

Diseño de un modelo para el análisis de la sostenibilidad en la Cuenca Hidrográfica del río Caroní en la Guayana Venezolana

Jorge Paolini Ruiz

Doctorado en Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo U.P.C.
jorge.paolini@catunesco.upc.edu

Resumen

En este trabajo se evalúa la sostenibilidad de la cuenca del río Caroní ubicada en la Guayana venezolana, utilizando indicadores e índices que den cuenta de la intervención causada por la minería artesanal a pequeña escala. Se han diseñado modelos estadísticos que muestran las relaciones entre las variables que evidencian el deterioro en el ambiente. Se generan escenarios en los que se cuantifica la sostenibilidad de dicha cuenca a partir de los modelos y relaciones encontradas.

Descriptor: Sostenibilidad, cuenca hidrográfica, minería artesanal, indicadores, índice de sostenibilidad.

* * *

Title: Sustainability analysis through a model design in the Caroní river basin at then Venezuelan Guiana

Abstract: The sustainability of the Caroní river basin, located in the Venezuelan Guiana was evaluated by using indicators and indexes that gave account of its intervention due to the small-scale mining activities. There were designed statistical models that showed the relationships between variables that make clear the degree of environmental deterioration. There were built scenarios where the river basin sustainability was quantified through models and relationships.

Keywords: Sustainability, river basin, small-scale mining, indicators, sustainability index.

1 Introducción

La sostenibilidad está asociada a la viabilidad ecológica, esta clase de viabilidad se refiere a la posibilidad de que los procesos bióticos sean realizados. La viabilidad ecológica comienza considerando la vida misma, la posibilidad de vida de los sistemas naturales. Para determinar métricas de sostenibilidad es muy importante observar los seres vivos como elementos pertenecientes a un ecosistema y la existencia humana como un eslabón más de la cadena de vida natural. Un factor clave de la viabilidad, es la reproducibilidad de los sistemas, la propiedad de poseer una ‘sustitución generacional’. En este sentido, para observar la sostenibilidad de un sistema debemos cuantificar la tasa a la que se da la sucesión natural de los ecosistemas y sus especies, incluyendo a los seres humanos.

Podemos determinar la sostenibilidad de un ecosistema a través de la medida, es decir, a partir de las evidencias que surjan –que se muestran- o que se perciban cuando un sistema observado cambia en el tiempo. Estas ideas de una sostenibilidad eminentemente biótica pueden ser ampliadas, llegamos así, a ciertas condiciones que exige la existencia de la vida de los seres que moran en un entorno dado. Las condiciones como la calidad del aire, calidad del agua, la habitabilidad y la subsistencia de los seres que están en el ambiente considerado, son relevantes para hablar de la sostenibilidad.

En consecuencia, para construir un modelo que cuantifique la sostenibilidad, hemos de utilizar facetas o dimensiones en las que logremos observar la sostenibilidad, partiendo de lo natural, de lo vivo, para luego considerar los elementos socio-culturales y finalmente los aspectos económicos. Estas dimensiones una vez integradas ofrecerán una idea sistémica de la sostenibilidad y del equilibrio entre tales dimensiones, como lo declara María Novo (2006), “la sostenibilidad debe concebirse, entonces, como el horizonte que dinamiza a una sociedad hacia el equilibrio ecológico, la equidad social y la diversidad cultural”.

Antequera y otros (2005) establecen que la “sostenibilidad natural es el mantenimiento del capital natural; conservar intacto el capital natural, la sostenibilidad social se entiende como el mantenimiento del capital social y humano y la sostenibilidad económica hace referencia a todos aquellos aspectos relativos a una sociedad que aseguren el bienestar de los seres que la componen”. De tal modo, que observar la sostenibilidad en un sistema social es equivalente a determinar variables relevantes que en términos de esas tres dimensiones: ecológica, socio-cultural y económica, permitan determinar cuan sostenible es el sistema observado. De acuerdo a Meadows (2006) “una sociedad sostenible es una sociedad que cuenta con mecanismos informativos, sociales e institucionales que le permiten controlar los ciclos de realimentación positiva causantes del crecimiento exponencial de la población y el capital.” La sostenibilidad es una resultante de un conjunto de variables determinadas por las dimensiones antes señaladas. María Novo (2006) nos ilustra el puente entre sostenibilidad y desarrollo sostenible cuando afirma que “la sostenibilidad debe concebirse, entonces, como el horizonte que dinamiza a una sociedad hacia el equilibrio ecológico, la equidad social y la diversidad cultural. Así entendido, este concepto nos remite tanto a la acción (proceso de desarrollo sostenible) como a las metas de

esa acción que nos orienta hacia un desarrollo viable y plantea la necesidad de una fuerte coherencia entre los objetivos que perseguimos al adoptar las políticas y estrategias de desarrollo y los medios, modelos de conocimiento y estrategias que utilizamos para conseguirlos”. En este orden de ideas, se podrá entonces cuantificar la sostenibilidad de un sistema social y sus actividades asociadas en un espacio geográfico determinado, por ejemplo, una cuenca hidrográfica. El foco de atención de la sostenibilidad, entendida como operador, son los recursos tanto naturales como culturales y la perdurabilidad en el tiempo de los sistemas y procesos. Ya se han establecido dimensiones en las que hemos de observar la noción de sostenibilidad.

Desde un conjunto de disciplinas relacionadas e integradas alrededor del objeto de estudio, se puede concebir un marco de observación para la sostenibilidad. “La sostenibilidad es uno de los términos en donde la confluencia de diferentes disciplinas como la ecología, la economía, la ética, la política, la sociología, el derecho o la cultura, están marcando facetas diferenciadas, facetas que guardan relación con las perspectiva propia de cada disciplina” (Erias y Alvarez-Campana, 2007). Para determinar efectos de la interacción hombre-ambiente se ha de apelar a puntos de vista de la biocomplejidad, la ecología del paisaje y la salud ambiental, así como también a las disciplinas relacionadas con el fenómeno bajo estudio y observación.

2 Objetivos de la investigación

2.1 Objetivo General

Diseñar un modelo que a partir de un marco teórico adecuado permita cuantificar la sostenibilidad de una cuenca hidrográfica en la Guayana Venezolana.

