

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA



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 INGENIERIA DE SISTEMAS**

PRESENTA

LUIS VILDOSOLA REYES

©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., MEXICO

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.

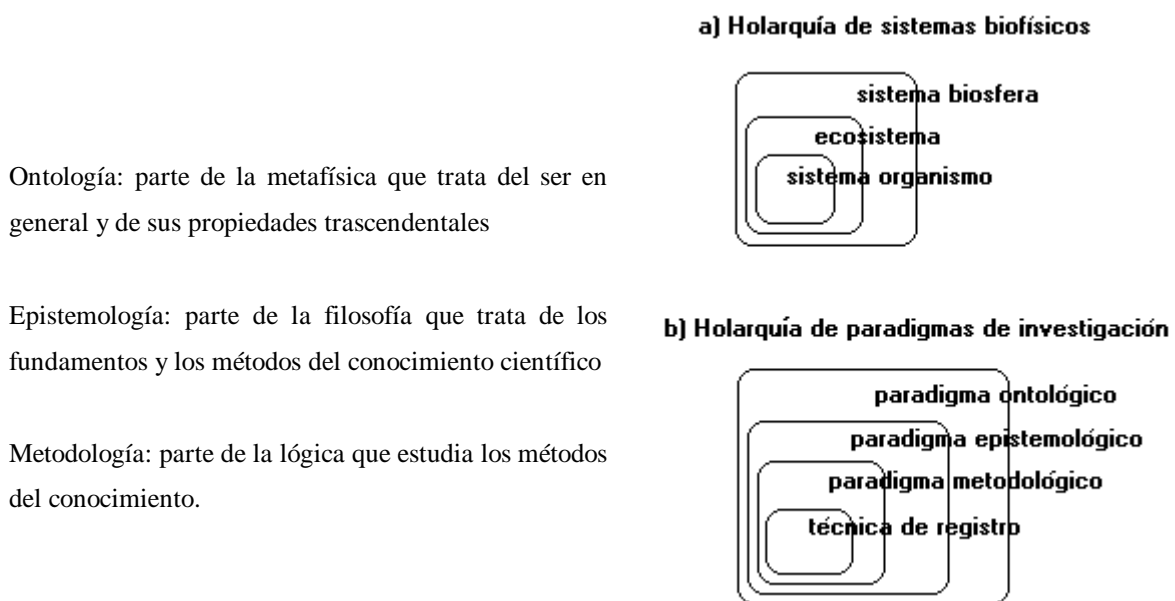


Fig.1 Ilustración sistémica de holarquías de paradigmas (Funch, 1995)

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 através 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 Viabes

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

En el Modelo de Sistemas Viabes 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 Viabes 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-emitada 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

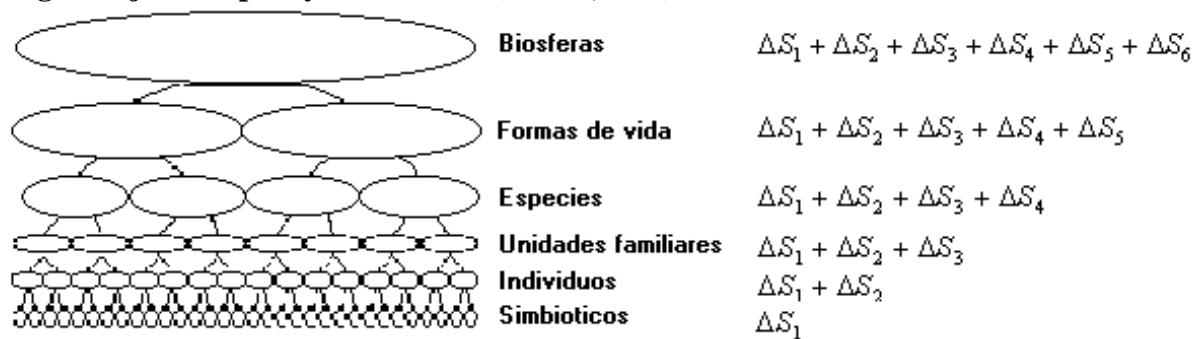
$$\Delta S_{universo} = \Delta S_{entorno} + \Delta S_{sistema} \quad (8)$$

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.

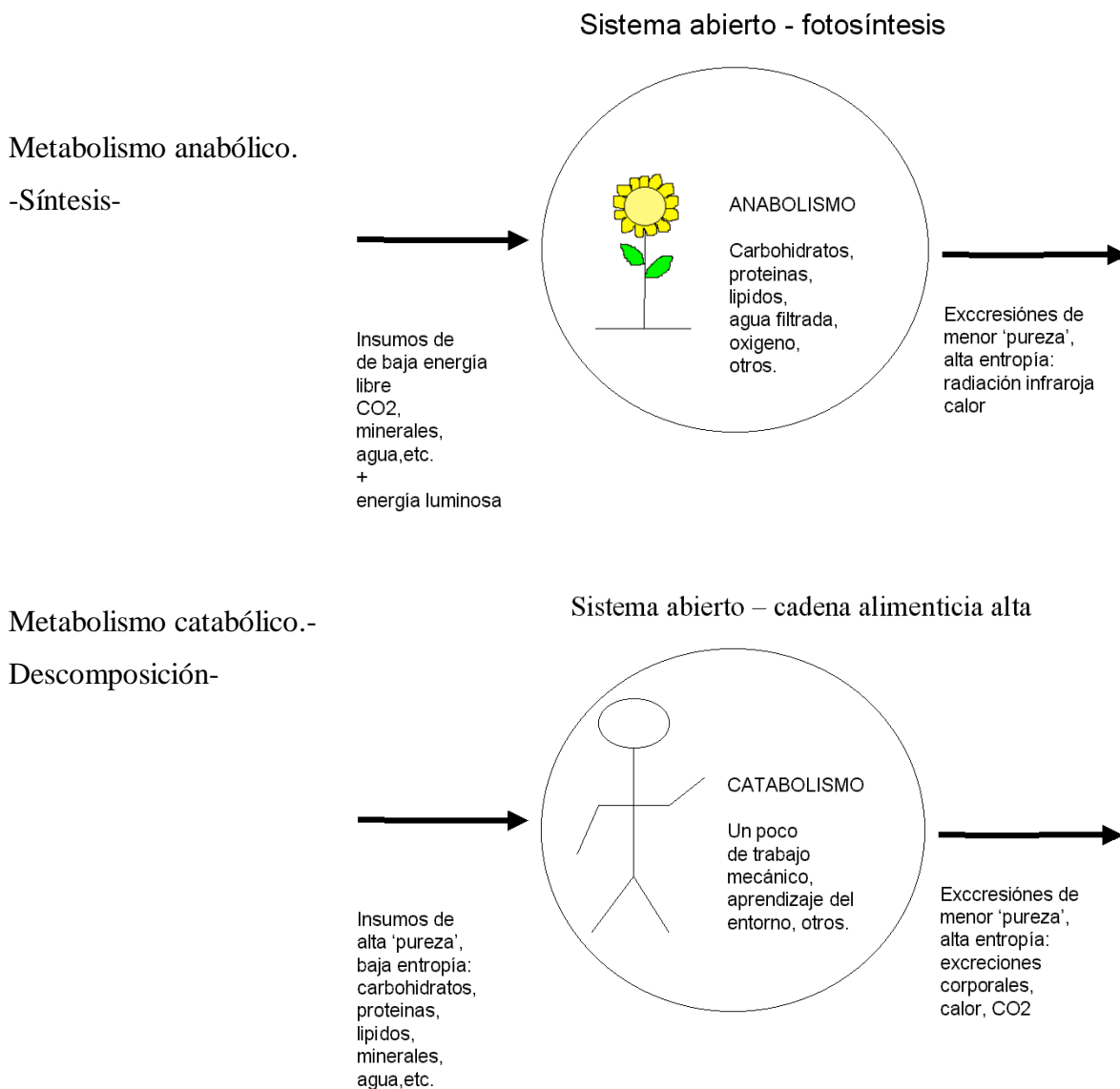


Fig 3 Metabolismo anabólico y catabólico

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 lípida 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.

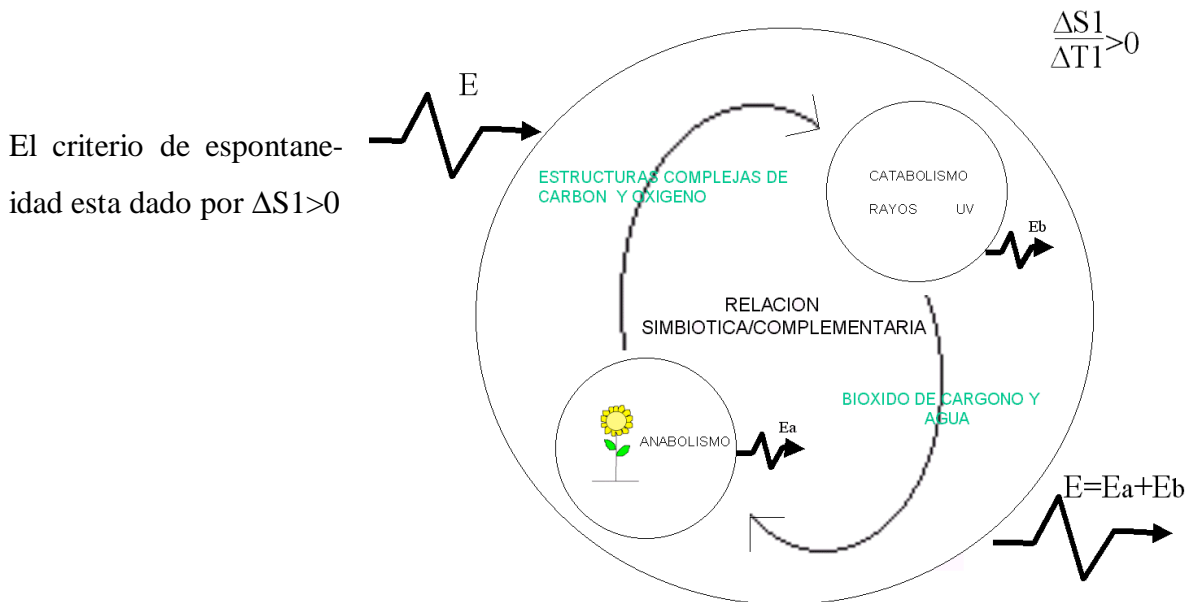


Fig.4 Primer simbiosis

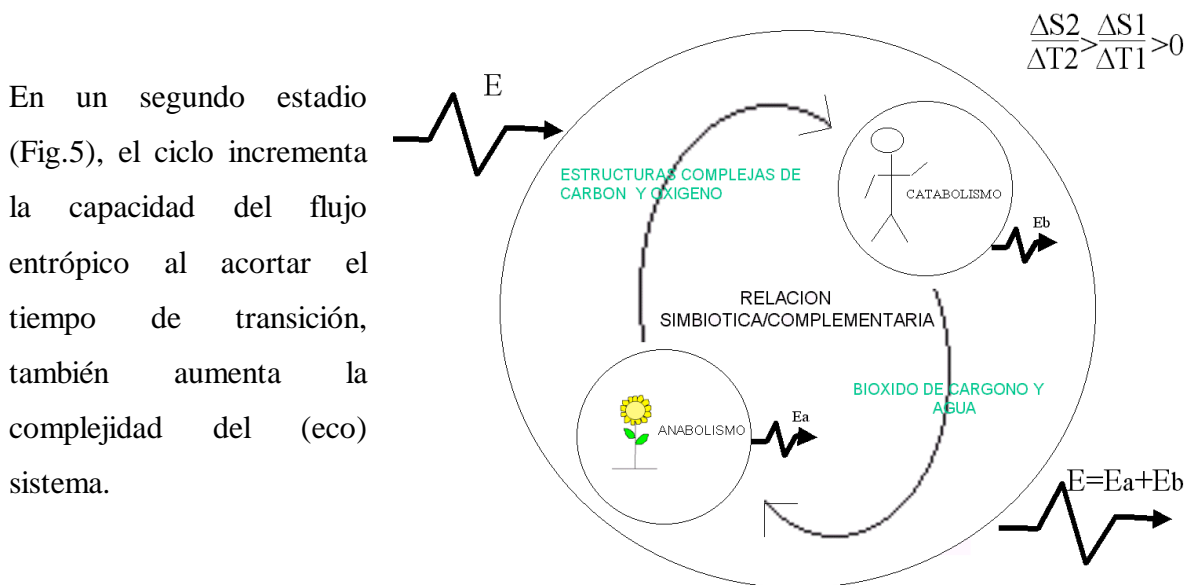


Fig.5 Segundo estadio

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.

