

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**



**Modelo para valorar la atribución de Sustentabilidad a los procesos con
perspectiva de la organización monetaria**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

PRESENTA

LUIS VILDOSÓLA REYES

MEXICALI, B.C., MÉXICO

NOVIEMBRE DEL 2003

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**



**Modelo para valorar la atribución de Sustentabilidad a los procesos con
perspectiva de la organización monetaria**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

PRESENTA

LUIS VILDÓSOLA REYES

DIRECTOR DE TESIS

DR. MARCO A. REYNA CARRANZA

©2003. Reproducción y distribución permitida para usos no comerciales, educativos y de investigación en condición que sea incluido éste enunciado en reserva de derechos.

MEXICALI, B.C., MÉXICO

NOVIEMBRE DEL 2003

Agradecimientos

A Marco A. Reyna , por sus atenciones así como su orientación y constante apoyo.

A Oscar Romo por su valiosa revisión y recomendaciones.

Por sus aportaciones en particular a: Carolina Armijo, Larisa Burtseva, Sahra Ojeda, Elizabeth Ramírez.

A los miembros del Instituto de Ingeniería por formar la atmósfera de trabajo.

A mi madre por su apoyo desmedido, a mi padre que ha dado origen a largas discusiones que se ven maduradas en ésta tesis.

A quienes recaudando mérito siguen en anonimato.

Estructura y Contenido

	Página
Introducción	1
Capítulo 1.-Planteamiento del problema	4
1.1.- Alcances y límites	
Capítulo 2.- Antecedentes	10
2.1.- El concepto termodinámico de ecosistema	
2.2.- Una reseña a la Teoría General de Sistemas (TGS)	
2.3.- Modelo del flujo energético	
2.4.- Reseña a la metodología de Sistemas Viables	
2.5.- Reseña a la teoría de autopoiesis	
2.6.- Emergía	
Capítulo 3. Reseña de las variantes del concepto de Entropía	16
3.1.- Relación entre métricas entrópicas	
3.2.- Recapitulación a las teorías de la información y entropía	
Capítulo 4.- Marco Teórico	21
4.1.- Aplicación de sistemas viables a la problemática ambiental	
4.2.- Estado y límites del sistema	
4.3.- Relación simbiótica de vida anabólica y catabólica	
4.4.- Estrategia entrópica de un sistema viable	
Capítulo 5.- Metodología	30
5.1.- Definición de unidades y algunas derivadas	
5.2.- Condición de sostenibilidad	
5.3.- Metrología individual y colectiva	
5.4.- Justificación de $G_R > 0$ como política económica para la sostenibilidad	
5.5.- Justificación de $G_{Int} < 0$ como política económica para la sostenibilidad	
5.6.- Implementación del modelo en cumplimiento de las condiciones sostenibles	

CONTENIDO

	Página
Capítulo 6.- Beneficios esperados	36
6.1.- Análisis comparativo con el trinomio del banco mundial	
6.2.- Agenda 21 y las metas del milenio de la Organización de Naciones Unidas	
6.3.- Sistema autopoietico	
Conclusión y recomendaciones.	39
Referencias	41
Anexos	46
A.- Economic / Environmental System Interaction	
B.- Comparative Estimate of Process Sustainability Margin for Developed and Developing Countries	
C.- Analyzing the Association of PM10 with the Respiratory Diseases in the Populations of Mexicali, Baja California and Imperial County, California: A Time Series Study	

Lista de Figuras

	Página
Fig 1.-Ilustración sistémica de holarquías de paradigmas	8
Fig 2.-Flujo entrópico y recurrencia	23
Fig 3.-Metabolismo anabólico y catabólico	24
Fig 4.-Primer simbiosis	26
Fig 5.-Segundo estadio	26
Fig 6.- Probable evolución	27
Fig 7.- Trinomio del Banco Mundial	36
Fig 8.- Circulo Kataplitto	38

Introducción

Bajo la perspectiva de las limitantes entrópicas de sistemas , el presente trabajo aborda e identifica las condiciones en que es posible el generar una relación sinérgica o de mutuo apoyo entre el desarrollo económico y la conservación ambiental, así como las políticas del orden monetario y fiscal aplicables a la economía dentro de este cambio estructural y de modernización ecológica. Esto a su vez requiere de un amplio margen de discrecionalidad a los individuos para la solución a los requerimientos de adaptación locales.

La actualidad del trabajo aquí expuesto radica en la exposición a problemáticas de la contaminación ambiental, el abasto de alimentos y la administración de los recursos energéticos.

Objetivo general de la investigación:

Interpretar el concepto de sostenibilidad bajo la forma de un modelo matemático y normar criterio en cuanto a las medidas de abatimiento al grado de contaminación ambiental en una zona urbana genérica mediante la estimación de sus flujos entrópicos originarios de diversas fuentes.

Objetivos específicos son:

1. Formular la unificación de los sistemas físico, económico y político mediante el modelaje de sistemas y el concepto de entropía.
2. Identificar las variables ambientales que podrían intervenir en la construcción de un modelo de sostenibilidad en base al concepto de entropía.
3. Identificar las políticas para mejorar o conservar la calidad del medio ambiente de una zona urbana.

Hipótesis del trabajo :

El intercambio de entropía identificado en las relaciones sistémicas de los elementos, ambiental y político-económico, es determinante para la sostenibilidad del medio ambiente.

Este trabajo provee un plan de acción basado en un marco teórico renovado que surge del aprendizaje originado de la experiencia colectiva. El trabajo aquí expuesto ha permitido identificar la coincidencia de aquellas políticas económicas que representan estabilidad del sistema con las políticas que representan la sostenibilidad del mismo.

La investigación se desarrolla basada en los métodos de la lógica matemática; teoría de sistemas; teoría de información; parte de los postulados elementales de la física para generar un juicio sintético del fenómeno transformador de la energía y su relación con la organización social a través del instrumento monetario.

En base a los conceptos de entropía de un macro-ensamble molecular que en 1870 definió Boltzmann, al concepto del cuanto de luz que Planck postuló en 1900 y a los principios de la cibernética de Ashby que dio lugar al modelo de sistemas viables de Stafford Beer en 1979, se realiza la integración de la organización social dentro de los procesos físicos de transformación, esto permite abordar el desarrollo, la estabilidad y la sostenibilidad de una forma natural a la primer y segunda ley termodinámica.

En el desarrollo de esta tesis se identifica la necesidad de cumplir con las limitantes inherentes a la biosfera como precondition a la sostenibilidad.

La limitante de partida para la biosfera, con la cual se desarrolla el trabajo, es aquella definida por la transformación de la energía solar, desde una temperatura relativamente alta hacia otra de temperatura inferior. Proceso en el que se da una transformación física cuantificable mediante el concepto termodinámico de entropía.

El desarrollo por lo tanto hace énfasis en la importancia de la transformación de ésta energía por encima del mismo concepto de energía, coincidiendo con la visión relativa a la única posibilidad de vida en la condición del cumplimiento de la segunda ley de la termodinámica, como lo anuncia Ilya Prigogine, por mencionar una voz reconocida en ésta línea de pensamiento.

Para efecto de realizar una evaluación de la condición de sostenibilidad aplicando el concepto de variedad requerida de Ashby (1956), se requiere acercar los fenómenos de transformación luminoso solar y el relacionado a las transformaciones por conducto de la actividad económica.

Para el primer acercamiento se hace una aportación minúscula que identifica la correspondencia de el número de fotones con la entropía termodinámica y por lo tanto, el

aumento en la entropía debido al número de ellos al descender la temperatura en un proceso de transformación luminosa en seguimiento al modelo energético de Planck.

Para el segundo acercamiento, se identifica el cambio de entropía del sistema económico a través de dos alternativas, la primera consiste en la identidad monetaria que se establece conjuntamente entre el capital circulante y el índice de precios energéticos, la segunda consiste en la identidad que se establece entre las variables meramente físicas como lo son la velocidad de transformación energética y la frecuencia a las que se desarrollan las actividades económicas.

Estas dos transformaciones representan los postulados erigidos como base del sistema, la tesis plantea la posibilidad de inducir un ciclo virtuoso en relación a la dinámica y condiciones propicias para la sostenibilidad, en efecto representa un estado inducido (autopoietico) en equilibrio dinámico, fuera del equilibrio estático.

El trabajo fue aprobado durante la presentación ante el comité de posgrado en Mayo del 2002 y en el Seminario de Investigación No. 80 del Instituto de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Baja California presentado el día 21 de Noviembre del 2002.

En el transcurso y desarrollo de este proyecto se realizaron las siguientes publicaciones:

- 1.- Vildosola, L. (1991). *Economía Sintética*. RePEc
<http://econwpa.wustl.edu:80/eps/ge/papers/9805/9805002.pdf>
- 2.- Vildosola, L. (2002). *Circular Variable Work in Process*. RePEc
<http://econwpa.wustl.edu:8089/eps/mac/papers/0203/0203004.pdf>
- 3.- Vildosola L. (2003). *Economic/Environmental System Interaction*. RePEc
<ftp://wueconb.wustl.edu/econ-wp/ge/papers/0306/0306001.pdf>
- 4.- Vildósola L., Reyna M. (2001). *Correlacion De La Morfologia De Los Potenciales Tardios Ventriculares Con Funciones Wavelets*. Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica. ISBN 959-7132-57-5
- 5.- Vildósola L., Reyna M., Romo O. (2003). *Comparative Estimate of Process Sustainability Margin for Developed and Developing Countries*. Second Annual Sustainable Business Conference Memoir. Auckland, Nueva Zelanda.

Capítulo 1. Planteamiento del problema u oportunidad

Podemos citar tres problemas fundamentales relativos a la asociación de ideas, a los vínculos de contacto con la realidad y a la implementación misma, enumerados en los siguientes párrafos.

1.-Un paradigma puede aislar a la comunidad de aquellos problemas sociales importantes que no son reductibles a la forma de un problema estructurado, porque ellos no pueden ser enunciados en los términos de las herramientas conceptuales e instrumentales que el paradigma ofrece. (Kuhn, 1962)

2.-Tras haber seguido a León Walras, considerado el padre de la teoría general del equilibrio económico, la observación de hechos ha sido subordinada a la teoría. Aquellos hechos no correlacionados con las teorías han sido en general ignorados (Daly&Cobb,1989).

3.-El impacto sustantivo de asuntos como el cambio en el uso del suelo, pérdida de especies, invasiones biológicas, son en verdad difíciles de documentar para el ciudadano común; los cambios y mecanismos de retroalimentación traídos por la globalización aún están emergiendo. Por ello, el verdadero trabajo radica en generar consenso científico relativo al significado de éstos eventos, después en comunicarlo y generar a su vez el consenso político, esto es, una mayoría que crea en la necesidad de tomar acción. (McQuaid, 1999).

A manera de crear un marco de la problemática general se hace mención a continuación de algunos eventos ideológicos de relevancia.

El concepto comúnmente aceptado de la vida es algo que se proyecta como un fenómeno emergente y que utiliza la materia como vehículo de transporte. Hay quienes afirman la existencia de formas de vida en extensión a la que se manifiesta directamente en nosotros tales como Gaia (Lovelock, 1988), que hace referencia al planeta tierra como una entidad viviente con destino propio.