2.2 Objetivos específicos

Construir modelos que relacionen variables y expliquen situaciones de interés para la sostenibilidad de la cuenca hidrográfica observada.

Elaborar indicadores e índices de sostenibilidad a partir de variables relevantes de una cuenca hidrográfica.

Generar escenarios a partir de los modelos diseñados para comprender la sostenibilidad en una cuenca específica.

3 Metodología

Para la ejecución de este trabajo se siguieron los lineamientos metodológicos desarrollados en Sureda y Felipe (2007). En una primera fase del trabajo se pretende conceptualizar el objeto de estudio para definir el problema. Dado que el interés se centra en la sostenibilidad de una cuenca de la Guayana Venezolana, se comienza con la definición de cuenca hidrográfica. Sanjaume y Batalla (1966) establecen que “el sistema cuenca fluvial esta formado por el conjunto de aguas

que drenan hacia un mismo tronco y que constituyen por tanto, una unidad hidrológica y geográfica bien definida”, una “cuenca hidrográfica es la superficie conformada por un río principal y de todos sus afluentes” (Patton y Kramer, 1983), para Burel y Baudry (2002) cuenca es el “territorio que recoge la lluvia que alimenta un curso de agua”. Las definiciones consideradas y otras encontradas, dejan de lado toda actividad humana desarrollada en la cuenca como lugar de interacción social, por esa razón, para este trabajo se define *cuenca como el lugar geográfico que recoge las precipitaciones y escorrentía de un cuerpo de agua, dicho espacio esta conformado por los ecosistemas terrestres y acuáticos que le dan sustento a las comunidades socio-culturales establecidas históricamente en esas tierras*. Esta definición amplía la visión eminentemente física de una cuenca y adicionalmente se corresponde con el lugar de las actividades humanas de un grupo social.

4 Aplicación de la Metodología

4.1 Conceptualización de la situación

Las interacciones entre sociedad y ambiente quedan impresas en el espacio geográfico donde los seres humanos desarrollan sus actividades, donde la cultura se manifiesta a través de sus expresiones consolidadas y sus hechos. Uno de los aspectos que cobra importancia y sentido en estas interacciones es lo relativo a las modificaciones del paisaje, entendiendo por paisaje el “área, tal como la percibe la población, el carácter de la cual es resultado de la interacción de factores naturales y/o humanos” (BOE, 2008). Burel y Baudry (2002) definen paisaje como la “porción del espacio concerniente a la escala de actividades humanas. Viene definido por su heterogeneidad espacial y temporal, por las actividades humanas que en él se desarrollan y por su ambiente”. También constituye parte del paisaje esa impresión subjetiva que regocija y da satisfacción al contemplarlo y estar en ese medio bien sea natural o creado. “La idea central es que el paisaje forma parte del medio o entorno en el que se vive, por tanto, también depende de él la calidad de vida. Esta apreciación es válida tanto en las ciudades como en los ámbitos rurales, para los territorios bien conservados y los degradados, pues todos ellos son escenarios cotidianos para las personas que los habitan” (Zoido, 2003). Las especies vegetales y los organismos vivos no humanos ejercen también influencia sobre el paisaje y viceversa, estas relaciones e interacciones son menos conocidas y son observadas cuando son muy evidentes. Molles (2006) afirma que “la estructura del paisaje influye en otros procesos ecológicamente importantes como la dispersión de organismos, la densidad local de la población, la extinción de poblaciones locales y la composición química de lagos”. Además de los seres humanos y los otros seres vivos, el paisaje es transformado y modelado por el clima y por eventos naturales como los terremotos, deslaves, huracanes, tsunamis, incendios, entre otros. También a largo plazo “los rasgos geológicos producidos por procesos como el vulcanismo, la sedimentación y la erosión constituyen una fuente principal de la estructuración del paisaje” (Molles, 2006). Sin embargo, los procesos en los que estamos interesados son aquellas transformaciones del paisaje efectuadas por el hombre en su quehacer y su cotidianidad. En este sentido, la degradación del

ambiente por causas antrópicas es una amenaza a la sostenibilidad del paisaje. Se entiende por sostenibilidad del paisaje la perdurabilidad de los espacios geográficos de modo que puedan ser disfrutados y usufructuados por esta generación y las venideras. Un paisaje es sostenible en la medida que sus ecosistemas se conservan y garantizan la biodiversidad de las especies y la biodiversidad genética. La dimensión física de la sostenibilidad del paisaje se refiere a dejar intacta a lo largo del tiempo la estabilidad de los procesos de los ecosistemas contenidos en el espacio geográfico considerado, por tanto la degradación del paisaje puede ser cuantificada, haciendo uso de métricas espaciales en un tiempo especificado. El número de hectáreas/año intervenidas -degradadas- por la acción de la minería extractiva de aluvión es una medida de insostenibilidad del paisaje. Este tipo de minería deriva en un uso irracional de la tierra dejando arrasado todo el espacio donde se labora, es una acción destructora que no se puede igualar a actividad alguna. Se genera una destrucción de todo nicho ecológico desde la superficie hasta más de 10 metros de la capa de suelo, dejando el tejido de éste y la cobertura vegetal en un estado de deterioro que su recuperación sólo se puede lograr a muy largo plazo. Se puede construir un indicador de paisaje que cuantifique lo que se define como impacto paisajístico, es decir, la “perturbación en el paisaje provocada por un fenómeno natural o por la actividad humana” (OPC, 2004). El indicador definido por el área en hectáreas determina la acción antrópica sobre el ambiente y cuantifica la perturbación sobre el conjunto de paisajes y de los ecosistemas de la cuenca hidrográfica en cuestión.