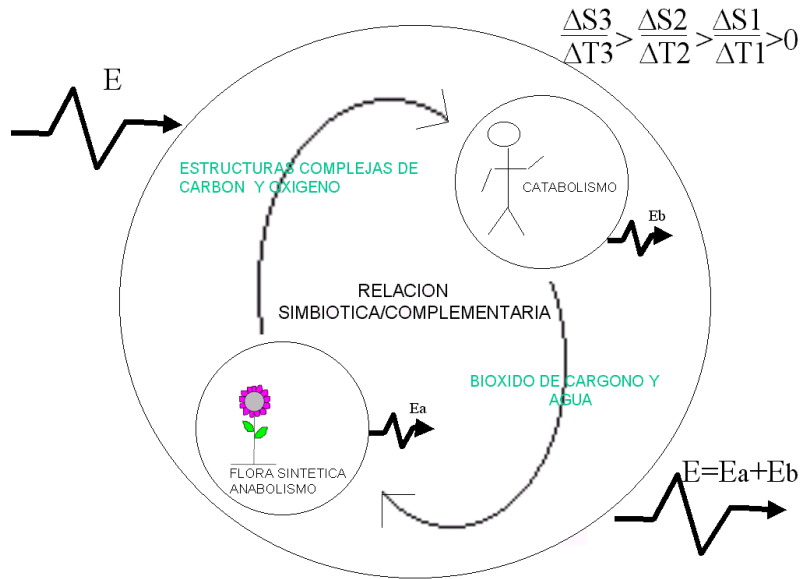


Fig.6 Probable evolución

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	$1.38 \times 10^{-17} \text{ erg}/^\circ\text{K}$
h	constante de Planck	$6.63 \times 10^{-29} \text{ erg seg}$
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.

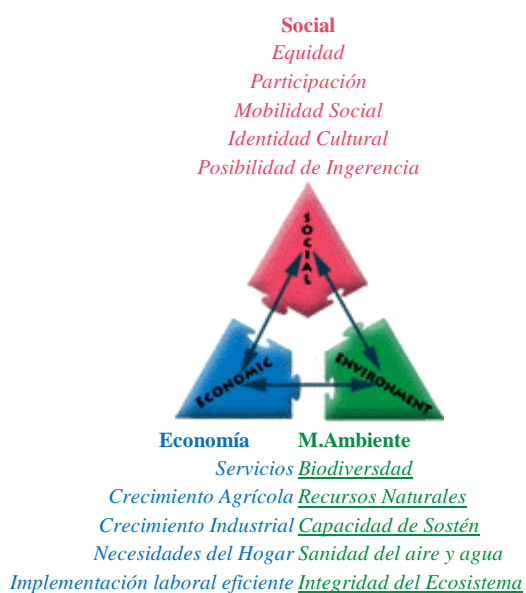


Fig.7 Trinomio del Banco Mundial (World Bank Group, 2002)

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.

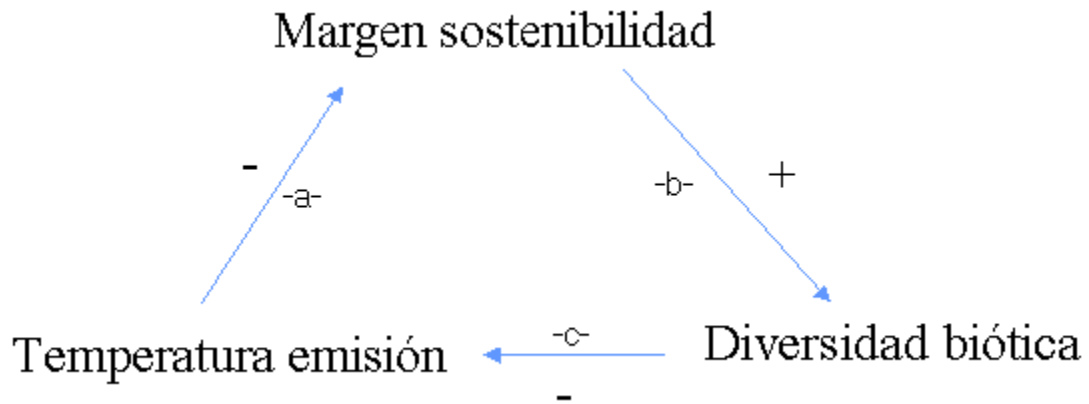


Fig.8 Circulo Kataplito

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

ECONOMIC / ENVIRONMENTAL SYSTEM INTERACTION

Luis Vildosola Reyes

Department of Systems Research/Instituto de Ingeniería

Universidad Autónoma de Baja California

Calle Normal y Blvd. Benito Juárez s/n

Mexicali, B.Cfa. 21280 México.

Phone / Fax +52 686 566-4150; e-mail: luis.vildosola@iing.mx1.uabc.mx;

<http://insting.mx1.uabc.mx>

Vildósola L. (2003). *Economic/Environmental System Interaction*. SEP. RPDA 03-2003-043015350800-01

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

ECONOMIC / ENVIRONMENTAL SYSTEM INTERACTION

Luis Vildosola Reyes

Abstract

This work is focused on identifying the relationship an economic system and its policies have with the environment. The biosphere is chosen in particular as object of analysis but this can be extended by means of an ecosystem recursive properties. The common factor involved in the relationship analysis is that currently associated with entropy, being the underlying measure of any transformation process. Ashby's viable system model (VSM) is used as a means of appraising the attribution of sustainability while establishing a consistent system of units for both the solar flux and economic transformation processes. Conditions for a virtuous cycle dynamic in relation to sustainability is expressed, adhering to non-equilibrium thermodynamics.

Keywords: Sustainability, Entropy, Variety, Viable, Change

1. INTRODUCTION

In 1987 the Brundtland report, also known as "our common future", alerted the world on the urgency of attaining progress in economic development while making it durable and not to deplete natural resources or have environmental degradation. The report stated an important definition, "Sustainable Development" as development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs (WCED, 1987).

In this paper's development, the statement of the biosphere's most fundamental limit of transformation is made as a prerequisite to sustainability.

This limit to the biosphere is defined by the transformation capacity of solar energy, from a relatively high temperature towards a lower. This physical process is measurable by means of the entropy concept.

In the development of this article, the importance of transformation (second law of thermodynamics) is emphasized beyond the concept of energy and its conservation (first law of thermodynamics), matching the vision stating the possibility of life only in relation with the second law as Ilya Prigogine has stated, to mention but one well known voice in this line of argument.

To the effect of appraising the attribution of sustainability adhering to Ashby's (1956) viable system model (VSM), we need to converge both the solar flux and economic transformation processes.

The first step in conceiving the VSM for the biosphere is related to identifying an entropy budget in correspondence with radiant energy transformation in its process of falling temperature.

The second needed contribution is the attribution of a specific but not fixed entropy to the economic system, this approach is accessible by two means. The first makes use of the relationship between rate of energy flow and the frequency with which economic activity takes place, the second approach makes use of the relationship between available money supply and energy price levels.

Both of these contributions represent the foundation over which this paper is developed, they further express the possibility of generating a virtuous cycle in relation to conditions for sustainability expressed in accordance to non-equilibrium thermodynamics.

2. METHOD

Hypothesis:

Entropy flow identified by the systemic relations between the environment and economic subsystem determines environmental sustainability.

Giving a recollection of entropy expressions:

$S = E_T / T$ (classical entropy, standing for amount
of energy stored in matter at a given temperature)

$S_B = k \ln N$ (Boltzmann, N is degrees of freedom for a macro-ensemble)

And since:

$E_T = n h \nu$ (Planck, total amount of energy a stream of n photons have)

$E = k T$ (Boltzmann, standing for the temperature a given photon may
represent to have at a particular energy level, ie. frequency)

Then

$S_V = k n$ (Vildosola, standing for entropy directly correlated (1)
to the amount of photons enclosed in a system void of matter)

Since entropy measurement does not take into account descriptive dynamics (i.e. linear dynamics, non-linear, chaotic, etc.), we have no concern for time scale in the following expression:

$S_U = S_V + S_B$ (Vildosola, if Boltzmann's entropy expression (2)

holds and no photon-matter interaction is present, it is implied the
Universe or closed system entropy S_U is constant.)

When photon-matter interaction takes place, it is implied:

$$N_f = N_i e^{(n_i - n_f)} \quad (\text{Vildosola}) \quad (3)$$

When radiant energy is transformed through the biosphere and gains entropy, the biosphere transforms complex molecules into simpler, more unstable ones. When the biotic system nourishes from simple assemblies of molecules, it builds more complex and stable (high entropy) ones.

When radiant energy following increased quanta in S_V is not decoupled from matter after modifying its structure (entropy change), this is associated with internal energy loss.

Comparing Eq.(2) with S.K.Lin(1996) maximum entropy equation (4) it may be understood there's an isomorphism between them, where $L = S_U$, $S = S_V$, $I = S_B$,

$$L = S + I \quad (4)$$

Having concluded a general overview of matter and radiant energy interaction, it is reasonable to make use of Ashby's viable system model for the general objective of sustainability.

We define the biosphere available entropy flow by that being conducted in transforming of radiant energy, its only means of exchange with the environment (Kennedy, 2001). This available entropy is exported out of the biosphere and estimated by

$$\Delta S_B = 1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg} \left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (5)$$

Where 1.7×10^{24} is the average amount of radiant energy flowing through the biosphere, $T_i = 6000\text{K}$ represents its incidence temperature and $T_f = 255\text{K}$ is the mean temperature of emission.

According to the viable system model, this entropy should not be surpassed by the entropy flow required by any of its subsystems, i.e. economic system.

$$\Delta S_E = S_{Ei} G_{S_E} \quad (6)$$

In this last expression (6) S_{Ei} stands for the entropy state of the economy and G_{S_E} stands for its proportional rate of change so that ΔS_E is net entropy change within a time frame.

Requisite variety must not surpass available variety (7) for the system and hence its subsystems to be viable, this is inferred to represent the condition for sustainability as stated in the Brundtland report.

$$\Delta S_E \leq \Delta S_B \quad (7)$$

The origin of equation (5) is readily identified as classical thermodynamic entropy. The development of equation (6) is necessary for the expression of sustainability in the Viable System Model(7).

