

ARTÍCULO ORIGINAL

Elección de Indicadores Sistémicos para la Sostenibilidad Ambiental del Suelo

Systemic Election Indicators for Environmental Sustainability Land

M.Sc. Eduardo Román Veitia Rodríguez¹, M.Sc. Adelmo Montalván Estrada¹, Lic. Yoan Martínez López¹¹

¹ Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Camagüey, Cuba.

¹¹ Universidad de Camagüey, Facultad de Informática, Camagüey, Cuba.

RESUMEN. El artículo expone el método asumido en una investigación desarrollada para identificar el Síndrome de Cambio Global con mayores posibilidades en un territorio de la provincia de Camagüey para ser empleado como Indicador Sistémico de la Gestión de la Sostenibilidad Ambiental del Suelo; basándose en la extensión de su presencia; Degradación del suelo, Cambio climático, Pérdida de biodiversidad, Deforestación, Escasez de agua, Sobreexplotación y contaminación del océano y Desarrollo global de disparidades, lo que hizo necesario utilizar e integrar herramientas que permitieran enfrentar este problema multicriterio. Las herramientas seleccionadas fueron; Metodología del Concepto de Síndrome de Cambio Global, Análisis de Expertos según el Método de Intervalos Sucesivos o Método de Green y Análisis Jerárquico AHP, integrándose con la combinación de éstas, el cual consintió optimizar más apropiado entre los más afines a la gestión agrícola a pesar de su comportamiento complejo. Lo que constituye un aporte a la Metodología del Síndrome de Cambio Global que posibilita obtener resultados con menos incertidumbre, todo lo cual ha constituido una innovación a la metodología.

Palabras clave: cambio global, síndrome de cambio global, sostenibilidad ambiental del suelo, metodología del concepto de síndrome de cambio global, método de intervalos sucesivos o método de Green, toma de decisiones, problemas multicriterio, Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).

ABSTRACT. The article describes the method assumed in a research conducted to identify the Global Change Syndrome with more possibilities in an area of the Camagüey province to be used as a Systemic indicator of the Environmental Sustainability Management of the Land, based on the expanse of their presence. It is facing a complex problem emerging from the interaction Nature-Society which implies that the process for the election of the syndrome with more significance is of a high complex; argued by the existence of several criteria such as: soil degradation, climate change, loss of biodiversity, deforestation, lack of water, overexploitation, ocean pollution, and global development disparities what make necessary to use and integrate tools that enable to face this problem. The selected tools were: Methodology of the Concept of the Global Change Syndrome, Expert Analysis according to the Successive Intervals method or Green and Hierarchical Analysis AHP method, integrating a method of a great access with the combination of these, which allowed optimizing decisions concerning with the most appropriate syndrome among the most similar to the agricultural management despite their complex behavior. This constitutes a contribution to the methodology of the Global Change Syndrome that allows obtaining results with less uncertainty; all this has been an innovation to the methodology.

Keywords: global change, global change syndrome, soil environmental sustainability, concept methodology of the global change syndrome, method of successive intervals or method of Green, decision making, multicriteria problems, Hierarchical Analysis Process (AHP).

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de la Tierra y las personas se hallan unidos en una simbiosis tan intrincada como tenue. Se depende de los ecosistemas para el sostenimiento del hombre, pero a la vez, la salud de los mismos está supeditada a los cuidados que les dispensan. Aun así, casi todas las medidas utilizadas para evaluar la salud de los ecosistemas predicen su destrucción.

Estas actividades transforman las tierras, alteran los principales ciclos biogeoquímicos y bioquímicos y añaden o eliminan especies en muchos ecosistemas. Estos componentes interaccionan entre sí y pueden provocar otras alteraciones en el funcionamiento del ecosistema global. Todos estos fenómenos, junto con otros, como el aumento de las concentraciones de

productos tóxicos en el medio ambiente, la erosión del suelo, el hueco de la capa de ozono, o el aumento de la acidez de las precipitaciones, se consideran como síntomas de un enfermedad o síndrome; son la consecuencia de la apropiación de la biosfera por una especie con razonamiento con el propósito de obtener bienes y servicios (Sapiña,2002), emergiendo efectos negativos sobre el medio ambiente a escala planetaria.

El Consejo Científico del Gobierno Alemán para el Cambio Global CG del Medio Ambiente (WBGU, 1996), desarrolló el concepto de Enfoque de Síndrome orientado a los problemas centrales del cambio global y los reconstruyó para crear modelos explicativos para su mejoramiento y desarrollo.