Las actividades de la minería artesanal no solo deterioran los suelos y la cobertura vegetal, además sus desechos son vertidos al ambiente. Uno de los residuos del proceso de amalgamar los metales es el mercurio. Huidobro et alia (2004) estiman que el 90% del oro proveniente de este método de extracción es atrapado por el mercurio en la mezcla amalgamada. Esta amalgama se quema al aire libre para separar los metales, el mercurio se evapora y se deposita en el suelo, las plantas y en las aguas. Este tipo de proceso de producción genera sin cesar daños y alteraciones en el plano ecológico, ya que el mercurio vertido al ambiente pasa a las cadenas tróficas de la fauna terrestre y acuática. Veiga y Baker (2005) recomiendan muestrear el mercurio en peces por dos razones, en primer lugar para determinar las cantidades de mercurio que pueden pasar a los habitantes ribereños a través de la ingesta de peces y también para determinar la biodisponibilidad de mercurio debido a la minería artesanal, es decir, se desea determinar el impacto de la minería en las cadenas tróficas. Novo (2006) lo refiere de esta manera “ahora los tóxicos se vuelven contra nosotros, y acaban siempre reapareciendo en las cadenas tróficas de uno u otro modo”. En este caso, los peces actúan como bioindicadores mostrando los niveles de mercurio en sus tejidos. La determinación de mercurio en los peces es un indicador del impacto de las actividades mineras en las cuencas de los ríos de la Guayana Venezolana. Los numerosos impactos ambientales de la minería artesanal de pequeña escala son quizás los de mayor preocupación para muchos observadores del sector minero, se tienen “la contaminación mercurial y por cianuro, los desechos de restos y aguas residuales en los ríos, daños al río en zonas aluviales, alta sedimentación del río, daños por erosión, deforestación y destrucción del

paisaje” (MMSD, 2005). Sin embargo, de los daños a la biodiversidad no se hace referencia. La biodiversidad se comprende como variedad de vida. “Es un hecho no contestado que las actividades humanas han reducido la biodiversidad a escala mundial, nacional y regional y que esta tendencia continúa. Este hecho se evidencia en la pérdida de poblaciones vegetales y animales, en la extinción y en el agotamiento de especies y en la simplificación de comunidades y ecosistemas” (Krammer, 2003). Es inocultable que una intervención de este tipo no provoque impactos en la fauna y la flora de una región. La región de la Guayana Venezolana está considerada como región de alta biodiversidad, Boada y Gómez (2008) lo comentan así “muy probablemente países ubicados fuera de la franja cercana al Ecuador como Venezuela también podrían ser considerados países megadiversos“. Por la extensión y espesura de las selvas tropicales se pensaba que eran sistemas muy estables e imperturbables, sin embargo Margalef (1993) señala que:

La tradición naturalista veía que los sistemas de alta diversidad -los ejemplos típicos eran siempre la selva húmeda y el arrecife de coral- persistían por mucho tiempo conservando la misma forma, el mismo estilo, aunque no siempre la misma composición específica. En la misma tradición dichos sistemas se calificaban de estables aunque ahora se muestran demasiado vulnerables bajo la influencia del hombre, un importante factor que no estuvo presente mientras dichos sistemas se integraban históricamente.

La Cuenca del Río Caroní esta ubicada en el sur-oriente de la República Bolivariana de Venezuela, como se muestra en la figura 1. La población de la cuenca se puede ver en la tabla 1 que se adjunta a continuación, con sus respectivas tasas de natalidad.

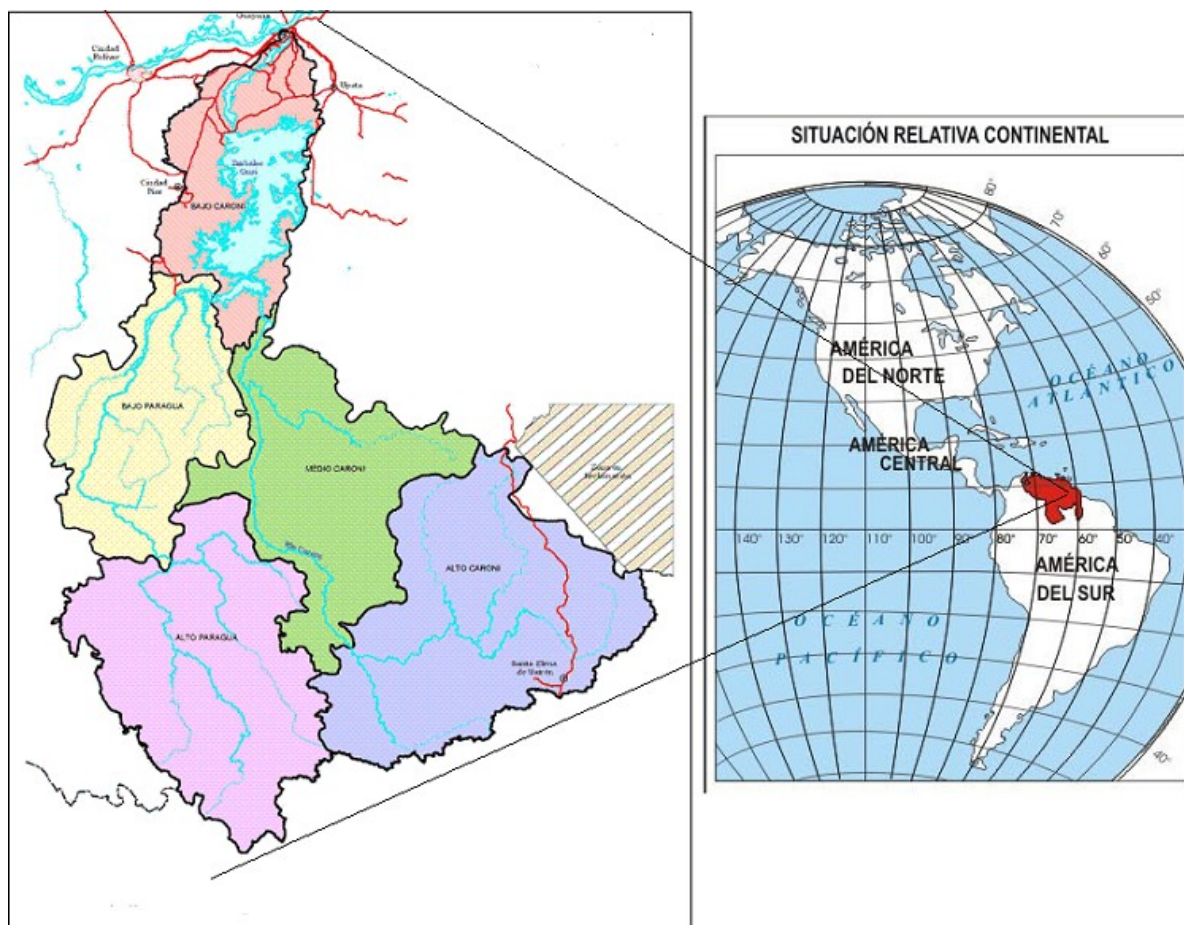


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Caroní. Fuente: Cartografía Nacional de Venezuela y CVG EDELCA.