Given the following axiomatic definitions (Vildosola, 1991):

$$P W = Kc \quad P Q = V \quad Kc R = V$$

We may appreciate the economic systems energy state by two means,

$$W=Kc/P \quad \text{and} \quad W=Q/R$$

the first describes the energy state in monetary units, the second describes the energy state in physical units, so the entropy state of this subsystem is also expressed in these two:

$$S_E = \frac{Kc}{PT} \quad (8)$$

$$S_E = \frac{Q}{RT} \quad (9)$$

were :

$$G_{S_E} = G_{Kc} - G_P - G_T \quad (10)$$

$$G_{S_E} = G_Q - G_R - G_T \quad (11)$$

Equation (8) shows three new concepts or variables, Kc is the amount of circulating money an economic system is making use of, P is the mean prize per unit of energy contained in the system (erg in our case), T is the temperature the economic subsystem holds. Although it is not yet clear the meaning of this temperature, the following analysis will make a proposition as to alternatives for sustainable development without the use of the temperature concept.

Equation (9) is equivalent to (8) but its concepts are Q, standing for the rate of energy flow through the economic system and R standing for the turnover rate on energy contained in the subsystem.

By combining (5) and (6), equation (7) can be written as:

$$S_{Ei}G_{S_E} \leq 1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg} \left(\frac{T_i - T_f}{T_i T_f} \right) \quad (12)$$

By substitution of both S_{Ei} and G_{SE} and a little rearrangement of terms we have:

$$G_{Kc} - G_P - G_T \leq \frac{1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg} (T_i - T_f) PT}{T_i T_f Kc} \quad \text{Monetary units} \quad (13)$$

$$G_Q - G_R - G_T \leq \frac{1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg} (T_i - T_f) RT}{T_i T_f Q} \quad \text{Physical units} \quad (14)$$

3 RESULTS

We can introduce the concept of sustainability margin for both (13) and (14) as:

$$Mrg = \frac{1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg} (T_i - T_f) PT}{T_i T_f Kc} - G_{Kc} + G_P + G_T \quad \text{Monetary units} \quad (15)$$

$$Mrg = \frac{1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg} (T_i - T_f) RT}{T_i T_f Q} - G_Q + G_R + G_T \quad \text{Physical units} \quad (16)$$

A positive value for the sustainability margin will reflect compliance with the VSM.

This brings the question of, what means in economic policy making will aid stewardship of the environment and still meet the needs of the present generation?

4 DISCUSSION

A possible implication of variable T on the economic subsystem is only of greater structure differentiation from its surroundings. According to equation (14) the combination of G_Q and G_R should make a contribution to a positive sustainability margin, the same is true for G_{Kc} and G_P in equation (13).

5. CONCLUSION

The use of Ashbys viable system model aids the implementing of economic policy in accord with a view of limited world resources.

While an increase in sustainable margin is reached, a corresponding increase in entropy flow will be available for the bio-system in S.K.Lin's terms of asymmetry.

A greater diversity in the ecosystem aids greater assimilation and efficiency of solar energy although at the same time it requires or implies tighter cooperation. Accordingly, this can only be achieved by lowering the biospheres temperature of emission.

A lower temperature of emission is regarded as increasing the sustainable margin, so these three mechanisms form a virtuous cycle for the economic system with established viability in its structure

6. ACKNOWLEDGMENTS

Special thanks to Marco Reyna and Oscar Romo for their contributions and constant encouragement.

REFERENCES

Ashby, W. Ross(1956). *An Introduction to Cybernetics*,Chapman & Hall, London, Internet (1999): [http:// pcp. vub. ac. be/ books/ IntroCyb. pdf](http://pcp.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf)

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

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

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

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

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

COMPARATIVE ESTIMATE OF PROCESS SUSTAINABILITY MARGIN FOR DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES

Luis Vildosola/Instituto de Ingeniería / Universidad Autonoma de Baja California. Mexico

Marco Antonio Reyna/Universidad Autonoma de Baja California. Mexico

Oscar Romo/University of California, San Diego. USA

ABSTRACT

A study is proposed for an evaluation of current operant and long term sustainability under a framework of monetary organization for some countries considered as developed, like U.S.A., Germany and France, and others considered as developing like Mexico, China and Argentina. By means of this analysis, the distinction between developed and developing country is perceived as not indicative of an inherent process sustainability. The analysis begins at the interpretation of a model conceived from the thermodynamic concept of entropy which integrates the metric of an economic system transformations in relation with those transformations in a physical domain concerning solar energy. It is desirable in a political sense and imperative in a physical one that, all countries processes make a contribution to global sustainability as they conduct transformations on commodities and exploit environmental services. These contributions can be enhanced through a countries own economic and political system working tools, namely monetary and fiscal policy.

KEYWORDS

sustainability, entropy, fiscal policy, monetary policy, ecological footprint, resilience.

1 INTRODUCTION

In 1987 the Brundtland report, also known as “our common future”, alerted the world on the urgency of attaining progress in economic development while making it durable and not to deplete natural resources or have environmental degradation. The report stated an important definition, “Sustainable Development” as development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their needs (WCED, 1987).

Traditionally, all policies pertaining resource conservation are fragmented in regards to protecting a specific environmental asset for its perceived value with independence of others. Since all environmental assets are related in a system of mutual dependence, the monitoring and maintenance of the ecosystem becomes a colossal task, specially when we value and pursue greater diversity in the system (Lin, 1996).

A system designed to aid sustainability must be an integral part of the ecosystem and its costs be internalized to the overall dynamics.

Some studies are regarded as very well conducted and/or documented for their extensive field data collection, this is an expensive reconnaissance practice and demands greater returns to the environment for every project embarked. This state of affairs is also an influential factor raising the qualifying threshold for viable conservation projects, more evident when economies enter a no fossil fuels operating phase; when transformation processes conducted under the auspices of an economic system will be limited by the energy entropy change (Kennedy, 2001) from the most important source for its proximity and size, the sun.

The previous paragraph is a direct interpretation of Ashby’s principle of requisite variety (Ashby,1956).

The objective of this paper is to suggest the appropriateness of a model to value the attribution of sustainability (Vildosola, 2003), illustrate the implementation of this model and evidence a lack of sustainability for a random set of countries. The target audience for this work is business executives, government officials, legislators and the public in general.

2 KERNEL

2.1 METHOD

This work presents the implementation of a novel criteria for identifying the contribution to sustainability, it differentiates itself from other conservation related efforts by the virtual null impact on the system being studied, and for this reason favoring a real-time control system.

Every country should contribute to sustainability at their own scale. The indicator to their contribution is not the magnitude of any given indicator but rather the descriptive dynamics of the indicator.

The energy requirements of an economy is explained as the ratio of circulating money to price levels for a unit of energy in a given economic system. This ratio is the actual energy the monetary system of exchange demands on the environment for operability; it is also a correlated means of valuing the ecological footprint for an economic system.

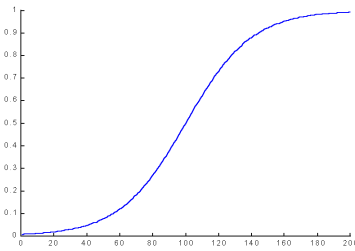


Figure 1.Logistic curve

$$S = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

In a finite world, this footprint cannot expand forever without choking the environment in which it is contained. The logistic curve shown in figure 1 has a percentile rate of change equal to that shown in figure 2.

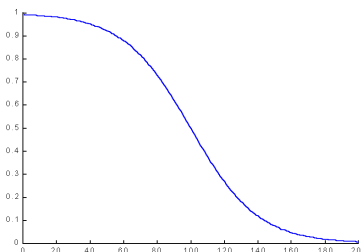


Figure 2.Logistic curve rate of change

$$S_G = 1 - S$$

The logistic curve (Fig.1) implies a positive rate of change near zero (Fig.2) while the capacity of environmental services are choked, species diversity depleted.

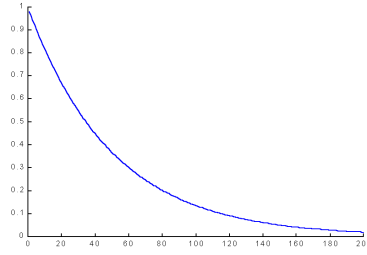


Figure 3. Ecological footprint exponential decay $F = e^{-t}$

Comparing figure 1 and figure 3, it is appreciated the footprint can theoretically be reduced by increments while allowing for the needs of current and future generations to be met in a living experience of innovative technologies.

The Sustainability Margin Paradigm (SMP) implies an exponential decay for the economic systems energy state with a negative rate of change (Fig.3) and a greater transforming (entropy) budget for the bio-system (Vildosola, 2003).

Hypothesis: Sustainability necessarily implies a decreased ecological footprint, a decreased energy state for the economic system, aiding greater entropy flows for the bio-system.

Technological innovation & evolution is intimately related to means of solar energy harvesting, fiscal policy is a means of aiding cohesion for the social system; monetary policy is an influential instrument for establishing the role of money exclusively and unmistakably as an instrument of exchange.

This social recipe is an undertone of the model stating conditions for sustainability (Vildosola, 2003) adhering to Ashbys Viable System Model (VSM). Entropy flow relations of an economic system acting within the biosphere are used in place of Ashbys variety concept.

The model is written below:

$$Mrg = \frac{1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg } (T_i - T_f) RT}{T_i T_f Q} - G_Q + G_R + G_T \quad (1)$$

$$Mrg = \frac{1.7 \times 10^{24} \text{ erg / seg } (T_i - T_f) PT}{T_i T_f Kc} - G_{Kc} + G_P + G_T \quad (2)$$

The means of aiding this sustainability are diverse and have been grouped into basically three:

- a) Technological change & innovation: influencing T_f
- b) Fiscal policy: influencing R
- c) Monetary policy: influencing Kc

The objective of sustainability is translated into a positive Sustainability Margin (Mrg) value. In order to reduce the footprint and where Monetary and Fiscal policy is concerned, we may influence the behavior of Kc and R dynamics respectively; the first is directly associated to the ecological footprint, the later is indispensable for social cohesion.

Statistics have been gathered for energy rate of consumption (Q) as well as economic activity frequency (R), the relationship between these two is taken as a substitute to the ecological footprint rate of change (G_{W1}). A second footprint rate of change (G_{W3}) is gathered when frequency is estimated in relation to government debt (Kp). Both are shown in the medium range sustainability chart (figure 5).

The mathematical expressions relating observable variables and the abstract concept of ecological footprint are:

$$W1 = Q / R = Q Kc / V \tag{3}$$

$$W3 = Q Kp / V \tag{4}$$

For any observable variable, the rate of change on variable X is:

$$Gx = (X_{t+1} - X_t) / X_t \tag{5}$$

Since

$$W1 = k Q / R = k Q Kc / V \tag{6}$$

where k is a unit homogenizing but also a proportionality constant, then

$$G_{W1} = G_k + G_Q - G_R = G_k + G_Q + G_{Kc} - G_V \tag{7}$$

while $G_k = 0$ then

$$G_{W1} = G_Q - G_R \tag{8}$$

or

$$G_{W1} = G_Q + G_{Kc} - G_V \tag{9}$$

The same applies to G_{W3}

$$G_{W3} = G_Q + G_{Kp} - G_V \tag{10}$$

Figure 4 illustrates the trajectory a controlled economy for sustainability would follow; the upper curve is associated to the logistic curve paradigm while the lower curve represents the Sustainability Margin paradigm.