En correspondencia con evaluaciones de expertos, se ha formulado un conjunto de 16 síndromes. Estos intentan describir el CG de forma apropiada las interacciones sociedad-naturaleza.

Para (Cassel & Petschel (2008), los síndromes pueden ser interpretados como: a) modelos de desarrollo no-sustentables dentro del sistema sociedad-naturaleza, que pueden ser explicados solamente mediante los efectos recíprocos entre los elementos particulares, b) modelos de daños causados antropogénicamente, modelos de interacción de fenómenos complejos, c) formalizados parcialmente por medio de complejos causa-efecto interdisciplinaria e intersectorial, d) redes de interacciones características de síntomas y sus efectos recíprocos y formulados más allá de cada una de las esferas del sistema de la tierra.

La solución integral de los problemas ambientales emergentes del Cambio Global, vendrá de una verdadera interacción dinámica entre ciencia, tecnología y sociedad (CTS) con la naturaleza (interacción, sociedad-naturaleza) para que la homeostasis del planeta regule los efectos del cambio global, este autor está en perfecta armonía con este criterio, pues es la especie humana la que está deteriorando el planeta única pensante entre miles; entonces con toda lógica y como parte del

medio ambiente además; debe resolver el problema trabajando por la resiliencia del planeta, pues es la única entre miles como se dijo ya que piensa, razona, prevé y ama; (Morin,1994) refiriéndose al respecto acentúa “se necesita el amor del hombre si no tristemente todo estará en la papelera de reciclaje”.

Lo ya expuesto demuestra 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 manifiestan 3.- Su comportamiento no es sensible a las condiciones iniciales.
3. Son patrones funcionales de la transformación y están siempre relacionados directa o indirectamente con los recursos naturales y se repiten sistémicamente (Veitia *et al.* 2012).

El punto se hace más tangible al exponer la observación de la dinámica de la emergencia de los síndromes en la realidad cuando se corrobora que los síndromes aparecen formando tres subsistemas en fuerte entramado: síndromes de utilización de recursos, síndromes de desarrollo y los síndromes de contaminación lo cual se ilustra en la Tabla 1.

Los sistemas naturales como sistemas abiertos soportan la evolución, que se produce con un proceso paralelo de entropía. Si el límite de máxima entropía se alcanzara entonces el proceso evolutivo finalizaría, pero lo que no permite que esto suceda son los procesos negentrópicos que retroalimentan continuamente el sistema, permitiendo estados de equilibrio dinámicos, como en los seres vivos.

Mediante la relación del ser humano con la naturaleza, esta retroacción continúa, no solo en términos biofísicos, sino culturales; a través del aprendizaje, mediante transmisión de conocimiento interior de cada una de las dimensiones, para garantizar la sostenibilidad tanto de la naturaleza, como de la vida y la cultura (Vega, 2005)

TABLA 1. Sistema de Síndromes del Cambio Global

Síndromes	Interpretación
Síndromes de utilización	
Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo	Sobreproducción del suelo marginal o producción por encima de sus posibilidades.
Síndrome de Sobreexplotación	Sobreexplotación de sistemas naturales.
Síndrome del Éxodo Rural	Degradación ambiental a través del abandono de prácticas avícolas tradicionales.
Síndrome de “Dowts bowl”	Uso agro-industrial no sostenible de suelos y cuerpos de agua.
Síndrome de “Katanga”	Degradación ambiental por el agotamiento de recursos no –renovables.
Síndrome de Turismo Masivo	Desarrollo y degradación de la naturaleza para fines recreacionales.
Síndrome de Tierra Arrasada	Destrucción ambiental guerra y acción militar.
Síndromes de desarrollo	
Síndrome del Mar de Aral	Daños ambientales de paisajes naturales como resultado de grandes proyectos.
Síndrome de Revolución Verde	Daño ambiental a través de técnicas agrícolas inadecuadas.
Síndrome de los “Tigres Asiáticos”	Indiferencia hacia los estándares ambientales en el curso en el curso del crecimiento económico rápido.

Síndromes	Interpretación
Síndrome de Urbanización Irregular	Destrucción de paisajes por extensión de infraestructuras urbanas planificadas.
Síndrome Favela	Degradación ambiental por crecimiento urbano incontrolado.
Síndromes de Grandes Accidentes	Desastres ambientales antropogénicos por con impactos a largo plazo.
Síndromes de Contaminación	
Síndrome de Chimenea	Degradación ambiental por difusión a larga a gran escala de sustancias de larga vida.
Síndrome de Basurero	Degradación ambiental por deposición controlada e incontrolada de basura.
Síndrome de Tierra Contaminada	Contaminación local de recursos ambientales en localidades industriales.

