

DISEÑO DE REDES CONCEPTUALES PARA LA MODELIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPACIOS SOCIO-NATURALES

Jorge Paolini Ruiz* y José Juan de Felipe

Grup de Recerca Mesura de la Sostenibilitat

Càtedra UNESCO de Sostenibilitat

Universitat Politècnica de Catalunya

jorge.paolini@catunesco.upc.edu felipe@mmt.upc.edu

Tópico: modelización de la sostenibilidad

Área: sistemas naturales

RESUMEN

Diseñar herramientas que permitan hacer modelos y medidas coherentes es una de las tareas de vital importancia en la modelización y medición de la sostenibilidad. Las redes conceptuales son representaciones que facilitan y viabilizan el diseño de modelos de sostenibilidad en espacios socio-ambientales, se construyen bajo la jerarquía disciplina-concepto-observable. La base de la red conceptual son las disciplinas relacionadas con el objeto de estudio v. gr. de una cuenca hidrográfica. Entre las disciplinas que tienen que ver con las cuencas tenemos: la ecología del paisaje, ecohidrología, ecohidráulica, salud ambiental (eco-health), economía ecológica, ecología política y el enfoque ecosistémico. Estas disciplinas aportan los conceptos para derivar los observables que permiten la modelización y la cuantificación de la sostenibilidad. Los modelos que se construyan a partir de los observables validarán la red conceptual y aportarán los elementos cuantitativos para la escogencia de indicadores e índices que permitirán la evaluación del estado de la sostenibilidad. Las redes conceptuales para medir y modelizar la sostenibilidad son una herramienta que posee la ventaja de tener en el centro de la red el concepto de sostenibilidad, alrededor de este concepto las disciplinas que se relacionen con el espacio socio-natural objeto de la modelización; esta característica le brinda la consiliencia necesaria para darle a la red la consistencia externa. La consiliencia se comprende como la fuerza de cohesión que poseen las disciplinas cuando se comparten espacios comunes de análisis y observación, esta consistencia entre disciplinas le imprime el carácter que se requiere de la sostenibilidad para ser un concepto integrador.

Palabras Clave: sostenibilidad, modelización, redes conceptuales, espacios naturales.

1. INTRODUCCION

Las redes conceptuales son constructos diseñados para estructurar la modelización de sostenibilidad. La base de relaciones que se devela en un sistema socio-natural observado define la estructura de la red conceptual y establece una aproximación al sistema que se requiere modelar para determinar una medida de sostenibilidad, en ese sentido, las redes conceptuales son un formalismo representacional para la modelación de la sostenibilidad de un sistema socio-natural. Esta manera de modelar la sostenibilidad es consistente con los principios del pensamiento complejo. En primer lugar, se considera la sostenibilidad como el concepto integrador de la red, es decir, alrededor de este concepto se van tejiendo las disciplinas que se relacionan con el fenómeno observado en el sistema en cuestión. El principio de integración nos orienta en la composición de la red considerando las diversas disciplinas, imbricándolas en un tejido conceptual coherente. En la figura 1 se puede observar una red conceptual hipotética conformada por disciplinas que se establecen alrededor del concepto de sostenibilidad que se ha especificado para un sistema.

