



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

---

**Institut Universitari de Recerca en Ciència  
i Tecnologies de la Sostenibilitat**

## **Tesis Doctoral**

Una propuesta metodológica para la modelación y prospección  
de la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas en la Guayana  
Venezolana



**Presentada por: Jorge Iván Paolini Ruiz, MSc.**

Director de la Tesis

**Dr. José Juan de Felipe Blanch**

Co-directoras

**Dra. Bárbara Sureda Carbonell**

**Dra. Judith Rosales Godoy**

*Programa de Doctorado en Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*

Barcelona, octubre de 2013

Fotografía de la portada. Bosque tropófilo en la cuenca del Caroní (Bosque Loefling).  
Ciudad Guayana, Venezuela.

# **Tesis**

Presentada como requisito para optar al título de doctor en  
Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo por la  
Universidad Politécnica de Cataluña

**Jorge Iván Paolini Ruiz, MSc.**

Director de la Tesis

**Dr. José Juan de Felipe Blanch**

Co-directoras

**Dra. Bárbara Sureda Carbonell**

**Dra. Judith Rosales Godoy**

Página en blanco

Dedico este trabajo  
a mis hijos y  
a Reyna, infatigable compañera en este viaje.

Página en blanco

# Índice de contenidos

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Capítulo I. Metodología de la Investigación	
1. Objetivo de la investigación .....	6
1.1 Objetivos Específicos.....	6
1.2 Preguntas de investigación.....	6
1.3 La Hipótesis de Investigación.....	7
1.4 La Red Conceptual.....	10
1.5 Pertinencia de la investigación.....	12
1.6 Los contextos de la investigación.....	13
1.7 El problema de las cuencas en la Guayana Venezolana.....	14
1.8 La cuenca como sistema u objeto de estudio.....	18
1.9 La representación de la sostenibilidad.....	19
Capítulo II. El estado del Arte (Marco Teórico-Conceptual)	
2.1 Disciplinas para los modelos conceptuales.....	22
2.1.1 Complejidad y sistemas complejos.....	22
2.1.2 El Enfoque Ecosistémico .....	25
2.1.3 Biocomplejidad.....	28
2.1.4 Salud de los Ecosistemas ( <i>EcoHealth</i> ).....	30
2.1.5 Ecología del Paisaje.....	32
2.1.6 Modelos Hidrológicos.....	34
2.1.7 El Enfoque de Cuencas.....	37
2.2 Sobre la Sostenibilidad y su cuantificación.....	39
2.2.1 Ideas y conceptos sobre Desarrollo Sostenible y Sostenibilidad..	40
2.2.2 Ideas para la cuantificación de la Sostenibilidad.....	48
2.3 Conceptos sobre modelización y métodos cuantitativos para la determinación de la sostenibilidad.....	50

2.3.1	Sistemas, modelos y modelización.....	50
2.3.2	Modelización de la Sostenibilidad.....	57
2.3.3	Métodos Multivariantes	
2.3.3.1	El Análisis Discriminante.....	60
2.3.3.2	La Regresión Lineal Múltiple.....	61
2.3.3.3	La regresión Logit.....	61
2.3.3.4	El Análisis Factorial.....	63
2.3.3.5	Modelos de Regresión no-Lineal.....	64
Capítulo III. La Red Conceptual Multinivel.....		66
Capítulo IV. Los casos de estudio.....		73
4.1	Determinación de la Sostenibilidad en la Cuenca del Río Caroní.....	74
4.1.1	Introducción.....	74
4.1.2	Metodología.....	76
4.1.4	Conceptualización de la situación.....	76
4.1.4	Identificación del Problema.....	81
4.1.5	Diseño de modelos de la situación observada.....	81
4.1.6	Construcción de indicadores e índices de sostenibilidad.....	85
4.1.7	Análisis de los resultados.....	88
4.1.8	Conclusiones.....	91
4.2	Sostenibilidad local en la cuenca baja del Río Caroní.....	92
4.2.1	Introducción.....	92
4.2.2	La minería artesanal en la cuenca baja del Río Caroní.....	93
4.2.3	Construcción de la red conceptual.....	100
4.2.4	Determinación de la sostenibilidad en las poblaciones observadas.....	102
4.2.5	Conclusiones.....	104
4.3	Capacidad generativa y sostenibilidad en la cuenca del Río Caura.....	105
4.3.1	Introducción.....	105
4.3.2	Localización e importancia de la Cuenca del Caura.....	105

4.3.3	Capacidad Generativa de los pobladores de la cuenca del Río Caura.....	107
4.3.4	Amenazas a la capacidad generativa de los pobladores de la cuenca del Río Caura.....	110
4.3.5	Sostenibilidad y capacidad generativa.....	111
4.3.6	La complejidad que subyace en los estudios sobre la Sostenibilidad.....	114
4.3.7	Conclusiones.....	115
4.4	Sostenibilidad Ambiental en la cuenca del Río Caura.....	116
4.4.1.	Introducción.....	117
4.4.2	El Fenómeno ENSO y los índices ENSO.....	118
4.4.3	Datos y métodos para determinar las relaciones.....	119
4.4.4	Resultados y Discusión.....	122
4.4.5	Relación entre los caudales y el índice ONI.....	122
4.4.4.1	Relación de los Caudales y el índice ONI con retardo	
4.4.4.2	Análisis de la influencia de los eventos ENSO sobre los caudales del Río Caura.....	124
4.4.4.3	Relación múltiple entre los caudales, el fenómeno ENSO y las temperaturas del Atlántico Tropical (TNAI).....	126
4.4.4.5	Discusión de los resultados.....	127
4.4.5	Conclusiones.....	129
Capítulo V.	La Consulta Delphi .....	130
5. 1	El problema de la minería en las cuencas en la Guayana Venezolana .....	130
5.2	El Método Delphi.....	131
5.3	Las preguntas de la consulta Delphi.....	133
5.4	Resultados de la consulta Delphi.....	134
5.5	La minería ilegal como una amenaza a la sostenibilidad de las cuencas de la Guayana Venezolana.....	138
Capítulo VI.	Conclusiones.....	142

6.1 Sobre la propuesta Metodológica.....	142
6.2 Sobre la complejidad que subyace en los estudios de sostenibilidad.....	143
6.3 Sobre la prospección de la sostenibilidad en las cuencas de la Guayana Venezolana.....	144
6.4 Investigaciones de cara al futuro.....	144
Post Scriptum.....	146
Anexos.....	149
Anexo A. La hipótesis de Biomagnificación de mercurio. Un requisito para la modelación de la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos en la Guayana Venezolana .....	150
Anexo B. Respuestas de los Expertos al cuestionario Delphi.....	157
Anexo C. Una Red Conceptual Multinivel para Analizar, Modelizar y Medir la Sostenibilidad del Sistema Socio-Ecológico Corredor Ribereño Orinoco ante los extremos de inundación y sequía relacionados con cambios Climáticos.....	180
Referencias Bibliográficas.....	186

## **Resumen**

Esta investigación tiene como propósito diseñar una propuesta metodológica para la medición y prospección de la sostenibilidad en las cuencas hidrográficas de la Guayana Venezolana. Para ello se propone una hipótesis que establece que la sostenibilidad se puede representar a partir de las disciplinas relacionadas con el objeto de estudio. Para la representación de la sostenibilidad se ha diseñado un constructo denominado Red Conceptual.

La representación que se propone para la sostenibilidad está constituida por una red de conceptos que se derivan de las disciplinas relacionadas con el sistema observado, de una o más hipótesis sobre el estado de los sistemas en cuestión y de un conjunto de observables que permiten determinar cantidades y/o cualidades sobre los fenómenos observados. La representación está conformada por una red de relaciones que integra las disciplinas, los conceptos e hipótesis y los observables en un constructo que incluya los elementos para modelar la sostenibilidad.

Para este estudio se escogieron la cuenca del Río Caroní y la cuenca del Río Caura. Estos ríos son los afluentes más caudalosos de la Orinoquia Guayanesa. En ambas cuencas se hicieron estudios de la sostenibilidad mediante métodos analíticos y métodos cualitativos. Para darle credibilidad a la hipótesis de método que se propone en este trabajo se desarrollaron cuatro casos de estudio, tres de los cuales muestran una afectación en la sostenibilidad de las cuencas estudiadas. Uno de los factores más importantes de la insostenibilidad en las cuencas observadas está relacionado con la minería artesanal del oro. De esta compleja problemática surgió la necesidad de diseñar una consulta a expertos con el fin de determinar las motivaciones de estas actividades de cara a una prospección de la sostenibilidad. Tanto en el caso cuantitativo como en la consulta Delphi se determina que existen evidencias para afirmar que la sostenibilidad de las cuencas estudiadas está severamente amenazada.

**Palabras clave:** sostenibilidad, red conceptual, cuenca hidrográfica, Guayana Venezolana.

## **Abstract**

The aim of the current research project is to design a methodological proposal for measuring and examining the sustainability of Venezuela's Guiana river basins. For this, it is proposed a hypothesis that establishes that sustainability can be represented with disciplines related to this object of study. A construct named conceptual network has been designed in order to represent the sustainability.

The representation that is proposed for the sustainability is constituted by a network of concepts that derive from the disciplines related to the system which has been observed, from more than one hypothesis about the system's state and from a group of observables that allows us to determine quantities and qualities of the phenomenon observed. The representation is conformed by a relational network that would integrate the disciplines, the concepts, the hypothesis, and the observables in a construct which would include the elements to model the sustainability.

The Caroni's and the Caura's river basins were chosen for this study. These two rivers are the biggest tributaries of the Orinoco River. It was through analytic and qualitative methods done in both river basins that sustainability was studied. To contribute to the hypothesis that is proposed in this investigation, four study cases were developed. Three of them show an affectation of the river basin's sustainability that was studied. One of the most outstanding factors of the unsustainability in the river basins observed is related to the artisanal mining of gold. The design of an expert consultation arose from the complexity of this problem. The consultation was made to prospect sustainability by establishing the motivation of gold mining activities. The quantitative cases and the Delphi consult have offered many evidences to assert that the sustainability of the river basins under study is being very threatened.

**Keywords:** sustainability, conceptual network, river basin, Venezuela's Guiana.

*“De lo que hoy se empieza a pensar depende lo que  
mañana se vivirá en las plazuelas”*

de José Ortega y Gasset en *El tema de nuestro tiempo* (1938)

## **Introducción**

Esta investigación presenta un modo de analizar la sostenibilidad a partir de un constructo que se ha denominado red conceptual. La red conceptual propuesta da respuesta al problema de determinar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico. En este modelo propuesto prescindimos del enfoque de las dimensiones para obtener índices e indicadores. Tanto para el caso cuantitativo como para el cualitativo las redes conceptuales permiten y facilitan la consideración multidisciplinar e interdisciplinar en la construcción del análisis de la sostenibilidad para los sistemas observados.

El trabajo de investigación se desarrolló en la Región Guayana de Venezuela. Se tomaron como sistemas socio-ecológicos para la determinación de la sostenibilidad dos cuencas hidrográficas: la cuenca del Río Caroní y la cuenca del Río Caura. Estos dos ríos son los más grandes tributarios del margen derecho del Río Orinoco. En la Guayana Venezolana se concentran los desarrollos hidro-eléctricos que mantienen activas las industrias sidero-metalúrgica y de reducción de aluminio primario. Del mismo modo existen en la región reservas probadas de mineral de oro que se han explotado tanto industrialmente como artesanalmente. A lo largo de la investigación podremos observar el impacto de la minería de oro en pequeña escala tanto en los ecosistemas como en las personas.

Esta tesis se estructuró en seis capítulos. En el primer capítulo se desarrolla la metodología asociada al problema de estudio que se acometió. Se desarrollan en primer lugar, los objetivos de investigación, las preguntas de investigación y la hipótesis de investigación. Luego se presentan algunas ideas sobre las redes conceptuales que es el

constructo para desarrollar la hipótesis de investigación, se continúa con la pertinencia y los contextos de la investigación. Se da una introducción a los problemas de las cuencas de la Guayana Venezolana, se muestran algunas ideas sobre las cuencas como unidades de análisis y finalmente se presentan algunos fundamentos sobre la representación de la sostenibilidad.

El segundo capítulo se estructura en tres secciones, la primera trata de algunas disciplinas relevantes para el tratamiento de la red conceptual, luego se aborda la temática de la sostenibilidad y finalmente se desarrollan algunas ideas sobre la modelización y los métodos multivariados. Los métodos cuantitativos nos permitirán relacionar variables relevantes en la modelización de la sostenibilidad. Se presenta una síntesis de las ideas que subyacen en las disciplinas y los enfoques relacionados con la sostenibilidad.

El tercer capítulo muestra las ideas que subyacen en la concepción del constructo que se propone en esta investigación, así mismo, se desarrolla un esquema para una posición onto-epistemológica que fundamenta la construcción de las redes conceptuales multinivel.

En el cuarto capítulo se presentan cuatro casos de estudio que muestran cómo se desarrolla la hipótesis de método de esta investigación. Los casos de estudio ilustran el estado actual de las cuencas del Río Caroní y del Río Caura. Los dos primeros casos de estudio se refieren a la cuenca del Caroní. En el primero caso se observan las desigualdades en el crecimiento de las poblaciones indígenas respecto de la población de criollos, la contaminación mercurial y los daños sobre el paisaje. En el segundo caso se muestran los daños neurológicos que ocasiona la contaminación mercurial en tres poblaciones de la cuenca baja del Río Caroní. Los dos últimos casos de estudio se dedican a la cuenca del Caura. En el tercer caso se destaca el papel de la capacidad generativa y su relación con la sostenibilidad ambiental. El último caso de estudio desarrollado se dedica a la sostenibilidad ambiental y la eventual vulnerabilidad del sistema socio-ecológico ante la influencia de El Niño Oscilación Sur y las alteraciones de la temperatura del Océano Atlántico Tropical.

En los tres primeros casos de estudio se observa que una de las causas de insostenibilidad en las cuencas de la Guayana Venezolana es debida a la minería artesanal o de pequeña escala. El quinto capítulo se dedica al desarrollo de una consulta Delphi a un grupo de expertos de distintas disciplinas con el propósito de obtener diversas opiniones que se tienen de la minería del oro en las cuencas guayanesas. La consulta tiene como propósito determinar las causas y motivaciones de la minería con el fin de comprender el fenómeno de la minería ilegal y poder tener una visión de cara al futuro de la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos objeto de nuestra investigación.

En el último capítulo se concluye respecto de los hallazgos y sobre la herramienta conceptual que hemos propuesto. Así mismo se comentan los desarrollos futuros de la investigación.

Para una mejor comprensión de los temas que hemos abordado en este trabajo se han agregado tres anexos. El primero muestra una solución de la hipótesis de Biomagnificación de mercurio en la cuenca del Río Caroní. En el segundo anexo se recopilan las respuestas de los expertos consultados y en el tercer anexo se propone una idea proyecto de una investigación futura para el Río Orinoco, utilizando el mismo enfoque de las redes conceptuales que surge de esta investigación.

# Capítulo I

## Metodología de la Investigación

En este capítulo se desarrolla la metodología asociada al problema de estudio en el trabajo de investigación doctoral denominado “Una propuesta metodológica para la modelación y prospección de la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas en la Guayana Venezolana”. Se desarrollan en primer lugar, los objetivos de investigación, las preguntas de investigación y la hipótesis de investigación. Luego se desarrollan algunas ideas sobre la Red Conceptual que es el constructo para desarrollar la hipótesis central de esta investigación. Se continúa con la pertinencia y los contextos de la investigación. Se da una introducción a los problemas de las cuencas de la Guayana Venezolana, se muestran algunas ideas sobre las cuencas como unidades de análisis y finalmente se presentan algunos fundamentos sobre la representación de la sostenibilidad.

### 1. Objetivo de la investigación

Esta investigación tiene como objetivo realizar un estudio sistémico para la modelación y prospección de la sostenibilidad en cuencas hidrográficas de la Guayana Venezolana.

Objetivos Específicos:

- 1.1.1 Diseñar modelos conceptuales para la determinación de la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos observados a partir de un enfoque representacional.
- 1.1.2 Diseñar modelos simbólicos (estadístico-matemáticos) para la cuantificación y modelos conceptuales para cualificar la sostenibilidad en los sistemas socio-ecológicos observados.
- 1.1.3 Realizar prospecciones (estimaciones) para la sostenibilidad en los sistemas socio-ecológicos observados basadas en las evidencias actuales.

### 1.2 Preguntas de investigación

¿Podemos modelizar la sostenibilidad a partir de las disciplinas y de las relaciones entre disciplinas (interdisciplinariedad) que estudian los sistemas socio-ecológicos? ¿Qué formalismo podemos utilizar para facilitar-viabilizar la modelación de la sostenibilidad?

¿Cuáles principios requerimos para la modelización de los sistemas socio-ecológicos?  
 ¿Cómo se pueden validar los modelos de sostenibilidad de un sistema socio-ecológico?