Continuando el análisis de la teoría de los síndromes se tiene que ellos son considerados como indicadores sistémicos o de tercera generación, por lo que constituyen un excelente instrumento con el cual la sostenibilidad ambiental podría ser afrontada como la ausencia o mitigación de síndromes reforzándose los procesos negentrópicos y estos a nivel regional serían evaluados, entonces en relación con este caso ideal determinando su distancia desde la condición deseada.

Los síndromes como indicadores sistémicos y de tercera generación tienen un comportamiento altamente complejo que hacen difícil contar con características específicas suficiente para ser identificados por la herramientas tradicionales díganse métodos estadísticos, sino más bien resultan necesarios métodos cualitativos.

La delegación del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), (Cuba, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (2007 y 2011), ha constatado que en el territorio de la provincia de Camagüey se reportan datos que confirman de que están presente algunos de los problemas fundamentales del CG vigentes como son: la degradación de los suelos; el cambio climático; la pérdida de biodiversidad y escasez y contaminación del recurso agua, la deforestación. Teniendo en cuenta los argumentos del Consejo Consultivo Alemán (WBGU, 1993, 1997, 1999, 2000). Se infiere que hay varios síndromes del CG instalados ya en el territorio nacional y en la provincia de Camagüey; algunos de estos mecanismo dañinos pueden ser usado en mayor o menor grado como indicadores (sistémico y de tercera generación) para la gestión de la sostenibilidad ambiental de los suelos agrícolas, pero estas bondades aun no han sido utilizadas en el territorio incluso nacional.

Por este motivo la investigación en la que se basa este trabajo enfrentó el problema: cómo identificar el síndrome de CG con atributos más adecuado para la gestión sistémica de la sostenibilidad ambiental de suelo del suelo de un agrosistema en un territorio de la Provincia de Camagüey. De aquí se derivó como objetivo de la investigación: confeccionar un método mediante la integración de un conjunto de herramientas que permita identificar el síndrome para ser empleado como indicador sistémico de la sostenibilidad ambiental del suelo que tenga en cuenta su comportamiento complejo. Por lo cual en este trabajo se propone divulgar el método utilizado en la investigación para la identificación del constructo.

Proceso Analítico Jerárquico.AHP

Esta complejidad del sistema de síndromes de Cambio Global encaminó a la investigación a enrumbarse por el camino de uso de modelos de preferencia, es decir, herramientas que permitieron abordar el problema de decisión multicriterio en este contexto de una manera sistémica, buscando favorecer el proceso y ayudar a quién toma la decisión. Entre estos modelos de preferencia, se hará referencia, específica al AHP que fue empleado por los autores. Este método, facilita la toma de decisiones en problemas en los cuales se involucran múltiples criterios, en el párrafo siguiente se abunda uno poco más sobre el AHP.

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es un método de toma de decisiones creado por Thomas L. Saaty en 1980, formando parte de los métodos de comparaciones pareadas que facilitan la transformación sistemática de la información en acción. Se utiliza para darle solución a problemas complejos como el que se expone en este artículo, que tiene criterios múltiples y requiere que quienes tomen las decisiones brinden evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios, especificando posteriormente su preferencia con relación a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio, lo cual posibilita una jerarquización con prioridades que indica la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. Entre sus principales ventajas se pueden comentar: *“se puede analizar el efecto de los cambios en un nivel superior sobre el nivel inferior, da información sobre el sistema y permite una vista panorámica de los actores, sus objetivos y propósitos, posibilita la flexibilidad para encarar cambios en las componentes de manera que no afecten la estructura total”*.

Esta complejidad ha llevado al desarrollo de modelos de preferencia, es decir, herramientas que permiten abordar el problema de decisión multicriterio de una forma sistémica y científica, buscando favorecer el proceso y ayudar a quién toma la decisión. Entre estos modelos de preferencia, se hará referencia, específica al AHP. Este método, facilita la toma de decisiones en problemas en los cuales se involucran múltiples criterios (Sánchez, 2001).

