

Dimensión fractal del cambio global y la sostenibilidad ambiental del suelo.

Fractal Dimension of Global Change and Environmental Sustainability soil.

Autores: M Sc. Eduardo Román Veitia-Rodríguez¹, Dr C. Anselmo Villegas-Zulueta ², M Sc. Yoan Martínez-López ³, M Sc. Adelmo Montalbán-Estrada ¹.

Organismo: Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, CITMA, Cuba ¹, Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad de Camagüey, Cuba ², Facultad de Informática, Departamento de Computación, Universidad de Camagüey, Cuba ³.

E-mail: veitia@ciac.cu

Telef. 262273, 261657

Resumen.

Los síndromes del cambio global fueron descritos como modelos de desarrollo no sostenibles dentro del sistema de interacciones sociedad – naturaleza. El trabajo tiene el propósito de operacionalizar el enfoque de síndrome del cambio global como metodología inspirada esencialmente en la dimensión fractal que contribuye al desarrollo sostenible global y para lo cual se usó una metodología para su realización que consta de 4 pasos. Aporta una herramienta para perfeccionar la gestión sistémica de la sostenibilidad ambiental en los ecosistemas empleando la Metodología del Concepto de Síndrome del Cambio Global.

Palabras clave: dimensión fractal; enfoque del síndrome; quiebre de la tierra.

Abstract.

Syndromes of Global Change were explained as models of unsustainable development in the system of society-nature interactions. The work is intended to operationalize the approach of Global Change syndrome as inspired methodology essentially fractal dimension that contributes to global sustainable development and for which the following methodology was used for its realization. provides a tool to improve the management of systemic environmental sustainability in ecosystems using the methodology syndrome concept of Global Change.

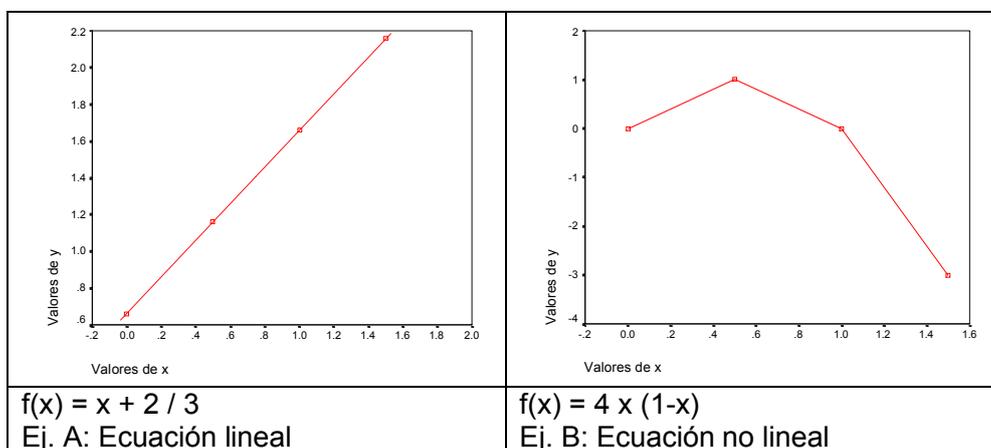
Keywords: fractal dimension; fractal syndrome; global change.

Introducción.

Un fractal es un objeto semigeométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular se repite a diferentes escalas. El término fue propuesto por el matemático Benoît Mandelbrot (1975). Deriva del Latín fractus, que significa quebrado o fracturado. Muchas estructuras naturales son de tipo fractal Mandelbrot (2003).

La no-linealidad es el comportamiento quizás más importante para entender la dinámica compleja y la dimensión fractal, posiblemente porque está en la base de todos los otros componentes del caos Longa (2005) y Zadeh (1975).

La principal diferencia entre las dinámicas lineales y no-lineales es la posibilidad de prever o no la trayectoria del sistema. Figura 1. Gráficos representando una ecuación lineal (Ej. A) y una no-lineal (Ej. B). La primera función genera una línea recta, hay proporcionalidad entre la entrada y el resultado, mientras que en la segunda hay desproporcionalidad.



Diegoli, S. (2002). Tesis Doctoral

Para Munné, (2000), el mundo no-lineal tiene cuatro características:

- a. Desproporcionalidad: no hay relación de causa-efecto proporcional;
- b. Indeterminación: o indeterminismo, no se puede determinar el estado del sistema en un punto x;
- c. Impredictibilidad: no se puede prever la trayectoria del sistema, definir exactamente cómo reaccionará;
- d. Discontinuidad: supone que hay continuidad hasta un punto donde ocurre un cambio, un salto.