	Poblac Cuenca	Indígenas
2000	664503	24341
2001	692479	24400
2002	721633	24458
2003	752015	24515
2004	783675	24572
2005	816669	24628
2006	851051	24684
2007	886881	24740

Tabla 1. Crecimiento de la población de la cuenca del río Caroní. Fuente: CVG (2004), Allais (2004) e Instituto Nacional de Estadística de Venezuela.

Una mirada simple al orden de crecimiento de la población no indígena y la población indígena mayoritariamente de la etnia Pemón, muestra una desproporción marcada. El gráfico 1 muestra esta idea adecuadamente

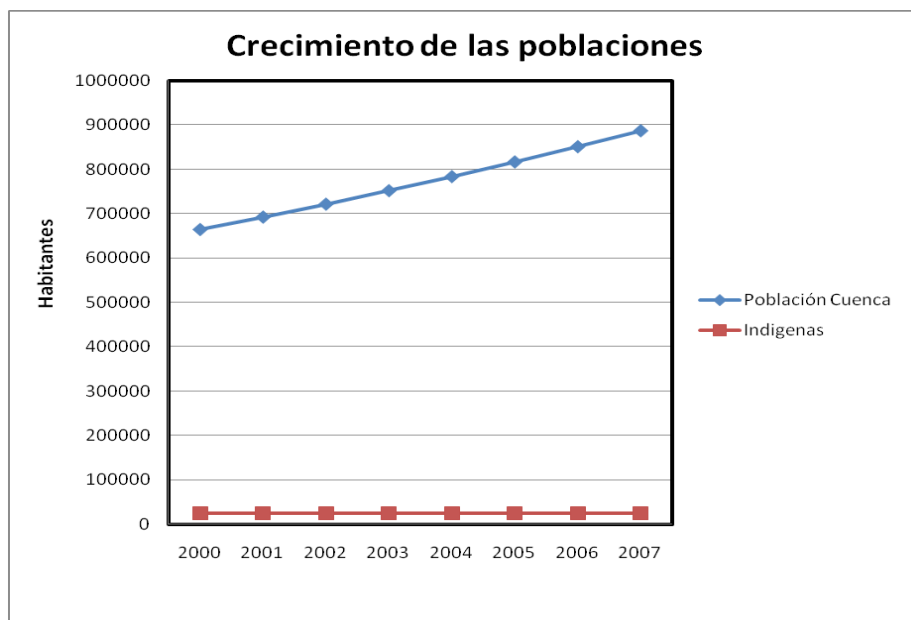


Gráfico 1. Crecimiento de las poblaciones en la cuenca del río Caroní. Fuente: CVG (2004), Allais (2004) e Instituto Nacional de Estadística de Venezuela.

Esta desproporción evidencia un punto de insostenibilidad ocasionada por la introducción de enfermedades en las regiones donde habitan los indígenas. Refiriéndose a la población indígena María Allais (2004) afirma que “los datos indican una fecundidad entre esta población de más del doble del índice obtenido para población no indígena”. Esta paradoja de crecimiento se explica sólo a través de una tasa de mortalidad elevada que lleva a poner en peligro la población originaria y autóctona de la cuenca.

4.2 Identificación del Problema.

Las cuencas de la Guayana Venezolana vienen siendo objeto de un deterioro sostenido, debido a actividades mineras que impactan y alteran los ecosistemas acuáticos y terrestres. Este impacto está afectando a las poblaciones indígenas que dependen de estos recursos naturales (agua, bosques, animales) para su supervivencia. En consecuencia se plantea diseñar un modelo que cuantifique los efectos de estas actividades humanas sobre la cuenca del río Caroní en términos de un marco para la sostenibilidad.

4.3 Diseño de modelos de la situación observada.

Los modelos se elaboraron con datos anuales, iniciando con el año 2000 hasta el 2007. Se

hicieron modelos de regresión múltiple para relacionar las variables estudiadas. Uno de los modelos que se planteó fue el de relacionar la cantidad de mercurio en peces (μ g/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).

Con un valor de coeficiente de regresión múltiple $r = 0,973$ y un valor de $p=0,005$ (ANOVA) ecuación de regresión múltiple es:

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

Hg_{peces} : mercurio en el tejido de los peces (μ g/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)

Cuando se ejecutó la regresión paso a paso para determinar la variable que aporta mayor “información” al modelo se encontró que es la tasa de producción de sedimentos. En el gráfico 2, se puede observar el escategrama entre Hg_{peces} y la tasa de producción de sedimentos, el coeficiente de correlación entre estas variables es de $r=0,954$.

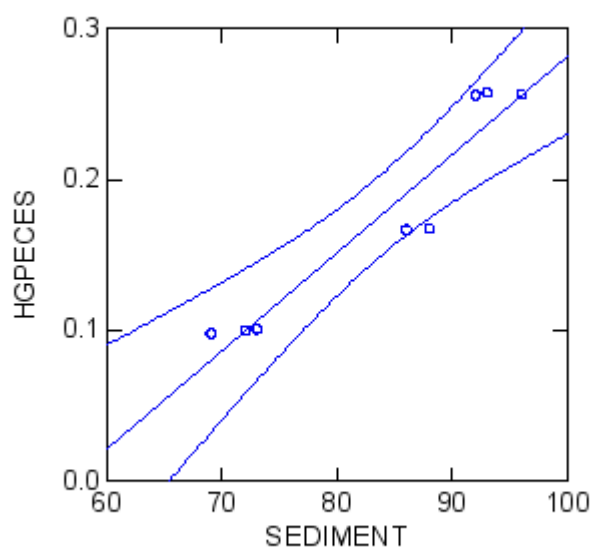


Grafico 2. Escategrama entre tasa de producción de sedimentos (SEDIMENT) y mercurio en peces (HGPECES).