Algunos autores consideran que el AHP no ha sido comprendido, ya que más allá de ser una simple metodología para situaciones de elección (Forman, 2001) opinión que el autor la cree la adecuada. En correspondencia con este razonamiento

se deduce que para comprender el método en toda su extensión, resulta necesario describir sus tres funciones cardinales: estructurar la complejidad, medir en una escala y sintetizar. Seguidamente se describen estas funciones (Saaty, 2001).

Estructuración de la Complejidad. Tomas L Saaty buscó una manera para resolver el problema de la complejidad, y utilizó la estructura jerárquica de los problemas en subproblemas homogéneos. De hecho, el uso de la descomposición jerárquica, es una de las grandes ventajas del método, pues se descompone una meta u objetivo en criterios más simples, quiere decir, que un problema se descompone en subproblemas, los cuales están relacionados directamente con el problema inicial, y al lograrse

la solución de los subproblemas y el mantenimiento de la relación existente entre ellos, se consigue la solución del problema inicial. **Medición en escala.** El AHP permite realizar mediciones de criterios tanto subjetivos como objetivos a partir de estimaciones de criterios tanto objetivos como subjetivos a partir de estimaciones numéricas, verbales o gráficas, lo cual le asigna una gran flexibilidad, permitiendo esto, gran variedad de aplicaciones en campos tan disímiles. El hecho de tener definida una escala general, aplicable a cualquier situación, permite la universalidad del método y lo hace sencillo de aplicar para quién toma decisiones (Saaty, 1994). Además, la escala es clara y aporta una amplitud para las comparaciones lo que es posible constatar en la Tabla 2.

TABLA 2. Escalas de comparación de Saaty

Escala	Definición	Explicación
1	Igualmente preferida.	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo.
3	Moderadamente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente a otro.
5	Fuertemente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente a otro.
7	Muy fuertemente preferidas.	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre otro. En la práctica se puede demostrar su dominio.
9	Extremadamente preferida.	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente a otro.

Fuente: Saaty, Thomas. How to make a decision: the analytic hierarchy process. University of Pittsburgh.1994

Los valores 2, 4, 6 y 8 se utilizan cuando no se puede definir con claridad la preferencia entre los criterios. Estos valores intermedios de preferencia

En la Tabla 1, se presenta la escala propuesta por Saaty (2). **Síntesis.** Aunque el nombre incluya la palabra Análisis, el enfoque del AHP es totalmente sistémico, ya que aunque analiza las decisiones a partir de la descomposición jerárquica en ningún momento pierde de vista el objetivo general y las interdependencias existentes entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas, por lo tanto, este método está enfocado en el sistema en general, y la solución que presenta es para la totalidad, no en lo individual.

Después de revisadas las tres funciones fundamentales, para completar la visión acerca de la base sobre la que se establece el AHP, es menester los principios y axiomas de la metodología.

Principios (Sobramaniam, 2000)

El principio de Descomposición

Para resolver la complejidad, el AHP permite estructurar un problema complejo en subproblemas jerárquico con dependencias de acuerdo con el nivel de descomposición en que se encuentre.

Juicios comparativos

Permite realizar combinaciones en parejas de todos los elementos de un subgrupo con respecto al criterio principal del mismo, por lo que se habla de comparaciones biunívocas.

Comparación Jerárquica o Síntesis de prioridades

Permite producir prioridades globales a través de las multiplicaciones de las prioridades locales, quiere decir, que una vez que se tienen soluciones locales, se agregan para obtener la solución general que se está buscando.

Axiomas (Bryson, 1994)

Axioma recíprocal

Se tiene a un criterio y una alternativa A que es n veces menor que B, entonces B es 1/n veces mejor que A. Este principio es utilizado en el análisis matricial que se realiza a los criterios y las alternativas. Garantiza que el análisis se haga biderccionalmente

Axioma de homogeneidad

Los elementos que son comparados no deben diferir mucho en cuanto a característica de la comparación establecida.

Axioma de Síntesis

Los juicios a cerca de las prioridades de los elementos en una jerarquía no dependen de los elementos de nivel más bajo. Este axioma es rebatible y en determinadas circunstancias analíticas no se aplica puesto que es posible de que exista dependencia de un objetivo con un nivel más bajo

MÉTODOS

La metodología seguida para desarrollar el método asumido en la investigación para identificar el Síndrome de Cambio Glo-

bal con mayores posibilidades en un territorio de la provincia de Camagüey para ser empleado como Indicador de Sostenibilidad Ambiental del suelo es la que se expone seguidamente.

