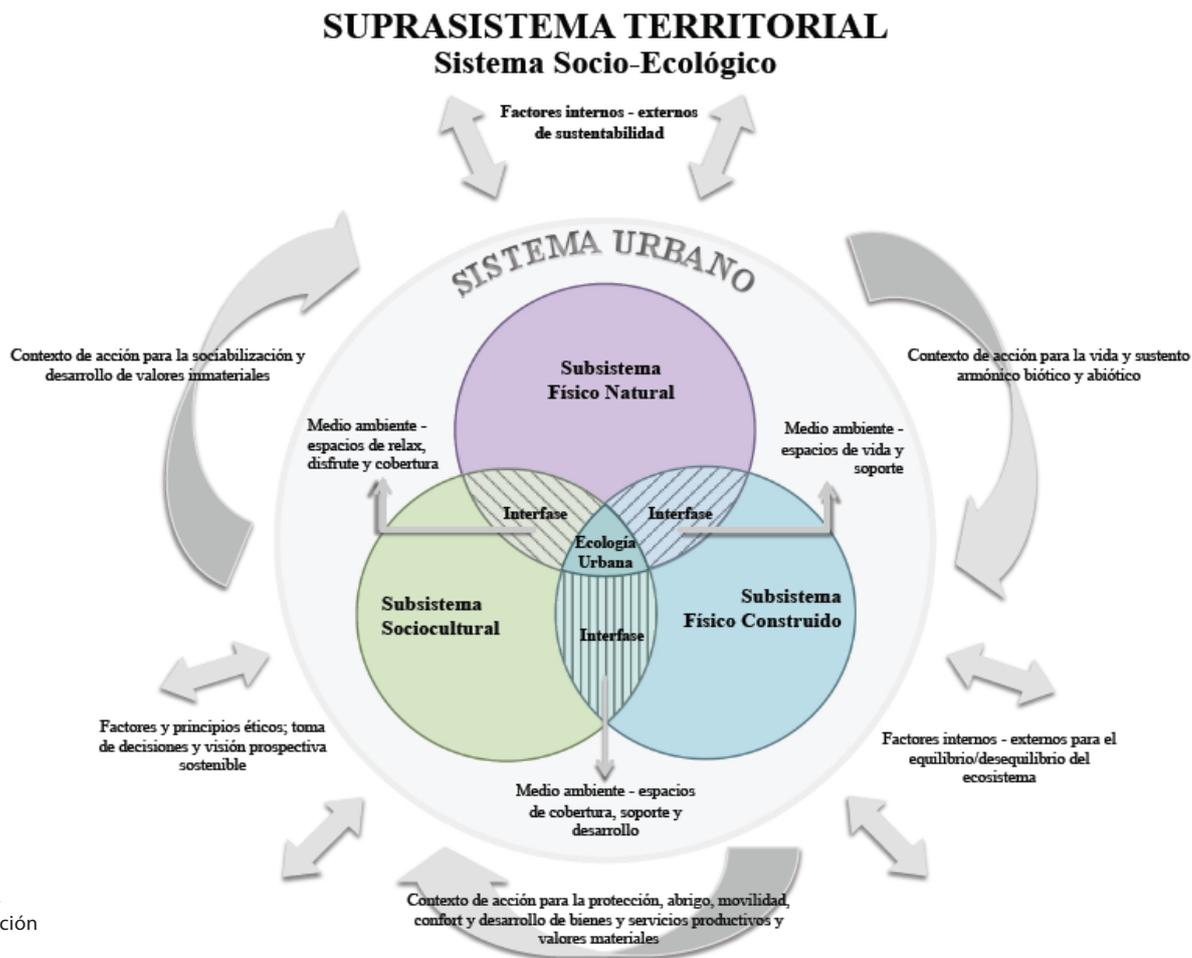


FIGURA 2.
Sistema Socio Ecológico (SSE).
Fuente: Elaboración propia.

7.2 PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS COMPLEJOS

Las propiedades de los sistemas son el isomorfismo y la emergencia. La primera se refiere a la *“equivalencia en la forma”* (iso= igual, morfo= forma), esta propiedad nos permite acercarnos al estudio científico de los problemas comparándolos con otros, que aún no siendo iguales, presentan características similares que han sido ampliamente estudiadas y pueden aportar alternativas en la búsqueda de soluciones. La emergencia o propiedades emergentes se refieren a aquellas que salen a flote cuando se estudian, *“una propiedad que no se deriva del ensamblaje de los componentes de inferior complejidad, sino que surge, nace, sale a flote, sólo cuando todos ellos componen el sistema y no cuando fueron aislados y luego relacionados”* (Ponsot, 2008). Esto nos indica que en los sistemas surgen o pueden surgir propiedades cuando los ensamblamos en su estructura, conjunto, unidad y no como una simple composición de sus partes, cumpliendo con la premisa que *“el todo mas que la suma de las partes”* y produciéndose relaciones de reciprocidad mutua, feed-back o de causalidad (Saura, 2003).