Hasta finales de los 70's la palabra "sostenibilidad" era usada ocasionalmente, en la mayoría de los casos refiriéndose a las formas en las que los recursos forestales debían ser usados. Por otro lado, la expresión "sostenibilidad" ha sido tradicionalmente usada como sinónimo de "largo-plazo", "durable", "puro" o "sistemático", entre otros.

En 1987 el reporte Brundtland también conocido como “nuestro futuro común” (“Our common future”) alertó al mundo relativo a la urgencia de alcanzar progreso en el desarrollo económico que fuera sostenible sin acabar con los recursos naturales o degradar el ambiente. El reporte aportó un enunciado clave, “Desarrollo Sostenible” definiéndolo como el desarrollo que cumple con los requerimientos del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987:8).

El Reporte Brundtland reporta las discusiones de la Comisión Mundial para el Ambiente y el Desarrollo, grupo oficial establecido por la Organización de Naciones Unidas (ONU) para investigar las formas por las cuales la conservación ambiental se podría conseguir de manera sistemática e internacionalmente, considerando aspectos económicos, sociales y políticos.

Sin embargo, la definición de Brundtland no especifica a los planificadores o economistas cómo reconocer el desarrollo sostenible o cuáles podrían ser sus características principales; simplemente se limita a identificar el problema (Batty, 2001)

“El desarrollo sostenible sólo puede ser alcanzado si la actividad humana es restringida dentro de límites marcados por la capacidad del medio ambiente. Si la información técnica es pobre o ausente, entonces para identificar esas restricciones, el principio precautorio debe ser aplicado. De tales restricciones para la sostenibilidad son requeridos procesos de planeación política para proponer objetivos que puedan ser alcanzados mediante una gama de herramientas políticas apropiadas” (Buckingham-Hatfield y Evans, 1996:145-6).

El reporte Living Planet 2000 estima que mientras el estado del ecosistema natural de la tierra ha sido reducido cercano al 33 por ciento en los últimos treinta años, la presión ecológica de la humanidad sobre la tierra ha sido incrementada por un 50 por ciento en el mismo lapso de tiempo. El World Wildlife Fund (WWF, 2000) estima que esto excede el ritmo de regeneración de la biosfera.

Por otro lado “se espera que los planificadores hagan crecer la economía, distribuyan este crecimiento con justicia y en el proceso no degradar el ecosistema” (Campbell, 1999:252).

Después de haber hecho mención de éstos eventos ideológicos, podemos enfocar nuestra atención a aquello que determina el ambiente problemático en general.

1.-Lo que nosotros medimos condiciona nuestros actos, además el proceso de medición enfoca nuestra atención en cómo nuestras acciones elegidas son capaces de cambiar al medio (ambiente) circundante. Es por ello de suma importancia el objeto bajo estudio y su medición debido a que esto determina como nosotros eventualmente invertiremos nuestro tiempo y atención, además, lo que elegimos medir tiene importancia porque ello nos ayudará a moldear nuestras acciones y nos ayudará a comprender más acerca del problema real u oportunidad que intentamos abordar.

2.-Los sistemas biológicos dentro del cuál operan las economías se ubican en el área de la ecología evolutiva, y éste es el campo dentro del cuál el concepto de entropía debe ser aplicado junto con el concepto de entropía económica (McGowen, 2002). La ecología evolutiva estudia los patrones ecológicos, es decir, las relaciones entre seres vivos en un medio compartido así como los procesos evolutivos.

3.-La existencia de una comunidad de organismos en un ambiente compartido plantea como requisito para la vida, el que éstos puedan formar parte y estar inmersos en el ciclo de materia y flujo de energía. Aquí radica la importancia de la contaminación por representar una condición que limita este flujo para cualquier comunidad y en condiciones de frontera, la imposibilita.

4.-La problemática política y legislativa implica en un sentido extremo, la necesidad de mantener la coherencia entre los intereses individuales y los de carácter público.

5.-En estas dos disyuntivas encontramos el campo de vida de todo individuo, por un lado éste se desenvuelve en un medio ambiente de soporte que le provee y por otro lado, vive en un medio político/legislativo que manifiesta su dependencia en un tejido social.

En resumen, la problemática abordada consiste en identificar aquello que, pudiendo asociarse con la voluntad colectiva y a los actos sumados individuales, nos permita conciliar los intereses individuales en vida social y la necesidad de conservar el medio ambiente como un requisito del interés público.

Habiendo hecho mención de la problemática ambiental se implica con ello la existencia de un requisito concomitante relativo a la eficiencia en los procesos de prevención y abatimiento de la contaminación, también existe el requisito de empatar la

política con la problemática ambiental así como el planteamiento de una solución simultánea a ambos campos en términos de un lenguaje compartido entre ellos. De lo contrario, habrá de replicarse un fractal político así como uno legislativo.

Es importante el identificar una métrica en vía de implementar una solución global para efectos de formar y estandarizar criterios que aglutinen voluntad pública y logren representatividad política coherente.

La propuesta debe ser continua con la herencia cultural y con la responsabilidad histórica.

Otros esfuerzos han representado importantes avances en identificar la problemática ambiental y de sostenibilidad mas no han sido lo suficiente englobantes como para explicar eficientemente los principios de transformación en toda escala. La tesis aquí enunciada permite identificar rumbos de acción altamente específicos en términos de política económica exhaustiva y, compactamente defendible, con miras a la sostenibilidad del medio ambiente.

“Los países en desarrollo buscan soluciones a problemas de contaminación puntuales producto de procesos productivos -Primera ola-. Los países ricos buscan soluciones a los problemas relacionados con patrones de consumo en su estilo de vida, que provocan problemas de contaminación esparcidos -Segunda ola-.” (Rydin, 1999).

1.1.- Alcances y límites

Toda acción realizada por el hombre altera al medio ambiente, ya sea de impacto positivo o negativo, que se revierte en su beneficio o perjuicio, por lo que conocer cuáles son las variables que intervienen en los procesos relacionados a las actividades que realiza puede dar indicios respecto al cómo mantener su equilibrio.

Se busca un mayor conocimiento de la interacción hombre-entropía del medio ambiente.

Con base en el estudio, se facilitaría la propuesta de alternativas políticas para dar seguimiento y controlar la entropía del medio ambiente como indicador de la sostenibilidad y de la salud ambiental.

Todo lo que conlleve o contribuya a mantener en buen estado la salud ambiental, derivará en un aumento en la calidad de vida de sus habitantes producto de un medio ambiente habitable en lo que a contaminación se refiere.

En el diagrama de la figura 1 se muestra la relación que existe entre los sistemas relacionados al medio ambiente así como los enfoques de estudio que pueden aplicarse.

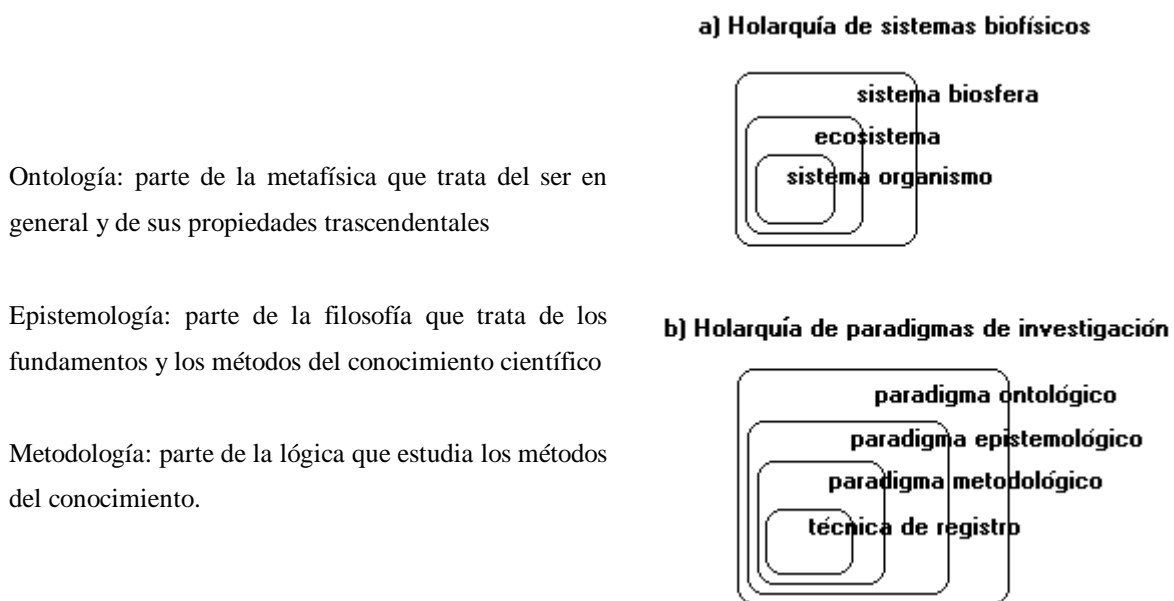


Fig.1 Ilustración sistémica de holarquías de paradigmas (Funch, 1995)

El planteamiento estará limitado al campo epistemológico en función de replantear un método diferente relativo al conocimiento científico, como vía a una solución general de sistemas a la problemática ambiental.

De ésta línea de investigación y la puesta en práctica de las actividades a las que el estudio conlleva como conclusión del singular planteamiento, pueden esperarse los siguientes resultados :

- La aplicación eficaz y eficiente de la energía en la solución a la problemática de contaminación ambiental.
- Una ampliación de la puesta en práctica de las habilidades, conocimiento de la gente que se refleje en el abatimiento de la contaminación.
- Mejorar la comunicación y las relaciones en la comunidad como prerequisite al punto anterior.
- Mejorar la adaptabilidad general de la comunidad.
- Mejorar la salud pública, lograr una economía diversificada y estable, un ecosistema saludable.

Capítulo 2. Antecedentes

El presente capítulo tiene por objeto el dar una relación de las teorías y conceptos que han antecedido a esta tesis para crear un marco de referencia, su finalidad es invitar al lector a realizar una crítica individual relativa a las aportaciones de estos trabajos precursores ya que no han sido aquí expuestos de manera exhaustiva. También se tiene como finalidad el motivar la participación individual en la implementación del sistema propuesto en esta tesis, cuya sostenibilidad radica en gran medida sobre la capacidad individual de asimilar el cambio implícito.

“Mientras que el concepto holístico de desarrollo sostenible permanece como una meta poderosa de largo alcance que aglutina asuntos de relevancia y provee un puente entre políticas, la sociedad sostenible no será lograda en un solo salto holístico por planificadores o cualquiera otro grupo de expertos.” (Davoudi,S. y Layard,A., 2001:17).

Haré la excepción en sugerir observar cómo aún no se concretizan en las teorías citadas alguna recomendación englobante y compacta, relativa a la conducción de política económica alguna consistente con un conjunto extenso de principios relativos a la sostenibilidad; algunas por no ser ésta su finalidad, tal como es el caso general de las formulaciones relativas a la teoría de sistemas y en otros casos por no homogenizar las variables observables, al grado de identificar un factor común en ellas como se muestra en ésta tesis al incluir el concepto de entropía.

“La vaguedad deliberada del concepto, aún como es definido por Brundlandt, es un reflejo de la política del poder y de la negociación política involucrada, no tanto una manifestación de alguna dificultad intelectual insuperable” (Wackernagel y Rees, 1995:64).