Para modelar las áreas intervenidas se requirió 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 de estimación. A partir de los datos para Latinoamérica, aportados en el trabajo 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 el gráfico 3 podemos observar el ajuste no lineal para los datos.

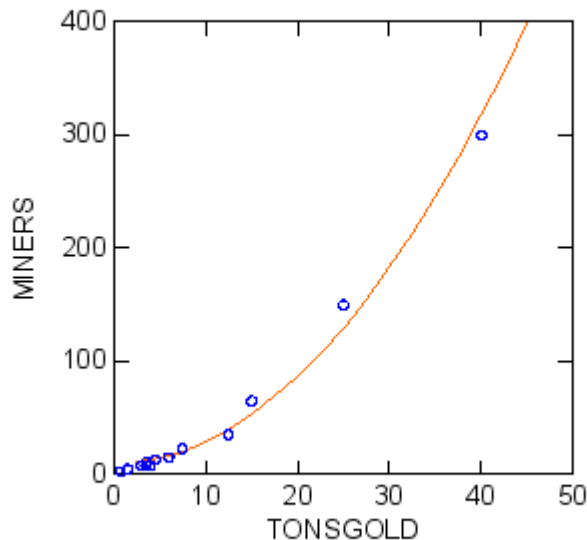


Gráfico 3. Ajuste no lineal entre la cantidad de mineros (MINERS) y la producción de oro artesanal (TONSGOLD). Fuente Huidobro (2004).

$Y_{\text{mineros}} = 10 + 0,20 \cdot \text{Toneladas}^2$, el valor del coeficiente de determinación no lineal corregido es $r^2 = 0,985$. Una vez se determinó el número de mineros, se hizo una regresión múltiple para validar las áreas intervenidas.

Para 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:

$$\text{Área}_{\text{Interv}} = 23635 - 0,09 \cdot \text{PobCuenca} + 1,85 \cdot \text{Mineros}$$

AreaInterv: área intervenida por la minería (Km²)

PobCuenca: fracción de población de la cuenca (miles)

Mineros: número de mineros estimados en la región intervenida.

La regresión paso a paso consideró las dos variables del modelo. En la gráfica 3 se puede observar la relación entre las áreas intervenidas y el número de mineros estimados.

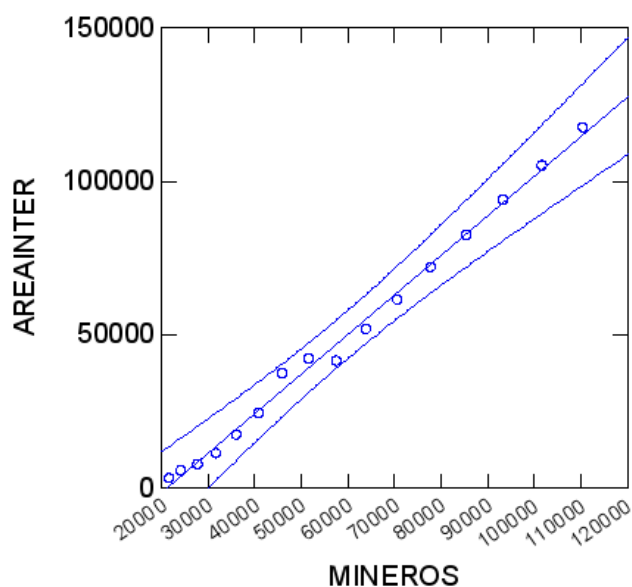


Gráfico 4. Áreas intervenidas (AREAINTER) en función del número de mineros (MINEROS).

Para realizar los pronósticos (previsión) para los años 2008-2015, se utilizó un modelo cuya ecuación se muestra a continuación:

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

Para ejecutar los escenarios se dan valores al coeficiente β ($0 < \beta < 1$) para obtener la serie de valores para calcular los indicadores y determinar el Índice de Sostenibilidad. En la tabla 2 se muestra la ejecución del modelo para los valores y_{t+1} con $\beta = 0,5$, allí se pueden observar los resultados estimados para los años 2008-2015.

año	Hgpeces	Índice Hgpeces	Proporción indígenas	Índice Proporción indígenas	Área intervenida	Índice Área intervenida	Índice SOST
2000	0.098000	2.656150	0.036630	4.957219	3257.0	2.286319	6.67
2001	0.099960	2.720572	0.035236	4.568611	5789.0	2.702862	6.38
2002	0.100940	2.752770	0.033892	4.194194	7852.0	3.042250	6.13
2003	0.167000	4.924045	0.032599	3.833817	11380.0	3.622647	5.10
2004	0.167501	4.940512	0.031355	3.486998	17461.0	4.623042	4.64
2005	0.256000	7.849301	0.030157	3.153234	24523.0	5.784823	3.17
2006	0.257869	7.910725	0.029005	2.832066	37412.0	7.905214	2.34
2007	0.256512	7.866129	0.027895	2.522939	42297.0	8.708853	1.98
2008	0.174466	5.169449	0.036203	4.838251	21369.3	5.265996	4.80
2009	0.171679	5.077833	0.037419	5.177154	21335.6	5.260453	4.95
2010	0.169675	5.011975	0.038749	5.547730	21241.9	5.245047	5.10
2011	0.167637	4.944982	0.040210	5.954820	21141.4	5.228518	5.26
2012	0.163988	4.825045	0.041823	6.404289	20985.6	5.202874	5.46
2013	0.160342	4.705222	0.043613	6.903310	20743.6	5.163062	5.68
2014	0.152967	4.462812	0.045613	7.460752	20269.4	5.085055	5.97
2015	0.144438	4.182479	0.048139	8.164616	18980.3	4.872986	6.37

Tabla 2. Valores reales (2000-2007) y valores obtenidos (2008-2015) a partir de los modelos y la ecuación de pronóstico. Fuente: Años 2000-2007 Corporación Venezolana de Guayana e Instituto de Estadísticas de Venezuela. Años 2008-2015 estimaciones a partir de los modelos.