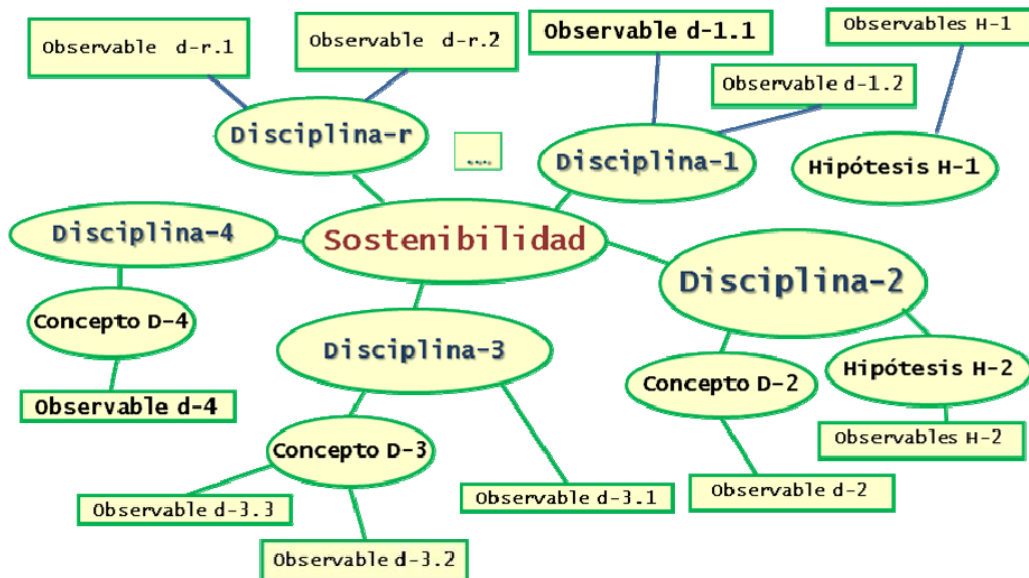


Figura 1. Estructura de una red conceptual

Las disciplinas relacionadas que integran la red son aquellas que consideran las situaciones que se han de observar en el sistema estudiado. Otro de los principios de construcción de la red conceptual es el principio de jerarquía. Nótese en la figura 1, que de cada disciplina se derivan conceptos e hipótesis y de éstos los observables, se establece así la jerarquía disciplina-concepto/hipótesis-observable. El principio de jerarquización permite seleccionar los datos significativos y no significativos para la consideración de los observables que permitirán modelar la sostenibilidad del sistema bajo estudio. García (2006) establece la inter-definibilidad y la mutua dependencia como principios del pensamiento complejo. La inter-definibilidad para un sistema observado no puede determinarse solo a partir de la suma de disciplinas sectoriales, sino a partir de la integración de sus factores. El principio de mutua dependencia determina que la alteración que ocurre un sistema complejo se propaga de diversos modos a través

del plexo de relaciones que conforman el sistema observado. Se destaca en la construcción conceptual el carácter multidisciplinario e inter-definible de los fenómenos del sistema socio-natural, cuya concreción se evidencia en la red conformada por las disciplinas. En este sentido, Castellano (2006) establece que las disciplinas híbridas “*tienen un carácter interdisciplinario en su sentido mas profundo, porque no tratan simplemente de lograr resultados aunando esfuerzos, sino de crear algo distinto a la suma de sus partes*”. Entre las disciplinas que pueden conformar una red tenemos la Ecología Humana, la Sociología Ambiental, la Ecología del Paisaje, la Economía Ecológica. Estas disciplinas aportan los conceptos y definiciones de las cuales se derivan los observables con los que se realiza la modelización y se cuantifica la sostenibilidad del sistema socio-natural. Los observables cuantitativos son cantidades que se pueden obtener por medición, enumeración u objetivación, se muestran en la red conceptual utilizando rectángulos.

2. MODELIZACIÓN DE UN ESPACIO SOCIO-NATURAL A PARTIR DE REDES CONCEPTUALES

En la figura 2 se puede ver la red conceptual que surge del trabajo de modelización de la sostenibilidad de una cuenca hidrográfica como sistema socio-natural (Paolini, 2008), allí se toma en cuenta la minería de pequeña escala y un conjunto de disciplinas híbridas, que se pueden considerar relevantes para medir la sostenibilidad. La red conceptual se diseña a partir de las disciplinas y de conceptos métricos o magnitudes, estos conceptos “*no se corresponden con del lenguaje ordinario puesto que son construcciones del lenguaje científico*” (Mosterín, 2008).