“Sólo cuando se ha talado el último árbol, pescado el último pez y contaminado el último río habrás de considerar que no puedes ingerir el dinero” (Shiva, 1992:193)

2.1.- El concepto termodinámico de ecosistema (Ricklefs, 2002).

En 1925, Lotka introdujo el concepto del ecosistema como una máquina transformadora de energía descrita por un conjunto de ecuaciones representando

intercambio de materia y energía entre los componentes y obedeciendo a los principios termodinámicos que gobiernan toda transformación de energía.

El término ecosistema fue acuñado por el ecólogo Inglés A.G.Tansley en 1935. Lo utilizó para definir la unidad que cubre a todos los organismos de un área determinada así como sus relaciones con el ambiente inorgánico. Los organismos contenidos en un ecosistema forman biocenosis, su ambiente inanimado es llamado un habitat. A la totalidad de todos los ecosistemas sobre la tierra se le denomina biosfera (Sengbusch, 2002).

La biosfera incluye la parte baja de la atmósfera, los mares y las capas superiores de la corteza terrestre (Centro de Ecología y Desarrollo, 1994).

En 1942, Raymond Lindeman introdujo las ideas de Lotka (Ricklefs, 2002) relativas al ecosistema como una maquina transformadora de energía y las expuso a ecologistas incorporando:

- Conceptos termodinámicos de Lotka
- El concepto de la cadena alimenticia de Elton como una expresión de la estructura del ecosistema
- El concepto de Tansley relativo a que el ecosistema es la unidad fundamental en la ecología

Los fundamentos de Lindeman son :

- El ecosistema es la unidad fundamental de la ecología
- Dentro del ecosistema, la energía pasa por muchos procesos o eslabones en la cadena alimenticia.
- Cada eslabón en la cadena alimenticia representa un nivel trófico (o nivel alimenticio)
- Ineficiencias en la transformación conducen a una pirámide de energía en el ecosistema

Un concepto fundamental para el entendimiento del ecosistema es el de “Estructura trófica” (Ricklefs, 2002) que se compone de:

- Productores (autótrofos), sobreviven de energía solar y otras fuentes no vivas de energía (inorgánicas)
- Reductores (heterótrofos), dependientes de fuentes orgánicas de energía
 - Consumidores (alimentan de fuentes vivientes)
 - Descompositores (alimentan de Fuentes no vivientes)

2.2.- Una reseña a la Teoría General de Sistemas (TGS) (Cramer, 2001)

En este apartado se expondrán brevemente las ideas de Bertalanffy (1973) y Varela/Maturana (1974) por ser la primera un pilar en el desarrollo de la TGS; la última por plantear una excepción o fenómeno emergente al planteamiento general de los sistemas abiertos de Bertalanffy.

El término “Teoría General de Sistemas” (TGS) fue acuñado en 1949 en un libro titulado “General Systems Theory” por el biólogo Austriaco-Americano Ludwig von Bertalanffy quien la visualizó como una herramienta interdisciplinaria y holística.

La TGS fue instrumentada para describir cualquier fenómeno en términos de su organización estructural. Debido a que un organismo biológico podía analizarse como un sistema e inclusive una comunidad política, la TGS fue instrumentada para llenar el hueco entre la ciencia y las humanidades.

En la versión de Bertalanffy y sus seguidores de 1950 y 1960, TGS se refirió principalmente acerca de la diferencia entre los sistemas abiertos y los cerrados. De acuerdo a Bertalanffy, los sistemas abiertos se comunican, tienen un metabolismo e intercambian sus componentes a manera de compensar la entropía. Por otro lado, los sistemas cerrados están sujetos a la entropía. Según Bertalanffy, los sistemas cerrados sólo existen en teoría, no en la realidad.

2.3.- Modelo del flujo energético

Eugenio Odum, de la universidad de Georgia, popularizó la ecología a una generación de ecologistas a través de su libro titulado “Fundamentos de Ecología” publicado en 1953. Odum siguió edificando la estructura del ecosistema en ecología reconociendo la utilidad de la energía y masa de los elementos como una “moneda” común en el análisis comparativo de la estructura y función de un ecosistema. (Ricklefs, 2002)

E.Odum extendió sus modelos para incorporar el reciclado de nutrientes. Los flujos de energía y materia están estrechamente relacionados en la operación de un ecosistema. Sin embargo, son fundamentalmente diferentes en dos puntos, primero, en que la energía

entra al ecosistema como luz y es degradada en calor; segundo, que los nutrientes ciclan indefinidamente, convirtiéndose de inorgánicos a orgánicos y nuevamente inorgánicos.

Además, el estudio del ciclado de los nutrientes proveen un índice relativo al flujo de energía. (Ricklefs, 2002)

2.4.- Reseña a la metodología de Sistemas Viabiles

Cuando una organización tiene problemas, se asume que los principios cibernéticos están siendo violados.

En el Modelo de Sistemas Viabiles se enfatizan los elementos esenciales de una organización (Implementación, coordinación, control, inteligencia, política) así como el objetivo de mantener su identidad.

Existe un énfasis en la relación entre la unidad viable y su medio ambiente, en particular en la aplicación de ésta relación para promover el aprendizaje.

La fuente de control está esparcida a lo largo del sistema viable, facilitando la auto-organización y solución local de problemas. Esta es una razón para prever una puesta en practica de las habilidades y conocimientos de cada individuo.

La metodología de Sistemas Viabiles enuncia el principio de la retroalimentación y la ley de la variedad requerida (Ashby,1956), que sostiene que la variedad de un controlador debe igualar o superar aquella de lo cual está siendo controlado.

La transmisión (y almacén) de información está relacionada con la existencia de un conjunto de posibilidades. La palabra “variedad”, en relación a un conjunto de elementos distinguibles, será usada para referirse ya sea al numero de elementos distinguibles o al logaritmo base dos de éstos elementos. Cuando la variedad es medida en la forma logarítmica, su unidad es el “bit”, una contracción de “Binary digiT”.

Un concepto de gran importancia, es el de “restricción”. Se refiere a la relación entre dos conjuntos y ocurre cuando la variedad que existe bajo una condición es menor a la variedad que existe bajo otra condición.

Parece que las restricciones no pueden ser clasificadas en alguna forma sencilla pues incluyen a todos los casos en que por alguna razón un conjunto se reduce de lo que de lo contrario pudiera ser. Por un lado, la clasificación parece ser un problema; pero por otro, la

clasificación es irrelevante ya que la unidad de medida para todas y cualquier restricción es homogénea y esto permite construir una sola clase; la clase de la entropía, sin importar la extensión y magnitud del sistema. La clase puede aplicarse tanto a la biosfera en general así como a una ciudad o un recinto habitacional.

La cibernética observa la totalidad en toda su posible riqueza para después preguntar el porque la realidad debiera ser restringida a una porción del total de posibilidades. Aquí reposa el objetivo del presente trabajo, aplicado a la problemática de contaminación ambiental.

La recursividad se refiere a que los principios de sistemas viables son aplicables a todo nivel del sistema, que cada uno de los subsistemas tiene fundamentalmente la misma estructura que el meta-sistema. En la figura 2 (apartado 4.2) puede apreciarse este principio.

Toda unidad viable es guiada e integrada con las demás unidades por un meta-sistema.

La estructura del sistema viable provee mecanismos para la coherencia, medios para facilitar que las partes trabajen en cooperación. Estas estructuras orientadas a la coherencia son el enfoque principal del modelo de sistemas viables.

2.5.- Reseña a la teoría de autopoiesis.

Con el trabajo de los biólogos Humberto Maturana y Francisco Varela, ambos de origen Chileno, la TGS fue objeto de un cambio sustancial en paradigma a principios de 1970. A diferencia de Bertalanffy, Maturana y Varela no hicieron negación categórica acerca de la viabilidad de un sistema cerrado sino que enunciaron la hermeticidad parcial u “operacional” presente en todos los sistemas vivientes. Esta observación estuvo ligada a un nuevo concepto que Maturana y Varela introdujeron a la teoría de sistemas, aquella relativa a la auto generación o “autopoiesis”. Autopoiesis simplemente aplicada como un descriptor para el proceso auto reproductivo en los sistemas vivientes, por ejemplo, la división celular y el crecimiento. Pero implicaba algo más, como el que la recursión o auto referencia no sólo es un fenómeno relativo al campo de la matemática sino un fenómeno sistémico general que también ocurre en todo sistema viviente. Por ello, aplicando la línea de

autopoiesis a la conciencia humana, Maturana y Varela concluyeron que la realidad misma es una invención mental y por lo tanto subjetiva.

En la literatura original, la autopoiesis no es definida directamente como un proceso. En su lugar, es definida indirectamente en base a cómo opera una “maquina autopoietica”. En particular, un sistema autopoietico realizado en el espacio físico es un sistema viviente. La particularidad distintiva de un sistema viviente es el mantenimiento de su organización.

2.6.- Emergía

Emergía (deletreada con “m”) evalúa el trabajo previamente desarrollado para realizar un trabajo o servicio. Emergía es una medida de la energía utilizada en el pasado y que por ello es diferente de cualquier medición de energía hecha hoy. La unidad de emergía (utilización pasada de energía) es el emjoule para distinguirlo de joules utilizados para energía disponible hoy. Puede interpretarse como memoria energética.

Se aplica diferente tipo de emergía para cada tipo de energía disponible. Por ejemplo: para emergía solar aplica emjoules solar, emergía eléctrica aplica emjoule eléctrico. No existe emergía en energía degradada (energía sin disposición a realizar trabajo). Tal como la energía, la emergía es medida en relación a un nivel de referencia. En la mayoría de las aplicaciones se ha expresado todo en unidades de emergía solar (Odum H.T.,1996).

Capítulo 3. Reseña de las variantes del concepto de Entropía

Exergía.- usualmente aplicada en Europa, se refiere a máxima cantidad de energía que puede extraerse de un sistema si le es permitido el equilibrio con su medio ambiente.

Essergía.- se refiere al flujo de energía y materia disponible principalmente de plantas verdes y otros fotosintetizadores.

Entropía en las ciencias físicas.- la noción termodinámica de entropía fue introducida en 1854 por Ruldolph Clausius. En 1870 Ludwig Boltzmann encontró una definición 'estadística' de entropía, la cuál el proclamó reducía la noción anterior hecha por Clausius. Al mismo tiempo, Josiah Willard Gibbs introdujo una noción ligeramente diferente de entropía estadística. En las siguientes décadas, Josef Loschmidt y Ernst Sermelo señalaron paradojas aparentes con el reclamo que éstas nociones de entropía se comportaban similarmente a la entropía de Clausius (que en un sistema cerrado no puede disminuir al transcurrir del tiempo). El famoso teorema de recurrencia, probado en 1898 por Henri Poincare aparentemente resolvió éstas paradojas. Alrededor de 1930, John von Neumann (inventor de la computadora programable) introdujo el operador de entropía, el cuál representa el análogo de entropía numérica para la mecánica cuántica. Recientemente (alrededor de 1960), E.T. Jaynes descubrió una conexión, el principio de la entropía máxima, entre la mecánica estadística y la entropía introducida por Shannon. Actualmente, Ilya Prigogine y sus colaboradores están desarrollando la teoría estadística para la mecánica fuera del equilibrio y varios físicos intentan generalizar la noción entrópica de von Neumann en el contexto de álgebras no conmutativas (Hillman,1996).