### 1.3 La Hipótesis de Investigación

En primer lugar estableceremos algunas ideas sobre lo que se denomina hipótesis en una investigación y le daremos una interpretación a esos planteamientos. Etimológicamente la palabra hipótesis (del griego *υποθεση*) significa cuestión principal, fundamento, base (DRAE, 2001). Para Hempel (1979) las hipótesis son intentos de respuestas a un problema, son guías que direccionan la búsqueda de respuestas a una situación planteada. Al enunciado de un hecho que puede ser susceptible de ser verificado puede llamarse hipótesis (Bunge, 1981). Una hipótesis es una explicación tentativa del fenómeno que se está investigando, orienta en la búsqueda de lo que estamos investigando o de lo que estamos tratando (Hernández et al., 2006). Las hipótesis son las bases que tenemos para el inicio o comienzo de la investigación. En este caso, la investigación se orienta al diseño de una propuesta metodológica, las hipótesis de investigación de este tipo de propuesta se refieren al modo de diseñar. Estany (2006) establece tres tipos de metodologías. Las metodologías de primer orden, las de segundo y las de tercer orden. La tabla 1.1 muestra una síntesis de las metodologías.

Tabla 1.1 Tipos de metodologías, una comprensión a partir de Estany (2006).

<i>Metodologías</i>	<i>Tareas</i>	<i>Hipótesis</i>	<i>Método de Contraste</i>
Primer Orden	Construcción de técnicas instrumentales de una disciplina	Hipótesis paramétricas y no paramétricas	Métodos Estadísticos Discusión cualitativa
Segundo Orden	Evaluación de técnicas. Elaboración de métodos. Modelos explicativos.	Hipótesis de método. Hipótesis sobre modelos	Credibilidad. Evaluación del éxito del modelo o método como solución.
Tercer orden	Construcciones meta-filosóficas. Evaluación de una 'maquinaria' conceptual.	Meta-hipótesis. Hipótesis sobre teorías.	Credibilidad teórica

Para ubicarnos de acuerdo a los tipos de metodologías, vamos a hacernos cuestión del problema de investigación. ¿Cuál es el problema que estamos tratando? Lo que nos atañe en primera instancia es un problema de diseño. En consecuencia, las hipótesis de un problema de diseño de un modelo para cuantificar la sostenibilidad en un sistema socio-ecológico, se orientarán en la consecución de métodos y técnicas para hallar vías para modelizar la sostenibilidad.

De acuerdo a la tabla mostrada anteriormente, estaríamos trabajando con metodologías de primer y segundo orden. La hipótesis central de esta investigación es **H** y se enuncia así:

**H:** *La sostenibilidad se modeliza a partir de un conjunto de disciplinas integradas y relacionadas con el objeto de estudio.*

Esta hipótesis la podemos re-escribir de este modo:

**H<sub>1</sub>:** *Podemos modelizar la sostenibilidad de las cuencas a partir de las disciplinas inter-relacionadas con el objeto de estudio como la Ecología del Paisaje, la Salud Ambiental (EcoHealth), la Bio-complejidad, el Enfoque Eco-sistémico, la Antropología Social.*

La hipótesis propuesta considera que los estudios disciplinarios, multidisciplinarios e interdisciplinarios que se desarrollen (o se han desarrollado) en las cuencas de la Guayana Venezolana, permiten obtener una visión de la sostenibilidad, de tal modo que podamos derivar de las disciplinas que serán consideradas, un conjunto de categorías y variables que nos ayuden a diseñar los modelos para la cuenca considerada. A partir del caso de estudio y de las disciplinas especificadas se obtendrán los observables para determinar la sostenibilidad.

Nótese que hemos planteado una hipótesis de segundo orden o hipótesis de método, este tipo de hipótesis dista conceptualmente de una que se estableciese de este modo:

**H<sub>2</sub>:** *La relación entre la producción de mineral de oro depende de la cantidad de área intervenida y de la cantidad de mineros que explotan la minería de aluvión en la Guayana Venezolana.*

Esta hipótesis es una proposición acerca de una eventual relación que se pueda derivar de la experiencia y de la observación de los hechos en un sitio especificado de la Guayana Venezolana. Esta clase de hipótesis puede plantearse en términos

cuantitativos, partiendo de un modelo estadístico que relacione las variables producción de oro y cantidad de área intervenida, al tipo de hipótesis  $H_2$  que estamos considerando, se les denominan hipótesis correlacionales (Hernández et al., 2007). Tanto las hipótesis correlacionales como cualquier otra hipótesis de tipo estadístico, se consideran hipótesis instrumentales o hipótesis de primer orden. Como lo vimos anteriormente, estas hipótesis surgen de las metodologías de primer orden.

De igual modo, si requerimos la instrumentalización de una hipótesis alrededor del concepto de la bio-magnificación del mercurio (incremento de la concentración de metil-mercurio en una cadena alimenticia), tendríamos que construir hipótesis de primer orden que permitieran determinar si hay diferencias significativas en cuanto al contenido de metil-mercurio de los diferentes peces, clasificándolos de acuerdo al nivel trófico y adicionalmente determinar una relación entre la longitud del pez y la concentración del contaminante. En el anexo A se desarrolla en detalles esta hipótesis.

Esta investigación cuenta con una hipótesis de investigación de método (de segundo orden). Una vez se haya construido la red conceptual basada en las disciplinas para los casos de estudio, se derivaran un conjunto de hipótesis instrumentales que servirán para diseñar los modelos para cuantificar la sostenibilidad.

¿Cómo validar las hipótesis? La validación de las hipótesis instrumentales se realiza a través de métodos cuantitativos específicos para la proposición enunciada v.g. prueba de hipótesis sobre promedios. La hipótesis  $H_2$  podrá validarse a partir del ajuste de un modelo correlacional utilizando el análisis de la varianza y como medida de bondad del ajuste puede establecerse el coeficiente de determinación (Walpole et al., 2007). Sin embargo, las hipótesis de investigación del tipo  $H$  y  $H_1$  poseen otros modos de validación. Una manera de validar este tipo de hipótesis, es a partir de la **credibilidad** que ofrezca el modelo creado cuando se contrasten hipótesis instrumentales que se deriven de su implantación. Así mismo, el uso y la frecuencia de diseño de redes conceptuales para algunas situaciones locales, incrementará su credibilidad. El número, la diversidad y la variedad de casos que se resuelvan con el método en cuestión, incrementará la credibilidad del diseño empleado (Estany, 2006). Por lo anterior, estimamos que el desarrollo de casos de estudio en el que se establezca la

representación de la sostenibilidad como en  $H_I$  servirá para darle **credibilidad** a esta hipótesis de investigación.

#### 1.4 La Red Conceptual

La base fundamental para el diseño de un modelo de sostenibilidad en esta investigación viene dada por la red conceptual. Las relaciones entre los elementos del modelo se concretarán en una red de conceptos constituida por las disciplinas relacionadas y conectadas a través de la jerarquía dada por disciplina-concepto-observable. La noción de red conceptual se puede concebir como:

*una compleja red espacial: sus términos son representados por sus nodos mientras que los hilos que los conectan corresponden, en parte, a las definiciones y en parte a las hipótesis fundamentales y derivadas incluidas en la teoría. El sistema entero flota, por así decirlo, sobre el plano de la observación y está anclado a él por reglas de interpretación.* (Hempel, 1988).

La sostenibilidad se puede observar y cuantificar partiendo de un conjunto de disciplinas relacionadas con el objeto de estudio, en esta investigación el sistema socio-ecológico que vamos a observar es una cuenca hidrográfica. A partir de la conformación de una red de disciplinas relacionadas con la cuenca se determinan y obtienen los observables que den cuenta de la sostenibilidad, considerando la cuenca como un sistema socio-ecológico donde se dan múltiples interacciones entre los seres humanos y el ambiente. La red está constituida por el conjunto de disciplinas que aportan los conceptos de los cuales se derivan los observables, es decir, términos que se caracterizan por ser observados sin intermediación y sin una determinación previa y que además, no requieren ser contrastados (Estany, 2006). Los observables son cantidades que se pueden obtener por medición o enumeración. En la red conceptual los observables se muestran utilizando rectángulos (ver figura 1.1). La red conecta las disciplinas a la entidad central y dado que lo que se va a modelar y cuantificar es la sostenibilidad, esta es la entidad que ocupa la posición central en la red.

Los elementos constructivos de la red son: la entidad central, las múltiples disciplinas relacionadas con el sistema bajo observación, los conceptos derivados y los observables. La cohesión de la red viene dada por la sostenibilidad como entidad multidisciplinar e interdisciplinar consiliente. 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 está 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 en otras ramas del saber (Maurer, 2000).

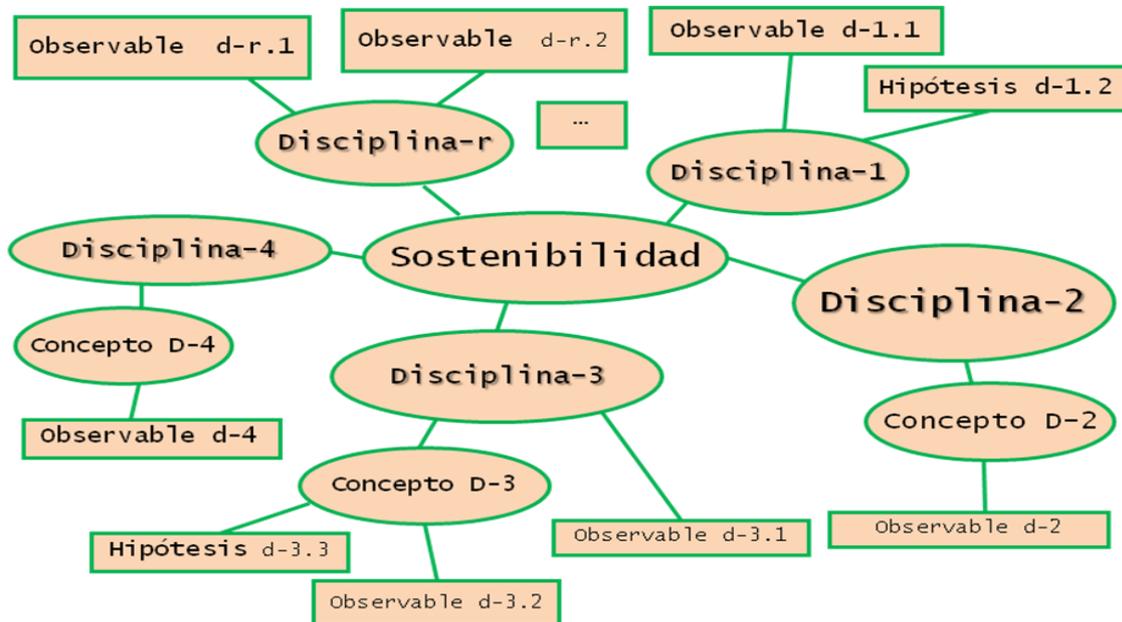


Figura 1.1. Red conceptual para modelizar la sostenibilidad.

Entonces, la sostenibilidad como entidad consiliente, nos aporta una manera de hacer enlaces conceptuales entre las disciplinas involucradas con los diversos aspectos que observan los sistemas, en particular con los diferentes aspectos de los complejos sistemas ecológicos y la interacción entre los seres humanos y el ambiente (García, 2004). La noción de consiliencia se ilustra la figura 1.2, allí se observan quince disciplinas relacionadas con la ciencia de la sostenibilidad en un trabajo de agrupar referencias -utilizando la técnica de clúster análisis- en trabajos publicados y relacionados con la sostenibilidad (Kajikawa et al., 2007).

La red conceptual para la modelización de la sostenibilidad se construye utilizando un conjunto de disciplinas (multidisciplinariedad), unos conceptos relevantes para la determinación de la sostenibilidad y los observables. Los conceptos relevantes que se van a utilizar dependen de la situación problema.

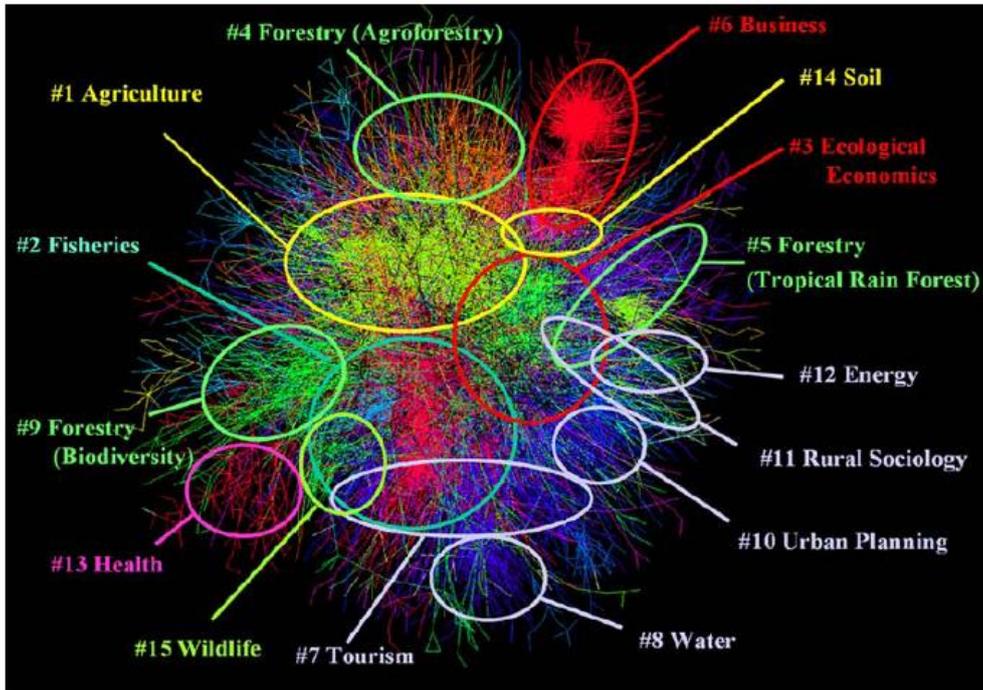


Figura 1.2. Estructura de la ciencia de la sostenibilidad. (Kajikawa et al., 2007).

De la red se obtienen relaciones que no tienen por qué ser de naturaleza causal. La red conceptual responde a las dos primeras preguntas de investigación del presente trabajo. La red conceptual es el objeto ‘conceptual’ o constructo representacional (Bunge, 2000, 2002), que hace posible la modelización de la sostenibilidad del sistema socio-ecológico que observaremos en la presente investigación.

### 1.5 Pertinencia de la investigación

Las características comunes más relevantes para el estudio de la sostenibilidad en las cuencas hidrográficas de la Guayana Venezolana son la presencia de la minería extractiva de aluvión y la existencia de poblaciones de indígenas. Esto define un conflicto de intereses en el manejo de las cuencas, por un lado, debido a la importancia que posee la región para las personas que ejercen la minería y por otro lado por la existencia de asentamientos ancestrales de pueblos indígenas, como propietarios originarios de esas tierras de acuerdo a la legislación actual.

Adicionalmente, las cuencas poseen áreas prístinas que son en buena medida depositarias de biodiversidad del planeta y de grandes reservas de agua dulce, lo que las hacen tener una ‘vocación’ para la generación de energía eléctrica. Estas consideraciones hacen que el estudio de la sostenibilidad en estos sistemas socio-ecológicos tenga pertinencia socio-cultural.

## **1.6 Los contextos de la investigación**

- i. El contexto educativo: este trabajo se da en la búsqueda de conocimiento en un espacio de educación superior, en los ambientes universitarios e inter-universitarios. La investigación podrá utilizarse como vehículo de transmisión de métodos y técnicas para la realización de modelos. Así mismo, a través de la participación de los investigadores en eventos académicos será posible la transmisión y difusión de ideas y conceptos relacionados con la modelización y medición de la sostenibilidad de sistemas socio-ecológicos.
- ii. El contexto de la innovación: la propuesta de investigación pretende concebir un modo de modelizar la sostenibilidad a partir de la consideración de ‘lo disciplinar, multidisciplinar e inter-disciplinar’ para representar los conceptos, las relaciones, los observables y los elementos constitutivos de las hipótesis instrumentales en una red conceptual multinivel.
- iii. El contexto de la valoración y de la evaluación: esta investigación permitirá ser evaluada a partir de la coherencia entre los planteamientos de los modelos y la situación observada. Así mismo, a partir de las discusiones en la comunidad académica y extra-académica se podrán validar los hallazgos del trabajo.
- iv. El contexto de aplicación: en la ejecución misma y una vez finalizada, la investigación podrá ir señalando resultados sobre el estado de sostenibilidad del sistema socio-ecológico observado. Adicionalmente, esta propuesta podrá ser utilizada como metodología para modelizar la sostenibilidad de otras cuencas de la Guayana Venezolana. En términos institucionales este trabajo tiene la potencialidad de ser utilizado por los entes gubernamentales que tienen relación con la gestión de los sistemas considerados.