La no-linealidad es el principio del pensamiento complejo Margulis (1989), Betalanffy (1992) y Leff Zimmerman (2000). Otra manera de presentarse la complejidad es la que aporta Munné (1994, 1995), este refiere la complejidad a través de cuatro elementos que no serán explicados en detalle por no ser objetivo de esta investigación. El caos, la fractalidad, la borrosidad, el catastrofismo son para él, elementos que componen la complejidad, debido a que esta es interdisciplinaria y subyace en todos estos fenómenos, siendo aplicable a todas las esferas de la realidad. La complejidad hace referencia a un estado del sistema que se caracteriza por tener esta serie de propiedades.

Los sistemas de síntomas de los cuales emergen los síndromes del cambio global (CG), crean una red de interrelaciones, que se manifiesta en forma de sinergias y retroalimentación, esto es el resultado de las redes de interrelaciones o cadenas causales en que se vinculan los distintos componentes que integran la realidad, devenido de las actividades antrópicas, que pueden ser estudiados no solo para comprender fenómenos a nivel global, sino a otros niveles de desagregación, Schuschny (2010).

Por esta reflexión no es posible prever sus trayectorias exactas porque las perturbaciones sobre el sistema no son proporcionales a estas, todo lo cual se resume mediante la desproporcionalidad que es una característica de la no-linealidad del CG. En el sistema (síndrome) una mínima alteración en el valor de una variable inicial (síntoma o tendencia) puede reforzar la intensidad de este mecanismo (macro-efecto) presentando una gran desproporcionalidad en las relaciones causa-efecto: causas pequeñas pueden generar efectos gigantescos sobre el medio ambiente y viceversa. En otras palabras, hay desproporcionalidad e indeterminismo entre causa y efecto. Matemáticamente, equivale a decir que un cambio en cualquier variable inicial produce un cambio en esta misma variable un tiempo después y un cambio n - veces mayor en esta variable inicial (síntoma) produce un cambio n - veces mayor en la misma. Lo cual indica que los síndromes son sistemas indeterministas que funcionan a través de la probabilidad que el sistema (síndrome) esté en determinado estado en un momento dado.

La desproporcionalidad existente en los síndromes se debe esencialmente, a la existencia de: i) variables (síntomas) que se autorrealimentan, o sea, una cualidad que se incrementa con otra una y otra vez por si misma; y ii) puntos críticos en los que una cualidad se desdobra de pronto y llega a alcanzar una carácter muy diferente.

Con todo lo expuesto hasta aquí queda demostrado que:

1. Los síndromes son sistemas no-lineales producto de los diferentes tipos de interacciones que se manifiestan entre sus síntomas y entre ellos mismos.
2. Son sistemas con comportamiento complejo debido a la retroalimentación que muestran.
3. Su comportamiento no es sensible a las condiciones iniciales.
4. Son patrones funcionales de las transformaciones del medio ambiente, necesarias o innecesarias

De todo esto se infiere que los síndromes son sistemas de comportamiento complejo.

Se puede formular la hipótesis que debido a la complejidad de los síndromes puede estar presente en su comportamiento: el caos, la fractalidad, la borrosidad, el catastrofismo, que serían para ellos elementos que componen la complejidad de estos.

Objetivo

Identificar la naturaleza fractal de los síndromes del (CG) para emplearla en la elaboración de un sistema dinámico que permita mejorar la sostenibilidad ambiental del suelo afectada por los mecanismos de desarrollo no sostenibles.

Desarrollo.

Materiales y Métodos

Para la realización del trabajo se utilizaron las herramientas y métodos en el orden siguiente:

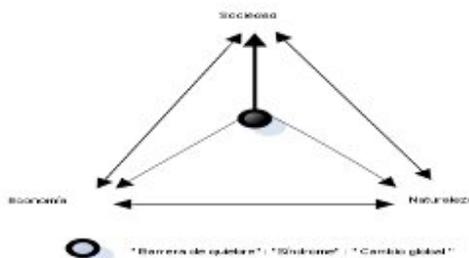
1. Revisión de la metodología del concepto síndrome de cambio global.
2. Análisis de la naturaleza compleja del cambio global.
3. Análisis de la posible naturaleza fractal de los síndromes.
4. Análisis de la barrera de quiebre de la tierra en su condición de atractor extraño para interpretar la naturaleza fractal de los síndromes del cambio global.
5. Empleo de la lógica difusa para modelar el comportamiento impreciso de la dinámica del quiebre de la tierra en un ecosistema.
6. Elaboración de un sistema de Inferencia difuso mediante la Toolbox Fuzzy del paquete estadístico MATLAB 7.5, Windows 2006 para modelar y conocer el estado de no-sostenibilidad en un agrosistema.