A lo anterior, Saura (2003) agrega otras propiedades o características, entre otras: *en los sistemas se pueden reconocer distintos niveles de organización*, en el sentido de establecer determinadas relaciones que son más importantes que otras, de acuerdo a lo que se pretende estudiar; *la organización de un sistema se manifiesta en su estructura*. Por *organización* se entiende el conjunto de relaciones entre los componentes o partes del sistema que le confieren una identidad y unidad funcional, es el corazón del sistema. Por *estructura* se entiende la manifestación material en espacio y tiempo de los componentes del sistema, así estos pueden modificar su estructura cambiando uno o mas elementos por otros sin perder su identidad, siempre que se mantenga su funcionalidad; *el*

sistema se relaciona con su entorno, se refiere a que el sistema no se encuentra aislado, sino que esta inmerso en un entorno que presenta unas propiedades que condicionan el contorno del sistema. En ese sentido puede entenderse el *entorno*, como un nuevo sistema que influye sobre el sistema que contiene; y por último, *los sistemas evolucionan en el tiempo*, es decir, las relaciones entre los elementos del sistema son también temporales y presentan cambios en tipo y número que recondicionan su estructura en cada momento (Figura 3).

De acuerdo a lo anterior, la ciudad como sistema tiene sus propiedades y características, no obstante, debido a todos los aspectos que contiene y deriva, humanos y naturales (bióticos y abióticos), se comporta de forma compleja.

7.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS

Según su grado de complejidad los sistemas se pueden caracterizar como simples y complejos. Los simples son aquellos que presentan características objetivas, bien delimitadas en sus fronteras y propósitos, con muy poca o ninguna intervención humana, son claros para el investigador, se trata por ejemplo de máquinas, computadores, etc. Gallopín *et al.* (2001:8), afirma que *“un sistema es sencillo si se puede representar adecuadamente utilizando una sola y única perspectiva o descripción y mediante un modelo estándar (por ejemplo, analítico) que proporcione una descripción satisfactoria o resolución general mediante operaciones de rutina”*.

Por otra parte los *sistemas complejos* se caracterizan por tener una amplia intervención humana, sus fronteras y propósitos son huidizos o no están muy claros para el observador, en ellos la intervención humana se concreta en forma de organizaciones. Sin embargo, los problemas de sistemas no se ubican en uno u otro lado necesariamente, es decir, se trata de llevar los sistemas complejos a su extremo simple tanto como sea posible, para acotarlos y estudiarlos mejor dentro de parámetros

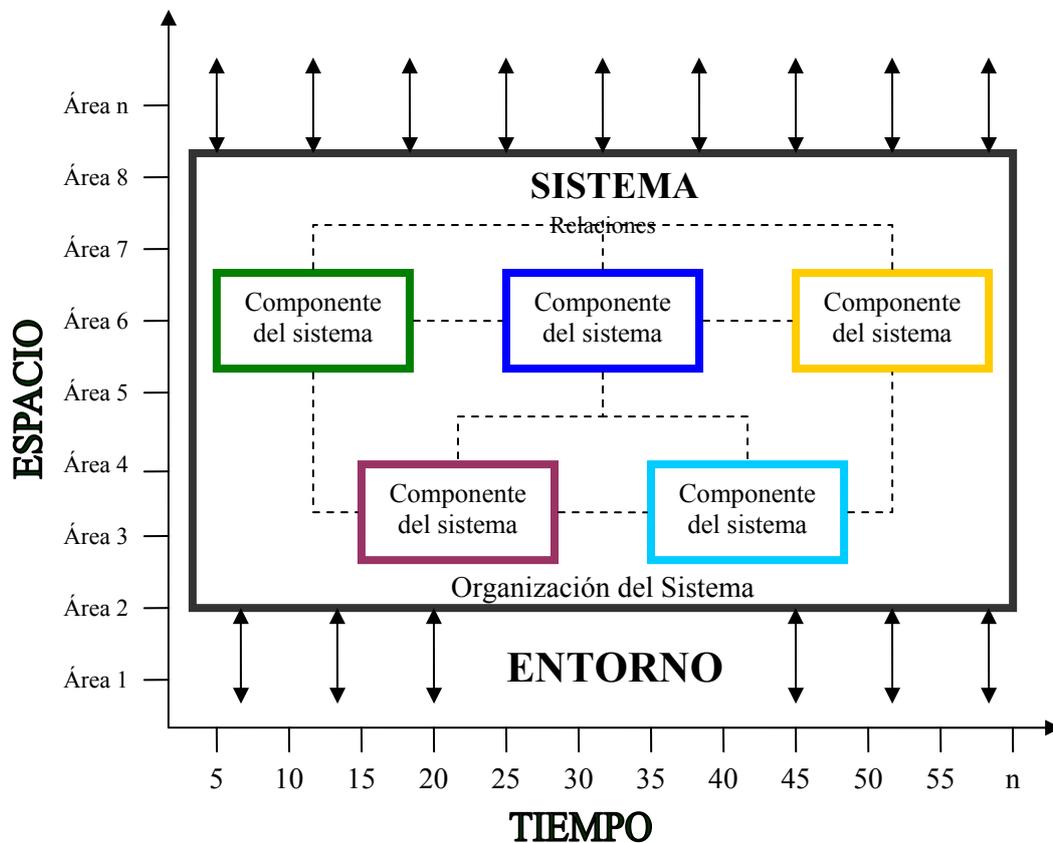


FIGURA 3. Evolución de los Sistemas en espacio y tiempo. Fuente: Elaboración propia.

manejables, sin dejar de lado que en efecto, es un sistema complejo. Para ejemplificar esta idea, la ciudad es un sistema complejo, cuyo estudio se hace manejable en la medida en que se subdivide en componentes más acotados, que hagan posible su medición, tal es el caso de subsistemas como movilidad, paisaje, y patrimonio, y dentro de estos, cuestiones aún más precisas.