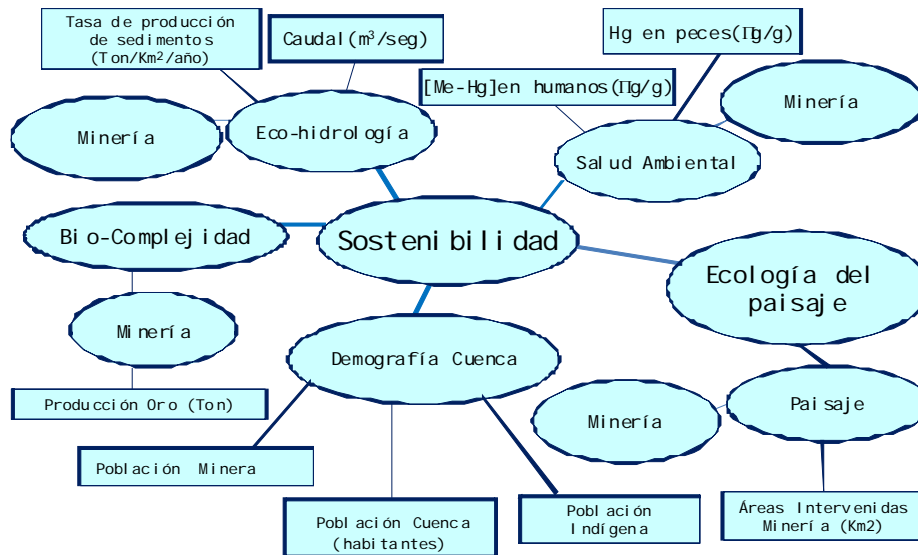


Figura 2. Red conceptual para la determinación de la Sostenibilidad en un espacio socio-natural de la Guayana Venezolana. Paolini (2008).

En la red, se toma como concepto central a la Sostenibilidad, si bien es cierto que la sostenibilidad es un concepto no-métrico, Riechman (2006) afirma que:

...hay que subrayar que la sustentabilidad (y por ende el desarrollo sostenible) no es un concepto científico técnico (aunque incluya componentes que lo son), sino que tiene un carácter irremediablemente normativo: que la vida humana sobre este planeta haya de perpetuarse, y en que condiciones, no son en absoluto cuestiones en absoluto de carácter científico-técnico.

Las ecuaciones para la modelización de la sostenibilidad del espacio socio-natural observado se diseñaron con datos anuales, iniciando con el año 2000 hasta el 2007 (Paolini, 2008). Se construyeron modelos de regresión no lineal y múltiple para relacionar los observables. Se relacionó la cantidad de mercurio en peces ($\mu\text{g}/\text{gr}$) con la cantidad de sedimentos ($\text{ton}/\text{Km}^2/\text{año}$) y las áreas intervenidas (Km^2), los muestreos de mercurio en peces se obtuvieron de los datos aportados por la Corporación Venezolana de Guayana y el Programa de Mercurio de la Universidad Nacional Experimental de Guayana (Bermudez, 1999, 2008). Con un valor para el coeficiente de regresión múltiple $r = 0,973$ y un valor de $p=0,005$ (ANOVA) ecuación de regresión múltiple es:

$$\text{Hg}_{\text{peces}} = 0,140 + 0,07 \cdot \text{Sedimentos} + 0,004 \cdot \text{ÁreaInterv} + 0,001 \cdot \text{PobCuenca} \text{ (M.1)}$$

Hg_{peces} : mercurio en el tejido de los peces ($\mu\text{g}/\text{gr}$)

Sedimentos: tasa de producción de sedimentos ($\text{ton}/\text{Km}^2/\text{año}$)

ÁreaInterv: área intervenida por la minería (Km^2)

PobCuenca: fracción de población de la cuenca (miles)

La regresión paso a paso se usó para determinar la variable que aporta mayor “información” al modelo es la tasa de producción de sedimentos. En la figura 3, se puede observar el diagrama de dispersión entre Hg_{peces} y la tasa de producción de sedimentos, el coeficiente de correlación entre estos observables es de $r=0,954$.

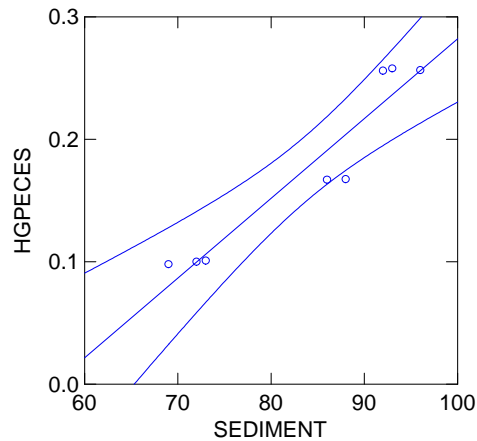


Figura 3. Diagrama de dispersión entre tasa de producción de sedimentos (SEDIMENT) y mercurio en peces (HGPECES).