4.4 Construcción de indicadores e índices de sostenibilidad

Los indicadores son “variables que resumen o que de alguna manera simplifican información relevante, vuelven visibles o perceptibles fenómenos de interés y cuantifican, miden y comunican información relevante, algunos indicadores pueden ser utilizados para evaluar una condición o fenómeno” (Gallopín, 2006). Para Xercavins (2005) los indicadores son “herramientas que comunican información relevante de una manera simplificada de un determinado fenómeno”. Todo indicador que nos de cuenta de la acción que hace viable o inviable un sistema social o un sistema ecológico, será por ende un indicador de sostenibilidad. A partir de los modelos y las relaciones estudiadas se elaboraron tres indicadores: Mercurio en Peces, Proporción de Indígenas y Áreas Intervenidas, utilizando estos indicadores se construyó un índice de sostenibilidad que pondera con igual peso los valores de los tres indicadores mencionados. Para construir los indicadores se utilizaron los datos originales y algunas estimaciones para los datos faltantes en las matrices. Bohringer y Jochem (2007) recomiendan normalizar los indicadores para hacerlos comparables y transformarlos a una escala común. En la tabla 3 se muestra el proceso de obtención del indicador de la proporción de indígenas en la cuenca del río Caroní.

	Población Cuenca	Indígenas en la cuenca	Proporción de indígenas	Normalización del indicador	Indicador (1-10)
2000	664503	24341	0.0366	1.48327	7.47
2001	692479	24400	0.0352	1.02710	6.71
2002	721633	24458	0.0339	0.58759	5.98
2003	752015	24515	0.0326	0.16455	5.27
2004	783675	24572	0.0314	-0.24256	4.60
2005	816669	24628	0.0302	-0.63436	3.94
2006	851051	24684	0.0290	-1.01136	3.31
2007	886881	24740	0.0279	-1.37424	2.71

Tabla 3. Indicador de proporción de indígenas en la Cuenca.

Una vez se obtiene la proporción, los valores resultantes se normalizan y se transforman a la escala del indicador de sostenibilidad que se determina en este estudio, la escala para los indicadores está comprendida en el rango 1-10.

4.1 Análisis de los resultados

El Escenario I considera que las cosas sigan igual. El gráfico 5 muestra la evolución de los indicadores para este escenario. En este escenario se pueden observar tendencias hacia el deterioro de todos los indicadores. Un aumento del mercurio en los peces, una disminución de la

proporción de indígenas y un aumento sostenido de las áreas intervenidas.

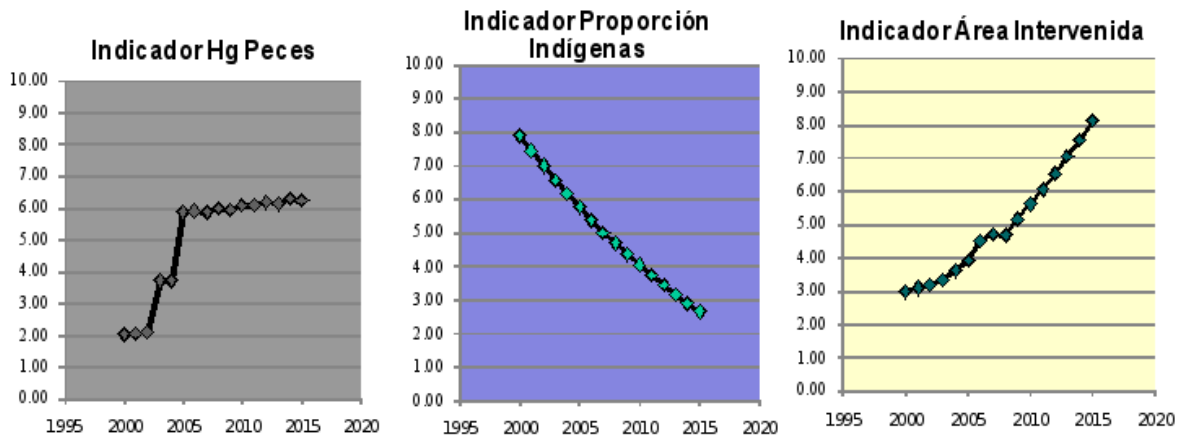


Grafico 5. Evolución de los Indicadores si todo sigue igual.

Puede notarse que el indicador de mercurio en los peces sigue aumentando, la proporción de indígenas sigue su declive y el indicador que da cuenta de las áreas intervenidas sigue creciendo. El gráfico 6 muestra el Índice de Sostenibilidad para el Escenario I. Este índice fue calculado ponderando cada uno de los indicadores utilizados con igual peso, por tanto, la escala del índice queda comprendida en el rango 1-10, de igual manera que los indicadores utilizados.

Índice de Sostenibilidad

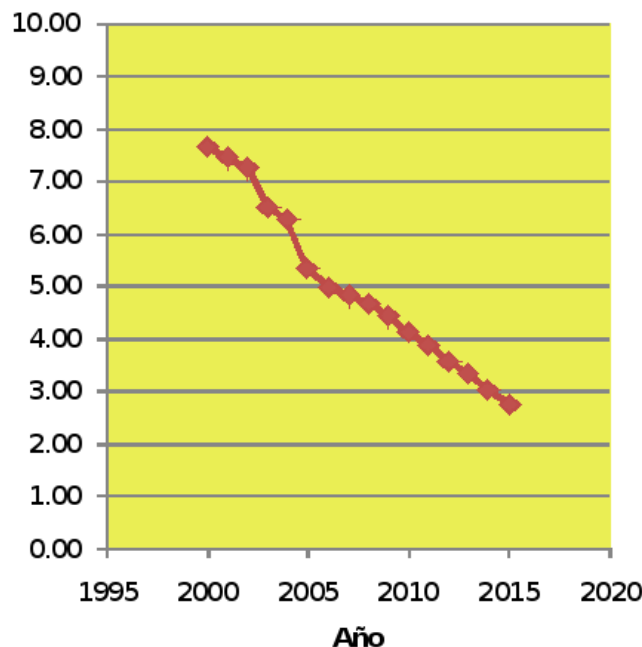


Gráfico 6. Índice de Sostenibilidad para el Escenario I: dejar que las cosas continúen de igual manera.