Los sistemas pueden clasificarse también atendiendo a otros criterios, uno de los cuales es el nivel de apertura, según el cual los sistemas pueden ser abiertos y cerrados. **“Los sistemas cerrados no presentan ningún intercambio con el entorno. La mayor parte de los sistemas físicos y naturales son, sin embargo, sistemas abiertos ya que presentan intercambios de materia y energía con su entorno”.** También plantean que los **“sistemas complejos se pueden encontrar en los**

distintos niveles de organización biológica, desde los sistemas bioquímicos de las células hasta la biosfera en su conjunto. También es posible descubrirlos en sistemas no biológicos como la hidrosfera, en la atmósfera o en los distintos niveles de sistemas geológicos y también en las organizaciones sociales. En todos los casos se trata de sistemas abiertos con entradas y salidas de materia y energía y que presentan dinámicas no lineales” (Saura, 2003).

Por su parte Checkalnd (1993), determina otra clasificación de los sistemas, pues expone entre ellos, algunos relacionados con el tema que nos ocupa, a saber, sistemas naturales, sistemas humanos y sistemas trascendentales.

- Los sistemas naturales, encuentran sus elementos y relaciones en la naturaleza.

- Los *sistemas humanos* se derivan de la construcción e intervención del hombre con un propósito determinado y una visión ética y racional. En este caso este tipo de sistemas tienen como propósito el mejoramiento de las condiciones de vida individual y colectiva. Los tipos específicos de sistemas humanos son los físico-diseñados, que fueron los primeros en aparecer y están orientados a la construcción -con el uso y avance tecnológico-, de elementos que mejoran la condición de vida humana, por ejemplo, un molino de agua, un sistema de canalización, etc., estos sistemas pueden ser clasificados como duros; los de actividad humana son los siguientes en aparecer, aquí el hombre en su afán de supervivencia y de convivencia, busca formas de organización colectiva, por ejemplo, el Estado, un sindicato, asociaciones, son sistemas integrados por seres humanos en busca de un propósito supuesto compartido, y desde su complejidad, se encuentran en el extremo más blando. Los sistemas abstractos diseñados no tienen presencia física, se encuentran en un nivel de abstracción pero han permitido el avance y comprensión de fenómenos, situaciones o eventos, tal es el caso, de las ecuaciones aportadas por el campo de la física, un modelo estadístico o matemático.
- Los *sistemas trascendentales*, trascienden, como su nombre lo indica, la comprensión humana o científica. En este campo se encuentran las creencias, valores morales (Ponsot, 2008).

Entre los sistemas naturales y los de actividad humana, la diferencia radica en el hecho que los primeros, sin intervención humana, son más constantes que los segundos, los cuales pueden variar en el tiempo por diferentes circunstancias. Para este argumento resulta esencial entender, según manifiesta Thorpe (1974) en Checkland (1993), que el hombre se distingue del resto de

los seres vivos por su auto-conciencia, que lo lleva a tener capacidad de elección y por tanto es un ser libre "*él tiene genuina libertad de elección al decidir sus acciones*". Los sistemas diseñados tienen un propósito en mente, se han diseñado porque derivan de una necesidad en algún sistema de actividad humano. El hombre como diseñador puede crear artefactos físicos que satisfacen un propósito determinado, pero también puede "*crear grupos de pensamientos estructurados, los denominados < sistemas abstractos diseñados >*", tales como ecuaciones, formulaciones matemáticas o estadísticas (Checkland, 1993).

En los sistemas sociales las personas se reconocen formando parte de un grupo o colectivo e interactúan de diversas maneras. Como es lógico pensar estos sistemas se interrelacionan con los de actividad humana, con los naturales y exhibirán propiedades atribuibles a las características naturales del hombre, el animal social. Para diferenciar un poco estos dos argumentos, se presentan dos modelos de dos tipos de sistema social: *comunidad*, que es natural y, *sociedad o asociación*, que es ideada. Se reconoce que los sistemas sociales serían una mezcla, entre el sentido dado al concepto de comunidad y al concepto de sociedad, por lo que habría que considerarlos a ambos.

De lo anterior, los sistemas sociales son menos determinísticos y la observación de los fenómenos del mundo exterior estarán determinados por la persona que observa, situación compartida con el método científico tradicional cuando, al partir de la intuición del mundo exterior, la subjetividad del observador puede afectar la valoración dada de los fenómenos. Desde la óptica teórica de los sistemas habrá que precisar para su descripción: "*el propósito del observador, el (los) sistema (s) seleccionado (s), y varias propiedades de los sistemas como límites, entradas y salidas, componentes, estructura, los medios por los cuales el sistema retiene su*

integridad, y el principio de coherencia que lo hace defendible al describir al sistema como sistema” (Checkland, 1993).

Dentro del estudio de la sociedad, podemos distinguir además, el enfoque de los *sistemas sociopoiéticos*, devenidos del concepto de *sistemas autopoiéticos* propuestos por los biólogos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela en el año 1971, en el sentido de designar la organización de los seres vivos. La *autopoiesis* es la condición de existencia de los seres vivos en la continua producción de sí mismos. Aunque este planteamiento se inició en la biología, más adelante es adoptado por otras ciencias, tal es el caso del sociólogo alemán Niklas Luhmann (1984). Para el sociólogo el término *autopoiesis* se refiere a la capacidad universal de todo sistema para producir estados propios bien diferenciados, enlazando a éstos las operaciones propias del sistema gracias a su auto-organización, proponiendo el concepto no sólo a un nivel físico sino también cognitivo.