Para modelizar las áreas intervenidas se requirieron de los datos de población en la cuenca y de la cantidad de mineros en la cuenca. Dado que hay una gran parte de minería que es ilegal, obtener cantidades de estas variables es una tarea que abordamos utilizando métodos de estimación. A partir de los datos para Latinoamérica, aportados en la investigación de Huidobro (2004), se determinó un modelo de regresión no lineal que estima a partir de las toneladas de oro producido la cantidad de mineros. En la figura 4 podemos observar el ajuste no lineal para los datos.

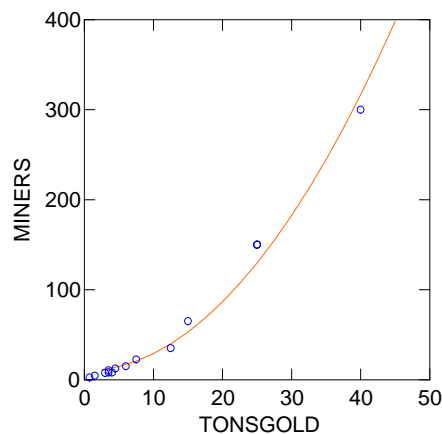


Figura 4. Ajuste no lineal entre la cantidad de mineros (MINERS) y la producción de oro artesanal (TONSGOLD). Fuente Huidobro (2004).

El Modelo M.2 determina la cantidad de mineros que trabajan en la minería de oro a partir de la producción obtenida

$$Y_{\text{mineros}} = 10 + 0,20 \cdot \text{Toneladas}^2 \quad (\text{M.2})$$

Para este modelo, se encontró que el valor del coeficiente de determinación no lineal corregido es de $r^2 = 0,985$. Una vez se determinó el número de mineros, se hizo una regresión múltiple para validar las áreas intervenidas por la minería en la cuenca observada. Con un valor de coeficiente de determinación múltiple ajustado $r^2 = 0,995$ y un valor de $p = 0,000$ (ANOVA), el modelo de regresión que relaciona las áreas intervenidas con la población de la cuenca y el número de mineros viene dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Área}_{\text{Interv}} = 23635 - 0,09 \cdot \text{PobCuenca} + 1,85 \cdot \text{Mineros} \quad (\text{M.3})$$

AreaInterv: área intervenida por la minería (Km^2)

PobCuenca: fracción de población de la cuenca (miles)

Mineros: número de mineros estimados en la región intervenida.

La selección de variables en la regresión paso a paso considera relevantes para el modelo M.3 los dos observables considerados: número de mineros y la población en la cuenca. En la figura 5 se puede observar la relación entre las áreas intervenidas y el número de mineros estimados.

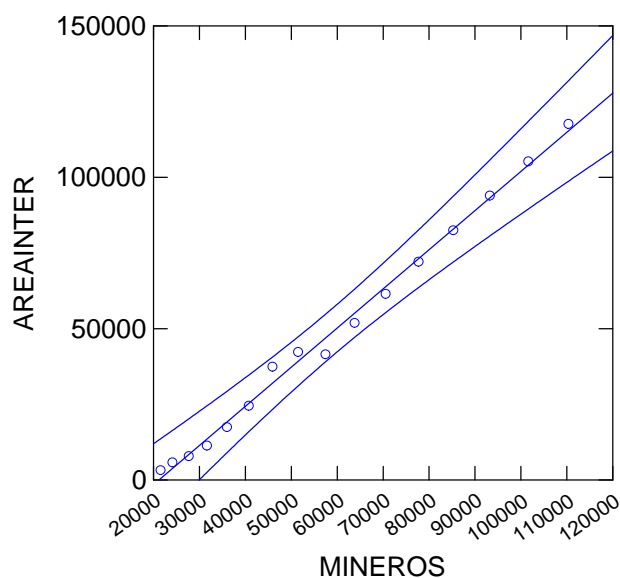


Figura 5. Áreas intervenidas (AREAINTER) en función del número de mineros (MINEROS).

Cuando observamos los modelos de regresión M.1, M.2 y M.3 podemos ver la interdefinibilidad de los fenómenos en el espacio socio-natural estudiado. Las relaciones que constituyen los modelos se establecen a partir de los observables que se definen cuando se considera el fenómeno de la minería de aluvión. Así mismo, la multifactorialidad de los elementos que constituyen la red conceptual que define la sostenibilidad a partir de las disciplinas que se consideran en la red. En este sentido, la sostenibilidad se modeliza y cuantifica partiendo de algunas disciplinas relacionadas con el objeto de estudio y con el fenómeno de la minería observado en el sistema socio-natural.