Análisis de resultados.

Evidentemente la propiedad más interesante de la fractalidad de los síndromes, es la repetición de estos como patrones estructurales o funcionales; que es la conciliación entre el orden y el desorden. Significa que, en una esencia fractal de estos desarrollos peligrosos, las características se encuentran repetidas en diferentes niveles (global, regional y local). Todos sus componentes, en cualquier grado, son semejantes al conjunto en la forma. Esta "auto-semejanza" exacta hace recordar los vórtices dentro de vórtices en el estudio de la turbulencia caótica. Naturalmente, los fractales complementan a las teorías de la complejidad, logrando representar geoméricamente los atractores extraños que para el caso de los síndromes vienen dados por el hecho que siempre están relacionados directa o indirectamente con el uso y explotación de los recursos naturales, manifestándose esta tendencia a través de "barrera de quiebre de la tierra". Es decir, los atractores extraños son ejemplos de fractales. Para entender lo que significa un atractor extraño Hofstadte, (1982) es necesario precisar lo que se entiende como caos, el caos es un estado anterior a toda idea de orden como de desorden, en otras palabras la conciliación entre orden y desorden, presentando como principal característica los sistemas caóticos, su sensibilidad a las condiciones iniciales, que es semejante a decir que una pequeña causa puede generar un gran efecto.

Para facilitar la comprensión del comportamiento fractal de los síndromes es necesario decir que ellos son considerados por WBGC (1997) como "patrones funcionales de transformación ambiental": estos modelos se manifiestan cuando el análisis regional del sistema tierra se hace usando este instrumento; suministra claras evidencias de que las interrelaciones en ciertas regiones entre las sociedades humanas y la naturaleza operan con frecuencia a lo largo de líneas típicas (patrones funcionales). La tesis defendida es que el ambiente global complejo y los problemas de desarrollo, pueden ser atribuidos a un número discreto de patrones de degradación ambiental. Si un síndrome se fuera a representar mediante una esencia única repetible en forma geométrica, sería semejante a un triángulo indeterminado en sus tres lados.

Figura 1. Representación de la dinámica de formación de los síndromes de cambio global



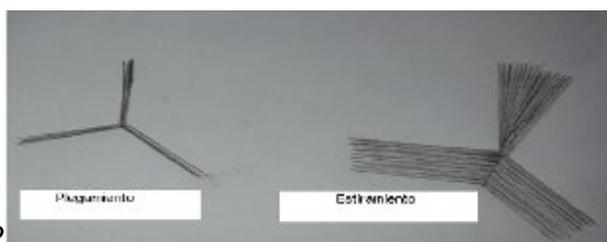
Veitia, 2012

Una vez que las interacciones *sociedad – naturaleza* con las cuales se origina la “barrera de quiebre de la tierra” producto de la evolución del medio ambiente que puede ser más o menos intensa desde el punto de vista cuali-cuanti dando la posibilidad de diferentes estados que son los síndromes de cambio global, estos se irán conformando de acuerdo a la intensidad de la variable : “barrera de quiebre de la tierra” la que se moverá en dependencia de su manejo alrededor de puntos que harán a la sociedad alejarse o aproximarse a los valores límites donde existe el riesgo de caer por debajo de la “barrera de quiebre de la tierra” cuando ya el síndrome es notorio originando una estructura base.

La barrera de quiebre de la tierra tiene carácter finito, empalma con el hecho que es un atractor extraño y estos tienen un tamaño finito, que a la vez dan cuenta del fenómeno de divergencia de trayectoria o efecto mariposa. La única solución para mantener una dinámica que presenta la divergencia de trayectorias en un espacio finito consistente en replegarse sobre si mismo. El atractor extraño definido por Hofstadte (1982), es un resultado de una tensión topológica, que debe permanecer confinada en un conjunto concreto de estados posibles como es el caso de los síndromes del cambio global. Algo parecido, pero aun más extremo y complejo, como por ejemplo a la tensión entre el crecimiento y permanecer pequeño que se produce en una concha con forma de caracol.