Se verifica como, de la relación hombre-entorno, consigo y hacia fuera de sí mismo, surge la premisa de considerar al hombre como parte de los sistemas naturales, el hombre como ser biológico y desde su relación como parte de los sistemas sociales, el hombre como ser social y cultural. De allí que para designar esta doble orientación se presenta entonces la concepción de los *sistemas sociopoiéticos*.

El sociólogo Luhmann desarrolla un amplio programa orientado a la construcción de una *Teoría de los Sistemas Sociales Autorreferentes y Autopoiéticos* en el marco de la epistemología de la cibernética de segundo orden, esto es, “...*todo observador, en tanto sistema, es cerrado y, como tal, sólo puede observar lo que puede observar ¡y solamente eso! Suponen que un observador conoce a través de sus operaciones internas y, por lo tanto, no puede contactarse informativamente con el mundo externo, pero tampoco puede afirmar que éste no sea como es. En consecuencia, el conocimiento no representa mundo alguno sino que*

surge de los resultados de operaciones autopoiéticas de un observador” (Arnold, 2003).

“La propuesta metodológica sociopoiética es la observación de observaciones, la denominada observación de segundo orden. Esta observación oferta posiciones para observar a otros observadores, mientras aplican sus distinciones en sus observaciones (de primer orden). Sus objetivos centrales consisten en hacer distinguibles las formas de distinguir, a través de las cuales las personas, grupos, comunidades, organizaciones y otras conformaciones de observadores producen sus experiencias de conocimientos” (Arnold, 2003). La observación de segundo orden incorpora como fundamento, el problema de la observación de sistemas de observadores, esto es, se pasa de la observación de sistemas, a la observación de sistemas de observadores. Para ello se vale de mecanismos como la retroalimentación y enlazamientos recursivos de la comunicación, para las formas de autogenerar el conocimiento de la realidad. Ello es útil, pues permite anticipar la dinámica de las manifestaciones sociales, con un renovado medio de observación.

En síntesis, el análisis de cualquiera de los sistemas señalados comenzará por desagregarlo o disgregarlo en sus partes componentes, pues la idea es disminuir la complejidad del sistema tratado, subsistemas y suprasistemas, ocupándonos siempre de las relaciones entre ellos, descubriendo sus fortalezas y debilidades proponiendo para ello una función objetivo que permita comparar y medir el resultado en relación con el cumplimiento de los propósitos planteados. En otras palabras, para el análisis será prioritario considerar “¿cómo es el sistema real?, ¿qué objetivo de mejora se persigue con el sistema a desarrollar?, ¿cómo medir el grado de cumplimiento del objetivo de mejora?, ¿cómo impactará el nuevo sistema desarrollado sobre el sistema real?, ¿qué habrá de cambiar y cómo deberá actuar el sistema real cuando tenga inmerso el nuevo sistema desarrollado?” (Ponsot, 2008).

7.4 ENTROPÍA EN LOS SISTEMAS COMPLEJOS

El término *entropía* se refiere a la tendencia natural de la pérdida del orden. En la termodinámica (donde aparece por primera vez) se le considera una magnitud que mide la parte de la energía que no se puede utilizar para producir un determinado trabajo; también es el grado de desorden que poseen las moléculas que conforman un cuerpo, o el grado de irreversibilidad alcanzada después de un proceso que implique transformación de energía. *Entropía* en relación con la información, es la cantidad de “desorden” que contiene o produce un sistema.

Lo siguiente expresa algunas ideas para mantener baja la entropía *“El control jerárquico requiere que se satisfagan tres condiciones, la primera, la imposición de una restricción debe imponer nuevas relaciones funcionales; en la segunda, la imposición de una restricción debe ser opcional (cuando se trata de sistemas vivos) en el sentido que no sea tan rígida o por el contrario tan relajada como para que las funciones específicas no se generalicen en el nivel inferior, en la tercera, la restricción debe actuar sobre las dinámicas detalladas de nivel inferior. Todo proceso de control requiere de la comunicación, de un flujo de información en la forma de instrucciones o restricciones”* (Checkland, 1993). Este concepto de información es una idea esencial aportada por el movimiento de sistemas, se dice que la información reduce la incertidumbre, incrementando el orden.

Para los sistemas sociales, *“en el concepto de entropía y en el concepto de ciudad se conjugan desorden y probabilidad. Entropía y ciudad se vuelven medidas del desorden y probabilidad”* (Bettini, 1998).

Y es que la ciudad es un sistema abierto desde un punto de vista entrópico, capaz de intercambiar materia y energía con los sistemas de su entorno. Además de la entropía negativa generada en el interior del sistema urbano (orden), es necesario también calcular la entropía

positiva (desorden) del medio externo. *“La ciudad-metrópolis crea desorden dentro y fuera de sí y de ahí que el ecosistema urbano induce siempre el desorden creciente, porque lo que siempre se degrada es energía. La ciudad, por tanto, en su constante aumento de entropía procede en la dirección preferente de la naturaleza, provocando una evolución en sentido único, exactamente como sucede en el universo”* (Bettini, 1998), en el sentido de buscar el control de los efectos humanos directos e indirectos sobre los ecosistemas, el equilibrio entre los insumos y productos materiales de los sistemas humanos y la minimización de los factores de perturbación de los ecosistemas, tanto locales como globales.