Entropía en la inferencia y predicción estadística.- Ronald A.Fisher introdujo la noción de información en la teoría de la inferencia estadística en 1925. Ahora se comprende que esta información de Fisher está relacionada con la noción de entropía de Shannon. En 1951, Solomon Kullback introdujo la divergencia entre dos variables aleatorias (también conocida como entropía cruzada, discriminación, entropía de Kullback-Lieber,etc.) y encontró otra conexión entre la entropía de Shannon y la teoría de la inferencia estadística. Existe un principio de divergencia mínima que generaliza el principio de entropía máxima, y en las últimas décadas, Edwin Jaynes y sus seguidores han intentado desarrollar una

teoría Bayesiana de la probabilidad basada en el principio de entropía máxima. Recientemente una teoría de “manifolds” ha sido desarrollada, en la que entropía aparece como una cantidad geométrica relacionada con la curvatura. (Hillman,1996).

Entropía en la teoría de la información y de la codificación.- en 1948, motivado por el problema de transmitir eficientemente información a través de un canal ruidoso de comunicación, Claude Shannon introdujo simultáneamente una nueva manera de pensamiento probabilístico relativo a las comunicaciones y creó la primera verdadera teoría matemática de la entropía. Sus ideas fueron rápidamente desarrolladas en dos vertientes de desarrollo. 1) teoría de la información, que hace uso de la teoría de probabilidades y teoría ergódica para estudiar las características estadísticas de los datos y de los sistemas de comunicación 2) teoría de la codificación, que emplea herramientas algebraicas y geométricas para el diseño de códigos eficientes en diversas aplicaciones (Hillman,1996).

Entropía en sistemas dinámicos.- a mediados de 1950, Andrei Kolmogorov utilizó la noción entrópica probabilística de Shannon en la teoría de sistemas dinámicos y demostró cómo la entropía puede en ocasiones ser utilizada para determinar si dos sistemas dinámicos son no-conjugados (Vg. no-isomorficos). Su trabajo inspiró un nuevo acercamiento en donde la entropía aparece como una invariante numérica de una clase de sistemas dinámicos. La entropía métrica de Kolmogorov es una métrica teórica invariante de sistemas dinámicos y es estrechamente relacionada con la entropía de fuente de Shannon. En 1961, Roy Adler et al. introdujeron la entropía topológica, que es el análogo invariante para sistemas topológicos dinámicos. Pronto resaltó que existe una relación simple entre éstas cantidades, maximizando la entropía métrica sobre una clase apropiada de métrica puede estimarse la entropía topológica definida sobre un sistema dinámico (Hillman,1996).

Entropía en la lógica y en la teoría de algoritmos.- unos años después de su aplicación del concepto de entropía de Shannon al estudio de sistemas dinámicos, Kolmogorov divisó como introducir un nuevo concepto de entropía, la complejidad algorítmica de una secuencia finita de bits. Casi al mismo tiempo, Ray Solomonoff desarrolló la noción de probabilidad algorítmica y Martín Loef utilizó ideas similares para desarrollar una teoría de aleatoriedad algorítmica.. Mientras tanto, Gregory Chaitin descubrió independientemente muchas de las mismas ideas. Después, Chaitin descubrió una

conexión muy ilustrativa con el teorema de Kurt Goedel acerca de lo incompleto. (Hillman,1996).

Entropía en la biología.- los biólogos han reconocido las aplicaciones potenciales de la idea de Shannon en su materia. En particular, los biólogos moleculares han encontrado el concepto de entropía de Shannon útil en estudiar patrones en la secuencia genética. (Hillman,1996).

Para una lista amplia de trabajos relacionados al concepto de entropía véase Hillman (2002)

3.1.- Relación entre métricas entrópicas

La importancia de identificar las diversas formas de concebir a la entropía radica en que el proceso de investigación no siempre cuenta con una ilación lineal de ideas con trabajos previos. Estos se manifiestan disgregados para cumplir con cierto análisis de interés particular. En base a la adopción de éstas aportaciones es que la presente tesis aglutina una representación holística para los procesos de transformación que impactan el medio ambiente compartido.

H se refiere a la incertidumbre de la materia en un macro arreglo comprendido por micro elementos, cada uno en un micro estado específico (Schneider,1999)

A) Boltzmann (1871), Gibbs (1878).- S entropía física de un sistema

$$S \equiv -k_B \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad \left(\frac{joules}{K \bullet microestado} \right) \quad (1)$$

o simplemente $S_B \equiv k_B \ln N$ donde N es el número de grados

de libertad del macro-sistema.

B) Shannon (1948), Weaver (1949), Pierce (1980), Bharath (1987)

$$H \equiv -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (\text{bits por microestado}) \quad (2)$$

La incertidumbre de un macro arreglo cuantificada en bits puede representarse en Joule/K mediante

$$S = k_B \ln(2)H \quad (3)$$

La incertidumbre de un macro arreglo medida en cuantos radiantes (ver ecuación_17) al eliminar la constante de Boltzmann, permite también representar la ecuación 3 mediante

$$S = \ln(2)H \quad (4)$$

La interpretación de ésta identidad indica ser de gran importancia por el desarrollo que se hará mas adelante.

C) Kennedy (2001).- S entropía física de un sistema gaseoso, en donde @ es la cantidad de acción

$$\Delta S = R \ln \left(\frac{@_2}{@_1} \right)^3 = R \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{1.5} \quad (5)$$

para gases monoatómicos con un solo grado de libertad, de traslación.

D) Shu-Kun Lin (2001).- Revisión a la teoría de la información

$$L = S + I \quad \text{donde:} \quad (6)$$

L es la máxima entropía debido a la distribución de los micro estados de la materia.

S es la entropía o simetría de la materia

I es la cantidad de información que la materia describe o almacena en su arreglo

3.2.- Recapitulación a las teorías de la información y entropía

La relación termodinámica $S=Q/T$ tiene por objeto describir la capacidad energética interna que contribuye a la temperatura a manera que $\partial T/\partial Q = 1/S$ (7)

A mayor entropía del sistema es menor el cambio esperado en la temperatura para un incremento energético dado.

La ecuación (7) tomada del concepto original de entropía termodinámica apoya la explicación de Kennedy referente al principio de almacenamiento de energía para arreglos moleculares recurrentes y a su vez sugiere que la entropía termodinámica (S) planteada por Kennedy corresponde a la entropía informativa (I) tomada del concepto de Shu-Kun Lin.

La importancia de ésta distinción es mayúscula debido a que la tesis aquí planteada será relativa a identificar condiciones propicias para el desarrollo sostenible en función de las limitantes entrópicas de un sistema, así también debido al antecedente enunciado por S.K.Lin relativo a la relación inversa de las variables S e I.

Capítulo 4. Marco teórico

4.1.- Aplicación de sistemas viables a la problemática ambiental

En el caso de esta tesis, se busca un aprendizaje orientado a la sostenibilidad del medio ambiente.

La segunda ley de la termodinámica es reconocida como el marco teórico bajo el cual puede explicarse el avanzar del tiempo y el desarrollo de la vida. Esta ley termodinámica trae como consecuencia el concepto de entropía.

La entropía es entonces un concepto fundamental y de bajo nivel que puede explicar inclusive la formación de otros elementos esenciales a la vida como la capacidad de replicar la secuencia genética de todo organismo y consecuentemente determinar las condiciones ambientales para que este fenómeno de replicación se dé.

“Permanece una verdad que la política gubernamental relativa al desarrollo sostenible y su implementación a través de mecanismos de planeación ha fallado en implementarse más allá de una sostenibilidad débil” (Merrett, 1994). De alguna manera Merrett nos sugiere que el abordar la problemática ambiental aplicando al concepto de entropía precisamente por ser de bajo nivel y con ingerencia en toda ánima, representa un acercamiento prometedor.

Como se plantea más adelante (ver ecuación 21), la sostenibilidad se relaciona con la cantidad de entropía disponible en la interfase de la biosfera y la variedad disponible a los ecosistemas o al “controlador” (Ashby, 1956).

Se dice que los sistemas viables hacen un énfasis en la estructura organizacional, los procesos de control de comunicación y por ello reflejan pobremente los procesos sociales, la cultura organizacional y la competencia política. Esta aseveración es incorrecta pues el mismo concepto de la variedad requerida, que a su vez puede representarse por la entropía, condiciona los procesos sociales, la cultura organizacional y la competencia política tanto en calidad como en cantidad.

Se dice que la metodología de sistemas viables alienta el control intrínseco mas no la motivación intrínseca referente a quien establecerá los objetivos. Ello no es plenamente

justificado pues el análisis de las limitantes entrópicas también forma un explicativo de la motivación individual y colectiva.

Se concluye que el concepto de entropía es idóneo para el análisis y diseño de sistemas viables, un caso típico de ello es el reto de sostenibilidad para el medio ambiente. La entropía disponible puede ayudarnos a modelar el desarrollo de la biodiversidad bajo el esquema de la figura 2 tal como lo ha sugerido Kennedy.

El desarrollo de la tesis se fundamenta en el modelaje de “la variedad requerida de Ashby”, postulado que a manera especial se integra bajo el concepto de la entropía. La ley de la variedad requerida (Ashby, 1956) sostiene que la variedad disponible de un controlador debe igualar o superar aquella de lo cual está siendo controlado (variedad requerida). De estos dos últimos párrafos puede relacionarse a la contaminación como las condiciones externas al ecosistema que imposibilitan su capacidad regenerativa mediante dos mecanismos, en ciertos casos limitando la variedad disponible y por lo general incrementando la variedad requerida. La contaminación se ha estudiado bajo la perspectiva de aquellas variables que físicamente identifican a la contaminación misma, en alguna medida se intenta unificar los sistemas político y económico pero encuentran la dificultad de homogenizar los indicadores involucrados en ésta diversidad de sistemas. Esto último se identifica con los objetivos planteados en la tesis.

4.2.- Estado y límites del sistema

Con el fin de lograr los objetivos de la tesis, se requiere una labor de reconocimiento para un objeto de estudio que cumpla el cometido preliminar de desarrollar la metodología para así después extenderla a otros límites ya sea inferiores (subsistemas) o superiores (meta-sistemas). Con ello se inicia el estudio de la biosfera.