1. Aplicación de la Metodología del Concepto de Síndrome de Cambio Global para identificar cuáles de estos perfiles peligrosos están instalado en el territorio de la provincia de Camagüey que se estudió en mayor o menor grado.
2. Análisis de criterios de expertos empleando el Método de los Intervalos Sucesivos o Método de Green para seleccionar cuáles de los síndromes presentes en el territorio tiene mayores incidencias sobre las actividades agrícolas del territorio.
3. Análisis Jerárquico AHP para identificar cuál de los síndromes seleccionados con mayor incidencia sobre la agricultura en el territorio, es más apropiado o significativo; conveniente al territorio para la Gestión Sistémica de la Sostenibilidad Ambiental del Suelo.

Mediante la Metodología del Concepto de Cambio Global desarrollada por el Consejo Científico del Gobierno Alemán para el Cambio Global del Medio Ambiente apoyado en los pasos 1 y 2 descritos a continuación.

Se identificaron cuáles de patrones de degradación ambiental emergidos del CG se encuentran en el territorio los que se muestran como sigue: Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, Síndrome de Sobreexplotación, Síndrome del Éxodo Rural, Síndrome de “Dowts bowl”, Síndrome de “Katanga”, Síndrome de Turismo Masivo, Síndrome de Tierra Arrasada, Síndrome del Mar de Aral, Síndrome de Revolución Verde, Síndrome de los “Tigres Asiáticos”, Síndrome de Urbanización Irregular, Síndrome Favela, Síndromes de Grandes Accidentes, Síndrome de Chimenea, Síndrome de Basurero, Síndrome de Tierra Contaminada, están presentes en territorio de la provincia estudiado; resultando que en la actualidad están instalados en mayor o menor grado: 1. Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, 2. Síndrome de Sobreexplotación, 3. Síndrome del Éxodo Rural, 4. Síndrome de “Dowts bowl”, 5. Síndrome de Katanga, 6. Síndrome del Mar de Aral, 7. Síndrome de Revolución Verde y 8. Síndrome Favela.

La Metodología de Análisis de Expertos según el Método de Green se emplea en la secuencia de pasos seguida para conocer teniendo como grupo de partida al conjunto de síndromes del Cambio Global (CG) que afectan el territorio en estudios cuáles son los que mayor incidencia tienen para la agricultura.

El primer paso realizado como lo requiere la metodología fue la aplicación de un cuestionario para conocer la competencia de los a 50 profesionales con elevada preparación teórica y práctica sobre el tema para conocer su competencia y fueron seleccionados 30 como expertos, para el proceso de selección de los síndromes con mayor incidencia en la agricultura del territorio analizado.

Para este análisis cada experto recibió una copia de la descripción de los síndromes del CG para ser primeramente leída y estudiada por estos, antes de evaluar a cada uno de esos perfiles peligrosos.

En una tabla como la Tabla 3 en que se presenta a continuación cada experto, marcó con una X la evaluación que considera debe tener cada síndrome (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8).

TABLA 3. Selección de la evaluación de cada síndrome

Síndromes del territorio	C1 MA	C2 BA	C3 A	C4 PA	C5 NA	Total Exp.
Síndrome1.						30
Síndrome2.						“
Síndrome3.						“
Síndrome4.						“
Síndrome5.						“
Síndrome6.						“
Síndrome7.						“
Síndrome8.						“

Descripción de las categorías evaluativas:

MA: Muy adecuado, A: Adecuado, NA: No adecuado, BA: Bastante adecuado PA: Poco Adecuado

Compilación y análisis de las opiniones obtenidas de los 30 expertos escogidos y el ordenamiento de las preferencias de estos.

Confección del resumen de las categorías evaluativas aportadas por lo 30 expertos para cada uno de los ocho síndromes que se evalúan.

Cálculo de la frecuencia acumulativa y su registro en la Tabla 4.

TABLA 4. Resumen de las evaluaciones por síndromes y categorías de los 30 expertos

Síndromes del territorio	C1 MA	C2 BA	C3 A	C4 PA	C5 NA	Total Exp.
Síndrome1.						30
Síndrome2.						“
Síndrome3.						“
Síndrome4.						“
Síndrome5.						“
Síndrome6.						“
Síndrome7.						“
Síndrome8.						“

A partir de las frecuencias acumuladas (Tabla 4) se construye las frecuencia relativa acumulativa (Fr) (Tabla 5) para lo cual se divide cada valor F de la celda en la tabla anterior entre el número de expertos ($m = 30$). La última columna se debe eliminar, porque al tratarse de seis categorías la última representa el total de expertos y se buscan los puntos cortes.