Los atractores extraños recogen un número infinito de órbitas y trayectorias confinadas dentro de un espacio finito. Para lo que es necesario que las trayectorias se replieguen sobre si mismas, una y otra vez, de tal manera que, si se amplía una región del atractor extraño (figura 3) se obtendrán nuevos matices, nuevas trayectorias antes no visibles, y que seguirán apareciendo si se continua ampliando. De otra manera los atractores extraños presentan la propiedad de autosimilitud de formas a diferentes escalas o de invarianza bajo escala, lo cual viene a corroborar que son estructuras fractales el plegamiento de los atractores extraños, ellos tienen un tamaño finito y, a la vez, experimentan el fenómeno de divergencia de trayectorias o efecto mariposa.

Figura 2. Imagen de modelo fractal de los síndromes de cambio global.



Veitia, 2012

A tal efecto un síndrome, como se puede observar, es un patrón de comportamiento surgido de la interacción *sociedad-naturaleza-economía* que con algunas variaciones cualitativas y cuantitativas o nivel de relación del sistema con la utilización de recursos naturales, se presenta siempre con las mismas semejanzas con independencia de la región del planeta.

Estas tres propiedades emergentes del sistema tierra como se ha podido observar acaban influyendo en los propios elementos del sistema como lo son para este caso los componentes sociedad, naturaleza y economía siendo la variable motriz; la sociedad.

Los dieciséis síndromes formulados por Consejo Científico del Gobierno Alemán para cambio global (WBGC) y mejorados por el Instituto de Potsdam para investigaciones e impacto del cambio climático y cambio global (PIK), presentan esta estructura base, variando sus interrelaciones e interacciones en calidad y cantidad, con lo cual expresan su auto-semejanza.

Todo lo anterior reafirma que los síndromes son transectoriales en su naturaleza. Unos problemas específicos pueden afectar diversos sectores como la sociedad, economía, la biosfera, la población, pedosfera, geósfera. Este modelo (fractal) que representa la esencia repetible desde trayectorias geoméricamente imprecisas, que se enmarcan sobre la base de una lógica difusa de la emergencia de un síndrome del cambio global puede ser operacionalizado de manera general para minimizar la intensidad de la emergencia de los síndromes resultado de las interacciones *sociedad-naturaleza-economía*, siendo la variable dependiente de este sistema la “barrera de quiebre de la tierra” Alzate (2006). Esta antecede en última instancia a la emergencia de los síndromes que integran al cambio global en el sistema tierra con vista a realizar una intervención para la producción de cambios favorables para alcanzar la sostenibilidad ambiental. El conjunto de puntos donde la palanca ejercería mayor presión es en su “barrera de quiebre de la tierra”, por lo que resulta necesario hacer una valoración a pesar de su naturaleza imprecisa, de su alto nivel de incertidumbre y de la borrosidad que encierra. Los datos disponibles debido a la complejidad de los ecosistemas del sistema tierra hacen que las “barreras de quiebre de la tierra” alrededor de las cuales se mueven los síndromes no sean exactas, por estos valores ser considerados con un gran nivel de fluctuación es que estos se hacen difusos, las valoraciones de las variables dependen del estado actual del conocimiento, por lo cual se propone el empleo de la Lógica Difusa (LD) para la integración e interpretación de las mismas. De lo anterior se infiere que es una tarea fundamental diseñar herramientas para el manejo de los ecosistemas del sistema tierra basadas en la naturaleza fractal de los síndromes, por lo que se puede gestionar la “barrera de quiebre de la tierra” en un entorno de valores en el cual no aparezca un síndrome o se minimice su accionar, frenen cualquier tendencia en el espacio más allá de la “barrera de quiebre de la tierra”.

Diseño de un Sistemas de inferencia difusos (SID ó FIS) para evaluar la barrera de “quiebre de la tierra” en un agro sistema.

Los sistemas de inferencia difusos emplean la teoría de los conjuntos difusos y las reglas algebraicas difusas de tipo IF- THEN para obtener un valor de salida que sirva para controlar al sistema de evaluación para este caso, partiendo de un conjunto de variables de entrada (independientes). Existen dos tipos fundamentales de modelos de SID. El modelo difuso de Mamdani y el de Takagi-Sugeno, pero ambos básicamente están conformados por cinco componentes principales: 1. Una interfaz de fuzificación de las entradas o fuzificador. 2. La

aplicación del operador difuso. 3. Una base de reglas. 4. Un mecanismo de inferencia difusa. 5. Una interfaz de defuzificación de las salidas.