Para ello se considera relevante que la tierra reciba 1.7×10^{24} erg/seg a una temperatura de 6000K y que ésta sea re-emitida a una temperatura aproximada de 255K en la superficie de la biosfera. Por lo tanto la cantidad de entropía disponible para disipación en la biosfera es del orden de 6.4×10^{21} erg/°K•seg. (Kennedy)

Según Kennedy y otros autores, los procesos internos a un sistema generan ésta entropía a expensas del universo y/o del entorno

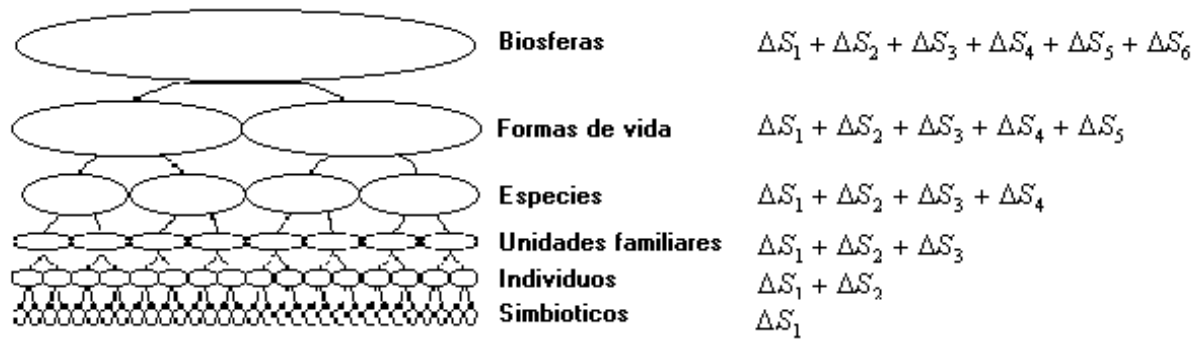
$$\Delta S_{universo} = \Delta S_{entorno} + \Delta S_{sistema} \quad (8)$$

Si la sostenibilidad radica en la capacidad de los organismos que se desarrollan en la biosfera para hacer uso de un flujo energético entonces existe, al parecer, la ruta forzada hacia el desarrollo sostenible que consiste en fomentar, en los límites del sistema, una temperatura de radiación inferior hacia el entorno (de la tierra al espacio) debido a la identidad

$$S = \frac{Q}{T} \quad \text{donde Q es la cantidad de energía radiante o térmica} \quad (9)$$

El ritmo de cambio tecnológico, así como la posibilidad de la manifestación cultural y social también pueden esperarse que estén limitados en la actualidad por 6.4×10^{21} erg/Kseg, se verá mas adelante que el significado de ésta cantidad una vez convertida a unidades simplificadas por la constante de Boltzmann, representa 4.62×10^{37} cuantos /s. De ser correcta ésta línea de exploración, habrá que identificar vías de desarrollo bajo este modelo así como sus posibles restricciones, explorar e identificar las condiciones de frontera.

Fig 2 Flujo entrópico y recurrencia (Funch,1995)



La figura 2 muestra como en un sistema jerárquico, necesariamente el sistema de mayor jerarquía hereda el flujo entrópico de los subsistemas y este último debe a su vez exportar ésta entropía hacia el exterior de manera que se respete el siguiente modelo:

$$\Delta S_{meta-sistema} = \Delta S_{entorno} + \Delta S_{sistema} \quad (10)$$

o perderá su estructura e identidad

4.3.- Relación simbiótica de vida anabólica y catabólica

La figura 3 sitúa a los dos procesos elementales que transforman la materia así como la energía, éstos son el anabolismo y el catabolismo.

Anabolismo se refiere a la creación de moléculas complejas a partir de otras más simples haciendo uso de una fuente de energía.

Catabolismo se refiere a la destrucción de moléculas complejas para producir otras más simples con el fin de extraer energía.

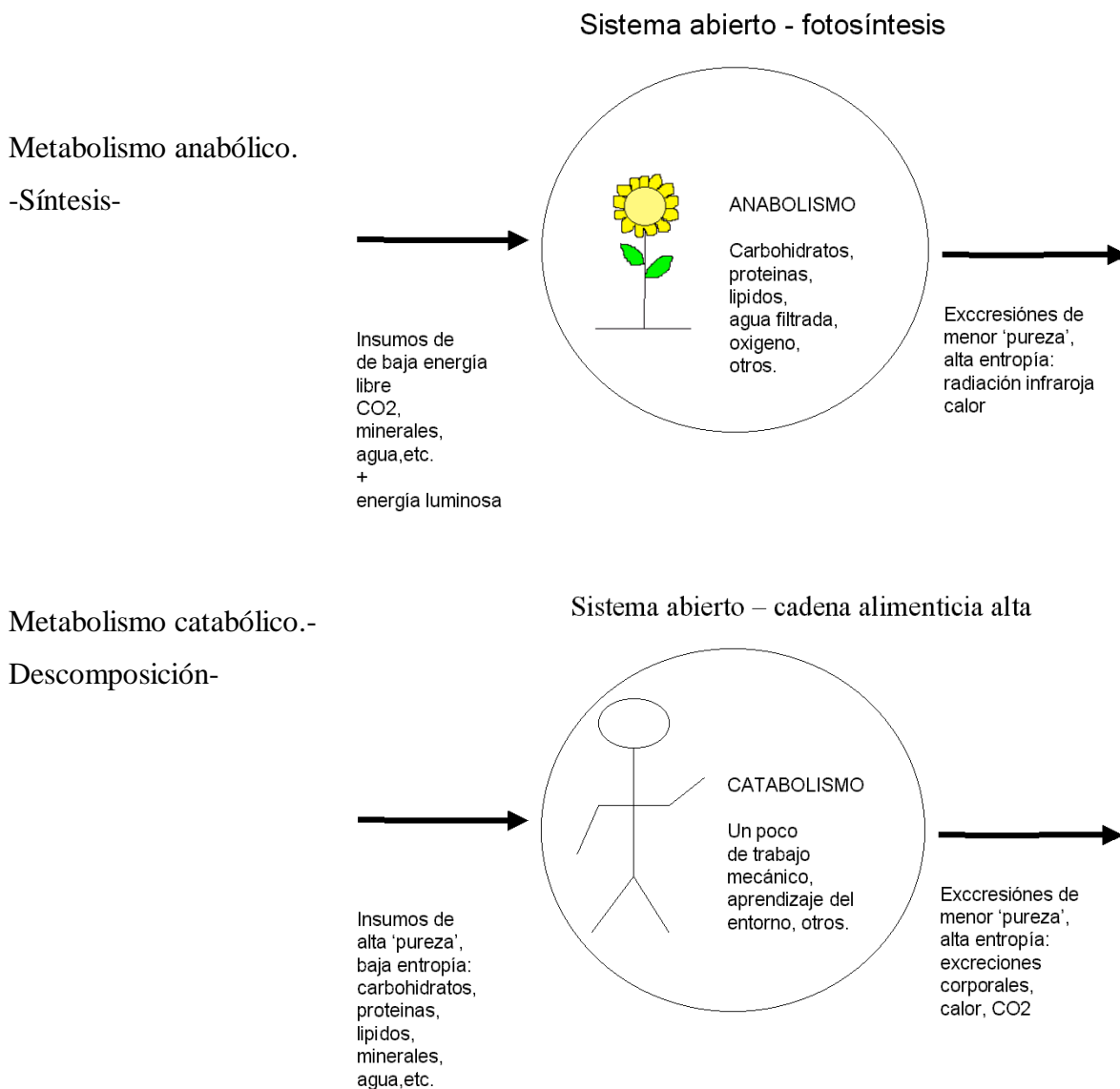


Fig 3 Metabolismo anabólico y catabólico

El dominio de sistema biótico propuesto por Woese y otros es un modelo evolutivo de clasificación basado en las diferencias en las secuencias de los nucleoides dentro del ribosoma (rRNA) celular así como en la estructura lipídica de la membrana celular y su sensibilidad a los antibióticos. (Kaiser, 2001)

Eukariota Organismos cuyas células tienen un núcleo limitado por una membrana y muchas estructuras especializadas localizadas dentro de los límites celulares. En éstos organismos, el material genético está organizado en cromosomas que residen en el núcleo.

Archaea:

Metanógenos. Los metanógenos viven en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno). Los metanógenos utilizan hidrógeno y compuestos ricos en hidrógeno y bióxido de carbono para su metabolismo, produciendo metano como desecho.

Termófilos extremos. Los termófilos extremos viven en agua muy caliente y usualmente no pueden vivir a temperaturas menores. Estos organismos oxidan azufre como fuente de energía y desechan ácido sulfúrico.

Halófilos extremos. Los halófilos extremos viven en agua con concentración muy alta en sal (cerca del 20%), no pueden vivir en menor concentración. Extraen energía de una fotosíntesis muy distinta de la utilizada por algas y plantas.

El análisis del dominio biótico propuesto por Woese permite abstraer algunas propiedades:

Se presencia un metabolismo ya sea anabólico o catabólico.

Los productos de los organismos anabólicos son utilizados por los catabólicos para la energía en su proceso metabólico.

Los anabólicos extraen su energía de otras fuentes que no están relacionadas con los organismos catabólicos.

En apariencia, los organismos anabólicos pueden subsistir sin los catabólicos pero no en el caso contrario.

La aparente contradicción de la evolución con esta última observación deberá proyectar una nueva visión de los ecosistemas y de la simbiosis en general mediante el concepto de entropía.

En un principio (Fig.4) el ciclo se cerró mediante la degradación de las estructuras moleculares complejas a través de radiación con alta energía.