TABLA 5. Frecuencia acumulada

Síndromes del territorio	C1 MA	C2 BA	C3 A	C4 PA	C5 NA	Total Exp.
Síndrome1.						30
Síndrome2.						“
Síndrome3.						“
Síndrome4.						“
Síndrome5.						“
Síndrome6.						“
Síndrome7.						“
Síndrome8.						“

Por último se efectúa el cálculo de las frecuencias relativas acumulativas (Tabla 6.)

TABLA 6. Frecuencias relativas acumulativas

Síndromes del territorio	C1 MA	C2 BA	C3 A	C4 PA	C5 NA
Síndrome1.					
Síndrome2.					
Síndrome3.					
Síndrome4.					
Síndrome5.					
Síndrome6.					
Síndrome7.					
Síndrome8.					

Hay un conjunto valores que están por encima de 0,41 y otros por debajo que este valor es el entorno fijado por la Metodología para validar si es adecuado o más afín en este un síndrome a la actividad agrícola en un territorio. Para este caso todos los síndromes que se colocaron debido a su categoría de evaluación por encima de 0,41 fueron considerados afines a la gestión agrícola y lo de valores inferiores no. Siendo para este caso identificados como afines a la agricultura: 1.Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, 2. Síndrome de Sobreexplotación, 3.Síndrome de Revolución Verde.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Aplicación del Análisis Jerárquico AHP

Para identificar cuál de los síndromes seleccionados con mayor incidencia sobre la agricultura, es el más apropiado como indicador sistémico para la Gestión Sistémica de la Sostenibilidad Ambiental del Suelo en el territorio.

El AHP se usa aquí porque es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se consideran varios criterios y se basa en el principio de que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos empleados en el proceso de análisis. El problema consiste en seleccionar un síndrome entre los tres de mayor incidencia en la agricultura que sea más apropiado para la gestionar la sostenibilidad ambiental en un territorio de la Provincia de Camagüey. En correspondencia con el problema; de lo que se trata es de: seleccionar el síndrome de CG más conveniente para el manejo sistémico de la sostenibilidad ambiental de suelo. Las alternativas propuestas son los síndromes con mayor incidencia en las actividades agrícolas de territorio escogido, éstos son: A1 = Síndrome de Sobre-Utilización del

Suelo, A2 = Síndrome de Sobreexplotación, A3 = Síndrome de Revolución Verde. Y fueron asumidos como criterios, los problemas esenciales del CG lo que se muestra seguidamente: C1 = Degradación del suelo, C2 = Cambio Climático, C3 = Pérdida de biodiversidad, C4 = Deforestación, C5 = Escasez de Agua, C5= Sobreexplotación y contaminación del océano y el C6 = Desarrollo global de disparidades.

Una vez que se han definido los criterios, se realiza el análisis, es decir, que se comparan a cada una de las alternativas frente a cada uno de los criterios de forma biunívoca, es decir, por pareja. Por ejemplo, si se quiere evaluar el criterio Degradación del suelo, se tendrá una matriz como la que se expone en Tabla 7 en la cual el valor 7 indica que se está prefiriendo muy fuertemente al Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo frente a Síndrome de Sobreexplotación y el valor 5 muestra una preferencia fuertemente al Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo sobre el Síndrome de Revolución Verde. Igualmente, el 3 indica que se prefiere moderadamente a Síndrome de Revolución Verde sobre Síndrome de Sobreexplotación. De igual manera, los valores 1/7, 1/5, 1/3 corresponden a los inversos. Es decir, que la comparación se realiza en los dos sentidos; Síndrome de Sobreexplotación vs. Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo y Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo vs. Síndrome de Sobreexplotación. Lo cual explica que la diagonal corresponda a valores de 1, pues refleja la comparación del criterio contra sí mismo.

TABLA 7. Matriz del criterio Degradación del suelo

Criterios		Degradación del suelo		
Alternativas		A1	A2	A3
A1	Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo	1	7	5
A2	Síndrome de Sobreexplotación	1/7	1	1/3
A3	Síndrome de Revolución Verde	1/5	3	1

La evaluación de las preferencias que se exponen en la matriz no se corresponde exactamente con la investigación realizada, ya que ha sido modelada en el contexto del artículo no considerando los detalles que no se entendieron necesarios por su sencillez.

Una vez realizadas las comparaciones de todos los criterios las matrices fueron normalizadas, para lo cual se dividió cada término la matriz sobre la suma de sus columnas y en ese caso se obtuvo una matriz como la que se presenta en la Tabla 8. Con esta matriz se obtiene el *vector prioridad*.