Para el Escenario II se consideró una disminución de las actividades, de tal forma que los indicadores de mercurio en peces y áreas intervenidas pudiesen mostrar una recuperación, es decir un descenso notable. El gráfico 7 muestra la tendencia de los indicadores evaluados en la cuenca.

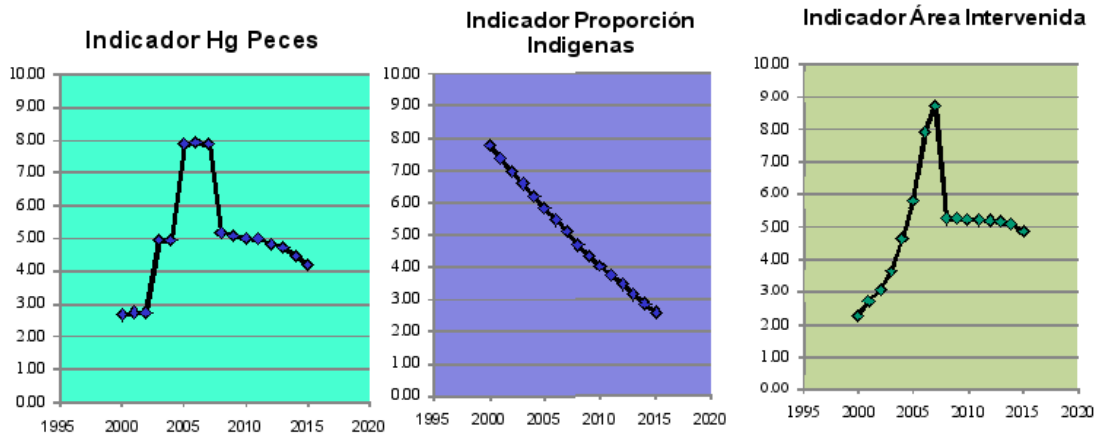


Gráfico 7. Indicadores del Escenario II relacionado con una disminución de la actividad minera.

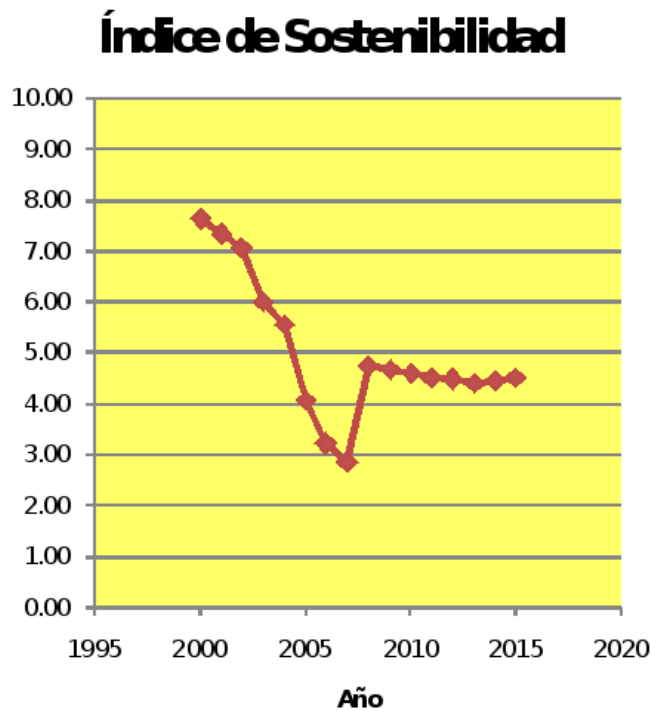


Gráfico 8. Índice de sostenibilidad para el Escenario II: disminución de la actividad minera.

Obsérvese que el indicador correspondiente a la proporción de indígenas no sufre alteración alguna en este escenario. El gráfico 8 muestra el índice de sostenibilidad para el Escenario II.

El Escenario III, considera la disminución de la actividad minera y la introducción de mejoras en la condición de salud de los indígenas de tal modo que se revierta la tendencia decreciente de la proporción de la población indígena. En los gráficos 9 y 10 se puede ver la evolución de los indicadores y el índice de Sostenibilidad para este último escenario.

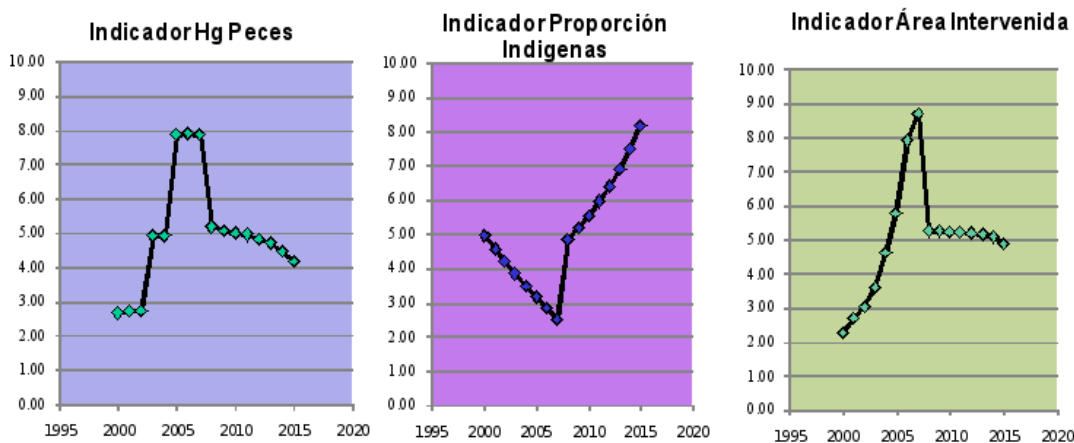


Gráfico 9. Indicadores del Escenario III, relacionado con una disminución de la actividad minera y mejora de las condiciones de salud de los indígenas.