3. DETERMINACIÓN DE UNA MEDIDA DE SOSTENIBILIDAD A PARTIR DE LA RED CONCEPTUAL

La cuantificación de la sostenibilidad parte de la construcción de modelos como los encontrados anteriormente y se obtienen a partir de las relaciones entre observables como se muestra en la figura 6.

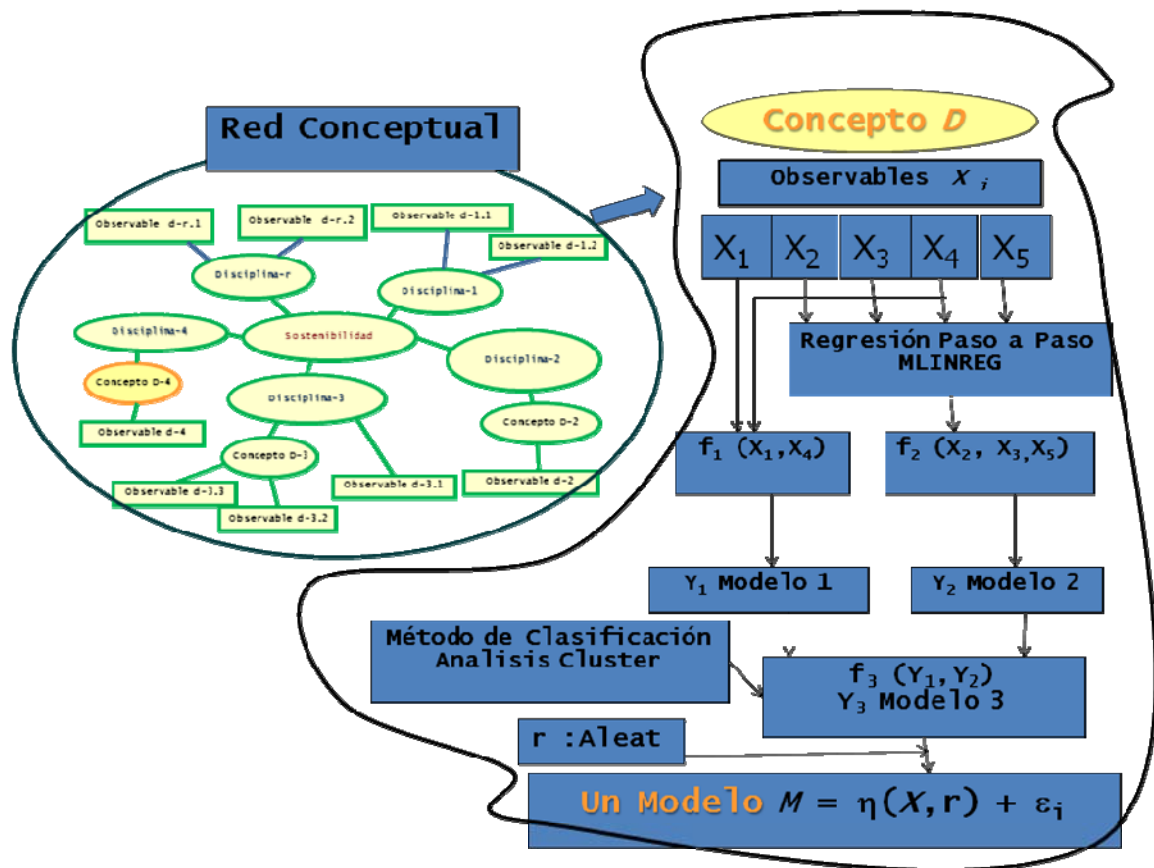


Figura 6. Obtención de los modelos para cuantificar la sostenibilidad en un espacio socio-natural a partir de la red conceptual