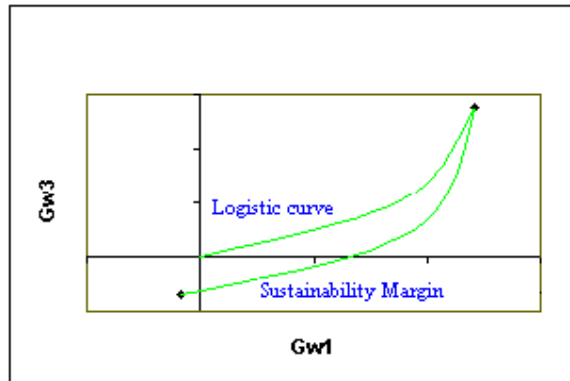


Figure 4.- Ideal transient response curves

2.2 RESULTS

Time series statistics have been gathered for Value added (V) (United Nations Publications, 2002), primary energy consumption (Q) (Energy Information Administration, 2003), currency outside banking institutions (M1,Kc) (IMF,2002 / U.S. Census Bureau, 2001), Demand Deposits (M3,Kp) (IMF,2002 / U.S. Census Bureau, 2001) for their intimate link to the ecological footprint.

V	Mexico	USA	Germany	China	France	Argentina
1990				185,479	94,302	
1991				216,178	97,977	
1992	1,029,004,582	57,374	151,890.00	266,381	101,805	226,921
1993	1,155,132,189	60,158	155,537.00	346,344	103,180	216,609
1994	1,306,301,570	63,922	162,608.00	467,594	106,436	235,846
1995	1,678,834,829	67,505	169,040.00	584,781	109,516	238,025
1996	2,296,674,526	71,319	172,207.00	678,846	111,756	249,953
1997	2,873,272,991	76,135	176,016.00	747,724	115,001	266,862
1998	3,517,781,860	81,090	181,024.00		119,711	272,917
1999	4,205,703,889	86,348	183,832.00		123,680	260,646
2000	4,980,785,123		188,603.00		128,829	260,898
2001	5,285,606,388					

Table 1.- Value added statistics

Q	Mexico	USA	Germany	China	France	Argentina
1990				987		
1991				1037.8		
1992	5.12	86.05	14	1091.7	9.41	2.12
1993	5.13	87.78	14.06	1159.9	9.37	2.29
1994	5.3	89.57	14.01	1227.4	9.28	2.25
1995	5.31	91.5	14.32	1311.8	9.54	2.33
1996	5.55	94.52	14.3	1389.5	9.92	2.41
1997	5.65	94.97	14.3	1381.7	9.87	2.5
1998	5.93	95.34	14.33		10.18	2.63
1999	6.06	96.97	14.12		10.28	2.64
2000	6.19	99.32	14.18		10.36	2.68
2001	6	97.05	14.35		10.52	2.66

Table 2.- Energy rate of consumption statistics

M1,Kc	Mexico	USA	Germany	China	France	Argentina
1990				264	1,535	
1991				317	1,532	
1992	131,732	1,024	586.3	433	1,521	7,686
1993	157,044	1,129	641.2	578	1,513	10,067
1994	163,828	1,150	703	728	1,559	11,229
1995	171,638	1,127	729	788	1,581	11,161
1996	245,260	1,079	805	880	1,666	11,736
1997	325,391	1,072	872.9	1,017	1,735	13,331
1998	387,897	1,096	930.6		1,884	13,503
1999	489,136	1,124				13,736
2000	564,233	1,089				12,571
2001	676,646	1,178				9,082

Table 3.- Money supply statistics
(Currency outside banking institutions)

M3,Kp	Mexico	USA	Germany	China	France	Argentina
1990				375	4,635	
1991				506	4,920	
1992	426,852	4,216	1,596.50	669	5,138	3,678
1993	540,875	4,278	1,720.80	969	5,217	5,052
1994	657,103	4,360	1,875.10	1,239	5,083	5,133
1995	784,495	4,626	1,885.60	1,520	5,283	5,458
1996	1,025,836	4,972	2,026.10	1,876	5,318	7,305
1997	1,325,560	5,452	2,151.30	2,381	5,263	8,151
1998	1,683,152	6,042	2,245.20		5,492	7,986
1999	2,033,275	6,542				8,099
2000	2,365,752	7,116				7,267
2001	2,763,792	8,030				6,619

Table 4.- Public debt statistics
(Demand Deposits)

Transient response is shown for all six countries in the following graphs:

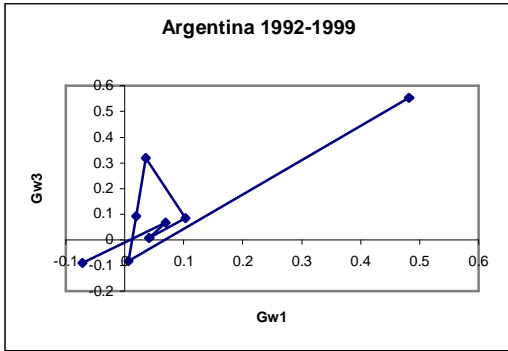


Figure 6.- Argentina sustainability transient response

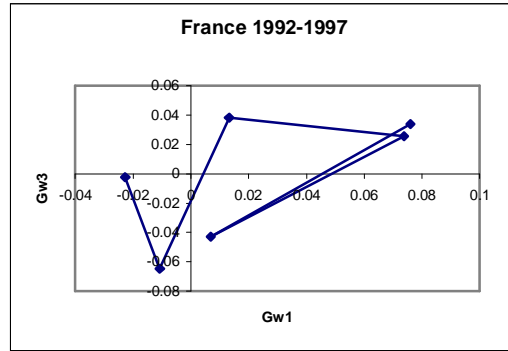


Figure 7.- France sustainability transient response

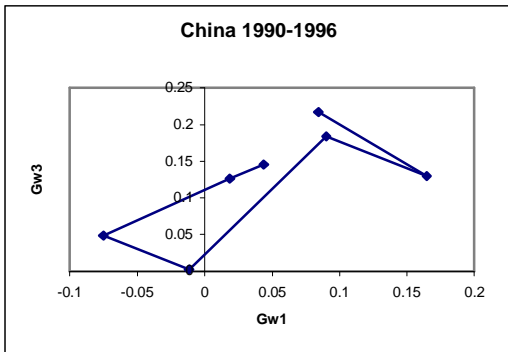


Figure 8.- China sustainability transient response

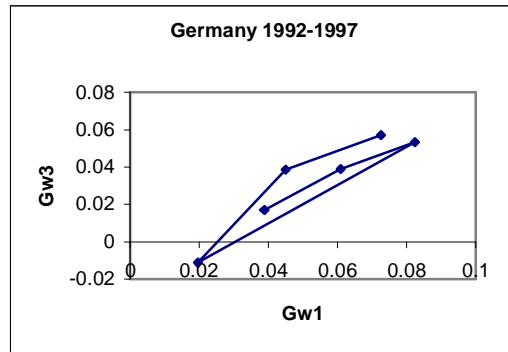


Figure 9.- Germany sustainability transient response

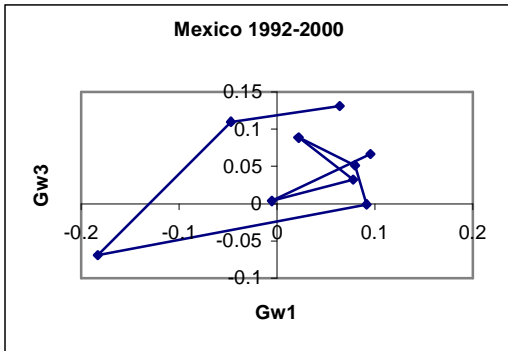


Figure 10.- Mexico sustainability transient response

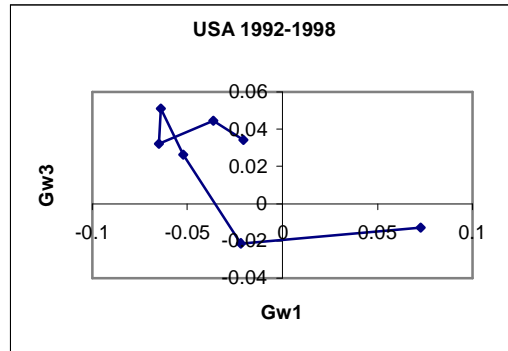
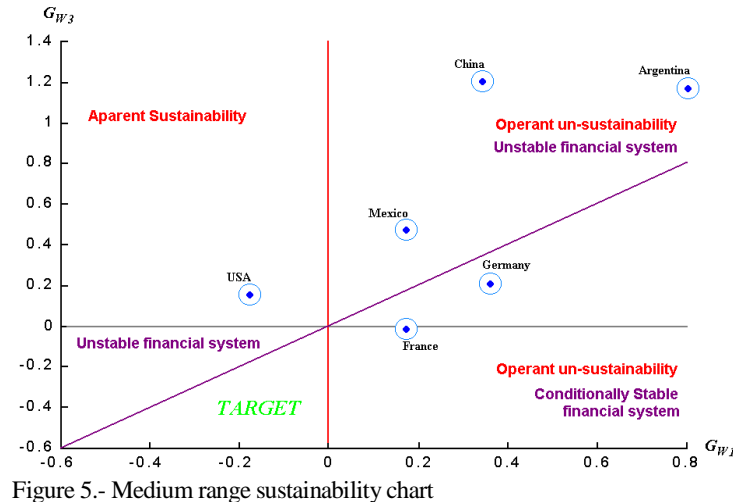


Figure 11.- USA sustainability transient response

In all countries transient response a lack of control is appreciated in the establishment of a specific quadrant of operation, the interpretation of this is beyond the objectives of this paper.

From the above raw data tables 1 through 4, the following medium range ecological footprint rate of change (G_{W1}) and the long term liability Demand Deposits influence (G_{W3}) are graphically displayed in figure 5. plus a corresponding interpretation.



This last figure shows a medium range diagnostic of the sampled countries sustainability, evolution towards sustainability remains to be attained.

2.3 DISCUSSION

The implementing of this method, which has the objective of appraising the attribution of sustainability, highlights the need to assemble value added, total energy consumption or average energy price index plus M1 monetary aggregate and all forms of government debt as standard statistics for this particular analysis.

The aforementioned proportionality variable $-k-$ does homogenizing for various units, ie. energy consumption statistics (Megawatts, Btus, Barrels of oil, etc.), it is also implemented as a means of homogenizing national account statistics. For instance, some governments report currency outside of banking institutions and Demand Deposits while others report M1, M3 statistics.

3 CONCLUSIONS

Actual ecological footprint extension is not as important as the capability of a countries organization to reduce it for the objective of sustainability. Currency outside banking institutions or M1 statistics in conjunction with energy price levels is indicative of operant sustainability while Demand Deposits or M3 in relation to the first is indicative of an ability to maintain sustainability in the event it is operant.

Although specific projects within an economic system may be sustainable, descriptive dynamics for various countries have shown practices taken as a whole are not indicative of a controlled system and are thus not sustainable from within the system.

Carrying capacity is revealed to be intimately related to temperature emission of radiant energy originated mainly from the sun, it is implied solar harvesting technologies may influence carrying capacity.

If economies are not sustainable from within, the supporting environment will not collapse but it is expected our current solar harvesting technology (ecosystem) will not be there to support us.