7.5 SISTEMAS LINEALES Y NO LINEALES

Son definiciones muy precisas que incorporan para su estudio las matemáticas en el sentido de determinar a través de ecuaciones si existen relaciones lineales o no, en las entradas y salidas del sistema. Se utiliza cuando los sistemas se han acotado suficientemente desde el punto de vista matemático. Los lineales se expresan matemáticamente a través de una línea recta a diferencia de los no lineales. En general, una vez caracterizado un sistema, se puede afirmar que un sistema lineal es más simple que el no lineal. Aquí, para los sistemas ya se tienen relaciones funcionales más precisas.

“Los sistemas complejos no son lineales, en el sentido de que muchas relaciones entre sus elementos son no lineales, por lo cual la magnitud de los efectos no son proporcionales a la magnitud de las causas, y en un repertorio muy nutrido de comportamientos (por ejemplo, comportamiento caótico, multi-estabilidad debido a la existencia de estados estables alternativos, procesos descontrolados, etc.). Las no linealidades desempeñan un papel decisivo en la generación del comportamiento contraintuitivo típico de muchos sistemas complejos” (Gallopín et al., 2001).

7.6 EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y EL PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD

En la actualidad la ciencia busca establecer un compromiso social con el fin de abordar la nueva visión de cara al Siglo XXI, se trata de producir cambios en el conocimiento científico predominante, de acuerdo a los fundamentos de las ciencias duras. El desafío es centrarse en los vínculos entre los sistemas sociales, políticos, económicos, biológicos, físicos, químicos y geológicos como un todo, que busquen explicaciones dinámicas y complejas de cruces sistémicos, donde antes predominaban modelos estáticos y reduccionistas, tal como lo han señalado distintos autores (Gallopín *et al*, 2001; Ravetz, 1996; Morín, 1999).

En orden casi cronológico, la mayoría de las investigaciones en ciencias humanas se han valido casi exclusivamente de dos principales grupos de modelos teóricos empiricistas, los modelos mecánicos y los modelos estadísticos (Reynoso, 2006). En los primeros, se procura analizar y explicar los mecanismos, factores o procesos que producen determinado estado de cosas; en los segundos, se busca inducir la regularidad, correlacionando una serie de fenómenos.

Los *modelos mecanicistas*, facilitan la explicación de cualquier fenómeno a partir de principios generales que describen su estructura interna, sus inferencias son deductivas y sus conclusiones deterministas. Los *modelos estadísticos* por su parte, se valen de la comparación de casos con el objeto de establecer las probabilidades de ocurrencia de un fenómeno. En estos modelos, no es la estructura interna del fenómeno el objetivo central, sino las condiciones o estímulos que suscitan determinadas conductas o respuestas, sus conjeturas son inductivas y sus conclusiones probabilísticas.

El primer grupo de modelos congela escenarios en un tiempo y en un espacio; el segundo, correlaciona varios momentos de éstos escenarios. Pero ¿qué ocurre cuando el

fenómeno a estudiar adolece de un extremo dinamismo?, y cuando su conducta en el tiempo y en el espacio, ¿fractura toda matriz de estudio? Un paradigma emergente, que se ha constituido en un arquetipo de articulación teórica, podría resultar útil como herramienta conceptual alternativa: *la complejidad*, cuyo énfasis sistémico apunta hacia fenómenos dinámicos, cambiantes y por ende complejos.

El *modelo de complejidad*, busca a través de conjuntos de observaciones, describir los diferentes aspectos de un sistema complejo, entendiendo la complejidad no como un atributo propio del fenómeno, sino inherente al punto de vista que se adopta y a los conceptos que se manejan. Así por ejemplo, puede entenderse como conjunto complejo el funcionamiento interno del organismo de una hormiga, o como componente básico e insignificante, el planeta tierra y su papel en los procesos del universo.

Son fragmentos organizados por el modelo de complejidad, el manejo de mecanismos de control, los bucles de retroalimentación, la autorregulación y la autoorganización de los cibernéticos; el concepto de sistemas abiertos a la energía y alejado del equilibrio de la teoría general de sistemas; los principios de estabilidad estructural y la morfogénesis en la teoría de las catástrofes y la dinámica no lineal de la teoría del caos (Reynoso, 2006).

Dada la naturaleza propia del comportamiento no lineal de los sistemas entendidos como complejos en un estudio cualquiera, el modelo de la complejidad no infiere ni conjetura, se limita sólo a *describir procesos*, permitiendo a través de los mecanismos de control y comunicación enunciados, *homologar organizaciones y comportamientos* de sistemas diferentes.

La complejidad de los sistemas con que debemos tratar en el campo de las ciencias para el desarrollo sostenible, es uno de los argumentos decisivos para la necesidad de cambios en la producción y utilización de la ciencia.

Son principios fundamentales del modelo de la complejidad, la *dialogica*, como la existencia de dos lógicas opuestas pero mutuamente necesarias, por ejemplo, el orden y el desorden; la *recursividad* que fractura la idea de la linealidad presente en el principio de causa-efecto; y la *hologramática* o total correspondencia del todo con las partes y viceversa (Ravetz, 1996; Morín, 1999; Gallopín et al, 2001; Reynoso, 2006).

En el caso de la sociedad, el principio de la dialógica se caracteriza por *“puntuar variablemente entre los polos conflicto / consenso, estabilidad / cambio, progreso / regresión, dominación / igualdad, individuación / estructuración, orden / desorden, determinismo / libertad y otros”* (Parra, 1981).