## **1.7 El problema de las cuencas en la Guayana Venezolana**

Las cuencas de la Guayana Venezolana se ubican geográficamente en los estados Bolívar y Amazonas, en la región sur oriental de la república Bolivariana de Venezuela como se puede ver en la figura 1.3. Es una región con unas particularidades y notables contrastes que la distinguen de la Venezuela que está ubicada al norte del río Orinoco (la Venezuela de producción petrolera). Refiriéndose a la complejidad del estado Bolívar, Ricardo Aquino (2006) comenta que “es una de las regiones más complejas del país, dicha complejidad se evidencia en el deterioro progresivo y crónico que han tenido recursos naturales tan importantes como el agua, aunado a la cada vez más golpeada calidad de vida de algunos habitantes de los centros poblados, que por su localización ven amenazada su salud y perspectiva de vida, verbigracia las comunidades mineras aquellas situadas en ciudades industriales y su perímetro”. Menciona que existen tres factores como principales y transversales en las causas de la problemática ambiental del estado Bolívar, en primer lugar la gestión desarticulada de los organismos en el manejo del ambiente, en segundo lugar una participación escasa de los habitantes de la región, esto se evidencia en la baja presión que se ejerce a los organismos de cuidado y preservación del ambiente y finalmente la ausencia de políticas ambientales del Ministerio del Ambiente para el estado Bolívar (Aquino, op. cit.).

Lo mencionado anteriormente está confirmado en la agenda ambiental 2005-2008 para el estado Bolívar, allí podemos leer que “motivado a la inminente desarticulación de los actores responsables del sector ambiente en la entidad y al crítico impacto a los que están sometidos los recursos naturales en el territorio del estado... [debemos] alinear bajo una misma visión estratégica a los equipos multidisciplinarios de organismos públicos, universidades, grupos sociales organizados y empresas privadas sobre las acciones que se debían emprender para salvar los ecosistemas que están en riesgo, y evaluar, y recuperar al patrimonio ambiental de los guyaneses” (GEB, 2005).

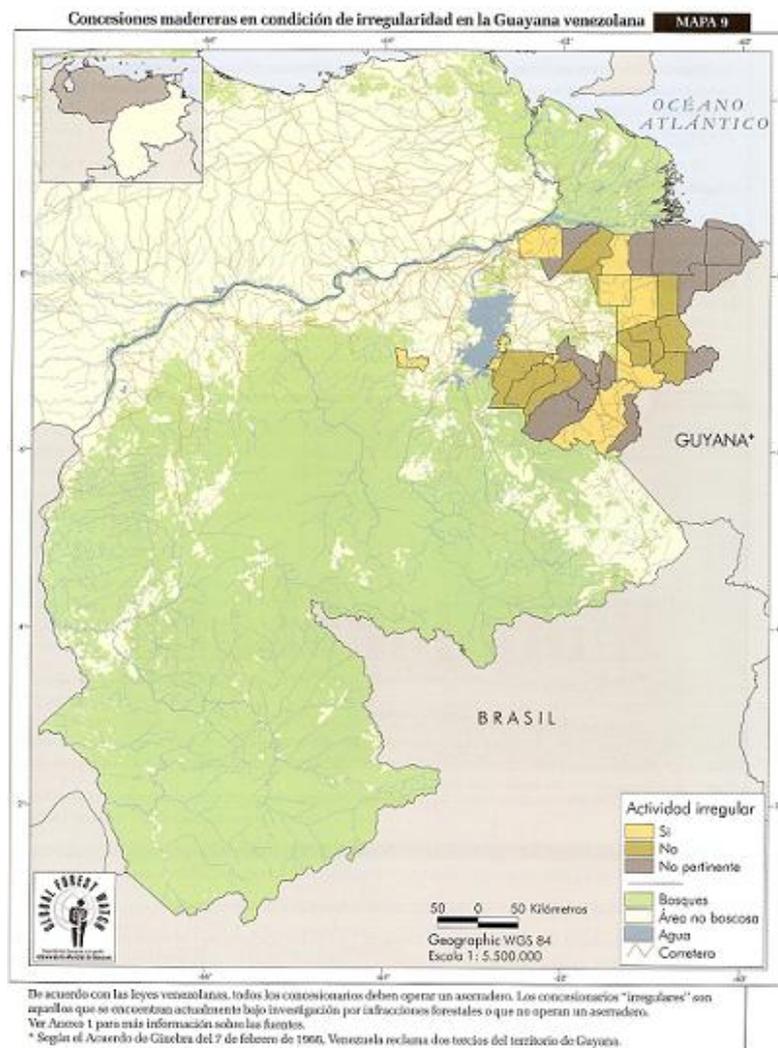


Figura 1.3. La región de la Guayana Venezolana.

Fuente: Global Forest Watch (2002).

Rosales (2006) afirma que “en el estado Bolívar, la deforestación, la erosión del suelo, la basura y la minería conforman factores limitantes para el progreso de la productividad de nuestros ecosistemas”. Coincide con esta apreciación, lo que se deja asentado en el Informe del Observatorio Mundial de Bosques, en cuanto a que “el aprovechamiento de maderas y la explotación minera podrían finalmente ocasionar una degradación significativa del bosque, considerando las presiones demográficas, los usos territoriales en conflicto y la administración deficiente” (Bevilacqua et al., 2002).

En un proyecto realizado en la Guayana Venezolana y auspiciado por las Naciones Unidas (UNIDO, 2004), se da cuenta del impacto y los usos inadecuados del mercurio en la minería de pequeña escala. De acuerdo a exámenes médicos, análisis de orina y después de realizar una batería de pruebas neuro-sicológicas se determinó que los mineros y los molineros (trabajadores con las amalgamas) ubicados en el Bloque B de la región minera de El Callao, tienen signos de intoxicación y serios daños neuro-sicológicos, situándose como uno de los más serios en el mundo. De acuerdo con esta investigación se encontró que el 61,7 % de los individuos examinados (n=209) tienen cantidades por encima del *nivel de alerta* (5 µg/g de creatinina); un 38,3 % de los examinados poseen una valoración superior al *nivel de acción* (20 µg/g de creatinina); por encima del *nivel máximo* (50 µg/g de creatinina) resultó un 20,6 % y un 15% de las personas muestreadas poseen valores por encima del *nivel de daño* donde los síntomas neurológicos son muy probables (100 µg/g de creatinina). Estos niveles de creatinina en el protocolo de prueba en orina 24 horas, son establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1990). En la figura 1.4 se puede observar el impacto de la neurotoxicidad sobre la motricidad de un molinero, cuando se le solicita que transcriba el dibujo mostrado, esto evidencia la afectación del mercurio en los centros nerviosos.

Y para concluir este breve panorama, vamos a citar textualmente las palabras de uno de los alcaldes del municipio más poblado de la Guayana Venezolana, dice lo siguiente:

*En el continente suramericano somos privilegiados respecto a la cantidad de agua como recurso natural que poseemos, especialmente en el estado Bolívar. Aquí estamos bordeados por los mayores afluentes del Orinoco, y las aguas más limpias del mundo están en estos espacios. El municipio Caroní es el más pequeño del estado Bolívar y nuestra ciudad es una Mesopotamia. Sin embargo, tenemos a un pueblo lleno de sed (Scotto, 2006).*

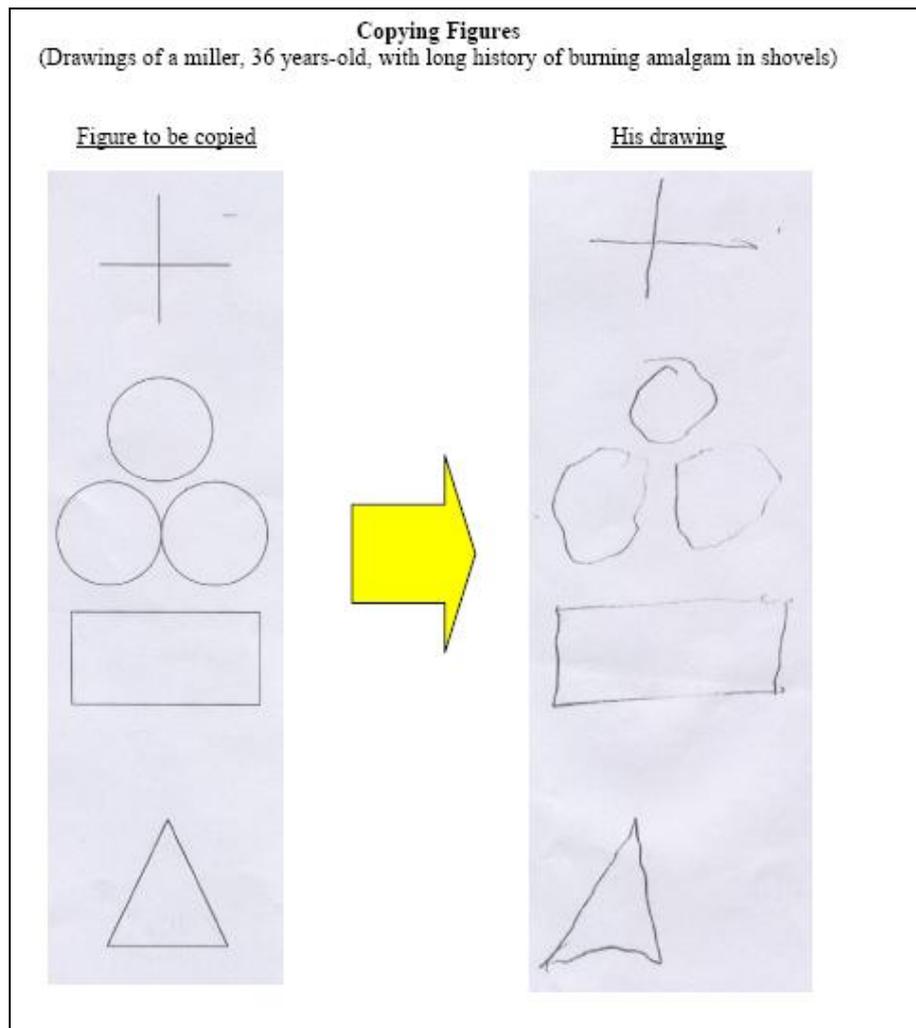


Figura 1.4. Resultado de una prueba de motricidad en un molinero.  
Fuente: UNIDO (2004).

Las anteriores palabras dan cuenta de una paradoja social. Ciudad Guayana, rodeada de grandes ríos es una de las ciudades en donde –según lo afirma su alcalde- sus habitantes no tienen a su entera disposición el agua potable para su consumo cotidiano. En este momento puedo afirmar con entera responsabilidad, siendo un habitante con más de veinte años en la ciudad, que la situación no ha cambiado. Elena Gómez (2006) afirma que la organización comunitaria *Barrios por su dignidad* realizó una marcha de 12 Km en protesta pacífica para pedir la solución del problema del agua, que “es muy grave en nuestra ciudad”.

Veamos en resumen la situación, se comenta del deterioro ambiental causado por la minería, además del demostrado daño por la contaminación mercurial, la explotación inmisericorde de los bosques, la situación de sed de los habitantes y el problema de los

desechos. Hay un panorama que se irá dilucidando en la medida en que vayamos afinando las herramientas teórico-metodológicas y estudiando los casos específicos en las cuencas de la Guayana Venezolana.

### **1.8 La cuenca como sistema u objeto de estudio**

Empecemos por la siguiente cuestión ¿por qué analizar una cuenca? O dicho de otra manera, ¿Por qué escogemos la cuenca como sistema socio-ecológico para su estudio? Muchos autores comentan que las cuencas pueden ser consideradas como unidades de análisis y gestión, esto lo confirmaron los asistentes del Simposio Prairie de Políticas del agua celebrado en Winnipeg y auspiciado por el Instituto Internacional de Desarrollo Sostenible (IISD, 2005). De la página web de la mencionada institución podemos extraer el siguiente comentario:

*Las cuencas hidrográficas proporcionan una perspectiva basada en espacio físico con el problema de poseer autoridades y objetivos superpuestos, múltiples actores y una competencia por los recursos naturales, y, sin embargo, paradójicamente, lo anterior sirve como elemento unificador y organizador. El éxito o el fracaso de la adaptación a múltiples fuerzas globales y locales de cambio, en gran medida, dependen de que los marcos institucionales puedan hacer frente a la complejidad que se deriva de las interacciones entre los ecosistemas y los seres humanos.*

En este sentido las cuencas de la región Guayana son las unidades de observación, ya que estas proveen los elementos relevantes para el estudio sobre la sostenibilidad. Además, desde la perspectiva sistémica una cuenca delimita geográfica y espacialmente el territorio, esto incluye las presiones que se ejercen desde el entorno geográfico, socio-económico y político, así como también las luchas por los recursos que se dan en ese espacio de encuentro social. En Paolini (2008), se definió cuenca como

*El lugar geográfico que recoge las precipitaciones y escorrentía de un cuerpo de agua, dicho espacio está conformado por los ecosistemas terrestres y acuáticos que dan sustento a las comunidades socio-culturales establecidas históricamente en esas tierras.*

Tal definición, hace énfasis en los cuerpos de agua y los ecosistemas que están en el área de drenaje de la cuenca, asignándole especial atención a las comunidades establecidas ancestral e históricamente en esos territorios. Para nuestro trabajo las

cuenca de la Guayana Venezolana son los sistemas socio-ecológicos objetos de estudio de la sostenibilidad. Entendemos que un sistema socio-ecológico es un sistema conformado por sub-sistemas de recursos, unidades de recursos, usuarios que habitan en un espacio geográfico dado y con un sistema de gobernanza, todo ello interactuando en una red de relaciones complejas (Ostrom, 2009).

Las comunidades originarias de Venezuela son por derecho constitucional las propietarias –en comunidad- de las tierras que ocupan ancestralmente, como lo recoge la vigente Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (RBV, 1998). En este sentido, la situación de la propiedad de las tierras que ocupan y han ocupado desde tiempos antiguos los pueblos indígenas es una cuestión que debemos abordar bajo un marco para la sostenibilidad de estos sistemas socio-ecológicos. Como lo señala Mansutti (2004), todas las poblaciones indígenas del estado Bolívar dependen de los bosques para su subsistencia, desde aquellas que viven en las sabanas de la región hasta los que se alojan dentro de las montañas y van sembrando utilizando el sistema de *conuco* (siembras pequeñas en sitios adyacentes a sus lugares de habitación). De tal manera que nuestro interés en una cuenca, considerándola como un sistema socio-ecológico y unidad de análisis-observación tiene una significación conceptual y fáctica para su abordaje como sistema a modelizar en términos de la sostenibilidad.

### **1.9 La representación de la sostenibilidad**

La complejidad de los estudios de sostenibilidad hace que necesitemos herramientas y métodos que se desplacen entre las disciplinas para obtener visiones integradas sobre los sistemas bajo observación y estudio (Tappeiner et al., 2007). La ciencia de la sostenibilidad requiere del diseño de herramientas para la modelación que ofrezcan una integración disciplinar y permitan relacionar conceptos en un marco coherente. Representar la sostenibilidad significa diseñar constructos que permitan incluir los elementos relevantes que conforman un sistema socio-ecológico con el fin de determinar relaciones entre esos elementos y así obtener cantidades y atributos que caractericen el estado y la situación de las interacciones socio-ecológicas en cuestión. La representación usual de la sostenibilidad se basa en tres factores, dimensiones o pilares: lo ambiental, lo social y lo económico (Jiménez-Herrero, 2000; UICN, 2006;

Martínez-Huerta, 2010). Dentro de la sostenibilidad, la dimensión ambiental se refiere a la finitud de los recursos naturales, la fragilidad de los ecosistemas y el entorno biofísico en general. La dimensión social trata de las formas de organización social y de gobernanza de la gente, de los impactos antrópicos sobre la naturaleza y los modos de relación con el entorno. Finalmente el pilar económico se relaciona con el consumo de la sociedad, el reparto de los bienes, los modos de producción, etc. Sin embargo, esta propuesta establece que se puede representar la sostenibilidad de un sistema observado a partir de las diversas disciplinas que tratan y se relacionan con el sistema socio-ecológico estudiado. Desde el conocimiento que aportan las disciplinas y utilizando los conceptos que describen y definen los distintos modos de acoplamiento entre la naturaleza y la sociedad, podemos derivar observables que den cuenta del estado de la relación dentro del sistema socio-ecológico. Adicionalmente, es muy importante conocer la condición del sistema ecológico y de los sistemas socio-culturales que conforman el sistema que se considera con el fin de incluir en la representación los factores esenciales que soportan el sistema socio-ecológico (NRC, 1999).