- Figure 1: *Logistic curve*
- Figure 2: *Logistic curve percentile rate of change*
- Figure 3: *Exponential decay*
- Figure 4: *Medium range sustainability chart*
- Figure 5: *Ideal transient response curve*
- Figure 6: *Argentina sustainability transient response*
- Figure 7: *France sustainability transient response*
- Figure 8: *China sustainability transient response*
- Figure 9: *Germany sustainability transient response*
- Figure 10: *Mexico sustainability transient response*
- Figure 11: *USA sustainability transient response*
- Table 1: *Value added statistics*
- Table 2: *Energy rate of consumption statistics*
- Table 3: *Money supply statistics (Currency outside banking institutions)*
- Table 4: *Public debt statistics (Demand Deposits)*

REFERENCES

- Ashby, W. Ross (1956). *An Introduction to Cybernetics*, Chapman & Hall, London, Internet (1999): <http://pcp.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf> Non- profit reproduction and distribution of this text for educational and research reasons is permitted providing this copyright statement is included
- Energy Information Administration / DOE (2003). 'World Primary Energy Consumption/International Energy Annual 2001'. http://www.eia.doe.gov/pub/international/ieapdf/te_01.pdf
- International Monetary Fund (2002). 'International Financial Statistics Yearbook'. International Monetary Fund. ISBN 1-58906-183-7
- Kennedy, I.R. (2001). *Action in Ecosystems:biothermodynamics for sustainability*. England: Research Studies Press LTD
- Lin, S.K. (1996). 'Correlation of Entropy with Similarity and Symmetry' 1995 J. Chem. Inf.Comput. Sci. 1996, 36, 367-376
- United Nations Publications (2002). *National Accounts; statistics: main aggregates and detailed tables 2000*. United Nations Publications. ISBN 92-1-16-1451-1
- U.S. Census Bureau (2001). *Statistical Abstract of the United States.122Edition*. U.S. Census Bureau. Washington D.C. ISBN 0-934213-90
- Vildosola, L. (2003). 'Economic / Environmental System Interaction'. RePEc <http://wueconb.wustl.edu/econ-wp/ge/papers/0306/0306001.pdf>
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press

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

Marco Antonio Reyna Carranza*, Margarito Quintero Núñez*, Kimberly Collins[#],
Luis Vildósola Reyes*

*Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California
Blv. Benito Juárez y Calle de la Normal, Unidad Universitaria s/n, Col. Insurgentes-Este,
C.P. 21280, Mexicali, Baja California, México, email: mreyna@uabc.mx Fax:+52 686 566-4150

[#]California Center for Border and Regional Economic Studies (CCBRES), San Diego State University-I.V. Campus, 720
Heber Avenue Calexico, CA 92231, www.ccbres.sdsu.edu

ABSTRACT

Mexicali is the third most contaminated city in Mexico and the second city in the country with the highest level of particles smaller than 10 micrometers in diameter (PM10). It continuously fails to meet annual air quality standards ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Mexicali's U.S. neighbor, the Imperial County, has the same geographical characteristics, and is non-attainment for PM10, ozone and carbon monoxide. One health condition associated with PM10 levels is asthma and both Imperial Valley and Mexicali have the highest child asthma indexes for their respective states of California and Baja California. PM10 is primarily formed naturally, from dust and pollen, but the anthropogenic sources are gaining importance due to an accelerated growth in this bi-national basin. The thermoelectric plants recently constructed are an example of this accelerated growth and their construction prompts bi-national concern in a basin with an already deteriorated air quality.

With the limited published documents focusing on Mexicali's and Imperial County's health or environment only a few contain data on PM10 levels or respiratory illnesses (including asthma), and even less jointly report on health conditions and the environment. This lack of information produces flawed and unproductive environmental policy in the U.S.-Mexican border region.

A model based on the Poisson regression was used to study the impact PM10 may have had on primary respiratory diseases given the temperature and relative humidity in the Imperial Valley-Mexicali basin.

Data for the years 1997 to 2000 was measured in series by seasons. The PM10 data were taken from six environmental monitoring stations in Mexicali and eight monitoring stations at Imperial Valley. Data for asthma, acute respiratory infections, and pneumonia were obtained from Baja California public health centers and from the State of California Health and Human Services Agency, also from the Office of Statewide Health Planning and Development.

The primary pollutants caused by PM10 and the percentages that they contribute to overall contamination are identified. Also, dispersion graphs and cross correlation coefficients between the series are shown for respiratory illnesses and environmental markers, including PM10.

Keywords: *Poisson, U.S.-Mexican border, respiratory diseases, asthma, thermoelectric plants.*

INTRODUCTION

The first evidence suggesting that air pollution was related to illness and death was recorded in England in 1880. It was in this year that a large, dark cloud appeared in the London sky and subsequently nearly 2,200 people died. Almost three-quarters of a century later, a similar situation occurred in the same city, in which 4,000 people died. This event is well known as the London Fog of 1952.¹⁴

After these and numerous other comparable events took place, scientists became more involved in the study of air pollution and its effects on health. In the twenty-first century, scientific and technical research continues to be conducted, and the relationship between breathable suspended particles and levels of mortality and morbidity is further elucidated. The issue of environmental health is gaining importance and continues to be a subject of profound interest all across the world.^{2,7,15,16,17,18,21}

The most serious threats to the respiratory system are materials in particle form that are suspended in the atmosphere for long periods of time at the height at which most people breathe. Perhaps the most dangerous of these materials is a material known as Total Suspended Particles (TSP). The particles in this classification that have the greatest impact on the respiratory system range anywhere from 10 microns in diameter (PM10) to smaller than 2.5 microns in diameter (PM2.5). The particles that measure between five and 10 microns do not reach the deepest tissues of the respiratory system because they are caught by mucous in the nose, larynx, pharynx, and trachea. Even though these particles are caught before reaching the depths of the respiratory system, they can still harmfully affect the body by inducing sneezing. If the sneezing becomes severe, it could lead to chronic illnesses such as otitis depending on the composition of the particles.

The smaller the diameter of the particle, the more harmful it becomes since these smaller particles are able to penetrate deeper areas of the respiratory track containing the internal tissues. Two of these areas, the bronchus and the alveolus, are particularly worrisome as dangerous reactions may take place here that could bring about serious complications. These may include: premature death, grave respiratory symptoms, irritation of the eyes, ears and nose, an increased risk of developing lung cancer, more acute asthma cases, and a worsening of cardiovascular diseases. An article by Ewa Mariétoz et. al. provides further explanation of how allergic diseases in the human respiratory system are induced.¹³

The micro suspended particles originate in either natural or anthropogenic sources. When they mix with the air, they

become more complex. For thicker particles with diameters between 2.5 and 10 μm (micrograms), the principal sources of anthropogenic origination are factory smoke (such as from cement kilns), dust from lime and stony materials, emissions from the burning of agricultural residues, the use of pesticides, dust from construction sites, and dust from unpaved streets. The majority of the naturally produced particles in this group come from pollen of several plants. The finest particles, those that measure less than 2.5 μm in diameter, come mainly from the emissions from fossil fuel combustion motors (such as those found in automobiles) and from nitrates and sulphates in the form of aerosols.

In order to prevent the harmful impacts of suspended particles on the health of the community, there are regulations that establish maximum permissible amounts in the concentration of particles in the air. Both the Mexican and U.S. regulatory standards for PM10 should not exceed 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (micrograms per cubic meter) for the 24 hour average and 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for the annual average.

BACKGROUND

The municipality of Mexicali is the capital of the state of Baja California, México and is located in the farthest northwest state of the country. It shares the border with the Imperial County, CA in the United States. Imperial County is also known as the Imperial Valley. Mexicali and Imperial Valley are two valleys that share the same physical, geographical, and meteorological conditions. These common characteristics provide a situation in which contamination or pollution is shared through a binational airshed and watershed. For our purposes here, we will analyze the impacts of air pollution on the airshed (see table 1).

INSERT TABLE 1

Air pollution has been attributed to the high rates of asthma, bronchitis, pneumonia, and allergies in this region, especially among children between the ages of 1-14 years.^{3,12,20} In fact, the rates of respiratory diseases have been worsening in both valleys as the concentrations of suspended micro particles continue to increase.⁸ The Secretariat of the Environment and Natural Resources (SEMARNAT, formally known as SEMARNAP (Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales and Pesca)) in its second report classified¹⁰ Mexicali's air quality as seriously dangerous and showed a columnar graph (see figure 1) where it points out that it is the second city in the country after Mexico City that continuously exceeds the permitted annual averages of PM10 (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Additionally, the two newly constructed thermoelectric plants in Mexicali, La Rosita and La Termoelectrica Mexicali, have created apprehensions that the air quality in the two valleys will diminish once the plants begin operations.^{5,6}

INSERT FIGURE 1

Interesting data on concentrations of various pollutants and respiratory diseases are found in Mexicali's emissions inventory¹¹ and in a presentation by IseSalud¹² at the *Forum on Environmental Health at the California-Baja California Border* that was held in Mexicali in April 2002.²² The graphs of these reports show a systematic increase in respiratory diseases from 1998 to 2001.

In 1991, an article was published in the *Journal of Environmental Research*¹ detailing the results of a series of experiments in which rats were used to determine the degree of toxicity of the inorganic particles in the dust produced in the city of Mexicali. It found that samples of Mexicali dust are a mixture of 75% potassium aluminum silicates (illite) and 20% silica. The rats exposed to this dust developed a multifocal interstitial lung disease associated with deposits of the aluminum silicates. Mexicali dust induced biological activities and lung changes similar to those of asbestos and silica, suggesting that this material could be an etiologic agent of pulmonary fibrosis in exposed individuals.

In 1997, a study was conducted by the U.S. Environmental Protection Agency, Region IX to more precisely determine the sources and types of micro fractionated materials suspended in the air in the bordering valleys.⁹ The samples determined that annual averages for PM10 were exceeded on both sides of the border. On average, the greatest component of PM10 was geological material (50-60 percent). Soot was second, comprising approximately 25 percent of total PM10. Sulfates, nitrates, ammonium, aluminum, silica, titanium, calcium, and iron were other components, comprising between one and four percent of total PM10. The concentrations of sodium and chlorine are associated with winds that come from the Gulf of California.

The California Center for Border and Regional Economic Studies (CCBRES) located at San Diego State University-Imperial Valley Campus reported that the PM10 levels in Imperial Valley were 80,414 tons per year and 71,323 tons per year for the city of Mexicali. This data was according to the California Air Resources Board.⁴ It should be noted that the data for Mexicali is a bit misleading as it only accounts for the urban areas and does not include data for the whole valley.

The problem of air contamination in both valleys has created an alarming reaction with an increase in the number of cases of asthma and cardio respiratory illnesses. These health conditions are so alarming that the former president of México, Ernesto Zedillo, mandated the *Program To Improve the Quality of the Air of Mexicali 2000-2005*¹⁹ during his time in office. The program intends to abate air pollution due to PM10 by 30 percent through the implementation of several regulations. These include vigilant enforcement of the inspection of industrial and service establishments, vehicular inspection, sanctions on highly polluting vehicles, urban and transportation management, reforestation, an increase in the number of paved streets, adequate use of soil, and the promotion of an environmental education program.

This environmental education program is intended to be promoted through the signing of border agreements and is designed to encourage civic participation in environmental matters. Implementation of this program has been slow as financial support was not included. It will be necessary, though, to analyze the individual initiatives to determine the actual degree of progress.

Paul B. English et al (1998)⁸ did a comparative study of asthma rates between Imperial and San Diego Counties. In this analysis, it was determined that Imperial County had the highest rate for asthma hospitalizations for kids under 14 years in the entire state of California. From 1983 to 1994, there was a registered increase of 59 percent in the hospitalization rates in Imperial County, compared to a reduction of nine percent in hospitalizations in San Diego County.