Siguiendo su orden cronológico, expone-mos a continuación las teorías que constituyen el *modelo global de la complejidad* (Figura 4):

a. LA CIBERNÉTICA

La cibernética es una aplicación tecnológica para desarrollar mecanismos de control.

Sus inicios datan del año de 1948, cuando el matemático estadounidense Norbert Wiener publica su obra *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*.

Según afirmaciones de Wiener en su tratado, en procura de hallar los elementos comunes en el funcionamiento de las máquinas y en los organismos vivos, desarrolló esta teoría que abarca todo el campo del control y de la comunicación en los sistemas complejos. Información y control son pues las dos características principales de esta teoría, teniendo como objeto de estudio los sistemas susceptibles de ser gobernados y controlados, es decir, sistemas autorreguladores.

“Sirva una última definición para remarcar el carácter de la cibernética, ahora relacionada con la complejidad y, de nuevo, con la información: Cibernética es la ciencia que estudia los principios abstractos de la organización en

los sistemas complejos. No se interesa tanto en qué constituye a los sistemas sino en cómo funcionan. La cibernética se enfoca en cómo los sistemas usan la información, los modelos y el control de las acciones para conducirse hacia sus metas, y mantenerlas, mientras actúan en contra de diversas perturbaciones. Siendo inherentemente transdisciplinario, el razonamiento cibernético puede ser aplicado para entender, modelar y diseñar sistemas de cualquier tipo: físico, tecnológico, biológico, ecológico, psicológico, social, o cualquier combinación de estos. La cibernética de segundo orden, estudia en particular el rol del observador (humano) en la construcción de modelos de sistemas y otros observadores” (Herrera Ruiz, 1997 en Rizo, 2004).

b. LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

En el año de 1976, con la publicación de la obra *Teoría General de Sistemas* el biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy, introduce el aspecto procesal del pensamiento sistémico.

A diferencia de los enfoques científicos clásicos, el enfoque sistémico centra su interés sobre la totalidad de los fenómenos observados y sus interrelaciones. Una de las bondades que ofrece el manejo y comprensión de ésta teoría, es el poder establecer isomorfismos entre sistemas diferentes como organismos vivos y máquinas construidas por el hombre, por ejemplo; permitiendo comprender la realidad en toda su complejidad y establecer lazos entre diferentes disciplinas (Bertalanffy, 1976).

c. LA TEORÍA DE LAS CATÁSTROFES

La Teoría de las Catástrofes, es un sistema matemático creado para modelar fenómenos naturales que -por presentar discontinuidad en su comportamiento-, no pueden ser modelados a través de cálculos diferenciales; es también conocido como

el modelo matemático de la *morfogénesis*, concepto que tiene su origen en la *biología del desarrollo* (Thom, 1950).

Esta teoría fue desarrollada y presentada por vez primera en 1950 por el matemático francés René Thom, aunque su difusión no tuvo lugar sino hasta mediados de los años 70, cuando cobraron interés el estudio de los sistemas dinámicos con la aparición de la Teoría General de Sistemas.

Aunque ésta teoría ha sido utilizada en biología, sociología, psicología y economía, su extrapolación no ha sido masiva, pues su aplicación resulta muy compleja.

d. TEORÍA DEL CAOS

Consiste en el estudio de los comportamientos impredecibles propios de los sistemas dinámicos y no lineales. Estos sistemas tienen tres clasificaciones, a saber: estables, inestables y caóticos, siendo el comportamiento de éstos últimos, el objeto de interés de ésta teoría.

Esta teoría, rama de la matemática, se desarrolló a lo largo de la segunda mitad del siglo XX y no es atribuida a ninguna persona en particular, sino al trabajo mancomunado de un grupo de científicos entre los que destacan el físico y matemático holandés Hendrik Antoon Lorentz –creador del atractor de Lorentz–, el matemático polaco Benoit Mandelbrot –conocido por su trabajo sobre geometría fractal–, el físico y matemático estadounidense Mitchell Jay Feigenbaum –creador de la serie numérica de Feigenbaum–, el también estadounidense Arthur Taylor Winfree, biólogo de profesión aunque conocido por su modelización matemática de fenómenos biológicos, por destacar sólo los más renombrados.

Conceptos como atractores periódicos a extraños, movimientos periódicos oscilatorios o péndulos, fractales y efecto mariposa, son

producto del lenguaje introducido a través de estas teorías.

Los *atractores* pueden ser periódicos, cuasi-periódicos y extraños, en tanto se relacionan con el tipo de movimiento que provocan en los sistemas, es decir, la manera cómo son atraídos hacia algún tipo de movimiento particular. Cuando las oscilaciones son periódicas entonces el atractor puede guiar el movimiento en una especie de estado predecible, por el contrario, cuando sigue trayectorias erráticas o indefinidas debidas a otros factores, entonces se habla de atractores extraños. El *movimiento oscilatorio* es aquel que recorre ciclos o revoluciones a través de una circunferencia. El que sea periódico es un atributo del movimiento oscilatorio que se refiere a su constancia e invariabilidad. Cuando un sistema se encuentra en reposo será dibujado como un punto, y un sistema en movimiento periódico será dibujado como un círculo. La palabra *fractal* deriva del Latín *fractus*, que significa quebrado o fracturado, es un objeto semi geométrico cuya estructura básica, es fragmentada o irregular. Para que un objeto geométrico sea considerado un *fractal* se le atribuyen diferentes características, entre otras, se repite a diferentes escalas de observación y es demasiado irregular para ser descrito en términos geométricos tradicionales. El *efecto mariposa*, en el marco del movimiento caótico, se refiere a que el aleteo de las alas de una mariposa puede crear cambios sensibles en la atmósfera, que en el curso del tiempo podrían modificarse hasta hacer que ocurra algo tan catastrófico como un tornado. La mariposa agitando sus alas representa un pequeño cambio en las condiciones iniciales del sistema, que deriva en una cadena de eventos que lleva a fenómenos a gran escala.