TABLA 8. Matriz normalizada y vector de prioridad de criterio degradación del suelo

Criterios		Degradación del suelo		
Alternativas		1	2	319
A1	Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo	35/47	7/11	15/19
A2	Síndrome de Sobreexplotación	5/47	1/11	1/19
A3	Síndrome del Êxodo Rural,	7/47	3/11	3/19

Vector de prioridad:

15/214
1/12
17/88

se conformó una matriz de prioridad (Tablas 9 y 10) la cual se multiplicó matricialmente con el vector de prioridad obtenido al realizar la comparación entre los criterios (Tabla 11). El resultado, es un vector denominado vector de prioridad de las alternativas (Tabla 12), el cual es la solución del problema, al presentar a cada una de las alternativas y un porcentaje de preferencia para cada una de ellas.

Con cada vector prioridad que se obtuvo para los criterios,

TABLA 9. Matriz de comparación de criterios

Criterios	1	2	3	4	5	6
Degradación del suelo	1	5	7	2	1/2	1
Cambio climático	1/5	1	3	1/5	1/5	1/5
Pérdida de biodiversidad	1/7	1/3	1	1/5	1/5	1/5
Deforestación	1/2	5	5	1	1/3	5
Sobreexplotación y contaminación del océano	2	5	5	3	1	7
Desarrollo global de disparidades	1	5	5	1/5	1/7	1

TABLA 10. Matriz normalizada

Criterios	1	2	3	4	5	6
Degradación del suelo	70/339	15/54	7	10	105/499	5/72
Cambio climático	14/339	3/64	3	1	42/499	1/72
Pérdida de biodiversidad	10/339	1/64	1	1	42/499	1/72
Deforestación	35/339	15/64	5	5	170/499	25/72
Sobreexplotación y contaminación del océano	140/339	15/64	5	5	21/499	35/72
Desarrollo global de disparidades	70/339	15/64	5	1	30/499	5/72

TABLA 11. Vector de prioridad de los criterios

Criterios	Prioridad
Degradación del suelo	203/942
Cambio climático	13/235
Pérdida de biodiversidad	13/368
Deforestación	128/657
Sobreexplotación y contaminación del océano	62/169
Desarrollo global de disparidades	76/575

TABLA 12. Vector de prioridad de las alternativas

Alternativas	Prioridad
1 Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo	52,45%
2 Síndrome de Sobreexplotación	23,53%
3 Síndrome del Éxodo Rural	24.02%

El procedimiento empleado para la elección del síndrome más apropiado en el territorio investigado para ser utilizado como un indicador sistémico para la gestión de la sostenibilidad ambiental del suelo integra dos métodos: Metodología de Análisis de Expertos según el Método de Intervalos Sucesivos o Método de Green, que permitió conocer los tres (Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, Síndrome de Sobreexplotación, Síndrome de Revolución Verde) síndromes con mayor aproximación o incidencia en las actividades agrícolas en el territorio ;logrado de manera menos complicada que empleando únicamente el Metodología del Concepto de Síndrome de Cambio Global pues tiene la posibilidad de que a la insuficiencia de datos se le pueda dar una solución de manera más apropiada disminuyendo la incerti-

dumbre. El otro método fue el Análisis Jerárquico AHP por su siglas en inglés como un herramienta de apoyo a toma de decisiones en problemas como este de selección de múltiples criterios seis criterios (Degradación del suelo, Cambio climático, Pérdida de biodiversidad, Deforestación, Escasez de agua, Sobreexplotación y contaminación del océano y Desarrollo global de disparidades), participaron personas con marcada destreza en la técnica así como personas que no la tenían. Estas posibilidades fueron incorporadas a la Metodología de Concepto del Síndrome de Cambio Global lo cual constituye una innovación la herramienta. Por lo que el procedimiento que se expone en este artículo constituye una herramienta de alto valor para la gestión sistémica de la sostenibilidad ambiental del suelo ya que da la posibilidad con una adecuada certidumbre de no solamente calcular los síndromes de CG presentes en un territorio, sino que sí de la agricultura se trata identifica los que más impactos causan en ella y por último se puede seleccionar cuál es el más adecuado

para ser explotado como indicador sistémico de la sostenibilidad ambiental del suelo.