Cada concepto derivado de las disciplinas consideradas en el sistema socio-natural observado aporta uno o más observables que configuran las relaciones relevantes para modelizar la sostenibilidad. Callicot (1997) presenta el concepto de Sostenibilidad Ecológica como un concepto de conservación estableciendo que se puede “*alcanzar las necesidades humanas sin comprometer la salud de los ecosistemas*”, definida así se puede comprender la sostenibilidad como un principio que impone restricciones ecológicas sobre el manejo y usos de la tierra y del paisaje, considerando al mismo tiempo las necesidades humanas. Las disciplinas actúan como agentes que organizan los indicadores que determinarán el estado de la sostenibilidad del sistema. Al utilizar las redes conceptuales se puede prescindir de la noción de marcos conceptuales para la organización y estructuración de los indicadores que conforman un índice de sostenibilidad, dado que las disciplinas interactuando sistémicamente de acuerdo a los principios del pensamiento complejo, garantizan la coherencia de los índices e indicadores. Así mismo, la noción de consiliencia como elemento que cohesiona la red viene dada por la definición de sostenibilidad. La idea de consiliencia nos aporta una característica que subyace en los estudios de sostenibilidad y que usualmente no se declaran como tal. La *consiliencia* esta asociada a la idea de que los campos del conocimiento humano son internamente coherentes, esto significa que los hallazgos en una disciplina son coherentes con los hallazgos de otras ramas del saber (Maurer, 2000).

Tabla 1. Índice de Sostenibilidad (Índice SOST)

año	poblacc	pemon	proporind	indpropind	areainter	indareaint	hgpeces	indhgpeces	Indice SOST
2000	664503	24341	0.03663	7.88599	3257	2.9649	0.0980	2.0126	7.64
2001	692479	24400	0.03524	7.42631	5789	3.0787	0.1000	2.0601	7.43
2002	721633	24458	0.03389	6.98341	7852	3.1715	0.1009	2.0838	7.24
2003	752015	24515	0.03260	6.55713	11380	3.3301	0.1670	3.6854	6.51
2004	783675	24572	0.03135	6.14688	17461	3.6035	0.1675	3.6975	6.28
2005	816669	24628	0.03016	5.75207	24523	3.9210	0.2560	5.8430	5.33
2006	851051	24684	0.02900	5.37216	37412	4.5004	0.2579	5.8883	4.99
2007	886881	24740	0.02790	5.00650	42297	4.7201	0.2565	5.8554	4.81
2008	922711	24795	0.02687	4.66901	41535	4.6858	0.2617	5.9821	4.67
2009	959989	24849	0.02588	4.34365	51905	5.1520	0.2604	5.9487	4.41
2010	998772	24903	0.02493	4.03001	61493	5.5831	0.2657	6.0773	4.12
2011	1039122	24956	0.02402	3.72765	72090	6.0595	0.2643	6.0434	3.87
2012	1081103	25008	0.02313	3.43619	82500	6.5275	0.2696	6.1739	3.58
2013	1124780	25060	0.02228	3.15524	93963	7.0428	0.2682	6.1395	3.32
2014	1170221	25111	0.02146	2.88442	105263	7.5509	0.2737	6.2719	3.02
2015	1217498	25161	0.02067	2.62340	117662	8.1083	0.2723	6.2370	2.76

Fuente: Paolini, J. (2008)

Cuando se considera la dinámica demográfica de del sistema socio-natural observado, se puede notar una disminución considerable entre la proporción de indígenas (pemon) respecto de la población de criollos (poblac), esto se evidencia en la variable correspondiente **proporind** (ver Tabla 1). Utilizando el mercurio en peces (modelo M.1) y las áreas intervenidas (modelo M.3), y la proporción de indígenas, se construye un índice de sostenibilidad para el espacio socio-natural considerado. La escala utilizada para el índice es 1-10, el valor mínimo de sostenibilidad es 1 y el máximo de la escala es 10. El índice de sostenibilidad se determina ponderando con igual peso cada uno de los indicadores considerados, a saber: el indicador de proporción de indígenas (**indpropind**), el indicador de áreas intervenidas (**indareint**) y el indicador de Hg en peces (**inhgpeces**).

Para la prospección de los valores de los indicadores y el índice de sostenibilidad se utiliza el siguiente modelo con un valor de $\beta=0,5$.

$$y_{t+1} = \beta \cdot y_t + \beta \cdot (1-\beta) \cdot y_{t-1} + \beta \cdot (1-\beta)^2 \cdot y_{t-2} + \beta \cdot (1-\beta)^3 \cdot y_{t-3} \dots \text{ (M.4)}$$

El modelo M.4 permite extrapolar los valores de los índices e indicadores desde el año 2009 hasta el 2015. La figura 7 se construye a partir del índice de sostenibilidad obtenido en los años que se consideran en la tabla 1.