MODELO GLOBAL DE LA COMPLEJIDAD

Análisis de los Modelos	Teoría de la Cibernética	Teoría General de Sistemas	Teoría de las Catástrofes	Teoría del Caos
Objeto de Estudio	<p>Estudia los flujos de información que rodean los sistemas complejos para verificar hasta qué punto los sistemas están sujetos a patrones de control y comunicación.</p>	<p>Estudia los flujos de energía en los sistemas complejos en especial en los abiertos, la estabilidad en sus patrones de organización y la continua transformación de sus estructuras.</p>	<p>Estudia el comportamiento dinámico de los sistemas y los puntos críticos susceptibles de transformaciones radicales que puedan degenerar en bifurcaciones, dando paso a una nueva forma del sistema.</p>	<p>Estudia los comportamientos impredecibles de los sistemas dinámicos.</p>
Conceptos Fundamentales	<ul style="list-style-type: none"> *Bucles de retroalimentación. *Autoregulación. *Autoorganización. 	<ul style="list-style-type: none"> * Importación, transformación y exportación de energía. *Entropía negativa. * Información "feedback" negativo y proceso de codificación. *Estabilidad y Homeóstasis dinámica. *Diferenciación y Equifinalidad 	<ul style="list-style-type: none"> *Estabilidad estructural. *Punto crítico. *Bifurcación. *Morfogénesis. 	<ul style="list-style-type: none"> *Extrema sensibilidad a las condiciones iniciales. *Transitividad. *Dinámica no lineal.
Utilidad en el Estudio de la Ciudad	<p>Dado que la cibernética pretende encontrar y comprender los patrones de organización –en términos de la comunicación y el control- de los sistemas autoorganizados –entre los que se pueden contar los sistemas sociales-, puede constituir un valioso modelo en la ideación de escenarios de crecimiento y desarrollo de las ciudades, según diferentes tipos de información.</p>	<p>Dado que la cibernética pretende encontrar y comprender los patrones de organización –en términos de la comunicación y el control- de los sistemas autoorganizados – entre los que se pueden contar los sistemas sociales-, puede constituir un valioso modelo en crecimiento y desarrollo de las ciudades, según diferentes tipos de información.</p>	<p>Es un modelo capaz de proveer herramientas útiles para la prognosis del crecimiento y desarrollo de áreas urbanas a partir de circunstancias particulares como catástrofes naturales, o cambios inducidos en la vocación de las ciudades por ejemplo.</p>	<p>Las teorías del caos como modelo de análisis, parece adaptarse con facilidad al crecimiento anárquico y desbordado de las ciudades latinoamericanas, sobre todo en relación a los desarrollos espontáneos que en la actualidad representan casi el 70% de los patrones de ocupación del suelo urbano en nuestro hemisferio.</p>

FIGURA 4.
Modelo Global de la Complejidad. Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Los sistemas humanos conforman la Tecnosfera, no obstante, el hombre ocupa un lugar junto a otros seres vivos en la Biosfera por lo que su hábitat, la ciudad, debe ser reformulada.

Así como la *biosfera* –el mayor ecosistema natural– está conformado por los seres vivos del planeta en conjunto con el medio físico que los rodea; la *tecnosfera* es el conjunto de los medios artificiales que sustentan el desarrollo de la sociedad humana.

Ernst Haeckel considerado padre de la ecología definió en 1866 esta nueva disciplina como la *economía de la naturaleza*. Estableciendo así una raíz común entre los conceptos de economía y ecología, en tanto miden los flujos de materia y energía que atraviesa un territorio. Bettini (1998) afirma que de la misma manera que los ecólogos realizan una contabilidad natural para medir los fenómenos de la biosfera en relación con la materia y la energía, los economistas llevan a cabo –en la tecnosfera–, la contabilidad en la producción de bienes y servicios en relación con el consumo.

En los últimos años, producto del nivel de conciencia y corresponsabilidad social de los autores que promulgan el Desarrollo Sostenible, la transdisciplinaridad de profesiones proyectan con sus teorías y contextos de desempeño, el incorporar al modelo de analogía que existe entre un ecosistema natural y un ecosistema urbano, el desarrollo industrial. De ahí, la Ecología Urbana y la Ecología Industrial. Siendo, éstas, una forma más concreta de aplicar la ciencia y la tecnología a la comprensión e interrelación que debería existir entre el medio natural y el medio social-construido. Si bien los biólogos, naturistas, economistas, físicos y matemáticos han dado las bases filosóficas de esas fundamentaciones, la contemporaneidad involucra a los ingenieros industriales ambientales, forestales, arquitectos, urbanistas y diseñadores industriales, entre otros.

Del equilibrio entre la biosfera y la tecnosfera se podrá lograr reducir los impactos del hombre sobre el medio ambiente y por tanto reducir la llamada *huella ecológica*.