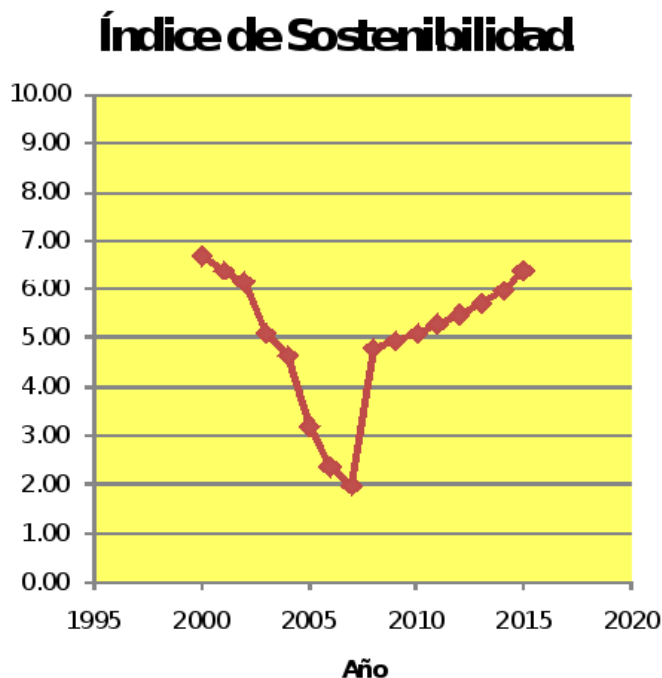


Gráfico 10. Índice de Sostenibilidad para el Escenario III: disminución de la actividad minera y una mejora a la condición sanitaria indígena.

5 Conclusiones

La evaluación de la sostenibilidad en la cuenca del río Caroní muestra que de seguir las tendencias actuales observadas en el Escenario I, la contaminación mercurial en peces y las áreas intervenidas se incrementarían. De no tomar medidas inmediatas, los efectos de la minería en cuanto a contaminación y degradación del paisaje se incrementarían notablemente.

De acuerdo al Escenario III, para revertir la situación decreciente de la proporción de la población indígena en la cuenca se hace necesario introducir mejoras en sus condiciones de salubridad de manera que la tasa de mortalidad disminuya.

La sostenibilidad es una categoría conceptual que requiere de un enfoque transdisciplinario para poder abordar la dificultad de su complejidad, en ese sentido múltiples disciplinas deben converger para lograr cuantificarla utilizando modelos que representen la realidad observada.

Bibliografía

- Allais, M. (2004). "La población indígena de Venezuela según los censos nacionales". Cambio demográfico y desigualdad social en Venezuela al inicio del tercer milenio. Caracas: Instituto Nacional de Estadística.
- Antequera, J., et alia. (2005). "Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un modelo para construir". Sostenible? Terrassa: Cátedra UNESCO en Tecnología, Desarrollo Sostenible y Cambio Global. N° 7. p 95-118.
- Bermudez, D., et alia. (1999) "Mercury exposure through fish consumption in riparian population at reservoir Guri using nuclear techniques, Bolivar State Venezuela" en Health impacts of Mercury Cycling in contaminated environments studied by nuclear techniques. International Atomic Energy Agency. Ljubljana, Slovenia.
- Boada, M. y Gómez, F. (2008). "Biodiversidad". Barcelona: Rubes Editorial.
- BOE (2008). Boletín Oficial del Estado. N° 31. Instrumento de Ratificación del Convenio Europeo del Paisaje. España. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2008/02/05/pdfs/A06259-06263.pdf>
- Bohringer, C. y Jochem, P. (2007). Measuring the immensurable. A survey of sustainability indices. Elsevier. Ecological Economics 63. p 1-8.
- Burel F. y Baudry J. (2002). "Ecología del Paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones". Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Corporación Venezolana de Guayana (2004). "La cuenca del Río Caroní. Una visión en cifras". CVG Electrificación del Caroní.
- Erias, A. y Alvarez-Campana, G. (2007). "Evaluación Ambiental y Desarrollo Sostenible". Madrid: Ediciones Pirámide.
- Gallopin, G. (2006). "Los Indicadores de Desarrollo Sostenible: Aspectos Metodológicos y Conceptuales". Seminario de Expertos sobre Indicadores de Sostenibilidad en la formulación y seguimiento de políticas. FAO.
- Huidobro, P. et alia. (2004). "Strategies to Reduce Hg exposure in Artisanal and Small-Scale Miners". Regional Awareness Raising Workshop on Mercury Pollution, Dakar.
- Kramer, F. (2003). "Educación Ambiental para el desarrollo sostenible". Madrid: Los libros de la Catarata.

- Margalef, R. (1993). "Teoría de los Sistemas Ecológicos". Barcelona: Publicaciones de la Universidad de Barcelona.
- Meadows, D. et alia. (2006). "Los límites de crecimiento 30 años después". Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- MMSD (2005) The Mining, Minerals and Sustainable development Project". Communities and Small-scale Mining. Disponible en: http://www.artisanalmining.org/UserFiles/file/AMS_finalreport_13.pdf
- Molles, M. (2006). Ecología. Conceptos y aplicaciones. Madrid: Mc Graw Hill-Interamericana
- Novo, María. (2006). "El Desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa". Madrid: Pearson Educación.
- Observatorio del Paisaje de Cataluña (OPC, 2004). Glosario. Disponible en: <http://www.catpaisatge.net/esp/glossari.php?id=50>
- Patton, C. P. y Kramer, F. (1983). "Curso de Geografía Física". Barcelona: Vincent Vives Ediciones.
- Sanjaume, M. y Batalla, R. (1966). "Teoría y Métodos en Geografía Física". Madrid: Editorial Síntesis.
- Sureda, B. y Felipe J. (2007). "Proposta metodològica per a l'anàlisi de la sostenibilitat urbana, utilitzant indicadors i índexs, implementats i analitzats amb un sistema de suport a la decisió". Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. Nº 2. p. 4-19.
- Veiga, M. y Baker, R. (2005). "Protocols for Environmental and Health Assesment of Mercury realeased by Artisanal and Small-Scale Miners". Global Mercury Project. UNIDO. p 1-170.
- Xercavins, J. et alia. (2005). "Desarrollo Sostenible". Cornell de Llobgat: Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña.
- Zoido, F. (2003). "Un nuevo horizonte para la geografía en los estudios y aplicaciones sobre el paisaje". Banco de buenas prácticas de Geografía. Nº 1. Disponible en: http://www.geografos.org/nuevaweb/seccion/78_Banco%20Buenas%20Pr%20E1cticas%20n1.pdf