Each of the above studies provides references to the correlation between PM10 and respiratory illnesses in the Imperial-Mexicali valley. It is clearly important though to carry out additional binational studies that analyze the existing relationship between respiratory illnesses and the levels of air pollution in order to accurately understand the situation in the region.

METHODS AND MATERIALS

A clinical and environmental database for Mexicali and the Imperial Valley was generated. The time series included weekly data for the years 1997 to 2000. The original environmental series was in 24 hour intervals but the hospitalization data was only available by weeks. For Mexicali, the clinical database contained time series data of asthma, pneumonia and acute respiratory illnesses (ARI). This data was collected from the clinical files supplied by Official Public Health Centers in Mexicali. For the Imperial Valley, the clinical database included time series data of asthma, bronchitis, and pneumonia. This data was supplied by the State of California Health and Human Services Agency, Office of Statewide Health Planning and Development. The environmental database included the same time series for temperature, relative humidity, and PM10. All of the environmental data was supplied by the California Air Resources Board (CARB), which manages six air monitoring stations in the city of Mexicali and eight stations in Imperial Valley.

The collection of the health data in the region was the most complex and difficult task in this project. In Mexicali, the data was available but not digitally. Therefore, all of the data collected needed to be inputted into the database. Furthermore, the respiratory diagnoses by doctors in Mexico are grouped into one category called acute respiratory illnesses. This includes acute bronchitis, acute bronchiolitis, acute rinofaringitis, acute faringitis due to other specific organisms, acute infections of the superior respiratory pathways, and acute amigdalitis due to other specific organisms. In the Imperial Valley, the data was limited by only including hospitalizations in the region. Clearly, this data does not collect

all of the cases in the Valley. There is the complication in that many individuals in the region either self-medicate or visit doctors in Mexicali for monetary and/or cultural reasons. It could be assumed that the number of asthma cases in the region is higher than reported in the data collected. These factors show that this analysis is limited to truly understanding the impacts of PM10 on respiratory illnesses.

Both the environmental time series and clinical data varies between Mexicali and the Imperial Valley as seen in figures 2 and 3.

INSERT FIGURE 2

INSERT FIGURE 3

RESULTS

ANALYSIS BY YEARS

Figures 2(f) and 3(f) show that the PM10 annual standard of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ was exceeded every year in Mexicali but only in 2000 in the Imperial Valley.

Figure 4 shows that the annual average of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ was exceeded for all years under study in both valleys with the exception of 1998 in which the level in Imperial Valley only reached the maximum permissible level.

INSERT FIGURE 4

Figure 5 displays the number of weeks that the PM10 standard was exceeded for the 24 hour norm of $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and provides the average PM10 levels for each week of the exceedances. In Mexicali (see figure 5(a)), the PM10 standard was exceeded more than 3 weeks each year, and continued to rise each year thereafter. In Imperial County, the PM10 24 hour standard was exceeded for only three weeks in the year 2000 (see figure 5(b)).

INSERT FIGURE 5

Figure 6 provides the number of hospitalizations for each selected pathology under study by year in Mexicali and Imperial Valley. Figure 7 gives the average hospitalization rate of each pathology for both Imperial Valley and Mexicali for the years studied. This data makes it possible to determine the years with the highest and lowest hospitalization rates, to establish a visual association between the atmospheric and meteorological variables, and to create a correlation between the Imperial and Mexicali valleys. For example, it was possible to determine that on average Mexicali had more cases of asthma than bronchitis and that if indexes were calculated as a function of the population, Mexicali has a higher index of asthma than Imperial. Imperial and Mexicali have the same indexes in the case of pneumonia.

INSERT FIGURE 6

INSERT FIGURE 7

SEASONAL ANALYSIS

Table 2 displays the average atmospheric variables by season for the respective years analyzed. Table 3 provides the hospitalization rates for asthma and pneumonia in both areas along with bronchitis in the Imperial Valley and acute respiratory illness in Mexicali by season of years under analysis.

INSERT TABLE 2

INSERT TABLE 3

These tables make it possible to determine which season of the year had the highest hospitalization rate and also what effect different atmospheric variables had on those hospitalizations. Fewer hospitalizations occurred during the summer season, in which the highest temperature and the lowest PM10 value were recorded. It is important to note that the average atmospheric-meteorological variables and clinical variables that correspond to winter 1997 consisted of data for the months of January and February as the monitoring stations only began to operate adequately in January 1997. This explains why the average values for those dates are lower in comparison with later years.

Figure 8 is the dispersion graphs and r value of the simple regression analysis of the atmospheric and clinical variables. Note that when the dispersion graphs show a lineal tendency behavior, the r values are larger. An example of this phenomenon is the correlation of temperature with each illness. Another interesting observation is that the weakest correlation is seen between relative humidity and asthma with a value of 0.11, followed by PM10 and pneumonia with a value of 0.15, and finally, relative humidity and pneumonia with 0.23.

INSERT FIGURE 8

Poisson regressions that combined the temperature, relative humidity, and PM10 variables were utilized to obtain different models for asthma, pneumonia, and ARI in Mexicali. For the Imperial Valley, the same models were used but bronchitis was analyzed instead of ARI.

The R^2 value for the predictions obtained from the models for both valleys are seen in tables 4 and 5. The highest R^2 value is found in the model that included all three variables—temperature, relative humidity, and PM10. The R^2 value in the correlation of asthma with temperature, relative humidity, and PM10 for Mexicali was .80. In the Imperial Valley for the same correlation, it was .70. In the asthma model, the R^2 value remained high with the removal of the relative humidity variable – indicating that relative humidity is not an important variable in the analysis of respiratory illnesses and PM10 levels. On the other hand, PM10 and temperature have stronger connections to the levels of asthma in the region as seen in R^2 values of .65 and .43, for Mexicali. In Imperial Valley, the R^2 was .551 in the correlation of temperature and relative humidity with asthma and .313 for the correlation of PM10, relative humidity, and asthma. The other R^2 values for pneumonia, ARI, and bronchitis are seen in tables 4 and 5.

INSERT TABLE 4

INSERT TABLE 5

With these Poisson regression models, a number of experiments were conducted to determine the number of hospitalizations that would occur for asthma, ARI, and pneumonia in Mexicali if the levels of PM10 were zero during the same time period. Similar calculations were also done for the Imperial Valley. The results of these calculations are provided in tables 6 and 7 for Mexicali and Imperial Valley, respectively. As seen in table 6, in 1997 the number of asthma cases would have been 15.4 percent less in Mexicali if the PM10 levels would have been zero. In the Imperial Valley, as seen in table 7, the number of asthma hospitalizations in 1997 would have been 4.16 percent less if the PM10 values were zero. It is a bit surprising the differences in percentages between the Imperial Valley and Mexicali models, showing that there might possibly be complications with the data.

INSERT TABLE 6

INSERT TABLE 7

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Through the exploratory analysis of the time series of the atmospheric variables (temperature, relative humidity, and PM10) and the clinical variables (asthma, pneumonia and bronchitis/acute respiratory infections (ARI)), it was possible to determine that the average annual air quality standard of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM10 was exceeded during the four years studied. It was also possible to locate the number of weeks per year that exceeded the $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ standard for PM10. Furthermore, it was possible to determine the number of hospitalizations for asthma, pneumonia, and bronchitis/ acute respiratory infections that occur during the four seasons of the year (fall, winter, spring, and summer).

With the initial analysis, it can be concluded that temperature and PM10 levels have a greater impact on the clinical variables than relative humidity. However, such a conclusion cannot be supported quantitatively. For this reason, dispersion graphs and correlation coefficients were obtained. Under the Colton lineament, it was determined that the degree of correlation amongst variables was highest for the temperature variable. The coefficient between temperature and ARI was the strongest, with a value -0.79 (considered excellent); this was followed by pneumonia, with a good correlation of -0.66; and finally, asthma, with a moderate correlation of -0.48. Relative humidity showed a relatively low correlation of 0.39 for ARI, and null correlations between pneumonia and asthma of 0.23 and 0.11, respectively. The correlations of PM10 on asthma, pneumonia, and ARI/bronchitis were 0.35, 0.15, and 0.39, respectively, indicating a moderate effect on asthma and ARI/bronchitis and a null effect on pneumonia.

With this new information, it was possible to determine:

- That temperature has an important impact on the three pathologies studied
- That relative humidity has a lineal affect on ARI in Mexicali and on bronchitis in Imperial. Relative humidity has no affect on pneumonia and asthma.
- That PM10 has an affect only on asthma and ARI.

Determining the type of distribution for each variable provides insight to the type of model or models that may be used in a regression exercise. In this case, as often happens with this type of data, the majority of temporary series that were analyzed followed a Poisson distribution, and these were used to derive the models for each illness.

In the case of asthma, the model lowered its confidence from .86 to .70 when relative humidity was not considered, from 86 percent to 65 percent when PM10 was omitted, and from 86 percent to 43 percent when temperature was disregarded. These omissions show that temperature and PM10 have a greater influence on asthma than relative humidity.

For the pneumonia model, the R^2 value stayed nearly the same, .669 to .668 for Mexicali, and .683 to .582 percent when relative humidity and then PM10 were eliminated. However, it went down dramatically from .669 to .217 percent for Mexicali and from .683 to .197 for Imperial when temperature was omitted. This demonstrates that pneumonia is more sensitive to temperature, and less sensitive to relative humidity and PM10.

The ARI/bronchitis model maintained the R^2 value of .833 when relative humidity was omitted, and decreased slightly from .833 to .793 when PM10 was omitted. When temperature was omitted in this model, the R^2 value decreased from .833 percent to .367 percent. This indicates that ARI/bronchitis is highly sensitive to temperature, less sensitive to PM10, and has no relationship to relative humidity.

Once these three models were derived, they were used to determine the number of hospitalizations from 1997 to 2000 that could have been avoided if the PM10 levels could have been zero. For the asthma model, it was found that there could have been 15.4 percent less hospitalizations in 1997, 14.4 percent less in 1998, 17.7 percent less in 1999, and 19.9 percent less in 2000. The pneumonia model concluded that there could have been 2.3 percent less hospitalizations in 1997, 2.1 percent less in 1998, 2.7 percent less in 1999, and 3.2 percent less in 2000. In the ARI/bronchitis model, there could have been 14.5 percent less hospitalizations in 1997, 13.7 percent less in 1998, 16.9 percent less in 1999, and 19 percent less in 2000.

These models predicted that asthma, pneumonia, and ARI are much more sensitive to temperature than to PM10, but have a very low relationship to relative humidity. Pneumonia, for example, shows null sensitivity to PM10; on the other hand, asthma shows more sensitivity to PM10 than ARI. The fact that pneumonia and ARI/bronchitis have little sensitivity to PM10 does not mean that other atmospheric pollutants like carbon monoxide (CO) or ozone (O₃) are not harmful; in fact,

the standards of these elements are also frequently exceeded in Mexicali. The confidence percentage in the predictions could have been improved if these elements were included when the models were designed.

These results were derived from the analysis of clinical and atmospheric-meteorological data done on a weekly basis. However, sometimes it is necessary to conduct studies with more in-depth analysis or for a shorter period of time, such as for a 24 hour period or by geographical areas in the cities. These types of tests are being explored and call for further work within this line of research.