CONCLUSIONES

- En el trabajo queda expuesto el modo mediante el cual se seleccionó el Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo con un 52,45% de preferencia para su empleo como indicador sistémico de la sostenibilidad ambiental de suelo; el procedimiento para su identificación empleado en la investigación que se explica en el artículo, consta de tres elementos: Metodología del Concepto de Síndrome de Cambio, Análisis de Expertos según el Método de Intervalos Sucesivos o Método de Green y Análisis Jerárquico AHP, esta integración permite tratar adecuadamente el comportamiento complejo del sistema de síndromes de CG lo cual constituye una innovación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZATE, B.: *Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de Tercera Generación en la Gestión Ambiental Sistémica*, Universidad de Colombia, Instituto de estudios Ambientales-IDEA, Bogotá, Colombia, 2006.
- BRYSON, N. & A. MOBOLURIN: "An approach to using The analytic Hierarchy for solving multiple criteria Decision making problems", *European Journal of Operational Research*, (11): 73-81, 1994.
- CASSEL, G. M. & G. PETSCHER: "GIS-based assessment of the threat to world forest by patterns of non-sustainable civilisation nature interaction", *Journal of Environmental Management*, (59): 279-298, 2008.
- CASSEL-GINTZ, M., HARENBERG, D.: *Syndrome des globalen Wandels als Ansatz interdisziplinären Lernens in der Sekundarstufe: ein Handbuch mit Basis- und Hintergrundmaterial für Lehrerinnen und Lehrer*, Berlin, Verein zur Förderung der Ökologie im Bildungsbe- reich, Berlin, 2008.
- CUBA, MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (CITMA): *Estrategia Ambiental Provincial*, Ed. CITMA, Camagüey, 2007.
- CUBA, MINISTERIO DE CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (CITMA): *Estrategia Ambiental Provincial*, Ed. CITMA, Camagüey, 2011.
- FORMANN, E. G.: "The analytic Hierarchy Process-An exposition", *Operation Research*, 49(4): 469-486, 2001.
- GALLOPÍN G.: *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*, División de desarrollo sostenible y asentamientos humanos, Proyecto evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe, CEPAL/Gobierno de los Países Bajos, Santiago de Chile, 2003.
- MORIN, E.: *La epistemología de la Complejidad*, Ed. Gaceta de Antropología CNRS, París, Francia, 2004.
- QUIROGA, R.: Indicadores de Sustentabilidad. Experiencia mundial y desafíos para América Latina., En: *Seminario Indicadores de Desarrollo Sostenible para la República Argentina*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2002.
- SAATY, T.: *How to make a decision: the analytic hierarchy*, Ed. University of Pittsburgh, USA, 1994.
- SAATY, T.: *The seven pillars of the analytic hierarchy process*, Ed. University of Pittsburgh, USA, 2001.
- SÁNCHEZ, R.: *La toma de decisiones con múltiples criterios. Un resumen conceptual y teórico*, Centro de Planificación y Gestión, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia, 2001.
- SAPIÑA, F.: *¿Qué es el cambio global?* [en línea] Universidad de Valencia, 2007, Disponible en: http://www.uv.es/metode/anuario2002/89_2002.html. [Consulta: mayo 12 2012].
- SCHIRNDING, Y.: *Health in Sustainable Development Plannig: The Role of Indicators*, World Health Organization, Geneva, 2002.
- VEGA, L.: *Hacia la sostenibilidad ambiental del desarrollo. Construcción de pensamiento ambiental práctico a través de una política y gestión ambiental sistémica*, Ecoe ediciones, Bogotá, Colombia, 2005.
- VEITIA, E. R.; A. VILLEGAS; Y. MARTÍNEZ; A. MONTALVÁN: "Dimensión fractal del Cambio Global y la Sostenibilidad ambiental del suelo", *Revista Hombre, Ciencia y Tecnología*, (65): 45-55, 2012.
- WBGU: *World in transition: The Research Challenge*, Annual Report of the German Advisory Council on Global Change (WBGU), Springer, Berlin, Germany, 1993.
- WBGU: *World in Transition: Conservation and Sustainable Use the Biosphere*, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, UK, 1999.
- WBGU: *World in Transition: Conservation and Sustainable Use of the Biosphere*, Earthscan Publications Ltd. London and Sterling, VA, UK, 1997.

Recibido: 28 de junio de 2013.

Aprobado: 22 de julio de 2014.

Eduardo Román Veitia Rodríguez, Investigador, Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Camagüey, Cuba, Tel.262273, 261657, Correo electrónico: veitia@ciac.cu