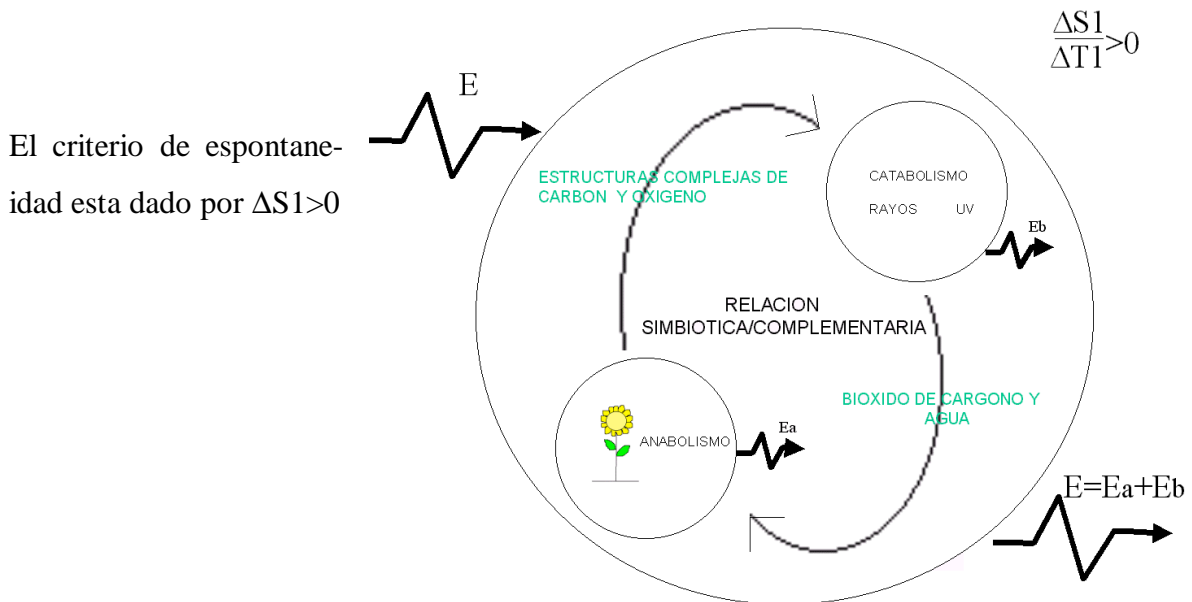


Fig.4 Primer simbiosis

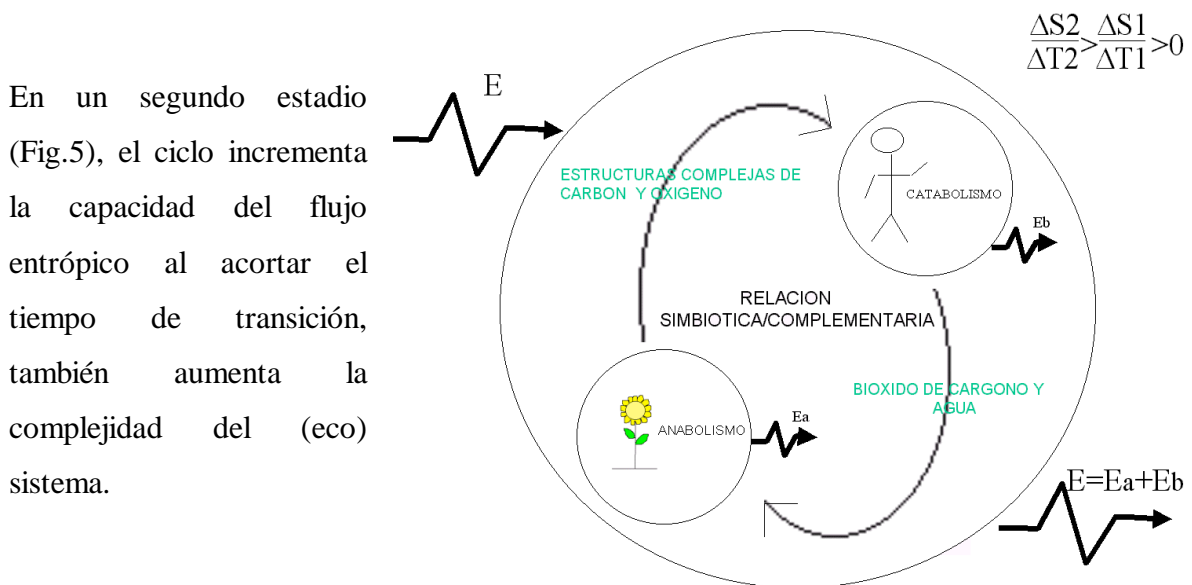


Fig.5 Segundo estadio

La figura 6 muestra un escenario estimado al futuro cuando la complejidad del sistema incrementa aún más en el caso que esto permita el metabolizar un flujo entrópico mayor y de existir un mecanismo de ciclo virtuoso.

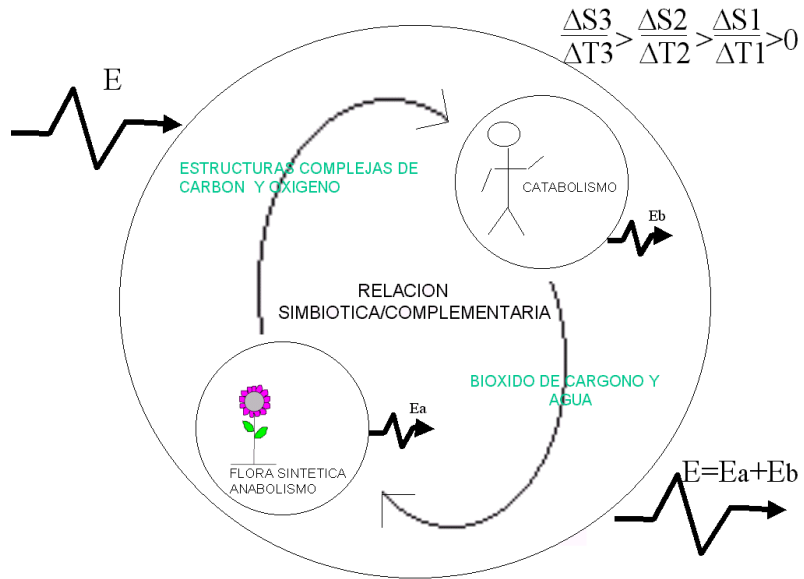


Fig.6 Probable evolución

Por lo tanto, lo que se espera es la vida simbiótica, un fenómeno emergente que acelera el cambio entrópico dentro de la biosfera.

4.4.- Estrategia entrópica de un sistema viable

“El bloqueo de la segunda ley de la termodinámica es absolutamente necesaria para que nosotros tengamos vida. Ninguna de las complejas sustancias en nuestro cuerpo existirían por un microsegundo si la segunda ley no fuera obstruida. Su tendencia nunca es eliminada pero afortunadamente para nosotros, hay una cantidad enorme de compuestos en el que es bloqueada por el periodo de nuestras vidas y en algunos casos por periodos mas largos.” (Lambert, 2000)

Axioma.- La vida se presenta bajo un flujo entrópico. La vida no es una variable de estado energética, no es variable de estado entrópica.

Axioma.- El medio ambiente de cada individuo y de una colectividad determina la posibilidad del flujo entrópico.

Al identificar los juegos de transferencia interna de entropía de la biosfera bajo la influencia de la actividad colectiva humana, podremos diseñar un sistema propicio para la simbiosis/mutualismo con los medios naturales o sintéticos.

El planteamiento de S.K.Lin (2001) así como el de Kennedy (2001) identifican el desarrollo de los sistemas bajo el escenario de baja entropía/alta simetría así como la posibilidad de uno con alta entropía/baja simetría, de donde puede concluirse:

- a) Los mecanismos de expansión del flujo entrópico dentro de la biosfera requieren de medidas acordes a la diversificación de organismos para metabolizar plenamente el espectro de la energía de suministro y aumentar el flujo entrópico.
- b) La diversificación corresponde a la disminución en la simetría del sistema y a un aumento en su entropía termodinámica.
- c) El isomorfismo de la diversificación en la organización molecular corresponde, a mayor escala, con la diversificación biótica y con la diversificación en la escala social que implica la especialización de los mecanismos entrópicos individuales.
- d) El isomorfismo de la simetría de un sistema en la organización molecular corresponde con la homogenización de la biótica, erradicación de especies, con un medio ambiente gris turbio a lo largo de todo el sistema por agentes contaminantes.

La diversificación acelera el ritmo del flujo entrópico, también aumenta la entropía del sistema. La primer condición no puede darse sin un cambio en la temperatura de emisión de la biosfera, el segundo desenlace es la condicionante para que este cambio en la temperatura se dé. Ambos forman un sistema virtuoso en los términos de Peter Senge (1997).

“La política para el desarrollo económico y protección ambiental pueden ser combinadas en un efecto sinérgico. En lugar de ver a la protección ambiental como un freno al crecimiento, la modernización ecológica promueve la aplicación de una política ambiental estricta como una influencia positiva en la eficiencia económica y sobre la innovación tecnológica. Similarmente, en lugar de percibir el desarrollo económico como la fuente del deterioro ambiental, la modernización ecológica busca el aprovechar las fuerzas de la empresa para un beneficio ambiental” (Gouldson y Murphy, 1997:94).

La estructura de un sistema virtuoso implica a su vez, la presencia de mecanismos retroalimentados que mal encausados pueden conducir a un sistema o ciclo vicioso.

Capítulo 5. Metodología

Las limitantes inherentes en la exposición lingüística convencional, pero sobre todo el atractivo de un desarrollo compacto para los preceptos fundamentales adoptados en ésta tesis, induce a dar énfasis en la importancia de la comunicación a través de un metalenguaje que logre hacer un planteamiento sistemático de la lógica. Para éste fin será patente en el presente capítulo el lenguaje matemático elemental.

En lo subsiguiente se desarrolla la tesis en cuatro relevos,

- Primero- la métrica fundamental (entropía) de los procesos de transformación
- Segundo la condición de sostenibilidad expresada en la métrica fundamental
- Tercero La integración del sistema económico dentro de la formulación de sostenibilidad
- Cuarto Rumbo de la política económica favorable a la sostenibilidad y los efectos esperados de la implementación así como de su omisión.

5.1.- Definición de unidades y algunas derivadas

k	constante de Boltzmann	1.38×10^{-17} erg/°K
h	constante de Planck	6.63×10^{-29} erg seg
T	temperatura	K
ν	frecuencia de la luz	Hz
n	número de cuantos de luz	
T_i	temperatura a la que entran los cuantos al sistema	K
n_i	número de cuantos de luz entrante al sistema	
T_f	temperatura a la que son emitidos los cuantos del sistema	K
n_f	número de cuantos de luz emitidos por el sistema	

La energía cuántica de un fotón de luz la definió Planck como el producto $-hv$ (11),

Boltzmann estableció la relación $E=kT$, (12)

Kennedy las une mediante la identidad $kT=hv$. (13)

De lo anterior se desprende que la energía total esta dada por la relación

$$Et=nhv \quad (14)$$

Clausius definió la entropía como $S = \frac{Q}{T}$ (15)

Donde Q es la energía total del sistema, por ello aplicando (13), (14) y (15) obtenemos

$$S_v = \frac{nhv}{T} = \frac{nkT}{T} = nk \quad (16)$$

Kennedy ha propuesto el significado de la constante de Boltzmann como un medio para la conversión de unidades de energía y por lo tanto con esto concluimos que la forma natural para expresar la entropía es simplemente como el número de cuantos o fotones presentes o en potencia de un sistema determinado. $S = n$ (17)

Una pregunta abierta remanente es ¿hasta qué grado se cumple la siguiente relación que establece el cambio estructural de la materia con el cambio en la calidad de la energía radiante contemplando la relación establecida entre la entropía de Boltzmann y la entropía en (16)?

$$N_f = N_i e^{(n_i - n_f)} \quad (18)$$

Concluiré este apartado haciendo una breve explicación del probable mecanismo por el cual la energía total (14) se transforma

desde $Et = n_i hv_i \rightarrow n_f hv_f$ donde $v_f < v_i \therefore n_f > n_i$

De aquí que $\Delta S = n_f - n_i$

También puede apreciarse que esto necesariamente acontece en un lapso de tiempo determinado

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{n_f}{\Delta t} - \frac{n_i}{\Delta t} \quad (19)$$

Esta expresión hace suponer que se dan los mecanismos para un efecto Doppler dentro del sistema debido a su asimetría.

5.2.- Condición de sostenibilidad

$$\Delta S = n_i \left(\frac{n_f - n_i}{n_i} \right) = n_i G_S \quad \text{Aumento de entropía para la energía radiante que pasa a través de la biosfera}$$

en donde $G_S = \frac{n_f - n_i}{n_i}$ (20)

De la ecuación (12) puede identificarse que $n_i T_i = n_f T_f$ y por lo tanto $n_f / n_i = T_i / T_f$

también $G_S = \frac{T_i}{T_f} - 1$ (21)

La entropía generada por el sistema económico es

$$\Delta S_E = S_{Ei} G_{S_E}$$

en donde S_{Ei} es la entropía inicial del sistema económico y G_{S_E} es el gradiente entrópico de la actividad económica.

Entonces la condición de sostenibilidad es:

$$\Delta S_E - \Delta S \leq 0 \therefore \Delta S_E \leq \Delta S$$

Al darle un contexto mixto de actividad económica junto con actividad radiante, la condición anterior se traduce a:

$$G_{S_E} \leq \frac{n_i}{S_{Ei}} \left(\frac{T_i}{T_f} - 1 \right) \quad (22)$$

5.3.- Metrología individual y colectiva

Si tomamos como variable trazable y universal el número de cuantos radiantes, podremos modelar la generación o suministro de flujo entrópico de cada individuo tal cómo en el caso de la biosfera.

$$\Delta S_d = n_i G_{S_d}$$

$$\Delta S_{d1} + \Delta S_{d2} + \dots = n_{i1} G_{S_{d1}} + n_{i2} G_{S_{d2}} + \dots = (n_{i1} + n_{i2} + \dots) G_{SE} \quad (23)$$

$$G_{S_E} = \frac{\sum n_i G_{S_d}}{\sum n_i} \quad (24)$$

Aquí puede apreciarse que aquellos organismos o poblaciones con mayor suministro de cuantos n_i serán los que predominen en la cuantificación del gradiente entrópico G_{S_E} y por lo tanto son críticos en el cumplimiento de la condición de sostenibilidad.