ACKNOWLEDGMENTS

This research work has been partially sponsored by the Universidad Autónoma de Baja California (UABC), *Southwest Center for Environmental Research and Policy* (SCERP) and by the *Fulbright Scholarship Board* (FSB) from the Border Academic Program, COMEXUS.

ENDNOTES

1. Alvaro R. Osornio Vargas, Norma A. Hernández-Rodríguez, Adriana G. Yáñez-Buruel, William Ussler, Lila H. Overby, Arnold R. Brody. 1991. Lung Cell Toxicity Experimentally Induced by a Mixed Dust from Mexicali, Baja California, Mexico. *Environmental Research* 56: 31-47.
2. Borja VH 2000. Estudios ecológicos. *Salud Pública de México* 42: 533-538.
3. California Department of Health Services. Aug. 2000, Environmental Health Investigations Branch. California County Asthma Hospitalizations Chart Book.
4. CCBRES 2001. Understanding Air Quality and Health in the Binational Air Basin of the Imperial and Mexicali Valleys. California Center for Border and Regional Economic Studies (CCBRES). Summer.
5. Cornejo Jorge A. 2002. Empresas de EU construyen dos termoeléctricas en Mexicali; de 100 mdd, la inversión total (La Jornada) 17 de julio.
6. Cornejo Jorge A. 2002. Termoeléctricas en Mexicali no cumplirán con los requisitos ambientales de EU (La Jornada) 23 de octubre.
7. Díaz J, García R, Ribera P, Alberdi JC, Hernández E, Pajares MS, Otero A. 1999. Modeling of air pollution and its relationship with mortality and morbidity in Madrid, Spain. *Int Arch Occup Environ Health* 72: 366-376.
8. English PB, Von Behren J, Harnly M, Neutra R. 1998. Childhood asthma along the United States/Mexico border: hospitalizations and air quality in two California counties. *Pan Am J Public Health* 3:392-399.

9. EPA. 1997. Imperial Valley/Mexicali Cross Border PM₁₀ Transport Study. Final Report DRI Document No. 8623.2F. Junio 30.
10. INE - SEMARNAP 1998. Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas.
11. Inventario de Emisiones de Mexicali (Informe). 1999. Grupo Técnico del Inventario de Mexicali. Ingeniería en Control Ambiental y Riesgo Industrial, S. de R. L. M. I.
12. ISESALUD 1998. Informe Semanal de Casos Nuevos de Enfermedades.
13. Maréthoz E, Lacroix JS, Moeschler MB, Hogendijk S, Spertini F, Polla BS. 1999. Allergy and the Environment: A Meeting Report. *Reviews on Environmental Health* 14: 63-78.
14. Ministry of Public Health. 1954. Mortality and Morbidity during the London Fog of December 1952. Reports on Public Health and Medical Subjects, No. 95. London: Her Majesty's Stationary Office.
15. Ostro BD 1998. Cómo estimar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. *Estudios Públicos* 69: 105-113.
16. Pajares MS, Díaz J, Montero JC, Alberdi JC and Mirón IJ, 1997. Mortalidad diaria en la Comunidad de Madrid durante el período 1986-1991 para el grupo de edad de 45 a 64 años: su relación con la temperatura del aire. *Rev Esp Salud Pública* 71 (2) 149-160.
17. Pope CA III, Dockery DW, Spengler JD, and Raizenne ME. 1991. Respiratory Health and PM₁₀ Pollution. *Am Rev Respir Dis* 144: 668-674.
18. Pope CA III, Thun MJ, Namboordiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, et al. 1995. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med* 151: 669-674.
19. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Mexicali. Available at: <http://www.semarnap.gob.mx/quincenal/qui-56/personal.htm> [accessed January 30, 2002].
20. Reyna MA & Alvarez JE. 2001. El último suspiro de vida. *Ciencia y Desarrollo*, Ed. CoNaCyT Julio/Agosto 159: 40-45.
21. Schenker MB, Gold EB, Lopez RL, and Beaumont JJ. 1993. Asthma Mortality in California, 1960-1989. *Am Rev Respir Dis* 147: 1454-1460.
22. Universidad Autónoma de Baja California (UABC) and CCBRES. April 9th and 10th 2002. Forum on Environmental Health at the California B Baja California Border, Mexicali, B.C.

Figure captions

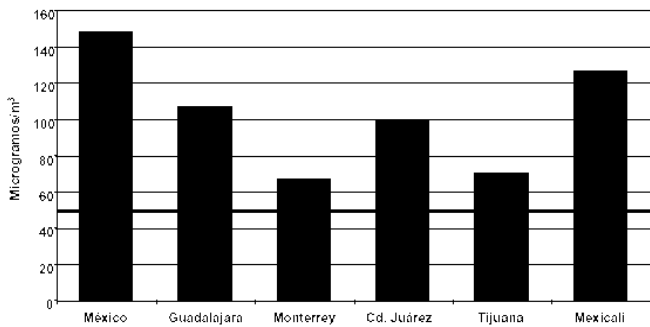


Figure 1. Average Annual PM10 Levels in Major Mexican Cities, 1997

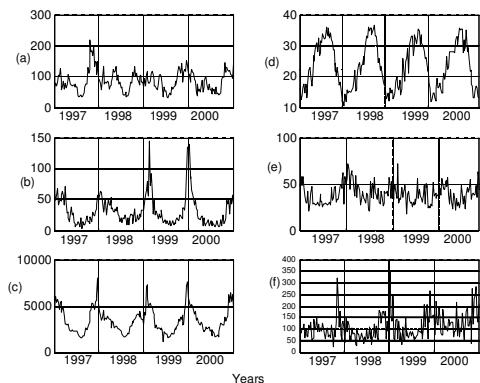


Figure 2. Hospitalizations from 1997 to 2000 in Mexicali for: (a) Asthma, (b) Pneumonia, (c) Acute Respiratory Infections (ARI); Atmospheric variables: (d) temperature, (e) relative humidity (f) PM-10 (thick dotted line indicates the $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ annual air quality standard, and the solid thick line indicates the $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ standard for a 24 hour period).

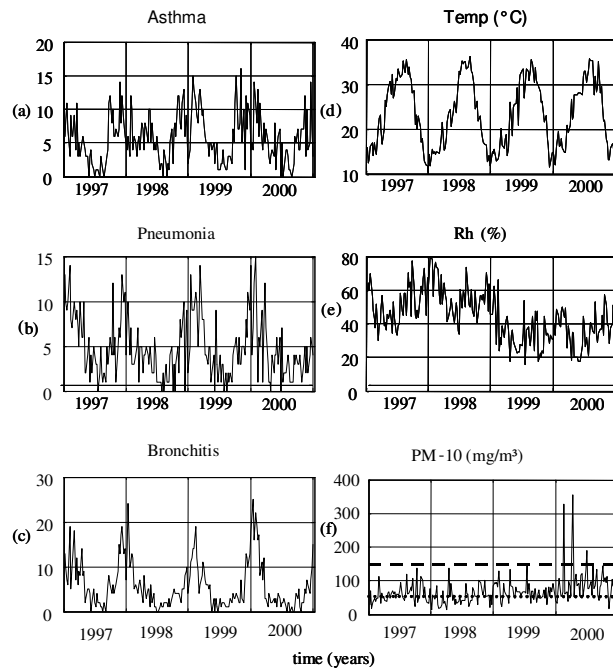


Figure 3. Hospitalizations from 1997 to 2000 in Imperial Valley for: (a) asthma, (b) pneumonia, (c) bronchitis; Atmospheric variables for: (d) temperature, (e) relative humidity (f) PM-10 (thick dotted line shows the $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ annual air quality standard, and the solid thick line shows the $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ standard for a 24 hour period).

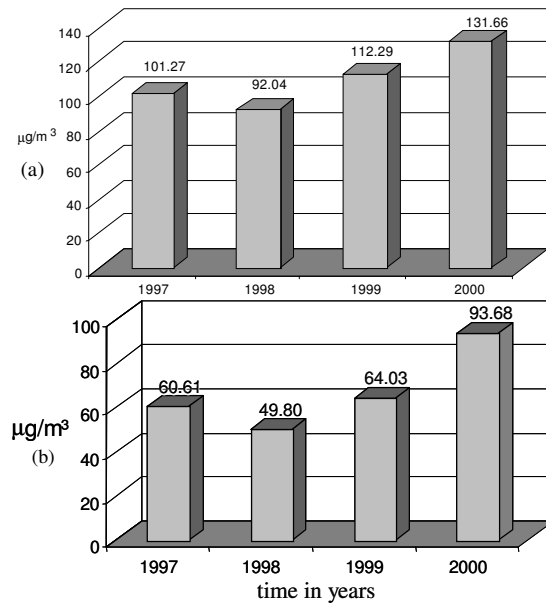


Figure 4. Annual PM10 Averages for Mexicali (a) and Imperial County (b).

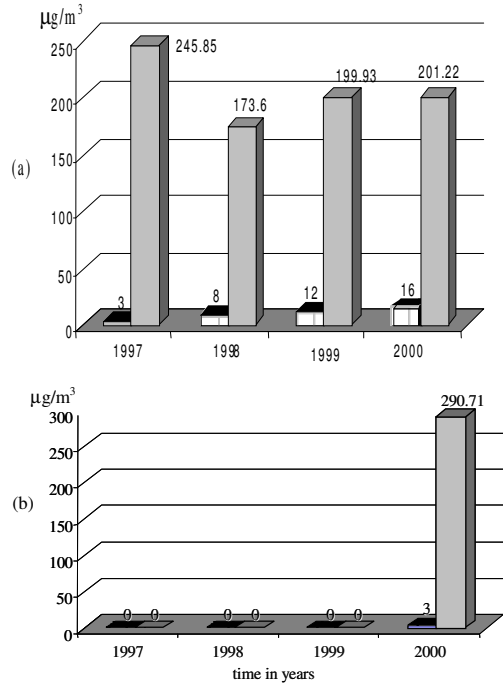


Figure 5. Number of Weeks that Exceeded the 150µg/m³ Air Quality Standards in Mexico and the United States and the PM10 averages for those weeks in the year. (a) Mexicali (b) Imperial.

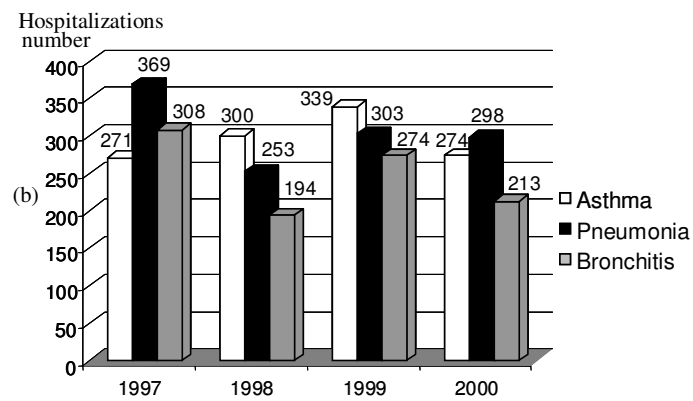
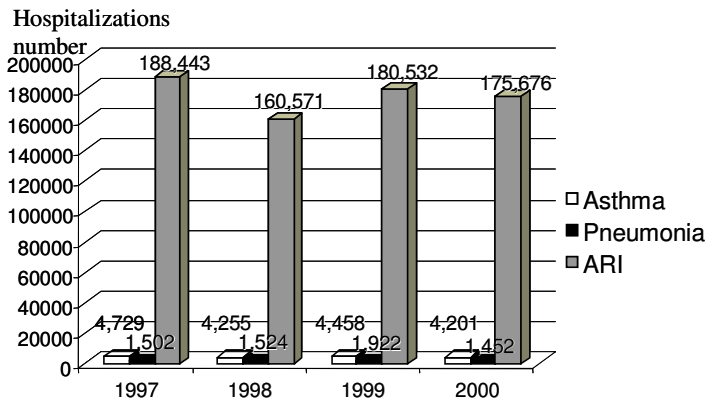


Figure 6.- (a) Number of hospitalizations due to asthma, pneumonia and ARI in Mexicali, 1997 to 2000. (b) Number of hospitalizations from asthma, pneumonia, and bronchitis in Imperial County, 1997 to 2000.