Una representación es una abstracción de la realidad, por ejemplo, un modelo de un sistema socio-ecológico que se estudia con algún propósito y que está basado en algunos formalismos que una comunidad científica considera ‘válidos’ para el diseño de representaciones, a saber: conceptos, hipótesis, observables, etc. Baumgärtner et al. (2008) proponen para la investigación de la sostenibilidad incorporar tres niveles de análisis: conceptos, modelos y casos de estudio. Ostrom (2009) propone un marco común donde se incluyan modelos y teorías usados por diferentes disciplinas con el fin de utilizar los esfuerzos disciplinares en la comprensión de la complejidad que subyace en los sistemas socio-ecológicos, así mismo, asevera que se requiere considerar las relaciones entre los sistemas de recursos, los usuarios y los modos de gobernanza del sistema socio-ecológico. Estas relaciones generan las variables pertinentes que se han de observar para hacer consideraciones sobre la sostenibilidad. Gallopín (2003, 2006) considera que se deben observar los atributos que subyacen en la sostenibilidad como la disponibilidad de recursos, la capacidad de respuesta, la vulnerabilidad, la fragilidad, la resiliencia, la auto-dependencia, etc.

Como se dijo anteriormente, la representación que se propone para la sostenibilidad está constituida por una red de conceptos que se derivan de las disciplinas relacionadas con el sistema observado, de una o más hipótesis sobre el estado de los sistemas en cuestión y de un conjunto de observables que permiten determinar cantidades y/o cualidades sobre los fenómenos observados. La representación está conformada por una red de relaciones que integre las disciplinas, los conceptos e hipótesis y los observables en un constructo que incluya los elementos para modelar la sostenibilidad.

Las disciplinas que nos aportan conceptos para considerar las relaciones entre ambiente y sociedad en una cuenca son: la ecología, la sociología, la antropología social, la demografía, la hidrología y la economía ecológica entre otras. Además de las disciplinas clásicas y convencionales, tenemos las disciplinas emergentes o ‘híbridas’ que resultan de las investigaciones interdisciplinarias y que tratan de crear algo distinto a la suma de sus partes y que son pertinentes en el campo que se está desarrollando, entre las llamadas disciplinas híbridas se pueden considerar la ecología humana, la sociología ambiental y la ecología del paisaje (Castellano, 2006). Para la comprensión de la sostenibilidad son necesarias la demografía, la economía, la ecología, la epidemiología, la salud de los Ecosistemas (EcoHealth) así se tiene un panorama del tamaño de las poblaciones, del flujo de las relaciones económicas, del impacto de la sociedad sobre los ecosistemas y de las consecuencias de esos impactos en el medio ambiente para la salud. Sin embargo, la consideración sobre las cuestiones de la sostenibilidad no se debe limitar a esas cuatro disciplinas, sino que se debe incluir la participación de otras ciencias sociales y naturales con una visión interdisciplinaria (McMichael et al., 2003). En esta investigación la antropología, la sociología ambiental y la ecología juegan un papel fundamental dado que con la ayuda de estas disciplinas se han venido estudiando y configurando las visiones y percepciones que se tiene de la Guayana Venezolana y sus pobladores. Con las diversas disciplinas y sus inter-relaciones se configura un conjunto de conceptos, categorías y observables que permitirán determinar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico.

## Capítulo II

### El estado del Arte (Marco Teórico-Conceptual)

Este capítulo se presenta en tres secciones, la primera trata de algunas disciplinas relevantes para el tratamiento de la red conceptual, luego se aborda la temática de la sostenibilidad y finalmente se desarrollan algunas ideas sobre la modelización y los métodos multivariados. Los métodos cuantitativos nos permitirán relacionar variables relevantes en la modelización de la sostenibilidad. Se presenta una síntesis de las ideas que subyacen en las disciplinas y los enfoques, en lo posible se recurren a las fuentes originales siguiendo el consejo del profesor Dr. Miquel Barceló.

#### 2.1 Disciplinas y enfoques para los modelos conceptuales

##### 2.1.1 Complejidad y sistemas complejos

*La complejidad se presenta con los rasgos inquietantes de lo enredado, de lo inextricable, del desorden, la ambigüedad, la incertidumbre, la no-linealidad...*

*Edgar Morin (2004)*

La complejidad como paradigma conceptual, más que como una cuestión de disciplina novedosa, la consideraremos como una parte de la metodología que permita tratar la situación que abordaremos en este trabajo. La complejidad desde la perspectiva epistemológica brinda un marco para concebir los modos en que se puede enfrentar y tratar la problemática socio-ecológica de las cuencas hidrográficas de la Guayana Venezolana, en este sentido Rolando García (2006) hace el siguiente planteamiento:

*Las situaciones en las cuales se puede aplicar la expresión “problemas ambientales”, tales como las condiciones insalubres de vida en grandes centros urbanos, o el deterioro del medio físico y de las condiciones de vida en extensas regiones, no pueden ser estudiadas por simple adición de investigaciones disciplinarias. Se trata de problemáticas complejas donde están involucrados el medio físico-biológico, la producción, la tecnología, la organización social, la economía. Tales situaciones se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada, a la cual hemos denominado sistema complejo.*

Los sistemas complejos los podemos definir como “grandes redes de componentes que no poseen un control central, poseen un comportamiento colectivo complejo, un procesamiento de información sofisticado y mantienen procesos de adaptación realizados por evolución o aprendizaje” (Mitchel, 2009).

Acerca del concepto de complejidad o de una definición de complejidad podemos decir que autores como Mitchel (2009), Funtowicz y Ravetz (1994) y Simon (1962) afirman que no hay una visión única respecto de este concepto, lo que existe son distintas nociones y concepciones de lo que se puede comprender por complejidad. En este sentido Suppes (1976) enfatiza que existe una pluralidad de diferentes conceptos que se pueden encontrar sobre la Complejidad y que tal vez se está lejos de tener una teoría unificada. En nuestro trabajo tomamos la opción de complejidad que sostienen Morin (2005) y García (2006), que en nuestro criterio es la más adecuada para el desarrollo del constructo que se desarrolla en esta investigación. Las ideas de complejidad de estos autores mencionados las desarrollaremos más adelante.

Se puede establecer a la Complejidad o al Pensamiento Complejo como una posición epistemológica que permitirá construir la comprensión de la situación que se estudiará. La integración, inter-relación y articulación de trabajos disciplinarios desde la perspectiva de las especializaciones, las disciplinas híbridas y los conceptos interdisciplinarios brinda la profundidad y amplitud -level y scope en el vocabulario anglosajón de los simulacionistas- que se requiere para construir modelos que brinden la cuantificación y evaluación de la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos. Esto no es sencillo, puesto que se hace necesario “enfrentar lo entramado (el juego infinito de inter-retroacciones), la solidaridad de los fenómenos entre sí, la bruma, la incertidumbre, la contradicción” (Morin, 2004). Ahora bien, se trata de seleccionar los aspectos significativos y tener en cuenta aquellos fenómenos que en apariencia no lo son, dado que el plexo de relaciones que se establece entre hechos sociales y fenómenos naturales entraña el núcleo de lo que se quiere capturar y modelizar.

La complejidad es un marco epistemológico que subyace en la concepción de las cosas como sistemas. En primera instancia suscribimos que las cosas son sistemas (posición

ontológica) y que para estudiarlos y comprenderlos (posición epistemológica) hemos de adoptar la complejidad como paradigma. Se establece así una dicotomía entre sistemas y complejidad, entendiendo que esta dicotomía es no excluyente ni cerrada. Podemos establecer y aceptar que todas las cosas son sistemas o una parte de un sistema (Bunge, 2004) y por otro lado asumiremos que la relación entre los sistemas de actividades humanas y los ecosistemas la podemos enfocar a partir de la adopción del pensamiento complejo. Entre los componentes de los sistemas naturales y la emergencia-sistémica que se desprenden de una actividad socio-cultural existe una imbricación que es posible comprenderla a partir del enfoque de la sistémica y de la complejidad.

¿Cómo estudiar los sistemas socio-ecológicos a partir del pensamiento complejo?

Morin (2005) y García (2006) proponen la definibilidad del sistema y la consideración interdisciplinar de los aspectos relevantes desde los objetivos de la propia investigación. Estas consideraciones interdisciplinares proveerán las distintas y diversas perspectivas que brinda el fenómeno para su tratamiento. En este orden de ideas, Antequera (2007) establece un puente entre complejidad y sostenibilidad, relacionando la complejidad de las actividades humanas con planteamientos para un mundo sostenible. Adicionalmente, estudia escenarios evolutivos para una propuesta global. Una vez se hayan captado e integrado esas visiones (*Weltanschauung*) de la situación bajo observación y estudio, se parte hacia la modelización del sistema en cuestión. En el libro *Ideas sobre la Complejidad del Mundo*, Wagensberg (2007) le dedica un espacio a la simulación de la complejidad, establece que la simulación es una manera alternativa al enfoque clásico de la ciencia para aproximarse a la realidad y para manejar las dificultades del entramado de interacciones que se dan en los sistemas. Así mismo, sostiene que la simulación es una nueva vía de hacer ciencia como alternativa al modo de hacerlo por la vía teórica y la vía experimental. Se entiende por simulación el diseño de un modelo computarizado para representar un sistema, esta representación tiene por objeto la conducción de experimentos (evaluación de escenarios) para comprender lo que puede acontecer en el sistema cuando un conjunto de observables varía en el tiempo.

El planteamiento epistemológico que subyace en esta afirmación apunta a que algunas de las nuevas teorías que están surgiendo en la actualidad, están fundamentadas en la construcción de modelos más que en sistemas axiomáticos y diseños experimentales.

Entonces se puede entender que entre las herramientas que hemos de utilizar para enfrentar la complejidad de los sistemas en general y en nuestro caso particular los sistemas socio-ecológicos, están la modelización y la simulación de sistemas.

¿Qué principios debemos considerar en las representaciones de los sistemas complejos?

En la consideración de los elementos que deben ser incluidos en una representación se han de escoger aquellos que sean relevantes y que muestren las relaciones más significativas con el problema. Incluir aquellos observables derivados de los conceptos que signifiquen una perturbación a la sostenibilidad del sistema socio-ecológico. Cuando evocamos el concepto de servicio ecosistémico y estamos frente a un ecosistema afectado por elementos contaminantes, debemos incluir en la representación observables que den cuenta de las actividades que provocan la perturbación al ecosistema y detectar los servicios ecosistémicos afectados por la contaminación. Así estableceremos una red de relaciones en la cual se consideran las variables relevantes que afectan la sostenibilidad del sistema socio-ecológico considerado. Se trata entonces de integrar los elementos y relacionarlos para obtener una visión sistémica de los fenómenos. Otro de los principios que hemos de incorporar al acervo epistemológico es el de interdefinibilidad, es decir, el modo de explicar y comprender hechos y fenómenos entre sí a partir de sus interrelaciones y de conjuntos de variables compartidas. La interdefinibilidad no se refiere a la adición de elementos aislados sino a la consideración e integración de las variables esenciales que conforman ‘lo pertinente’ de la situación o fenómeno observado.

### **2.1.2 El Enfoque Ecosistémico**

*Se intenta analizar formas de manejo que logren integrar los aspectos humanos y biológicos de los ecosistemas.*

*Gill Shepherd (2008).*

El Enfoque Ecosistémico (EE) es un enfoque de sistemas aplicado y dirigido a la comprensión de la inserción de todos (incluyéndonos los humanos) como una parte de un sistema, por tanto, nos obliga a percibirnos y a actuar responsablemente dentro del

entorno donde pertenezcamos. El EE fue tomado como marco base para el análisis e instrumentación del Convenio sobre diversidad biológica realizado en el ámbito de la “Cumbre de la Tierra” celebrada en Rio de Janeiro en 1992 (Kramer, 2003; CE, 2008).

Este enfoque promueve la conservación y el uso sostenible de la naturaleza haciendo uso del razonamiento ecológico basado en los conceptos y nociones de la Teoría de Sistemas Vivos (Sheperd, 2004). Hernández (2005) dice que “la mayor innovación y aporte de este nuevo enfoque consiste en: I) la integración de la conservación, la producción, la ocupación del territorio y la gestión cooperativa y II) el reconocimiento y promoción del enorme valor que tienen los servicios ecosistémicos para la humanidad y la naturaleza”. En la tabla 2.1 podemos ver los principios del EE organizados para su implantación por la CEM (*Comission on Ecosystem Management* de la IUCN).

Tabla 2.1. Principios del Enfoque Eco-sistémico (EE), agrupados en cinco pasos por IUCN.

Paso A. Interesados clave ( <i>stakeholders</i> ) y área		
Interesados	Principio 1  Principio 12	Los objetivos de la administración de la tierra, el agua y los recursos de vivienda son importantes en la elección social. El EE debe involucrar todos los sectores relevantes de la sociedad y las disciplinas científicas.
Área de análisis	Principio 7  Principio 11  Principio 12	El EE debe ser asumido en una escala espacial apropiada. El EE debe considerar toda la información relevante. El EE debe involucrar todos los sectores relevantes de la sociedad y las disciplinas científicas.
Paso B. Estructura Eco-sistémica, función y administración		
Estructura eco-sistémica y función	Principio 5  Principio 6  Principio 10	Debe ser una prioridad la conservación de la estructura del ecosistema y su función, para mantener los servicios eco-sistémicos. El ecosistema tiene que estar dirigido/manejado dentro de los límites de su funcionamiento. El EE debe buscar el balance apropiado entre la integración de la conservación y el uso de la diversidad

		biológica.
Administración eco-sistémica	Principio 2	La administración debe ser descentralizada lentamente a un nivel apropiado.
Paso C. Temas económicos		
	Principio 4	Es usualmente una necesidad para ser entendida y dirigida del ecosistema en un contexto económico a: i) reducir las distorsiones del mercado que afectan la diversidad biológica; ii) alinear los estímulos que ascienden en la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible; e iii) internacionalizar costos y beneficios del ecosistema dado.
Paso D. Administración adaptativa sobre el espacio		
	Principio 3  Principio 7	Los ‘gerentes’ del ecosistema deberían considerar los efectos de sus actividades sobre los ecosistemas y otros ecosistemas adyacentes. El EE debe ser asumido en una escala espacial apropiada.
Paso E. Administración adaptativa sobre el tiempo.		
	Principio 7  Principio 8  Principio 9	El EE debería ser asumida en una escala temporal apropiada. Reconocer variación temporal de escalas y efectos del intervalo que caracterizan el proceso eco-sistémico. Los objetivos de la administración eco-sistémica deberían lograrse en una serie de largos periodos. La administración tiene que ser reconocida de un cambio inevitable.

Fuente: Sheperd (2008).

Se puede notar –de acuerdo a los principios- que el enfoque ecosistémico está fundamentado en la ecología y en la convicción de que las decisiones deben ser realizadas de acuerdo a los procesos ecológicos, la biodiversidad y los usos sostenibles de los recursos naturales. Por eso es que Rice (2008) afirma que “el enfoque

ecosistémico es frecuentemente caracterizado por los interesados y algunos gerentes como un enfoque muy complejo de llevar a cabo en el mundo real, ya que cada acción gerencial requiere un gran número de decisiones conjuntas y cada decisión requiere un largo cuerpo de información que la hace prohibitiva”. Si bien es cierto que el propósito de nuestra investigación no se orienta a la gestión de sistemas socio-ecológicos, el EE representa para este trabajo un modo de concebir los sistemas socio-ecológicos de un modo holístico e integral, teniendo en cuenta las disciplinas que integran, conforman y analizan la realidad observada. El enfoque ecosistémico es un marco conceptual que comprende el ambiente natural, la población y sus actividades socio-económicas, el uso de los recursos, los futuros posibles y las restricciones ambientales y climáticas (Hannoura, 2006). En este sentido el EE es una guía que hemos considerado útil y efectiva en el momento de observar y diseñar los modelos de las cuencas hidrográficas como sistemas de interacción socio-ecológicos.

### **2.1.3 Biocomplejidad**

*“... [Los] acoplamientos de los sistemas humanos y los sistemas naturales se reconocen actualmente como una forma de biocomplejidad... y [se] percibe la respuesta de los efectos de estas acciones en forma de cambios de hábitat ecológicos y dinámica hidrológica”.*

*Miguel Acevedo et al. (2007)*

La Biocomplejidad es una disciplina relativamente nueva, se entiende como el campo de estudio que se focaliza en las interacciones entre sistemas humanos y la naturaleza, de sus consecuencias y las alteraciones o modificaciones en los espacios de interacción en una escala temporal. Surge del interés de observar, cuantificar y conceptualizar las interacciones biológicas, ambientales, sociales, químicas, físicas y conductuales que afectan, mantienen o que modifican la vida de los individuos (incluyendo los seres humanos) y de sus hábitats (ESA, 2002). Así como sucede con otros términos, los estudios sobre interacciones hombre ambiente se han hecho desde tiempos anteriores a la existencia de la noción actual de biocomplejidad, esta idea fue utilizada para caracterizar entre otros fenómenos, los múltiples niveles de organización biológica y el carácter no-lineal de los acoplamientos entre sistemas humanos y naturales (Callicot et al., 2007). El sentido del acoplamiento entre sistemas sociales y los ecosistemas se

entiende actualmente como agrupamiento, acomodo y ajuste de los sistemas socio-ecológicos. Este acoplamiento entre sistemas, se ‘convierte’ en un sistema de interacciones que genera una propiedad emergente. Michener (2001) sostiene que la Biocomplejidad es precisamente ese conjunto de propiedades que emergen del acoplamiento producto de la interacción entre humanos y el ambiente. Bonn (2001) establece que estos comportamientos emergentes surgen de la ‘conducta’ que manifiestan los sistemas cuando se consideran como totalidades. En la Guayana Venezolana se han hecho estudios sobre este tipo de interacciones socio-ecológicas utilizando el enfoque de la Biocomplejidad, se hace énfasis en las modificaciones del paisaje y del bosque, observando “la respuesta de los efectos de estas acciones en forma de cambios de hábitat ecológicos y dinámica hidrológica” (Acevedo et al., 2007).