Otra dificultad por superar consiste en que el modelo (24) no es directamente aplicable en un sistema que cuenta con una cadena alimenticia así como una estructura social donde el suministro entrópico es relevado de un elemento a otro.

En el caso de la cadena alimenticia contamos con innumerables mecanismos de comunicación para la transferencia del flujo entrópico definidos por su estructura trófica. En el caso de la estructura social presenciamos un convenio de intercambio entrópico mediante el instrumento denominado "dinero" que a su vez es influenciado por la semántica del lenguaje. La variable "dinero" es la observable para efectos de control, la variable semántica no lo es.

El estado entrópico del subsistema real o virtual sobre el cuál un individuo ejerce potestad es:

$$S_E = \frac{E}{kT}$$

La energía sujeta a transformación sobre la cual este individuo ejerce potestad virtual, a través del intercambio de bienes por dinero, está definida por:

$$E = \frac{Kc}{P}$$

en donde Kc es el monto de dinero circulante,

P es el valor en dinero de la unidad energética, véase Vildósola (1991)

El vinculo para empatar la energía real con la virtual es la estabilización dinámica de los mercados, así,

$$S_E = \frac{Kc}{kTP} \quad (25)$$

G_x es el cambio porcentual de x en el tiempo

$$G_{S_E} = G_{Kc} - G_P - G_T \quad (26)$$

La exposición del núcleo para ésta tesis concluye al comparar ésta expresión con la ecuación (22)

5.4.- Justificación de $G_R > 0$ como política económica para la sostenibilidad

De acuerdo con la ecuación (22), el margen de seguridad está dado por la distancia que existe entre la capacidad de la biosfera para emitir entropía y nuestra generación de la misma

$$Mrg = \frac{n_i}{S_{Ei}} \left(\frac{T_i}{T_f} - 1 \right) - G_{S_E} = \frac{n_i k T P}{K_c} \left(\frac{T_i}{T_f} - 1 \right) - G_{K_c} + G_P + G_T \quad (27)$$

También aplica la siguiente ecuación donde Q es la energía transferida dentro del sistema por unidad de tiempo y R es la velocidad del dinero, véase Vildósola (1991)

$$Mrg = \frac{n_i k T R}{Q} \left(\frac{T_i}{T_f} - 1 \right) - G_Q + G_R + G_T \quad (28)$$

De la ecuación (27) puede observarse que una condición, con implicaciones de política económica, para incrementar este margen, es hacer:

$$-G_{K_c} + G_P \geq 0 \quad (29)$$

$$-G_Q + G_R \geq 0 \quad (30)$$

En las condiciones actuales para la biosfera se tiene:

$$n_i = 2.05 \times 10^{37} \text{ cuantos / seg} \quad T_i = 6000 \text{ K} \quad T_f = 255 \text{ K}$$

$$Mrg = \frac{(6.37 \times 10^{21} \text{ erg/Kseg}) T P}{K_c} - G_{K_c} + G_P + G_T \quad (31)$$

$$Mrg = \frac{(6.37 \times 10^{21} \text{ erg/Kseg}) T R}{Q} - G_Q + G_R + G_T \quad (32)$$

5.5.- Justificación de $G_{Int} < 0$ como política económica para la sostenibilidad

De la justificación para $G_R > 0$ ubicada en el apartado anterior debe considerarse para un programa económico integral orientado a la sostenibilidad que en el tiempo inmediato sólo está involucrada la variable K_c y que en el tiempo lejano K_c debe ser sustituida por la suma $K_c + K_p$.

En dónde K_p representa el monto de deuda interna de un país, también es expansiva en la variable $-Int-$ por lo que el gradiente de ésta variable debe ser menor que cero, $G_{Int} < 0$ de manera que se cumpla $\lim_{t \rightarrow \infty} K_c + K_p = K_c$

La dinámica de K_p es: $K_{p_t} = K_{p_i}(1+Int)^t$
 donde $G_{K_p} = Int$ para una economía “sobreabundante”.

Cuando la percepción de sobreabundancia se pierde, $K_{c_{t-\delta}} + K_{p_{t-\delta}} \Rightarrow K_{c_t}$ reflejando la entropía real del sistema económico.

5.6.- Implementación del modelo en cumplimiento de las condiciones sostenibles

Inicialmente, las presiones políticas sobre los planificadores en convertir sus planes en verdes, de la noche a la mañana, condujo a soluciones fragmentadas tales como incluir el capítulo relativo al medio ambiente al principio del plan, o mediante una lista de objetivos ambientales sin contar con estrategias para alcanzarlos (Davoudi et al., 1996).

- La condición $G_Q < 0$ (30) difícilmente es aplicable por lo tanto
- La condición $G_R > G_Q$ (30) se implementa a través de política fiscal
- La condición $G_{Int} < 0$ se implementa a través de política monetaria
- La condición $G_T > 0$ implica:
 - 1) que las actividades producto de la organización económica pueden formar islas térmicas mientras que los límites de la biosfera emanen radiación a temperaturas decrecientes
 - 2) un mecanismo de compensación entrópica para cumplir las condiciones de sostenibilidad es la formación natural del calentamiento global si el planeta fuera un sistema viviente con destino propio e independiente de sus tripulantes, tal como lo expone el concepto de Gaia (Lovelock, 1988).

Capítulo 6. Beneficios esperados

6.1.- Análisis comparativo con el trinomio del banco mundial

El banco mundial ha publicado el entorno (Fig.7) en el cuál se desarrolla la problemática ambiental, éste es amplio y variado (World Bank Group, 2002). Es posible que una amplia gama de asuntos sean resueltos con el planteamiento entrópico de sistemas viables e identificar aquellos objetivos contradictorios o ambiguos en sus fines.

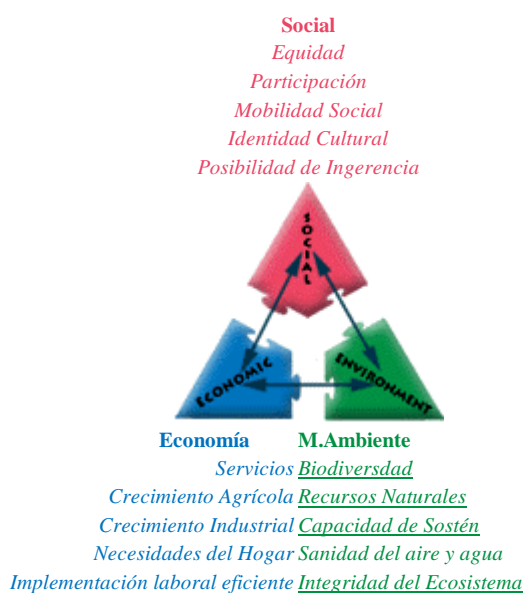


Fig.7 Trinomio del Banco Mundial (World Bank Group, 2002)

El planteamiento entrópico parte del medio ambiente y aborda directamente los temas de la biodiversidad, capacidad de soporte e integridad del ecosistema así como la salubridad del aire y agua.

Por otro lado, se hace un planteamiento económico que abarca los temas del crecimiento y la estabilidad. Inserto entre el planteamiento ambiental y el económico tenemos por añadidura la solución al problema social mas no necesariamente en los términos que el banco mundial propone en este diagrama (Fig.7).

En el planteamiento de ésta tesis, la desigualdad, mas no la inequidad está garantizada pues se hace de la diversidad una premisa, la participación es plena en toda la extensión del sistema, el poder es delegado a cada individuo al hacer público los medios de

sostenibilidad, la movilidad social se vuelve un pseudo-problema al haber identificado los medios para la sostenibilidad del sistema, la preservación de la cultura también está implicada al perseguir la diversidad del sistema.

6.2.- Agenda 21 y las metas del milenio de la Organización de Naciones Unidas

Un esfuerzo digno de mención es el que actualmente se lleva a cabo en virtud de las recomendaciones suscitadas bajo la Agenda 21 (United Nations, 1999), su primer objetivo es el establecer nuevas sociedades globales y equitativas a través de la creación de nuevos niveles de cooperación entre Estados, sectores clave de la sociedad y la gente. El primero de los 27 principios de Agenda 21 enuncia que los seres humanos ocupan el centro de atención para el desarrollo sostenible, son merecedores de una vida sana y productiva en armonía con la naturaleza.

La tesis aquí enunciada representa un complemento necesario a la Agenda 21 recurriendo a tres principios ampliamente reconocidos en la física y la teoría de sistemas (los modelos de Planck, Boltzmann y Ashby respectivamente), el lenguaje adoptado por Agenda 21 puede identificarse mejor con la metodología de sistemas blandos, término acuñado por Checkland (1981). Ambos modelos abordan la realidad, son herramientas para la solución al problema de satisfacer los requerimientos de la humanidad.

Las metas del milenio son un movimiento político con objetivos más concretos a la Agenda 21, éstos se manifiestan como variables blandas pudiendo aplicarse como indicadores deseables en la implementación de las recomendaciones apoyadas por ésta tesis.

6.3.- Sistema autopoietico

La relación ilustrada –a- que se muestra en la figura 8 identifica una relación inversa entre la temperatura de emisión y el margen de sostenibilidad, tal como el modelo incluido en ésta tesis lo ha expuesto.

La relación ilustrada en –c- prevalece en calidad que la reflectancia espectral del pigmento en la clorofila sobre la parte visible y cercana al infrarrojo es un medio para

monitorear la densidad y el vigor de la vegetación (NOAA, 2003). Capra (2002) expone que los ecosistemas logran estabilidad y resistencia a través de la riqueza y complejidad de sus redes ecológicas; a mayor biodiversidad, mayor será su resistencia.

La relación ilustrada en -b- aunada a la concepción de Hofkirchner (1998) relativa a que las causas y efectos son cada vez más mediados por ciclos de auto-organización, y que ninguno de ellos conduce a resultados simples que sean previstos a detalle pero a su vez proveen la base para la emergencia de novedad cualitativa, implica la vivencia de un sistema autopoietico al favorecerse un margen de sostenibilidad mayor, mediante los instrumentos monetario y fiscal antes mencionados. La evidencia tautológica es la pérdida y carencia de organización bajo la forma de no sostenibilidad.