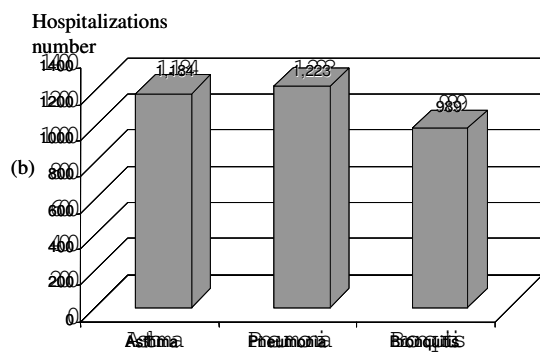
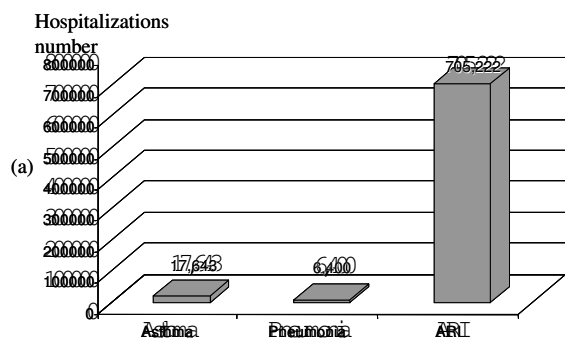


Figure 7. Total of hospitalizations occurs during 1997 to 2000 in (a) Mexicali and (b) Imperial.

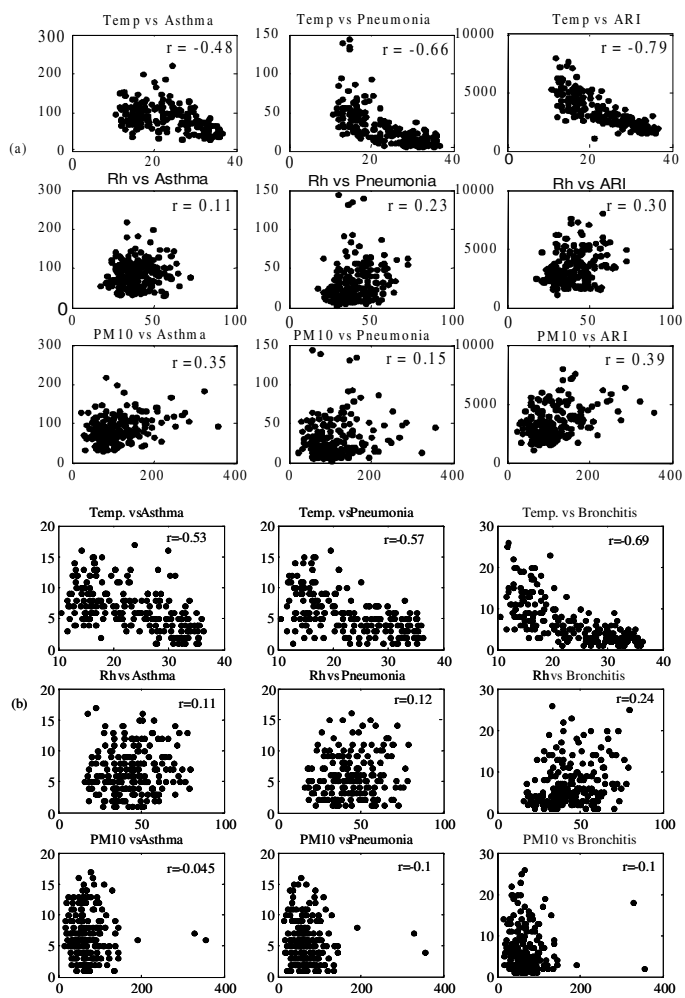


Figure 8. Dispersion graphs depicting the association between atmospheric variables with clinical variables in Mexicali (a) and Imperial (b).

Tables

U.S. COUNTIES	PM10	SO ₂	CO	O ₃
El Paso, TX	X		X	X
Doña Ana, NM	X			X
Imperial, CA	X		X	X
San Diego, CA			X	X
Douglas, AZ	X	X		
Nogales, AZ	X			
MEX. MUNICIPALITIES				
Tijuana, BC	X			
Mexicali, BC	X		X	X
San Luis Rio Colorado, SON	X			
Nogales, SON	X			
Agua Prieta, SON	X	X		
Ciudad Juárez, CHIH	X		X	X

Table 1. Border Counties and Municipalities that do not meet U.S. and Mexico national air quality standards

Table 2. Average Temperature, Relative Humidity, and Particulate Matter Smaller Than 10 Micrometers by Season of the Year, 1997 to 2010

Mesquite Airway Area ¹ Variables												
Season	Average Temperature				Average Relative Humidity				Average PM10			
	1997	1998	1999	2010	1997	1998	1999	2010	1997	1998	1999	2010
Winter	9.57	13.77	14.78	14.59	27.25	55.65	41.66	44.95	57.99	92.82	148.21	139.88
Spring	24.61	20.87	20.73	23.50	30.06	39.28	36.41	35.41	96.51	67.44	79.59	121.43
Summer	32.21	32.98	31.23	32.11	30.90	38.67	36.85	36.28	90.50	71.59	74.82	109.77
Fall	24.23	25.58	25.52	22.77	41.51	37.63	35.91	42.11	121.46	151.14	136.92	149.05

Imperial County Airway Area Variables												
Season	Average Temperature				Average Relative Humidity				Average PM10			
	1997	1998	1999	2010	1997	1998	1999	2010	1997	1998	1999	2010
Winter	12.11	17.62	18.64	19.64	49.99	66.6	65.05	49.6	59.64	56.98	85.25	100.2
Spring	20.4	25.53	26.05	29.17	26.09	68.85	42.07	38.95	75.87	67.79	73.21	132.00
Summer	41.49	41.28	40.04	41.38	28.96	66.99	39.51	40.97	66.96	60.37	89.38	134.61
Fall	32.73	32.37	35.53	31.22	73.81	67.45	42.31	51.59	95.4	79.09	76.85	105.72

¹ Winter 1997 data is only for 2 months as the monitoring station began operations on January 1, 1997.

Table 3. Number of Hospitalizations for Asthma, Pneumonia, Acute Respiratory Infections/Bronchitis by Season, 1997 to 2010

Season	Meriden											
	Asthma				Pneumonia				Acute Respiratory Illness			
	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000
Winter	712 ¹	1282	1165	1375	417 ¹	590	793	1019	43113 ¹	59371	52553	67820
Spring	1005	1223	1128	901	481	482	405	225	40555	40721	40202	37207
Summer	546	700	625	702	125	232	154	131	24513	25855	23630	27076
Fall	1815	1233	1361	1290	243	280	278	293	50590	43818	41750	46543

Season	Hamden Valley											
	Asthma				Pneumonia				Bronchitis			
	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000	1997	1998	1999	2000
Winter	36 ¹	76	130	101	82 ¹	164	135	210	73 ¹	98	100	105
Spring	51	83	51	51	105	61	74	55	65	54	74	55
Summer	19	32	46	35	26	15	16	22	54	24	25	59
Fall	83	108	112	87	85	43	46	34	64	45	52	40

¹ For the 1997 winter season, data from December 1996 is not available as the data series began in January 1997.

Table 4. R² for Meriden for asthma, pneumonia, and acute respiratory diseases each correlated with temperature, relative humidity and PM10.

Asthma Model	R ²
Temp, Rh, PM10	80%
Temp, PM10	75%
Temp, Rh	65%
Rh, PM10	43%
Pneumonia Model	R ²
Temp, Rh, PM10	66.9%
Temp, PM10	66.8%
Temp, Rh	66.8%
Rh, PM10	21.7%
ARI Model	R ²
Temp, Rh, PM10	83.3%
Temp, PM10	83.3%
Temp, Rh	79.3%
Rh, PM10	36.7%

Table 5. R² for Imperial Valley for asthma, pneumonia, and acute respiratory diseases each correlated with temperature, relative humidity, and PM10.

Asthma Model	R ²
Temp, Rh, PM10	70%
Temp, PM10	60.9%
Temp, Rh	55.1%
Rh, PM10	31.3%
Pneumonia Model	R ²
Temp, Rh, PM10	68.3%
Temp, PM10	60.6%
Temp, Rh	58.2%
Rh, PM10	19.7%
Bronchitis Model	R ²
Temp, Rh, PM10	80%
Temp, PM10	78.1%
Temp, Rh	65.9%
Rh, PM10	22.2%

Table 6. Estimated Percentage of Hospitalizations Per Year in Mexicali Calculated from the Models for Asthma, Pneumonia, and Acute Respiratory Infections (ARI).

(a)	ASTHMA MODEL	YEAR				
		1997	1998	1999	2000	1997-2000
	Model (T,Rh,PM10)	4,089	4,084	4,282	4,326	16,781
	* Expected (PM10=0)	15.4% Less	14.4% Less	17.7% Less	19.9% Less	16.9% Less
(b)	PNEUMONIA MODEL	YEAR				
		1997	1998	1999	2000	1997-2000
	Model (T,Rh,PM10)	1,389	1,465	1,438	1,393	5,685
	* Expected (PM10=0)	2.3% Less	2.1% Less	2.7% Less	3.2% Less	2.6% Less
(c)	ARI MODEL	YEAR				
		1997	1998	1999	2000	1997-2000
	Model (T,Rh,PM10)	166,141	171,047	174,971	177,727	689,888
	* Expected (PM10=0)	14.5% Less	13.7% Less	16.9% Less	19% Less	16.12% Less

† Expected Hospitalizations for each model assume the value for PM10 is equal to µg/m.

Table 7. Expected Number of Hospitalizations in Imperial for (a) asthma model (b) pneumonia model and (c) bronchitis model.

(a)	ASTHMA MODEL	YEAR				
		1997	1998	1999	2000	1997-2000
	Model (T,Rh,PM10)	338	355	347	345	1,385
	* Expected (PM10=0)	4.16% Less	4.0% Less	4.6% Less	5.43% Less	4.5% Less

(b)	PNEUMONIA MODEL	YEAR				
		1997	1998	1999	2000	1997-2000
	Model (T,Rh,PM10)	265	288	277	275	1,105
	* Expected (PM10=0)	6.7% Less	6.5% Less	8.0% Less	9.6% Less	7.7% Less

(c)	BRONCHITIS MODEL	YEAR				
		1997	1998	1999	2000	1997-2000
	Model (T,Rh,PM10)	301	318	311	310	1,240
	* Expected (PM10=0)	4.16% Less	4% Less	4.5% Less	5.4% Less	6.5% Less

† Expected Hospitalizations for each model assume the value for PM10 is equal to $\mu\text{g}/\text{m}^3$.