Entre las características que considera la Biocomplejidad para los sistemas son: los comportamientos no-lineales que incluye los aspectos caóticos, las interacciones con sus múltiples escalas espacio temporales. Los sistemas se estudiarán como *todos* más que como partes y los estudios deben integrar todos los organismos desde los microbios hasta el ser humano (ESA, 2002). Son muchos los autores que destacan el carácter multidisciplinario de la Biocomplejidad para descifrar el intrincado balance y las interacciones humanas con la complejidad de los ecosistemas (Colwell, 2001; Michener, 2001; Bonn, 2001).

Callicot (2007) establece la *conectividad* como uno de los factores más relevantes de la biocomplejidad, establece que existen conexiones materiales y espirituales, encontró nodos de conectividad en los casos de estudios observados y comenta que estos nodos de conectividad son importantes para establecer elementos futuros de conservación de la biodiversidad. Los pueblos indígenas de la Guayana Venezolana, viven en estrecha interacción con la naturaleza, además de una relación de dependencia con el medio ambiente en términos materiales, tienen “una relación respetuosa hacia él, dada por la visión de la naturaleza como un ente activo que si no es utilizada con respeto, se vengará sobre quienes hayan abusado de ella” (Silva, 2006). Esta conectividad material y espiritual nos direcciona en la búsqueda de elementos conceptuales para abordar la modelación de la sostenibilidad en estos sistemas de interacción socio-ecológicos. Es decir, poder construir conceptos que podamos investigar sobre el campo o en el caso de

estudio, utilizando a la Biocomplejidad como disciplina que se relaciona con la sostenibilidad de estos sistemas. 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 y al mismo momento considera las necesidades humanas.

La modelización para representar la dinámica de las complejas relaciones entre los sistemas humanos y el ambiente, permite anticiparse a los efectos de los acoplamientos socio-ecológicos sobre la biodiversidad. Evaluando escenarios posibles y probables, la simulación de estos acoplamientos permite anticiparse a los resultados de las interacciones (Callicot, 2007). En Acevedo (2007) se muestran cuatro casos en manejo y usos de la tierra, modelizando a los grupos de presión y a los decisores políticos, todos actuando sobre las transformaciones que le ocasionan al paisaje como espacio afectado.

#### **2.1.4 Salud de los Ecosistemas (*EcoHealth*)**

*La salud puede ser vista como un criterio global para juzgar la sostenibilidad humana*

*Wilcox B. (2004)*

*Debemos hacer frente a esfuerzos coordinados para modificar las conductas humanas con el fin de reducir los impactos acumulativos sobre los ecosistemas del planeta Tierra. Rapport (2007)*

La Salud de los Ecosistemas (*EcoHealth*) se define como la disciplina que estudia las circunstancias que posibilitan a los ecosistemas proveer el sustento y ofrecer las condiciones que favorezcan el bienestar a los sistemas socio-culturales, desde el punto de vista social posibilitar la preservación de tales ecosistemas para lograr su viabilidad. La Salud de los Ecosistemas procura una comprensión integrada entre los determinantes socio-económicos, ecológicos y bio-físicos asociados con la salud, tanto de los ecosistemas como de los seres humanos, plantas y animales.

La sostenibilidad de los ecosistemas debe ir de la mano con la salud de éstos, para que sea posible la sostenibilidad, la salud de los ecosistemas debe servir como una norma de conservación, por ello se debe enlazar a la sostenibilidad, la noción de salud de los

ecosistemas (Callicot, 1997). Riechman (2006) afirma que “un sistema económico es ecológicamente sostenible sólo en tanto el empleo del recurso para generar bienestar se limita de forma permanente a un tamaño y a una calidad que no sobre-explota las fuentes, ni sobrecarga los sumideros, que proporciona la ecósfera”. La pérdida de biodiversidad en todo el planeta afecta el bienestar de animales y humanos, la destrucción de hábitats para grandes obras de ingeniería (autopistas, casinos, desarrollos inmobiliarios) ha producido la fragmentación de espacios que se consideraban moradas prístinas para especies de plantas y animales. Los paisajes como espacios de interacción han sido modificados y como parte de esa destrucción han aparecido brotes de enfermedades en los humanos y en especies no humanas (Wilcox et al., 2004). La fragmentación de los ecosistemas ocasiona limitaciones en el acoplamiento entre plantas y los agentes polinizadores, disminuye la producción del polen y en consecuencia existen bajas considerables en la producción de las semillas de las especies (Gonzales et al., 2009).

Estas alteraciones han ocasionado ‘patologías’ en los ecosistemas, una de estas patologías se ha denominado Síndrome de Distres de los Ecosistemas (SDE). El SDE es la respuesta de los ecosistemas a las fuentes de perturbación antropogénicas, se empieza a observar cuando se va perdiendo la biodiversidad, se reduce la vitalidad de los ecosistemas (pérdida de productividad), ocurre una disminución sistemática de los nutrientes y un desplazamiento hacia formas de vida cada vez de menor tamaño (Rapport, 2007).

La cura para el SDE se ha definido como ‘Medicina de la Conservación’ y consiste en hacer esfuerzos mancomunados para la preservación de la biodiversidad en todas sus dimensiones y evitar la fragmentación de los ecosistemas, así como también evitar la contaminación de los ecosistemas con sustancias patógenas o *biocidas*, que es como las denomina Rachel Carson ([1960], 2001). ¿Quién haría el trabajo de la *medicina de la conservación*? Esta medicina sería practicada y desarrollada transdisciplinariamente a través de la participación de ecólogos, médicos veterinarios, biólogos, epidemiólogos, médicos y especialistas en salud pública, entre otros (EcoHealth, 2004). Es una constante lo que se observa en ciencias ambientales: la participación de muchas disciplinas dentro de un contexto amplio y complejo. En este sentido los ejes de los

estudios de *EcoHealth* se direccionan como estudios transdisciplinarios, participativos y con equidad de género (Lebel, 2004).

Los indicadores para determinar la salud de los ecosistemas tienen que incluir los aspectos eco-biológicos y los aspectos sociales, así como lo referente a la salud pública, prácticas culturales, formas de vida sostenible y gobernanza de los espacios de interacción socio-ecológicos (Rapport, 2007). En este sentido, determinar métricas para la salud ambiental debería incluir aspectos relacionados con los factores bio-sico-sociales, además de los factores bio-físicos y los factores eminentemente físicos.

En un estudio realizado para determinar la relación entre la intervención ambiental en una región minera y las respuestas de las personas que vivían cerca de una mina, se determinó que existe una fuerte correlación entre los daños ocasionados al ambiente y el sentimiento de pérdida de solacidad (*solastalgia*). Se encontró en las poblaciones observadas una relación entre el aumento de solastalgia y la aparición de alergias y enfermedades respiratorias. Se consideraron para este trabajo seis factores: frecuencia de riesgos, observación y percepción del impacto ambiental, impacto emocional, sentimiento de solastalgia y acciones ambientales (Higginbotham et al., 2007).

Determinar modelos que relacionen la salud física y emocional de las personas con el daño ambiental requiere de observables y de procesos de modelización, así como de un marco que viabilice tal modelización en términos de la sostenibilidad. La salud ambiental (*EcoHealth*) como disciplina, abre un marco de referencia que aporta conceptos con los que podemos trabajar métricas para cuantificar la Sostenibilidad. En el trabajo Higginbotham et al (op. cit.) se validó la noción de *solastalgia* dentro de una *escala distres ambiental* (EDS *Environment Distress Scale*) para evaluar relaciones entre la degradación de sistemas socio-ecológicos y la respuesta emocional.

### **2.1.5 Ecología del Paisaje**

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 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 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, op. cit.).

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 conservar 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, así como también las áreas degradadas por los incendios no controlados de vegetación ocasionados por la práctica de cultivo denominada *conuco*. 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 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, 2009). 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.

Naveh (2007) afirma que en la consideración de la sostenibilidad, el paisaje se tiene como el concepto más apropiado e integrador. Para cuantificar la sostenibilidad y sus relaciones con los elementos del paisaje debemos incorporar el diseño de más de un “elemento cuantitativo o cualitativo que permite conocer y seguir la evolución y el estado de los paisajes, la satisfacción de la población con su paisaje, así como la efectividad de las iniciativas públicas y privadas en su mejora” (OPC, 2009).

### **2.1.6 Modelos Hidrológicos**

Las cuencas son espacios geográficos que pueden ser consideradas como unidades de gestión del territorio. Además del interés en el recurso agua que tiene una cuenca hidrográfica, es el lugar donde podemos observar interacciones entre el ser humano y la naturaleza. En términos socio-ecológicos, a las cuencas las podemos considerar como un sistema complejo de interés para la determinación de su sostenibilidad y construir modelos con ese propósito.

Los modelos de simulación para hidrología y calidad de agua son herramientas muy importantes para la gestión de las cuencas en términos operacionales y con fines de investigación. Los modelos son herramientas útiles para describir y predecir los impactos sobre los cuerpos de agua debido al uso y manejo de la tierra. Describiremos a continuación algunos modelos hidrológicos que se utilizan actualmente.

El modelo MATSALU fue desarrollado por Valentina Krysanova a finales de la década de los ochenta, para evaluar diferentes escenarios de gestión y control de la eutrofización de la Bahía Matsalu (Estonia) en el mar Báltico. El modelo consiste en cuatro sub-modelos acoplados que simulan la hidrología de la cuenca, la geoquímica, el transporte de nutrientes y el ecosistema de la bahía. Se basa en tres tipos de mapas que se superponen, el mapa de la cuenca, el mapa de suelos y el mapa de uso de la tierra, de allí se obtienen las unidades de observación llamadas áreas elementales de contaminación (*EAP Elementary Areas of Pollution*), estas unidades permiten dividir el espacio geográfico para tratarlas como áreas homogéneas en el modelo (Krysanova, 1998).

El modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) fue diseñado para predecir el impacto de las prácticas de manejo de la tierra sobre los sistemas fluviales en cuencas complejas con diferentes tipos de suelo y diversos usos de la tierra durante largos períodos de tiempo. Se opera con datos recogidos diariamente y se utiliza en cuencas hidrográficas de gran tamaño (William y Arnold, 1997). El modelo incluye el tiempo atmosférico, hidrología, la temperatura del suelo, el crecimiento de las plantas, los nutrientes, uso de pesticidas y las gestión de la tierra (Eckhardt y Arnold, 2001). Este modelo tiene como finalidad introducir usos sostenibles del suelo, en este sentido los modelos hidrológicos de simulación pueden ser una herramienta muy útil para evaluar las consecuencias del cambio en los usos de la tierra sobre el agua y el balance de los nutrientes (Lenhart, 2003). El cambio de uso de la tierra no solo afecta los procesos hidrológicos, por ejemplo, la minería de aluvión afecta la estructura del suelo, remueve las capas de suelo produciendo una destrucción del paisaje y de los ecosistemas que sólo podría recuperarse con el paso de algunas décadas.

El modelo eco-hidrológico SWIM (Soil and Water Integrated Model) es un modelo determinístico continuo basado en procesos, que se utiliza para la simulación de flujos de agua y nutrientes en suelo y vegetación, así como también el transporte de agua y nutrientes a lo largo de un río (Krysanova 1998; Hesse et al., 2008). SWIM está basado en dos modelos desarrollados previamente, SWAT y MATSALU (Krysanova, 1998). El modelo distribuido SWIM ha sido escogido como una herramienta de simulación, ya que incluye un modelo espacialmente distribuido que integra hidrología, tierras cultivadas, nutrientes (nitrógeno N y fósforo P) y transporte de sedimentos en la cuenca considerada. El modelo simula todos los procesos tomando como unidad de tiempo el día (Krysanova y Haberlandt, 2002). SWIM ha sido validado y se han verificado resultados en hidrología, crecimiento de vegetación, dinámica de erosión y de nitrógeno en cuencas hidrológicas de acuerdo a los enfoques multi-escala, multi-sitio y multi-criterio (Post et al., 2007).

El modelo RIVERSTRAHLER fue desarrollado por Gilles Billen y Josette Garnier (1994) para predecir el desarrollo de las algas relacionado con el uso de la tierra en el río Sena y sus tributarios. El modelo está basado en el concepto de orden de la corriente introducido por el geógrafo Strahler en el año 1957. El interés de la idea de Strahler es dejar claro la relación existente entre el área de drenaje y el conjunto de características morfológicas del área de la cuenca considerada, la longitud del río tributario, la anchura, la pendiente y el número total de ríos tributarios (Billen y Garnier, 1994). El concepto de orden provee una descripción generalizada de la red de ríos que drenan la cuenca. El modelo se diseñó considerando las restricciones que impone el orden del flujo de la corriente. Se acopla al modelo hidrológico un modelo de la dinámica microbiológica del fitoplancton y otros componentes biológicos del ecosistema fluvial. Este modelo fue descrito y validado en los ríos Oise y Marne, que son los dos mayores tributarios del río Sena. Su flexibilidad y potencial permite que pueda ser adaptado a otros sistemas fluviales y puede destacarse entre sus características más relevantes el control del fitoplancton en ecosistemas lóticos o de agua corriente (Billen y Garnier, 2000).

Hemos observado que a través de los modelos se evidencian en el tiempo los cambios en uso del suelo, el uso de biocidas, variaciones en el drenaje, la dependencia de los flujos con el ciclo del agua, etc. Una de las dificultades que observamos para la

implantación de este tipo de modelos es la cantidad de datos que se requiere para una modelización de este tipo. En la cuenca del río Caroní, que es la cuenca muestreada por excelencia, se registran solamente la pluviometría, los caudales para determinar los flujos de agua que se requiere turbinar para la generación de energía eléctrica y ciertos parámetros de calidad de agua. La inexistencia de un plan de monitoreo sistemático e integral de las cuencas, hace inviable una modelización utilizando este tipo de enfoque. ¿Qué es lo importante en los modelos hidrológicos para nuestra investigación? Lo interesante es poder observar cuales son las variables relevantes en una cuenca y determinar la posible existencia de patrones que marquen tendencias sobre distintos aspectos como uso de suelo, agentes contaminantes, sedimentos, etc.

### **2.1.7 El Enfoque de Cuencas**

El enfoque de cuencas (*River Basin Approach*) se fundamentó en sus comienzos en la idea de concebir las cuencas como ‘unidades naturales’ para el desarrollo y manejo de los recursos acuáticos. Desde los inicios de dicho enfoque se agregaron disciplinas como la hidrología, la geología y la geografía, más adelante se incluyeron la química, las ciencias hidráulicas y la topografía (Molle, 2009). De tal modo que con el enfoque de cuencas se desea tener una visión multidisciplinar e interdisciplinar de las cuencas como sistemas socio-ecológicos. El manejo de la polución de los ríos, el control de las crecidas, la generación de energía hidroeléctrica y la construcción de represas son asuntos que se han tratado bajo este enfoque. Así mismo, el problema de enfriamiento de las plantas term nucleares en América y Europa se ha analizado utilizando el enfoque. La idea de integrar al enfoque de cuencas los usos y funciones del agua lo orienta hacia una visión más holística y comprensiva. El enfoque de cuencas a través del concepto de cuenca, legitima una unidad para el manejo racional de los recursos y para la resolución de los problemas que surgen de esos manejos (Molle, op. cit).

El suministro de agua para los habitantes y para uso industrial, el manejo de los recursos acuáticos y el control del agua para evitar inundaciones son los puntos cruciales (*turning point*) del enfoque de cuencas. Además, se incluyen la generación de energía por medios hidráulicos, los usos acuáticos por los medios de transporte, la irrigación, la

calidad del agua, los niveles de los acuíferos también son asuntos que se consideran cuando se concibe el estudio de las cuencas mediante este enfoque (Wolsink, 2006).