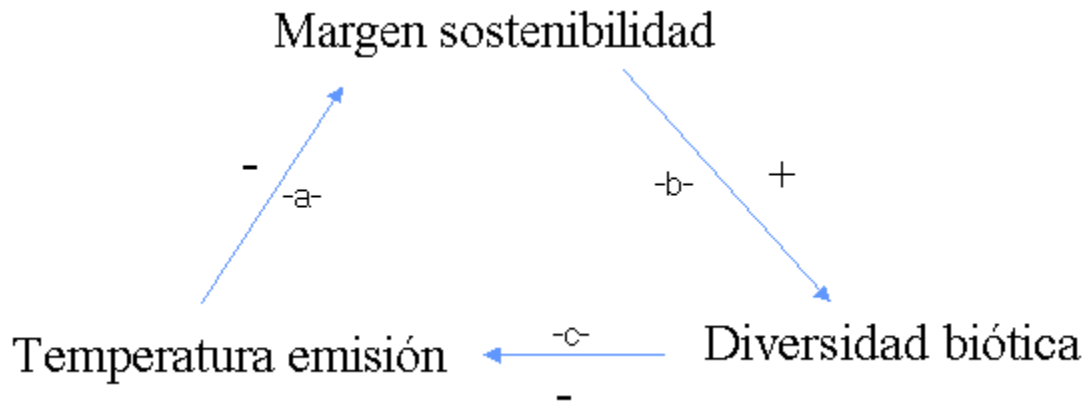


Fig.8 Circulo Kataplito

A manera de evidencia, aunque no exhaustiva, sobre el incremento en la eficiencia lograda a través del flujo de energía radiante al incidir sobre materia de gran asimetría tenemos la mención de Petritsch (2000) en su tesis doctoral sobre la arquitectura de celdas solares orgánicas. El menciona que una forma diferente de dopado resultante de un verdadero incremento en la concentración de portadores de carga móviles sobre la molécula semiconductor y por lo tanto un aumento considerable en la conductividad (tanto en ausencia como en la presencia de iluminación) puede ser alcanzada mediante un complejo de moléculas foráneas.

Conclusión y recomendaciones

La corriente actual ha sido encausada a identificar la entropía como causal del fenómeno viviente, de aquí la importancia de la tesis planteada.

La entropía ha sido abordada por una diversidad de autores y todos coinciden en la bidireccionalidad de ésta mas aún no se logra consenso en la dirección propicia para el desarrollo de nuestro planeta hogar

Aquí se plantea la necesidad de incrementar este flujo entrópico obedeciendo a los límites impuestos por los mecanismos de transferencia hacia el exterior de la biosfera que implica a su vez el disminuir la entropía del sistema económico mientras aumenta la entropía del sistema biótico al incrementar su diversidad y el margen de seguridad para la sostenibilidad.

Se identifica las variables observables para efecto de orientar la política pública hacia el logro de los objetivos simultáneos antes mencionados, en donde conviene hacer énfasis en incrementar la entropía del sistema a efecto de incrementar la diversidad biótica, y de muchas otras esferas.

Se identifica también el isomorfismo que existe entre la biosfera y cualquier otro subsistema contenido en ella.

Se espera que el incremento en la entropía también traerá consigo una mayor eficiencia de los procesos de transformación de la energía solar de suministro y redundará en un sistema virtuoso para los fines de desarrollo sostenible.

La dificultad de plantear medidas de abatimiento de la contaminación y fomento al desarrollo local para un subsistema como lo podría ser una zona urbana típica, consiste en que las variables observables antes mencionadas son aplicables en la medida que el sistema económico represente un proceso dinámico estabilizado; también se cuenta con la problemática del transporte contaminante en los límites del sistema, cuyos efectos son solubles sólo en la medida en que el sistema regulado lo incorpore y tome potestad de él.

Existe una concordancia de las condiciones para la sostenibilidad con las condiciones de equilibrio económico, esto implica que los países pueden aspirar al desarrollo

diferenciado con otros países en la condición de implementar un programa de sostenibilidad aunque fuese éste unilateral.

Las vías posibles a la implementación de éstas recomendaciones son diversas y no pueden descartarse a priori. Los acuerdos regionales son un camino atractivo para la formación de consenso político, además son favorables debido a que:

- representan la posibilidad de integrar una extensión territorial amplia, favoreciendo la robustez del sistema en su conjunto.
- Siempre que no se generan autonomías regionales dentro de una Nación consolidada, las actividades de orden político se desarrollan a manera de integrar nuevos grupos al desarrollo y no basadas en su exclusión aún cuando los fines sean loables. Para los grupos cuya postura original es el escepticismo, no hay mejor persuasión que el experimento exitoso. Para los no escépticos, no hay mejor recompensa que el éxito.

Se inició este trabajo citando a Thomas Kuhn con la finalidad de romper en la medida de lo posible con líneas preconcebidas de exploración, de perturbar en alguna medida el rumbo habitual de pensamiento, mas no es del todo posible exponer una idea apoyándose en un vacío total sin degradar en cantidad el contenido del mensaje. Esto lo ha expuesto de una manera elocuente S.K.Lin y otros dedicados al tema de la entropía.

Si habrá de haber un cambio en las tendencias actuales degenerativas al ambiente, el pensamiento estratégico, con enfoque proactivo, debe predominar sobre aquellas reacciones a los fracasos y crisis ambientales.

Referencias

Ashby, W. Ross (1956). *An Introduction to Cybernetics*, Chapman & Hall, London, Internet (1999): Acceso a: <http://pcp.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf> en Noviembre del 2001

Non- profit reproduction and distribution of this text for educational and research reasons is permitted providing this copyright statement is included

Bertalanffy, L. (1973). *General system theory : foundations, development, applications*. Penguin, U.S.A. 1973.

Buckingham-Hatfield, S. and Evans, B. (eds)(1996) *Environmental Planning and Sustainability*, New York: John Wiley.

Campbell,S. (1999). *Planning, green cities, growing cities, just cities? Urban Planning and the contradictions of sustainable development*, in Satterthwaite, D. (ed.) *Sustainable Cities*, London:Earthscan.

Capra , Fritjof (2002). *Hidden connections : integrating the biological, cognitive, and social dimensions of life into a science of sustainability*. Doubleday press, N.Y. USA

Centro de Ecología y Desarrollo. (1994) *Diccionario de la Contaminación*. Acceso a: <http://www.laneta.apc.org/emis/docs/dic.htm> en Abril del 2002

Checkland P (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. J.Wiley, New York. ISBN 0471279110

Cramer,F. (2001). *On literature and systems theory*. London. Acceso a : http://userpage.fu-berlin.de/~cantsin/homepage/writings/theory/systems_theory/literature_and_system_theory.txt en Noviembre del 2001

Daly,H.,Cobb,J. (1989). *For the Common Good: redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future*. Beacon press, Boston USA.

Davoudi,S., Hull, A. and Healey, P. (1996). *Environmental concerns and economic imperatives in strategic plan-making*, Town Planning Review, 64,4:421-36.

Davoudi,S., Layard,A., Batty,S. (2001). *Planning for a Sustainable Future*, New York, Spon Press.

Funch, F. (1995) . *Holarchies*. Acceso a: <http://www.worldtrans.org/essay/holarchies.html> en Noviembre del 2001

Gouldson, A. and Murphy, J. (1997). *Ecological modernization: restructuring industrial economies*, in M.Jacobs (ed.) *Greening the Millennium*, Political Quaterly, pp.74-85

Hillman, C. (2002). *Entropy on the World Wide Web*. Acceso a: <http://www.informatik.uni-trier.de/~damm/Lehre/InfoCode/entropy.html> en Abril del 2002

Hofkirchner, W. (1998). *Towards a Unified Theory of Information: the merging of second-order cybernetics and semiotics into a single and comprehensive information science*. 15e Congrès International de Cybernétique, Namur 1998

Kaiser, G. (2001). *The Three Domain System*. Acceso a: <http://www.cat.cc.md.us/courses/bio141/lecguide/unit1/3domain/3domain.html> en Noviembre del 2001

Kennedy, I.R. (2001). *Action in Ecosystems:biothermodynamics for sustainability*. England: Research Studies Press LTD

Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. 2d ed. Chicago:University of Chicago Press

Lambert, F. (2000) *The Second Law of Thermodynamics-Chemical Bonds*. Acceso a: <http://www.secondlaw.com/two.html#cbon> en Noviembre del 2001

Lin, S.K. (1996). *Correlation of Entropy with Similarity and Symmetry* 1995 *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 1996, 36, 367-376

Lin, S.K. (2001). *The Nature of the Chemical Process. Symmetry Evolution- Revised Information Theory, Similarity Principle and Ugly Symmetry.* *Int.J.Mol.Sci.* 2001,2,10-39.
Acceso a: <http://www.mdpi.org/ijms/papers/i2010010.pdf> en Abril del 2002

Lovelock, J. (1988). *The Ages of Gaia.* W.W.Norton & Company

Lotka, A. J. (1925). *Elements of physical biology.* Baltimore E.U.A. Williams and Wilkins.

McGowen, A. (2002). *The entropy concept in biology.* Acceso a:
<http://dieoff.com/page17.htm> en Abril del 2002

McQuaid, J. (1999). *Re:Anti-enviro propaganda and pub op/Ecological Economics by Thread.* Acceso a: <http://csf.colorado.edu/forums/ecol-econ/99/msg01406.html> en
Noviembre del 2001

Merret, S. (1994). *New age of planning,* *Town and Country Planning,* June, 164-5.

NOAA (2003). National Oceanic and Atmospheric Administration *Global Vegetation Index Guide.* Acceso a: <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/gviug/html/c2/sec2-0.htm> en
Marzo del 2003

Odum, H.T. (1996). *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making.* John Wiley,
NY

Petritsch, K. (2000). *Organic Solar Cell Architectures Thesis.* Technischen Universität
Graz

Ricklefs, R. (2002). *The Economy of Nature*. Acceso a:
http://www.whfreeman.com/ricklefs5e/con_index.htm?06 en Abril del 2002

Rydin, Y. (1999) *Environmental governance for sustainable urban development: a European model?*, *Local Environment* 4,1:61-5.

Sengbusch, P. (2002) *What is an Ecosystem*©. Acceso a:
<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e54/54a.htm> en Noviembre del 2002

Senge, P. (1997). *Quinta disciplina: como impulsar el aprendizaje en la organización inteligente*. Barcelona, España: Ed.Granica

Shiva, V. (1992). *Recovering the real meaning of sustainability*, in D.E. Cooper and J.A. Palmer (eds) *The Environment in Question*, London: Routledge

United Nations (1992). *Report of the United Nations Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro 1992)*. Acceso a: <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm> en Noviembre del 2001

Varela, F. Maturana, H., Uribe, R. (1974). *Autopoiesis: The Organization of Living Systems, Its Characterization and a Model. _Biosystems_, Vol. 5 (1974), pp. 187-196. Amsterdam: North-Holland*

Vildosola, L. (1991). *Economía Sintética*. RePEc. Acceso a: <http://logec.hhs.se/scripts/paperstat.pl?h=RePEc:wpa:wuwpge:9805002> en Octubre del 1998

Wackernagel, M. and Rees, W.E. (1995). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Gabriola (Canada): New Society Publishers.

WCED (World Commission on Environment and Development) (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press

World Bank Group. (2002). *What is Sustainability*. Acceso a:
<http://www.worldbank.org/depweb/english/whatis.htm> en Abril del 2002

WWF (World Wildlife Fund) (2000). *Living Planet Report 2000*. Geneva:WWF.

Anexos

- A.- Economic / Environmental System Interaction

- B.- Comparative Estimate of Process Sustainability Margin for Developed and Developing Countries

- C.- Analyzing the Association of PM10 with the Respiratory Diseases in the Populations of Mexicali, Baja California and Imperial County, California: A Time Series Study