Introducción a la toolbox de Lógica Difusa del MATLAB 7.5 (2007).

La interfaz gráfica de la *toolbox fuzzy* está compuesta por cinco partes principales: un editor de sistemas de inferencia difuso (FIS Editor), un editor de funciones de pertenencia (Membership function editor), un editor de reglas (Rule editor), un visualizador de reglas (rule viewer) y la representación gráfica de la salida del sistema (surface viewer).

Se elaboró un modelo de inferencia difusa tipo Mamdani para la evaluación de la “barrera de quiebre de la tierra” en un ecosistema; para simular este sistema se han escogido 4 variables 3 de entrada y 1 variable de salida. Como variables de entrada se seleccionaron las siguientes: 1 - Sociedad representada mediante tres conjuntos difusos “Bajo”, “Medio” y “Alto”. 2 - Naturaleza representada mediante los conjuntos difusos “Bajo”, “Medio” y “Alto”. 3- Economía expresada mediante los conjuntos difusos “Bajo”, “Medio” y “Ato”. La variable de salida es única; el “Quiebre de la tierra”. Se representa mediante tres conjuntos difusos “Bajo”, “Medio” y “Alto”.

Tabla 1. Indicadores del Sistema de Inferencia Difuso

Variables Independientes	Indicadores	Universo de Discurso
Sociedad	% de empleo de tecnologías sostenibles.	0 - 100 %
Naturaleza	% de degradación de los componentes de un ecosistema.	0 - 100 %
Economía	% de producciones o servicios totalmente limpios y bajos insumos.	0 - 100 %
Variable Dependiente		
Barrera de Quiebre	Valor de la no-sostenibilidad del síndrome revelado.	0 - 100

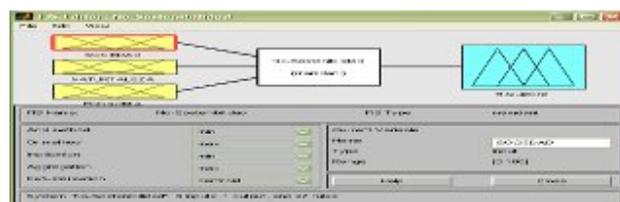
Base de Reglas.

Como el sistema dispone de 4 variables de entradas, todas ellas formadas por tres conjuntos difusos, se puede establecer un total máximo de 27 reglas, (3×3×3). El conjunto de reglas se obtiene mediante el editor de reglas.

Mecanismo de inferencia difusa

La figura 3 muestra la ventana del editor de un sistema de inferencia difusa de tipo Mamdani para la evaluación aproximada de la “barrera de quiebre” que consta de 4 variables de entrada, 1 variable de salida y de 27 reglas.

Figura 3. FIS Editor



Mientras mayores sean los valores de las variables independientes menores serán los de la variable dependiente, lo cual se traduce en el hecho que mientras mayor sea el comportamiento racional del hombre en relación a al manejo del ecosistema en que vive estará más distante de los valores de la “barrera de quiebre”; en el marco de este modelo la sociedad comienza a aproximarse a un valor límite de pérdida de estabilidad a partir del valor 55,5 de esta variable porque está cerca de 100 donde ya el agrosistema cae con un nivel de insostenibilidad ambiental muy elevado.

Mecanismo para procesar la información

La figura 10 muestra la ventana visor de reglas, la cual en su extremo inferior izquierdo tiene ubicada la caja input que permite la entrada de información al sistema (SID ó FIS).

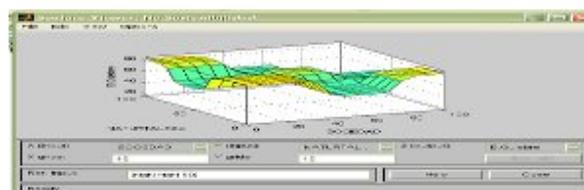
Desde el punto de vista práctico esta ventana da la posibilidad de identificar la presencia de síndromes para iniciar su gestión actuando sobre la variable “SOCIEDAD” como la variable motriz de las variables de entrada.