Definir la ciudad como ecosistema permite comprender cómo mejorar la salud y bienestar de las personas que en ella habitan, cómo preservar los valores históricos y patrimoniales y cómo administrar de forma eficiente la ciudad y sus territorios periurbanos. De hecho, en 1973 fue reconocida la importancia del análisis de la ciudad como ecosistema dentro del programa Man and Biosphere (MaB) de la UNESCO.

Estudiando el hábitat humano desde la visión sistémica, Rueda (1995) afirma que *“el hombre y sus ciudades son sistemas, considerados a su vez como subsistemas de sistemas más amplios, que soportan sus estructuras en procesos de recurrencia inestable. Las ciudades son ecosistemas interdependientes de otros sistemas que constituyen su entorno, formando una unidad íntima ciudad- entorno... El traspaso de información, materia y energía, entre la ciudad y el entorno es la base que mantiene y hace más compleja si cabe, la estructura organizada de la ciudad, pero en la misma medida, el entorno se modificará fruto de esta relación.”*

Analizar la ciudad como ecosistema presenta ventajas, más allá de su interés cultural o científico, pues puede constituirse en una herramienta eficaz para elaborar las políticas y planes de desarrollo de la ciudad, en términos de movilidad, productividad, tributaria, de salud pública en general y comunicación, por mencionar sólo algunas.

Y es que *“el conocimiento del estado de salud ecológica de una ciudad, adquirido gracias a un inventario de datos observados, de medidas y de un análisis completo del ecosistema urbano, permitiría definir, finalmente, una política urbana capaz de convertir en más humana –o, tal vez, solamente humana–, en <civil>, la vida en nuestras ciudades”* (Bettini, 1998). A lo cual podríamos agregar que una visión ecológica, en la manera

como abordamos la planificación y diseño urbano, podría redundar en el desarrollo de ciudades sostenibles que apunten a la sustentabilidad de la vida humana.

La visión que se propone debe apuntar hacia la Ecología Urbana. Esto es, un paradigma que estudia, evalúa, diagnostica y planifica considerando la interrelación entre la envolvente Biosfera y la Tecnosfera. Adicionalmente, este enfoque se orienta hacia una ciencia que pragmatiza el inventario y las diferentes interrelaciones que se generan en una localización determinada, con el fin primario de procurar una sociedad para la vida ciudadana, afianzada en el establecimiento de principios éticos, morales y toda la suma de valores inmateriales, respetuosos y sensibles para con el medio ambiente. Los valores materiales, son el resultado final de la laboriosidad honesta y forjadora de sus hombres, ajustadas a las leyes y normas como dictamen final de la justicia... La sociedad justa y sostenible del siglo XXI.

9. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Programa de Doctorado en Ciencias Humanas de la Universidad de Los Andes, en cuyo marco se produjeron las ideas de este artículo, las cuales constituyen el fundamento epistemológico de las tesis doctorales que se adelantan en los temas del paisaje, el patrimonio y la movilidad urbana de Briceño, Gil y Gómez, respectivamente.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, M. 2003. Fundamentos del constructivismo sociopoiético. Diciembre: Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile, Chile. *Cinta de Moebio* N° 018. 78 p.

BERTALANFFY, L. 1976. *Teoría general de los sistemas*. 1ª Edición. Fondo de Cultura Económica. Madrid, España. 294 p.

BETTINI, V. 1998. *Elementos de ecología urbana*. Editorial Trotta. Serie Medio Ambiente. Madrid, España. 138 p.

CHECKLAN, P. 1993. *Pensamiento de sistemas. Práctica de sistemas*. 1ª Edición. Grupo Noriega Editores. D.F. México, México. 279 p.

GALLOPÍN, G., S. FUNTOWICZ, M. O'CONNOR y J. RAVETZ. 2001. *Una ciencia para el siglo XXI: del contrato social al núcleo científico*. En línea: <http://www.oei.es/salactsi/gallopín.pdf> [Consultado: 23/01/09]

JACOBI, C. 1999. *Bases ecológicas para o desenvolvimento sustentável. Ecologia urbana*. Sao Paulo, Brasil. 371 p.

MORÍN, E. 1999. *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). París, Francia. 272 p.

PARRA, F. 1981. ¿Para qué sirve la teoría de sistemas en sociología?. *Reis: Revista española de investigaciones sociológicas* 15:77-111.

PONSOT, B. E. 2008. *Informatización de organizaciones con Microsoft Access*. 1ª Edición. Mérida: Publicaciones Vicerrectorado Académico. Colección Textos Universitarios. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 182 p.

RAVETZ, J. 1996. Conocimiento útil, ¿Ignorancia útil?, en *Thies J., Kalaora B. (comps), La tierra ultrajada: Los expertos son formales*, FCE. 268 p.

REYNOSO, C. 2006. *Complejidad y Caos: una exploración antropológica*. Editorial SB. Argentina, Buenos Aires. 210 p.

RIZO, M. 2004. *Explorando la Cibercultura. Apuntes desde la teoría Cibernética*. En línea: <http://www.cibersociedad.net/congres2004/> [Consultado: 14/01/2009]

RUEDA, S. 1995. *Visiones de la ciudad: del urbanismo de cerda a la ecología urbana*. En línea: <http://www.arkediem.com/ecourbano/imag/ART%20visiones%20de%20la%20ciudad.pdf> [Consultado: 18/01/2009]

SAURA, CARLES I CARRULLA. 2003. *Arquitectura y medio ambiente*. Ediciones UPC. Architectonics. Mind, Land & Society. España, Barcelona. 183 p.