Como resultado de las Primeras Jornadas Venezolanas de Investigación sobre el Río Orinoco, López, Saavedra y Dubois (1998) editaron las memorias de ese encuentro donde se incluyeron el enfoque de cuencas y una gran cantidad de estudios disciplinares sobre la hidrología del Río Orinoco, las vegetaciones inundadas en el margen izquierdo del río, una actualización del inventario de crustáceos decápodos, el análisis de la ocurrencia de crecidas extremas, los cambios morfológicos del río a través del tiempo, los procesos de transporte de sedimentos, entre otros.

Con este tipo de enfoque y haciendo énfasis en el aprovechamiento sustentable del bosque en las cuencas, Hernández y Valero (2005) caracterizaron ecológicamente y determinaron los usos del Bosque Húmedo Tropical, así mismo incluyeron en el estudio la interacción planta-animal, es decir, la frugivoría y la diseminación de semillas en los bosques. Adicionalmente, estudiaron el desarrollo de productos forestales no madereros. Hernández et al. (2005) utilizaron una combinación del enfoque ecosistémico y el enfoque de cuencas para construir una propuesta de manejo de la Reserva Forestal en el Río Caura incluyendo la participación de los miembros de las comunidades nativas de la cuenca.

En el estudio de la Cuenca del Río Botanamo ubicada en la Guayana Venezolana se utiliza el enfoque de cuencas y la biocomplejidad, allí se estudian “las relaciones entre el sistema natural y el sistema social en la cuenca” (Delgado et al., 2008). Se analizan las características físico-ambientales de la cuenca, la cobertura vegetal, los usos de la tierra. Se caracterizan la flora y la fauna, se detectaron algunas especies amenazadas, así mismo, se determinaron bienes y servicios ambientales como los usos no maderables de los árboles, se caracteriza demográficamente la cuenca y se determina la estructura del paisaje (Delgado et al., op. cit.).

Castellanos (2008) utilizando la visión del enfoque de cuencas, hace un análisis de los daños que ocasionan la pérdida de espacios prístinos debido a prácticas agrícolas que degradan y contaminan los suelos y el agua con agroquímicos. Propone el manejo

sostenible del bosque húmedo con el fin de conseguir Bonos Verdes y defiende la condición de pristinidad de la cuenca del Río Caura. En la cuenca de este río y con este enfoque se han realizado estudios sobre las micro-sociedades que habitan en estos lugares, se han hecho catalogaciones de mamíferos y de aves, análisis sobre la utilización de recursos alimentarios naturales, se han detectado y documentado pautas para proteger y fomentar el uso consuetudinario de los recursos biológicos, se han realizado estudios sobre la percepción ambiental de los indígenas nativos, se han analizado las variaciones estacionales de la concentración de mercurio en arboles sumergidos en el río, se realizó una caracterización de los bosques ribereños, se han determinado los aspectos físico-químicos y biológicos de las aguas del río, etc. (Rosales y Huber, 1996; Huber y Rosales, 1997; Vispo & Knab-Vispo; 2003; Colchester et al., 2004).

Es imprescindible el uso del enfoque de cuencas para un estudio de la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico. Sin embargo, Hoekstra (2011) plantea que se requiere ampliar el enfoque de cuencas con una posición que recoja las influencias globales que están ocurriendo sobre las cuencas. Menciona que en la economía global ha aumentado la demanda de agua para beber, una muestra de ello es que las empresas multinacionales del sector agua han incrementado las ventas de agua embotellada para el consumo humano. Ha crecido el número de proyectos de transferencia de agua entre cuencas, así mismo afirma que son inocultables los efectos de los cambios globales del clima sobre las condiciones locales de las cuencas. Esta posición amplía el marco de observación sobre el cual se analiza la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos (Hoekstra, op. cit.).

## **2.2 Sobre la Sostenibilidad y su cuantificación**

*El término y el concepto de “sostenible” aplicado a la actividad tiene su origen en la Alemania del s. XVIII cuando la escasez de recursos (leña para la fundición de la plata) hizo que algunos pensadores plantearan principios de sostenibilidad en la administración forestal. María Novo (2006)*

*El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*

*World Commission on Environment and Development (1987)*

*La palabra inglesa **sustainable** se suele traducir en España mediante el adjetivo 'sostenible' y en América Latina se dice casi siempre 'sustentable'.*

*Ernest García (2004).*

### **2.2.1 Ideas y conceptos sobre Desarrollo Sostenible y Sostenibilidad**

Hay un reconocimiento que establece que los problemas ambientales están asociados al modelo de desarrollo. Los patrones de producción y consumo de una sociedad están estrechamente relacionados con el uso de los recursos y de los servicios ambientales. Las personas necesitan consumir alimentos, agua, aire, se requiere abrigo y protección para vivir, todo ello se obtiene, de una manera u otra, del ambiente. El ciclo de producción y consumo genera desechos que se han acumulado en el ambiente y que pasan a formar parte de lo que se ha denominado impacto ambiental o huella ecológica de una sociedad (Jiménez-Herrero, 2000; Novo, 2006; Granados, 2010). El modo de explotación de la naturaleza para la obtención de materias primas y fuentes de energía no renovables ha alterado y degradado el ambiente debido a la acumulación de los desechos de producción y del consumo. Buena parte de las economías de algunos países dependen de la extracción de minerales y de la sobre-explotación del bosque, los suelos y las aguas. Estos hechos conforman una de las dimensiones de lo que se ha llamado la crisis socio-ambiental.

En esta crisis también se incluye la pobreza y la desnutrición que afecta a cientos de millones de seres humanos, la obsolescencia educativa, el desempleo, la crisis de los sistemas de salud y la pérdida de biodiversidad (Motta, 2000; García, 2006).

Muchos textos e informes sirvieron de plataforma para la toma de conciencia sobre los efectos de las acciones humanas sobre el ambiente. Primavera Silenciosa (*Silent Spring*) de Raquel Carson ([1960], 2008) y Los Límites del Crecimiento (*The Limits to Growth*) el informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad

(Meadows et al., 1972) alentaron la discusión acerca de la crisis socio-ambiental creando matrices de opinión en las comunidades científicas y políticas a lo largo del planeta. El libro de Carson ilustró y alertó con innumerables ejemplos los efectos dañinos causados a la salud humana y al ambiente por diversas sustancias químicas utilizadas como biocidas. Con su excelente pedagogía convirtió hábilmente innumerables problemas ecológicos que “se ven distantes y externos en cercanos y directos” (Santamarina, 2006). Con la publicación del Informe del Club de Roma se alertó sobre las tendencias a las que puede llegarse con el modelo de crecimiento de la sociedad moderna. Ernest García (2004) sostiene que el impacto de esta publicación en el orden social y político fue muy grande, originando una serie de opiniones a favor y en contra de las afirmaciones que reflejaba el estudio. En el modelo que se diseñó se utilizan cinco grandes variables: la población mundial, la producción industrial y la producción agrícola, los residuos que surgen de esas actividades y el consumo de recursos naturales. De allí surgieron unos pronósticos que mostraban un eventual colapso del crecimiento económico debido al agotamiento de los recursos y la acumulación de contaminación de un planeta sobre-poblado. Aurelio Peccei presidente del Club de Roma decía para ese entonces: “... si las tendencias actuales continúan, el crecimiento en proporción geométrica de la producción, del consumo, de la contaminación, y del agotamiento de las materias primas en el mundo nos conducirá a una situación totalmente insostenible caracterizada por la saturación humana del planeta, el empobrecimiento del medio [ambiente], los altos índices de toxicidad de la atmósfera y las aguas, etc.” (UNESCO, 1973). Una de las críticas que se le hace al informe Meadows se refieren a “la manera misma como enfoca tanto el problema de las tendencias actuales como el de las posibilidades que existen de modificar esas tendencias y los medios para conseguirlo” (Myrdal, 1973).

A pesar de lo que se dice del Informe Meadows se siguen utilizando sus ideas para asegurar que ya se han alcanzado los límites del crecimiento, en ese sentido Goodland y coautores (1997) sostienen que el subsistema económico ha alcanzado o sobrepasado importantes límites que se evidencian en el calentamiento global, el hueco (rotura) de la capa de ozono, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad. Santamarina (2006) afirma que el informe Meadows sirvió para marcar y definir una nueva realidad acerca de las relaciones de los seres humanos con la naturaleza.

La preocupación por los problemas del medio ambiente, los modos de aprovechamiento de los recursos naturales y el consumo de materias primas y materiales para mantener la producción de los países industrializados, aunado a la tasa de crecimiento poblacional de los países del sur, se empezó a sentir desde la década de los setenta. Para el momento de la celebración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano celebrada en Estocolmo en 1972, ya había suficiente evidencia de que se estaban produciendo cambios imprevisibles en la atmósfera, los suelos y las aguas debido al modo de desarrollo y explotación de la naturaleza (Kramer, 2003). Propuestas a esta situación no se hicieron esperar, en la Estrategia Mundial de Conservación (*World Conservation Strategy*) se hizo una evaluación del estado del medio ambiente y se diseñaron unas estrategias para el desarrollo y la conservación de los recursos vivos. En este informe se especifica que las estrategias tienen como finalidad contribuir al logro del desarrollo sostenido (*sustainable development* en la versión inglesa del documento) mediante la conservación de los recursos vivos del planeta, manteniendo los procesos ecológicos, preservando la diversidad genética y aprovechando adecuadamente las especies y los ecosistemas. Además de los problemas ambientales y de las estrategias para solventarlos, se señalan una serie de dificultades de índole gerencial, administrativo y de naturaleza legal. Entre las dificultades que se comentan se tienen: la falta de integración entre los gestores de la conservación y del desarrollo, ausencia de un desarrollo rural basado en la conservación de los espacios naturales, escasez de personal capacitado para las tareas de conservación, escasez de información, soporte legal inadecuado, etc. (UICN, 1980).

El binomio desarrollo y medio ambiente se convirtió en un idea para el análisis de la crisis ecológica contemporánea, surge así en los diferentes foros internacionales la necesidad de observar el modo como los países industrializados estaban alcanzando el bienestar poniendo en riesgo las fuentes de sustentación del planeta (Jiménez Herrero, 2000). La lista de peligros y desastres debido al descuidado proceder se repite y se citan entre ellos, la desertificación, la pérdida de tierras de cultivo, la deforestación, la degradación de ecosistemas lacustres y marinos, la extinción de especies, el agotamiento de recursos naturales, la contaminación, etc. (UICN, 1980).

El desarrollo sostenible surge como un paradigma para resolver el dilema entre desarrollo económico y protección del medio ambiente. La definición se plantea en el Informe Brundtland (*Our Common Future*) del siguiente modo: “*El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” (CMMAD, 1992). De este concepto surgen dos ideas que marcan un ineludible compromiso a quienes lo suscriben. En primer lugar, la responsabilidad intergeneracional y en segundo término, la necesidad de la viabilidad de los sistemas naturales de soporte de recursos. En otras palabras, el desarrollo sostenible obliga a pensar en el mañana respetando los límites naturales (Riechmann, 2006).

Es un lugar común las afirmaciones de algunos autores acerca del carácter difuso, vacío, ambiguo y vago del concepto de sostenibilidad y el desarrollo sostenible. Veamos nosotros otro de los casos más ilustrativos:

*Las nociones de sostenibilidad y desarrollo sostenible no tienen una definición precisa y uniformemente aceptada, a pesar de las numerosas aproximaciones conceptuales existentes, que comentaremos posteriormente. Por el contrario la noción de insostenibilidad se percibe de manera más intuitiva y generalizada. Porque en efecto sin poder explicitar con total exactitud el significado de lo que es sostenible, se admite, de forma abstracta, aquello que se percibe como insostenible.* (Jiménez Herrero, 2000).

Santamarina (2006) refiriéndose a la definición de desarrollo sostenible en el Informe Brundtland, dice que “no se definía desarrollo, ni necesidades, ni capacidad, ni por supuesto sostenibilidad”. También es vago su contenido respecto de lo que debe ser sostenido, particularmente cuando la palabra se relaciona con sistemas humanos para designar actividades como agricultura sostenible o desarrollo sostenible (Newton y Freyfogle, 2006). A pesar de lo anterior, Riechman (2006) establece la siguiente pregunta:

*¿De qué hablan los movimientos sociales críticos cuando hablan de sustentabilidad o sostenibilidad? En esencia el contenido de esa noción es el siguiente: los sistemas económicos-sociales han de ser reproducibles –más allá del corto plazo- sin deteriorar los ecosistemas sobre los que se apoyan... Sustentabilidad es básicamente viabilidad ecológica: los sistemas socioeconómicos que funcionan destruyendo su base biofísica son insostenibles.*

De allí se puede comprender que lo que debe ser sostenido y conservado es la base biofísica que sustenta la vida del planeta, que a su vez es el sistema que soporta la demanda de recursos naturales para suplir el sub-sistema económico. En *Our Common Journey* el documento elaborado por el Consejo Nacional de Investigación (NRC, 1999), se define lo que debe ser sostenido y lo que debe ser desarrollado. Se fijan tres grandes áreas que deben ser sostenidas: la naturaleza, los sistemas de soporte de la vida y las comunidades. Se han de desarrollar la sociedad, la gente y la economía, se hace un especial énfasis en la vida misma de los seres humanos. McMichael (2003) establece que una de las cosas más importantes que se deben sostener es el flujo de bienes no-sustituibles y los servicios ecosistémicos. El gran desafío que se presenta es lograr la reconciliación del desarrollo de la sociedad con los límites que impone el ecosistema global finito.

Gallopín (2003) establece que “la sostenibilidad y en especial el desarrollo sostenible se encuentran entre los conceptos más ambiguos y controvertidos de la literatura”. De la misma manera en la revista *Sostenible?* se afirma que el concepto de sostenibilidad además de ser ambiguo, la versión de sostenibilidad del Informe Brundtland ya “pasó de moda” (Antequera et al., 2005). Sin embargo, es bien notorio que “la expresión ‘desarrollo sostenible’ (o ‘sustentable’) se ha difundido masivamente, llegando a ser un lugar común en las propuestas sobre el cambio social” (García, 2004). Esto nos conduce y nos obliga a una nueva comprensión de la definición original o hacia la búsqueda de una nueva comprensión del término -sin perder la idea normativa original- que sirva para adoptar una visión de la sostenibilidad útil para modelar la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos. “Muchas de las discrepancias respecto del significado de la sostenibilidad se manifiestan precisamente en la especificación explícita o implícita de la función o de los razonamientos que la sustentan” (Gallopín, 2003). No obstante, “hay muchas maneras de definir la sostenibilidad, la más sencilla es decir que la sociedad sostenible es una sociedad capaz de persistir durante generaciones; que es suficientemente clarividente, flexible y sabia para no socavar sus sistemas de apoyo físicos ni sociales.” (Meadows et al., 2006).

En nuestro trabajo, revisaremos las visiones y posiciones que han permanecido hasta este momento para que luego nos acerquemos a conformar nuestra propuesta de

representar la sostenibilidad basado en lo disciplinar, multidisciplinar e interdisciplinar que sea útil tanto para enmarcar las observaciones como para la modelación de los casos de estudio.

El Centro de Ecoalfabetización (*Center for Ecoliteracy*) propone un modelo de educación para la vida sostenible a través de programas educativos de primaria, secundaria y seminarios abiertos a la participación de otro público en el estado de California (USA), esta experiencia se empieza a enseñar en redes de escuelas de otras partes del mundo. Se propone el concepto de desarrollo de los seres vivos como una propiedad emergente asociada a la estructura interna y el orden (Capra, 2004). En las redes de vida no hay desperdicios, lo que se muere pasa a la cadena de vida de otra especie o sencillamente al ecosistema, así la materia está en el ciclo de vida del ecosistema y se va transformando a lo largo del tiempo (Capra, 1999). Este es un modo de abordar la sostenibilidad desde la educación y formación de ciudadanos adoptando la sostenibilidad como un modelo para la vida.

La Sostenibilidad para Manfred Linz (Wuppertal Institute) puede perseguirse por tres vías, que son la eficiencia, la coherencia y la suficiencia. Linz (2007) establece que la eficiencia se orienta a hacer un mejor uso de los recursos, la coherencia se refiere a hacer más compatible con la naturaleza las tecnologías, mientras que la suficiencia se refiere al ahorro de recursos a partir de los cambios conductuales de los seres humanos respecto al consumo. En la actualidad, los mayores esfuerzos se dirigen hacia la ecoeficiencia, sin embargo Linz comenta que “la ecoeficiencia tiene un talón de Aquiles, estos ahorros conducen o seducen hacia un sobreconsumo” (2007). Esta posición si bien es cierto que es loable, tiene una significación interesante para el trabajo que estamos abordando, sobre todo para la realidad de los pueblos pobres, ¿cómo pedirles suficiencia?, o en términos del autor “avanzar hacia una austeridad en el consumo” (Linz, op. cit.). Esta propuesta se destaca por el establecimiento de categorías que pueden observarse en una sociedad, de tal modo que observar en las poblaciones autóctonas que se asientan en la Guayana Venezolana estas categorías puede ayudarnos en la comprensión del significado de la sostenibilidad. Strauss y Corbin (2002) establecen que la base de una investigación cualitativa –en la opción que ellos representan – son las preguntas y las comparaciones. Se formulan preguntas y se

establecen comparaciones teóricas sobre las propiedades de las categorías. Si Manfred Linz se hace cuestión de la sostenibilidad en los términos que la plantea, ¿podemos observar en los indígenas de la Guayana Venezolana evidencias de ecoeficiencia y coherencia? En el caso de las poblaciones mineras, podemos hacernos idénticas preguntas. Si la sostenibilidad es inobservable en primera instancia, se requiere construir modos de determinar observables -basados en categoría sociológicas- que apunten hacia la determinación del estado de las relaciones e interacciones en un sistema socio-ecológico.