Figura 4. Visor de reglas ilustradas gráficamente.



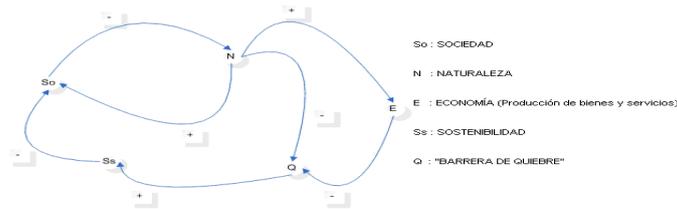
La figura 11 muestra la ventana visor de superficies la cual permite observar gráficamente el comportamiento de la variable dependiente (salida) “barrera de quiebre” en la medida que los valores de variables de entrada (sociedad, naturaleza y economía) van cambiando; a la vez de que se puede acomodar la perspectiva del gráfico para que su comprensión sea mejor del comportamiento de la variable de salida (output).

Figura 5. Visor de superficie.



Modelo de dinámica de sistema para la gestión de los síndromes del cambio global representado en la figura 12, se interpreta de la forma siguiente: la disminución de impactos sobre la naturaleza, incrementa los impactos positivos sobre la sociedad, disminuye la barrera de quiebre, incrementa las producciones más limpias lo cual, minimiza a la barrera de quiebre lo que trae el aumento de la sostenibilidad de los agrosistemas con la reducción de las influencias sociales negativas sobre el sistema global, regional o local.

Figura 6. Modelo de dinámica de sistema.



Veitia, 2012

En el modelo propuesto en la figura 12, el número total de relaciones negativas es 5; un número impar por lo tanto se está en presencia de un sistema estabilizador, dicho de otra manera este contrarresta las desviaciones tendientes a la emergencia de síndromes del cambio global en un espacio dado. Este sería el modelo de gestión a emplear cuando la barrera de quiebre de la tierra se mueve a partir 55.5 en que el agrosistema cae en un nivel de insostenibilidad muy elevado.

Conclusiones.

El trabajo demuestra que los síndromes del CG tiene un comportamiento fractal debido a que cumplen con las cuatro características propuestas por Munné (2000). Por otra parte se aporta un esquema que expresa la fractalidad del síndrome de CG; un modelo de inferencia difuso (FIS) que evalúa la "barrera de quiebre de la tierra" en un agrosistema, este da paso al empleo del modelo de dinámica de sistema para la gestión del síndrome de Sobre-Utilización del suelo.

Bibliografía.

Alemania, Consejo Científico del Gobierno Alemán para el Cambio Global del Medio Ambiente (1997). Annual Report of the German Advisory Council on Global Change. World in transition: The Research Challenge. Berlin.

Alzate, B. (2006). *Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de Tercera Generación en Gestión Ambiental Sistémica*. Unpublished Memoria para optar al Título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad de Colombia.

A., S. (2010). Metodología de Síndromes de Cambio Global. *Ciencias Ambientales*.

Bertalanffy, L. (1992). *Teoría General de los Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires.

Diegoli, S. (2002). *Autoorganización en agrosistemas*. Unpublished Memoria para optar al Título de Doctor en Ciencias ecológicas, Universidad de Barcelona, España.

Hofstadte, D., R. (1982). Los atractores extraños como configuraciones matemáticas en equilibrio con el orden y el caos. *Investigación y Ciencia*, 4, 51 - 67.

- Longa, V., M. (2005). Filosofía de la ciencia no lineal. *Teorema*, XXIV (1), 19-33.
- Margulis, L. (1989). Gaia: The Living Earth', diálogo con Fritjof Capra. The Elmwood Newsletter. Berkeley, 5(2).
- Morin, E. (2004). *La epistemología de la Complejidad*. CNRS.
- Munné, F. (1994). *El retorno a la complejidad y la Nueva imagen del ser humano: Hacia una Psicología Compleja*. Universidad de Barcelona España.
- Munné, F. (1995). *La interacción social. Teorías y ámbitos*. Barcelona.
- Veitia, R. E. (2011). *La Dimensión Fractal como guía para operacionalizar el Concepto de Enfoque de Síndrome*. Paper presented at the Simposio Internacional "Complejidad 2011 y Desarrollo Sostenible".
- Zadeh, L.A. (1975). The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 8, 43-80.

Fecha de recibido: 20 oct. 2012
Fecha de aprobado: 19 dic. 2012