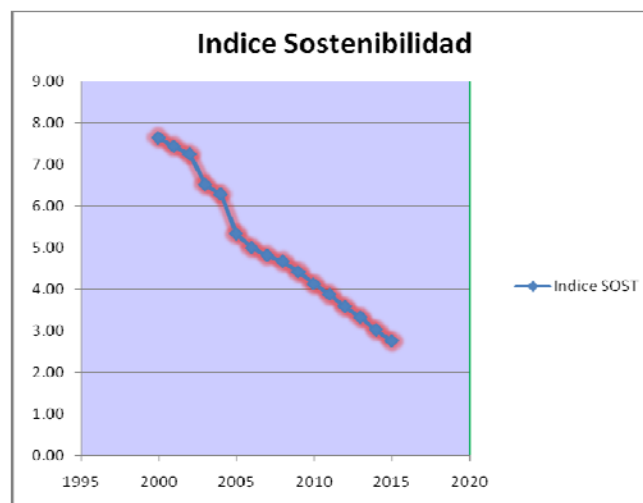


Figura 7. Índice de Sostenibilidad calculado a partir de los indicadores derivados de los modelos.

De acuerdo a la figura 7, puede notarse como la sostenibilidad en el espacio socio-natural observado disminuye sistemáticamente, debido al aumento de las actividades minera, que a su vez incide en las áreas afectadas y la contaminación de Hg en el ambiente. El índice se ve afectado por la disminución de la proporción de indígenas en la zona. Los índices de sostenibilidad se construyen a partir de indicadores relevantes con el propósito de evidenciar una situación o un fenómeno, en este caso, los efectos de la minería en pequeña escala sobre los espacios socio-naturales intervenidos de la cuenca donde se desarrollan estas actividades de extracción de oro.

CONCLUSIONES

El diseño de redes conceptuales se presenta como una alternativa efectiva para la para modelizar y medir la sostenibilidad de un sistema socio-natural.

La red conceptual actúa como sistema generador de observables a partir de los conceptos derivados de las disciplinas y los modelos validan la coherencia interna de la red.

La coherencia externa de la red se garantiza a partir de la noción de consiliencia que posee la idea-concepto de sostenibilidad.

La modelización y cuantificación de la sostenibilidad utilizando los principios del pensamiento complejo aporta elementos epistemológicos consistentes con la ontología sistémica y determina un modo consistente de concebir la construcción de índices e indicadores.

REFERENCIAS

- [1] Bermudez, D., et alia. (1999) *Mercury exposure through fish consumption in riparian population at reservoir Guri using nuclear techniques, Bolivar State Venezuela* in Health impacts of Mercury Cycling in contaminated environments studied by nuclear techniques. International Atomic Energy Agency. Ljubljana, Slovenia.
- [2] Bermudez, D. (2009). *Exposición al mercurio por el consumo de peces del embalse Guri. Causas y efectos*. Ciudad Guayana (Venezuela): Universidad Nacional Experimental de Guayana (en prensa).
- [3] Callicot, J. y Mumford, K. (1997). *Ecological Sustainability as a conservation concept*. Conservation Biology. 11, 1: 32-40
- [4] Castellano, H. (2006). *La Planificación del Desarrollo Sostenible. Contenidos, entorno y método*. Caracas: Centro de Estudios del Desarrollo CENDES.
- [5] García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona (España): Gedisa editorial.
- [6] Huidobro, P. et alia. (2004). *Strategies to Reduce Hg exposure in Artisanal and Small-Scale Miners*. Regional Awareness Raising Workshop on Mercury Pollution, Dakar.
- [7] Maurer, B. (2000). *Macroecology and Consilience*. Global Ecology and Biogeography. 9: 275-280.
- [8] Mosterin, J. (2008). *Conceptos y teorías en la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.
- [9] Paolini, J. (2008). *Diseño de un modelo para el análisis de la sostenibilidad en la Cuenca Hidrográfica del río Caroní en la Guayana Venezolana*. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. 3: 21-38.
- [10] Riechman, J. (2006). *Biomímesis. Ensayos sobre imitación de la naturaleza, ecosocialismo y autocontención*. Madrid: Catarata.