El planteamiento de la Biomímesis en Riechman (2006) es esclarecedor, después de hacer una rápida revisión de la mimesis (imitación) en filosofía y de asociarla a la dimensión humana, llega a la *Biomímesis*, en palabras suyas dice:

*... se tratará, entonces de comprender los principios de funcionamiento de la vida en sus diferentes niveles (y en particular en el nivel ecosistémico) con el objeto de reconstruir los sistemas humanos de manera que encajen armoniosamente en los sistemas naturales.*

El acoplamiento de los seres humanos con la naturaleza debe lograrse de modo de minimizar la disonancia que puedan ocasionar las interacciones. La Biomímesis como principio aconseja imitar a la naturaleza y mirar a nuestro alrededor. Para la reconstrucción ecológica de la sociedad industrial se establece una relación entre el principio de precaución y la Biomímesis, haciéndose cuestión de los productos que han hecho y hacen daño a la vida en el planeta. ¿Se ha pensado en el principio de precaución cuando se construyen y operan grandes represas para producir energía eléctrica? ¿Acaso la producción de aluminio en la Guayana Venezolana está siendo considerada atendiendo el principio de precaución? ¿Los residuos de la minería artesanal de oro en Guayana son parte de las tecnologías poco amigables con el ambiente? Las respuestas a preguntas de esta naturaleza direccionan este trabajo hacia la construcción de elementos conceptuales para la determinación de la sostenibilidad.

La única opción a la que podemos optar es la de alcanzar la sostenibilidad del sistema socio-ecológico completo, considerándolo como un todo (Gallopín, 2003). Considerar la sostenibilidad de un sistema es pensar sistémicamente para que la comprensión sea de totalidades más que de fragmentos, pedazos o partes del sistema. Una de las consideraciones en las que se refleja este sentir sistémico la comentan Meadows y

coautores de la siguiente manera: "... desde el punto de vista de la teoría de sistemas, 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" (2006).

Desde hace algunos años se empieza a hacer énfasis en el término ciencia de la sostenibilidad. La ciencia de la sostenibilidad se centra en las interacciones entre naturaleza y la sociedad para que en un período largo de tiempo tal relación sea perdurable (Clark y Dicson, 2003). Entre los retos a los que se debe enfrentar la ciencia de la sostenibilidad se tienen: i) lidiar con diversas escalas espacio-temporales, comprendidas en los fenómenos globales y aquellos de aspecto local, ii) reconocer los múltiples puntos de vista sobre los fenómenos socio-ambientales, iii) tener en cuenta los diversos modos de abordar soluciones tanto para los problemas globales como para las cuestiones locales, todo ello para comprender el carácter fundamental de las interacciones entre la naturaleza y la sociedad (Kates et al., 2001). La ciencia de la sostenibilidad requiere de soluciones creativas, enfoques integrados, incorporación de ontologías y epistemologías novedosas y la integración de las dimensiones sociales dentro de los aspectos de la sostenibilidad (Jerneck et al., 2010).

Kates (2011) sostiene que es una ciencia distinta a otras, las investigaciones del nuevo campo son integradas y extraordinariamente multidisciplinarias, abarca las ciencias naturales, las ciencias sociales y la tecnología. Esta nueva ciencia requiere conocimiento generalizable y una comprensión adecuada de problemas particulares, específicos y locales. Una de las características más importantes que señala Kates es la aparición de programas de investigación universitaria, grados académicos y departamentos en ciencia de la sostenibilidad.

La idea de la interconexión de los sistemas naturales y socioeconómicos es fundamental para pensar en el desarrollo sostenible y en la ciencia de la sostenibilidad. El principio de interdisciplinariedad, que aboga por la integración de teorías, conceptos, técnicas y datos de los diversos cuerpos de conocimiento, es igualmente crucial para las investigaciones de la sostenibilidad. Por tanto, el desarrollo de métodos que permitan la

modelización y la medida de la sostenibilidad es un reto en el desarrollo de esta nueva ciencia.

### **2.2.2 Ideas para la cuantificación de la Sostenibilidad**

Podemos determinar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico a través de la medida, vale decir, a partir de las evidencias que surjan –que se muestren- o que se perciban cuando el sistema observado cambia en el tiempo. Llegamos así a ciertas condiciones que exige la existencia de la vida de los seres en un entorno dado. Estas condiciones como la calidad del aire, calidad del agua, la habitabilidad y la subsistencia de los seres que moran en el ambiente considerado, son relevantes para hablar de la sostenibilidad.

Podemos asociar la sostenibilidad a un sistema o a un proceso. En este orden de ideas hablaremos de sostenibilidad de un sistema socio-tecno-ambiental como una universidad o una empresa o de la sostenibilidad de un proceso de producción o de un sistema ecológico. El foco de atención de la sostenibilidad, entendida como entidad conceptual, son los recursos que mantienen los procesos y la perdurabilidad en el tiempo del sistema, en este sentido se dice que “de cualquier sistema o práctica puede decirse que es sostenible si puede mantenerse o practicarse de manera indefinida.” (Novo, 2006)

Para cuantificar la sostenibilidad se han definido dimensiones en las que debemos poner nuestra atención, la dimensión social o socio-cultural, la dimensión ambiental y la dimensión económica. En este sentido Gallopin establece que “cada vez es más evidente que la búsqueda de la sostenibilidad y del desarrollo sostenible exige integrar factores económicos, sociales, culturales, políticos y ecológicos” (2003). Además de las dimensiones, también podemos encontrar dos puntos de vista, el primero es centrado en el hombre, es decir el punto de vista antropocéntrico y el segundo es centrado en el ambiente o denominado ecocéntrico.

Un indicador de sostenibilidad utilizado en Salud Ambiental (*EcoHealth*) es el número de personas afectadas por enfermedades transmitidas por el agua consumida. Nótese que este indicador se hace cuestión por el ser humano y por las afecciones contraídas por éste cuando ingiere agua no potable. Sin embargo, un indicador que cuantifique los

cuerpos de agua o lugares donde el agua no es apta para ser consumida o que cuantifique *coliformes fecales* en un cuerpo de agua, nos da cuenta del estado del agua, este es un indicador centrado en el ambiente y que ocasiona repercusiones en la salud de los seres humanos. Ambos indicadores nos dan una idea de la sostenibilidad de un proceso: consumo de agua en un espacio geográfico determinado.

En consecuencia, se han de utilizar conceptos y categorías en las que se logre observar la sostenibilidad, partiendo de lo natural, de lo vivo, para luego considerar los elementos socio-culturales y finalmente los aspectos económicos. Las categorías y sus observables una vez integrados ofrecerán una idea sistémica de la sostenibilidad con los diversos aspectos que la conforman. 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”.

La función que cuantifica la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico puede tener diversas especificaciones, por ejemplo, puede haber una función que cuantifica aspectos monetarios y de capital, otras por el contrario, evalúan aspectos sociales y ambientales, mientras que otras evalúan capital manufacturado, ambiental y social. Puede haber funciones que cuantifican alguna suma de variables asociadas al bienestar, sin embargo pueden existir funciones que establezcan métricas no monetarias sobre los aspectos éticos de la conservación de las especies biológicas. También se han desarrollado medidas que incluyan valoraciones sobre el paisaje en función de las áreas intervenidas por factores antrópicos (Paolini, 2008). Independientemente de la escogencia, las métricas han de diseñarse sobre aquellas variables que se consideren relevantes para el funcionamiento y perdurabilidad del sistema. “Las variables de salida son las que se consideran importantes/relevantes para el desempeño del sistema” (Gallopín, 2003). Sólo aquellas variables relevantes y de acuerdo al marco de observación que definan el estado del sistema en un tiempo dado, considerando el territorio y la población que ocupa tales territorios, podrán darnos cuenta de la sostenibilidad del sistema socio-ecológico observado. La presente investigación contará con una red conceptual, que basándose en las disciplinas, los conceptos y los observables de las interacciones socio-ecológicas en los casos de estudio, pretende cuantificar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico.

## 2.3 Conceptos sobre modelización y métodos cuantitativos para la determinación de la sostenibilidad

### 2.3.1 Sistemas, modelos y modelización

*El concepto de sistema aparecerá en el enunciado mismo de todo problema científico que trate de totalidades de alguna clase.*

*Mario Bunge (2004)*

*It is clear that there are niches for **The Image** in our society, even if it has not much impact in social sciences. Perhaps it is because of the obsession of the social science with the Newtonian model.*

*Kenneth Boulding (1956)*

Un sistema se define como una colección de entidades, conjunto de elementos que interactuando juntos tienen un propósito o fin lógico, esto significa que lo que se establece como sistema depende de los objetivos y propósitos de un estudio particular (Law y Kelton, 2000). La definición anterior considera la finalidad como inmanente a los sistemas. Sin embargo, Checkland (1993) en su tipología de sistemas especifica que existen sistemas naturales a los cuales no se les puede asignar finalidad alguna, sólo se les asigna *propositividad* a los sistemas físicos diseñados y a los sistemas de actividad humana, ya que son producto de una acción racional o como lo refiere Habermas (2007) serían el resultado de una “acción racional con respecto a fines”. Bien sea propositivo o no, un sistema es una totalidad y una de las cosas más importantes es lo que se desprende de la agrupación e interacción de sus partes: la propiedad emergente. La propiedad emergente de un sistema puede descubrirse y develarse a partir de la manera como se ensamblan y se combinan los elementos del sistema, y como se relacionan los elementos que conforman la totalidad (Bunge, 2004).

Otra cuestión que se requiere destacar cuando consideramos la idea de sistema, es el ambiente del sistema, es decir, cuando delimitamos un sistema, distinguimos lo que se considera sistema y su entorno o ambiente. En síntesis, la noción de sistema nos ofrece

estas ideas, un conjunto de elementos, la relación entre los elementos, el ambiente del sistema y cuando se establezca una finalidad u objetivo.

La noción de modelo en la actualidad está muy difundida, Echeverría (2003) comenta que el auge en la utilización de gráficos, tablas, programas informáticos, simulaciones de sistemas, surge de la representación de teorías científicas, de la misma representación del conocimiento. Agrega el mencionado autor que un numeroso grupo de científicos y filósofos se está haciendo cuestión de este creciente fenómeno que ya se hace usual y frecuente en la práctica de la actividad científica. Bunge (1985) comenta que a partir de la segunda guerra mundial, en lo que él considera una nueva revolución científica acontecida alrededor de 1950, surge el nacimiento de grupos de diseñadores de modelos que fueron reunidos para resolver problemas de la guerra y la posguerra. Define modelo como una “*representación conceptual esquemática de alguna cosa o de una situación real o supuesta real*”, más adelante, agrega una connotación perceptual a la cosa modelada, cuando afirma que modelo “*es una representación de un objeto: a veces perceptible a veces imperceptible, siempre esquemática y, en parte al menos, convencional*” (Bunge, 1985). Javier Aracil (1978) en la época del desarrollo de la dinámica de sistemas establece el concepto de modelo como “*una representación abstracta de un cierto aspecto de la realidad y tiene una estructura que está formada por los elementos que caracterizan el aspecto de la realidad modelada, y por las relaciones entre estos elementos*”. Aracil y Gordillo (2005) establecen que “*modelo es un objeto que representa a otro*”, el modelo es un constructo y a lo que representa es un sistema, bien sea natural o diseñado.

Un modelo es un instrumento propositivo que permite –entre otras cosas- ayudar a tomar decisiones. Estos autores hacen énfasis en el observador que realiza la modelización, éste observador está orientado a responder ciertas preguntas que están asociadas al fin para el que se construye el modelo. El modelo no es una herramienta en sí misma, sino que bajo esa construcción subyace el fin de explicar y predecir alguna situación de interés, en este caso, modelización de la sostenibilidad.

Shannon (1975,1988) nos proporciona el concepto de modelo como “una representación de un objeto, sistema, o idea, de forma diferente a la de la identidad misma”. En la

práctica de la simulación existen diversas maneras de representar un sistema: modelos icónicos, analógicos y simbólicos se utilizan para simular sistemas, sin embargo, los modelos conceptuales nos proporcionan una entrada a la modelización de sistemas. Un modelo conceptual es una construcción teórica, bien sea una representación de un sistema real que se corresponde con un mundo percibido, como los modelos para simulación o una construcción simbólica abstracta como las probabilidades. La ecología es un sistema conceptual que nos ayuda a interpretar la realidad de las relaciones entre ambiente y seres vivos. Bajo la definición anterior la ecología es un sistema conceptual abstraído de la realidad. Mientras que una planta de producción es un sistema real. Una compañía como EDELCA (Electrificación del Caroní en Ciudad Guayana Venezuela) es un sistema real, de EDELCA podemos construir un sistema conceptual que nos muestre el proceso de utilización de las aguas de las cuencas de Guayana para la generación de energía, así mismo podemos diseñar un modelo que dé cuenta de los impactos en el ambiente debido a la construcción de grandes represas.

El telurio es un tipo clásico de modelo icónico, en este aparato se representan en una escala apropiada la tierra, la luna y el sol. Este modelo se utiliza para simular los eclipses y para observar el movimiento tierra-luna con el sol fijo. En los modelos icónicos se produce un cambio de escala de los objetos que se representan. Estamos acostumbrados desde la educación escolar a aprender con modelos icónicos sin darnos cuenta de lo que significan (Paolini, 2002). En los modelos analógicos se usan propiedades y características sustitutivas para representar las de la identidad original o sistema. En esos modelos se hace una sustitución conveniente de una propiedad por otra. Churchman, Ackoff y Arnoff (1973) lo ilustran de esta manera "... no es posible reproducir convenientemente la estructura geológica de la tierra en una esfera armilar, pero sí es posible representar diversos tipos de formaciones geológicas por medio de diferentes colores. Al hacerlo así estamos haciendo una sustitución conveniente (estructura geológica) por otra (color) de acuerdo con ciertas normas de transformación". Es común la sustitución de un conjunto de propiedades físicas por otro, es el caso de corrientes eléctricas y caudales de agua: fluidos a los que se le asocian propiedades análogas.

El objeto de la modelización de sistemas es el diseño y estudio de modelos simbólicos para el análisis de alternativas o escenarios. Un modelo simbólico es aquel que describe las propiedades del sistema utilizando relaciones matemáticas. El uso de variables que reflejen la estructura del sistema se considera como objetivo esencial en el desarrollo de modelos simbólicos. Carlos Domingo (1990) comenta que "una de las dificultades que se halla en el diseño de los modelos matemáticos es la traducción al lenguaje matemático del conocimiento que se tiene sobre el sistema". La experiencia que se ha acumulado en simulación apunta hacia metodologías específicas de modelización numérica en un amplio rango de sistemas.

Bunge (2002, 2004) establece el modelo conceptual CESM, este modelo propone que cualquier sistema  $s$  puede ser modelado por la cuaterna  $\mu(s) = \langle C(s), E(s), S(s), M(s) \rangle$ , donde  $C(s)$  = Composición del sistema o conjunto de elementos que constituyen al sistema  $s$ ,  $E(s)$  = Entorno o conjunto de elementos que no pertenecen a  $s$  y que actúan sobre el sistema,  $S(s)$  = Estructura del sistema o conjunto de relaciones entre los elementos del sistema y los del entorno  $E(s)$ .  $M(s)$  representa los mecanismos o colección de procesos que definen y caracterizan al sistema  $s$ . El esquema CESM define un modo de conectar la realidad modelada con una estructura conceptual que orienta al simulacionista en la representación del sistema en cuestión. Este esquema parte de la idea de sistema y establece la lista de elementos constituyentes que se deben considerar cuando estamos observando y diseñando un modelo representacional de un sistema  $s$ . Bunge (2004) hace una distinción entre la exoestructura y la endoestructura cuando establece el componente  $S(s)$  en la cuaterna  $\mu(s)$ . A la exoestructura del sistema la define como aquella colección de vínculos pertenecientes al sistema que se relacionan con el entorno  $E(s)$  y la endoestructura es el conjunto de relaciones internas del sistema. Para la modelización de un sistema es de vital importancia tanto las relaciones con el entorno del sistema como las relaciones internas del sistema, es decir, las relaciones entre sus componentes. Sugiere este autor, que el enfoque más general para la modelación de cambios cuantitativos y cualitativos en un sistema es el enfoque de espacios de estado.

La modelización es una técnica para representar las cosas del universo, es el producto del enfoque representacional utilizado por la ciencia. Modelizar es representar la realidad utilizando algún formalismo para la representación, los modelos son representaciones formales y constituyen el núcleo del método científico (Piñol y Martínez-Villalta, 2006). Uno de los formalismos de representación simbólica más utilizados son las ecuaciones matemáticas tanto de fenómenos determinísticos como aquellos de carácter estocástico o aleatorio. Existen modelos simbólicos basados en diferencias finitas, elementos finitos, cálculo matricial, teoría de colas, cadenas de Markov, distribuciones teóricas de probabilidad, modelos estadísticos multivariantes o multivariantes, etc.

Se han explorado alternativas adicionales a la matematización de los modelos. Los modelos basados en estructuras de datos han arrojado resultados interesantes, en la actualidad se tienen desarrollos utilizando la programación orientada a objetos (*Object Oriented Programming*) para representar las identidades del sistema que se desea modelar.

El proceso de modelización puede observarse en la figura 2.1, se establecen ciclos dependiendo de cada revisión. A partir de las observaciones del sistema en cuestión se empieza a tener un modelo perceptual de la observación, luego se pasa a un modelo conceptual, este modelo puede ser obtenido a través de un formalismo, como por ejemplo una red conceptual. El grado creciente de especificación se va construyendo a medida que se trabaja en el proceso de modelización, hasta llegar a uno o más modelos de tipo simbólico. Las hipótesis y las predicciones o previsiones del modelo determinarán la validez para fundamentar algún concepto o generar nueva teoría. Así como se muestra en el diagrama los pasos para la construcción de un modelo, también existen algunas guías metodológicas para el diseño de modelos. Cada desarrollo de un modelo es un ejercicio muy particular y los diseñadores adquieren un conocimiento y una percepción del sistema bajo observación que los hace adoptar un punto de vista específico de acuerdo a la situación planteada.

La visión se orienta alrededor de los criterios utilizados para modelar el sistema y se suscribe un ‘marco de observación’ que determine los fenómenos, las actividades, eventos del sistema que se consideraran en la modelización. A pesar de lo anterior, a la

hora de desarrollar un proyecto de modelización, es muy importante tener en cuenta el alcance y el nivel de un modelo. Se denomina *alcance* al rango de amplitud del modelo, el alcance ofrece respuestas a la pregunta ¿Qué se debe incluir en el modelo? O ¿Cuáles sistemas deben incluirse? Así mismo, denominamos *nivel* a la cantidad de detalle o profundidad que se requiere para cumplir los objetivos del proyecto y responder adecuadamente a los planteamientos del problema. El alcance y el nivel generaran la *exactitud* del modelo. Cuando nos preguntemos acerca de la exactitud, existe una regla fundamental que asegura que “se debe incluir en el modelo la cantidad necesaria de detalle que se requiera para cumplir con los objetivos del proyecto” (Robinson, 1994).

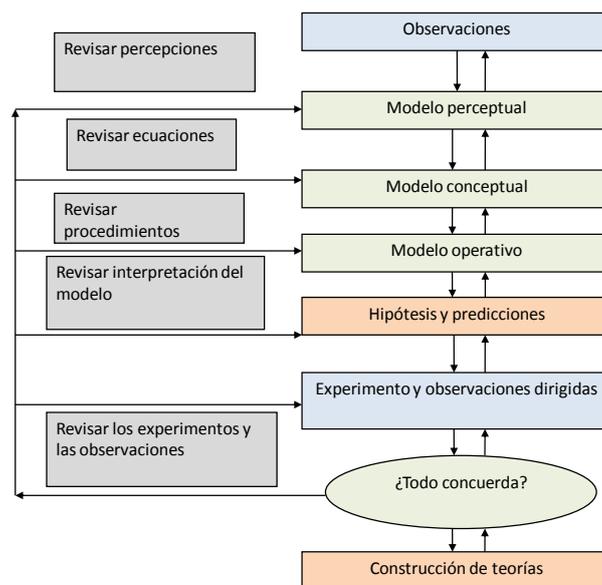


Figura 2.1. Fases del proceso de modelización.

Fuente: Piñol, J. y Martínez-Villalta, J. (2006).

Existen algunos métodos de simplificación o de reducción que pueden ser útiles en el momento de diseñar modelos, tenemos el modelado caja negra (*black box modeling*), la división de modelos o llamada también modelización en cascada, la inclusión sucesiva

(agregación) y la exclusión sucesiva (desagregación). En el modelado de caja negra se integra un grupo de procesos o sistemas de múltiples entradas y salidas, sin detallar internamente cada actividad, ni especificar lo que implica lo que cubre la caja, un elemento representa una agrupación. En el modelado en cascada se dividen los procesos complejos para hacerlos manejables en cuanto al nivel, para enlazar el sistema se requiere que la salida de un sub-sistema sea la entrada del próximo sub-sistema. Cada sub-sistema se considera como un modelo. Esta división tiene una doble ventaja, en primer lugar divide el trabajo y facilita las labores de prueba y validación. La inclusión sucesiva agrega un nivel en cada paso, este incremento de nivel se manifiesta en un aumento de las variables y de las relaciones entre estas, o mayor alcance. Este alcance se manifiesta cuando se incorporan otros sistemas y procesos, lo que aumenta la exactitud del modelo. La exclusión sucesiva por el contrario elimina relaciones no relevantes o relaciones redundantes que no aportan exactitud. Elimina niveles de detalles que no son requeridos (Robinson, 1994). A propósito de estas aproximaciones, Fritjof Capra (1990) escribe algo fundamental:

*Todos los fenómenos naturales se consideran finalmente como interconectados y para explicar cualquiera de ellos necesitamos comprender todos los demás, lo que es evidentemente imposible. Lo que hace que la ciencia tenga tanto éxito, es el hecho que sean posibles las aproximaciones. Si a uno le basta con la comprensión aproximada de la naturaleza, puede describir de ese modo determinados grupos de fenómenos, haciendo caso omiso de otros fenómenos de menor importancia. Así, uno puede explicar muchos fenómenos a partir de unos pocos y por consiguiente comprender distintos aspectos de la naturaleza de un modo aproximado, sin tener que comprenderlo todo simultáneamente.*

Gunawardena (1985) establece tres principios básicos o normas que rigen el diseño de los modelos simbólicos, estos principios son: conservación, equilibrio y tasa. El principio de conservación establece que lo que entra al sistema debe salir, aunque sea en otra forma, en el caso de la energía sabemos que existen transformaciones que determinan la conservación. Este principio es muy importante en los modelos de balance. El principio de equilibrio establece que un sistema aislado por un período de tiempo suficiente, se asentará en un estado de equilibrio en el cual las condiciones no cambiarán. El principio de tasa establece que las variaciones de una magnitud para dos tiempos diferentes  $t_0$  y  $t_1$  viene dada por la relación entre las magnitudes, estas

relaciones pueden estimarse o derivarse de leyes físicas conocidas o por experimentación.

### 2.3.2 Modelización de la Sostenibilidad

Para la modelización de la sostenibilidad partimos del modelo conceptual que nos brinda la red disciplinar de Sostenibilidad para el sistema socio-ecológico estudiado. La red posee en su entorno un conjunto de observables (graficados con rectángulos) que se derivan de los conceptos y de las hipótesis de cada una de las disciplinas que se consideran en la elaboración de la red orientada a medir la Sostenibilidad en el objeto de estudio, en nuestro caso una cuenca hidrográfica.

Veamos el caso hipotético de la determinación de un modelo para cuantificar la Biomagnificación del mercurio en peces, para la modelización se obtienen los observables  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ . Para desarrollar un modelo que incluya el concepto partimos de una relación poblacional desconocida del tipo  $S = \phi(X)$ , donde  $X$  es el vector de variables  $X_i$ , es decir, las variables explicatorias del concepto v.g. mercurio en peces de acuerdo al nivel trófico, la longitud de los peces y las concentraciones de Metil-Mercurio  $[MeHg]$  de cada pez. El modelo que representa la relación  $S$  digamos, un modelo  $M$  viene dado por la expresión  $M = \eta(X, r) + \varepsilon$ . Donde  $\eta$  es la función que modeliza el concepto en términos de las variables de entrada y  $\varepsilon$  el error o ‘distancia’ que existe entre las funciones  $\eta$  y  $\phi$  (Reis dos Santos et al., 2009).

En la figura 2.2, podemos ver la manera de obtener un modelo  $M_D$ . Para ello, se requiere que se tengan un conjunto de variables explicatorias del fenómeno, estos observables entran como parte de uno más conceptos asociados a una o varias disciplinas especificadas en la red conceptual. Este modelo nos permite obtener métricas de sostenibilidad del sistema socio-ecológico considerado. Los modelos para la hipótesis biomagnificación del metil-mercurio en el Lago Guri pueden observarse en el Anexo A.

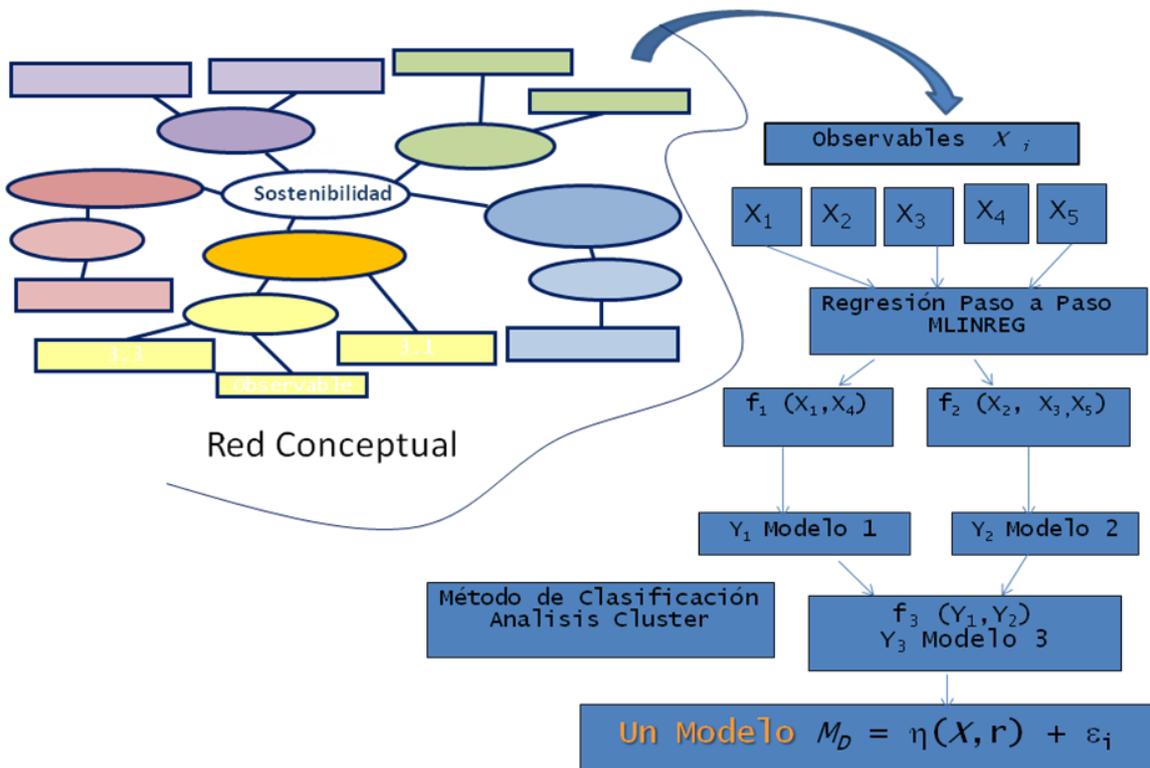


Figura 2.2. Obtención de un modelo  $M_D$  para cuantificar un aspecto de la Sostenibilidad del sistema observado.

Utilizando técnicas del análisis multivariable, llegamos a un Modelo  $M_D$ , que representará una manera de medir la sostenibilidad de acuerdo al concepto disciplinar  $D$ , derivado de la red. De la misma manera podremos utilizar otros observables para determinar la Neurotoxicidad que se ha observado en las poblaciones de las cuencas donde hay extracción de mineral de oro. Este mecanismo de obtención de modelos  $M_D$ , servirá para verificar la consistencia interna (*self consistent*) de la red conceptual que se genere en la investigación y que a su vez aportara las relaciones para la modelización de la Sostenibilidad. Estos modelos  $M = \eta(X, r) + \varepsilon$ . deben ser validados, uno de los aspectos que deben considerarse con detenimiento, son los valores de las variaciones de las salidas del modelo  $M$  de acuerdo a cada escenario o ejecución realizada (corrida en la jerga simulacionista). Coss Bu (1982), Pedgen et al. (1995), Law y Kelton (2000) desarrollan métodos para superar esta dificultad, estos métodos permite minimizar el valor de  $\varepsilon$  en el modelo  $M$ . En la figura 2.3, podemos observar un esquema general de la modelización-simulación del sistema observado.

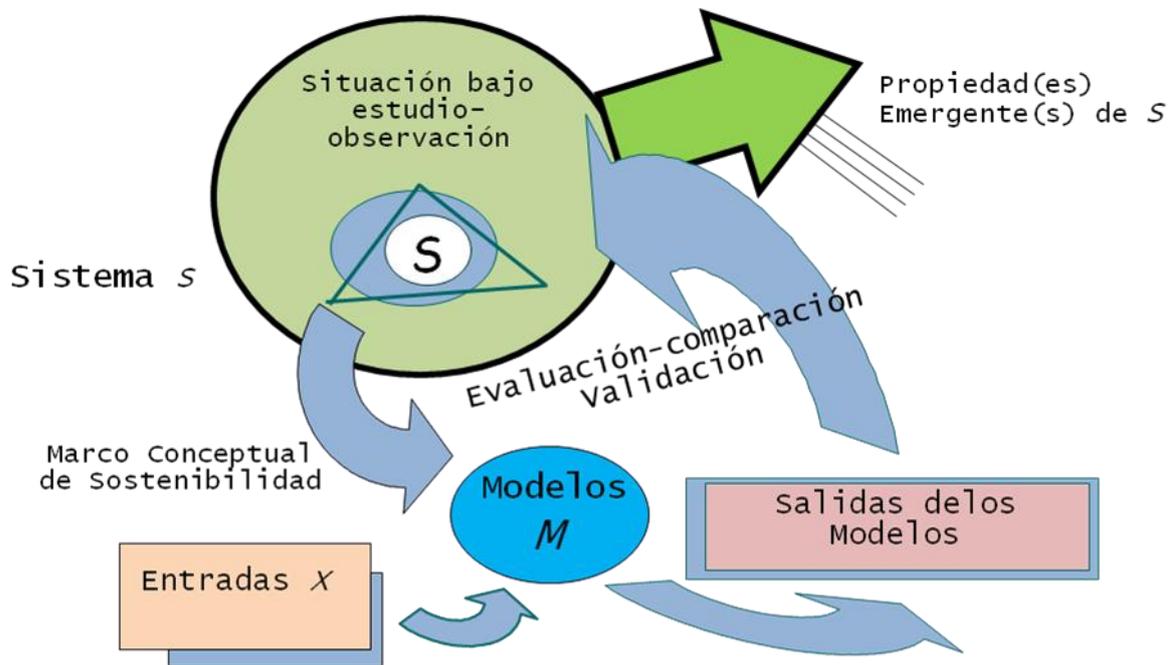


Figura 2.3 Esquema general para la simulación del sistema S.

Un modelo  $M$  puede considerarse como un conjunto de relaciones que se derivan del sistema observado a partir de un marco conceptual especificado. Se ejecuta el modelo a partir de un conjunto de entradas  $X_i$  (valores específicos de los observables) y se obtienen los resultados, que en nuestro caso son cuantificaciones de las variables que darán cuenta del estado de la Sostenibilidad del Sistema  $S$  bajo el modelo  $M$ . Con cada escenario probable se realizaran diferentes corridas del modelo y se obtendrán las posibles realizaciones del sistema que se ha modelizado.

### 2.3.3 Métodos Multivariados

Dado que el proceso de construir modelos de sistemas reales depende de una gran cantidad de variables, es muy pertinente utilizar los métodos multivariados para la clasificación de los datos y la elaboración de modelos estadístico-matemáticos, para encontrar relaciones que subyacen en un conjunto de datos y para encontrar relaciones

espacio-temporales de los observables que se establezcan en la determinación de métricas para la cuantificación de la sostenibilidad. A continuación esbozaremos un resumen de las técnicas más usuales para la modelación y el tratamiento de datos.

### 2.3.3.1 El Análisis Discriminante

El análisis discriminante es una técnica multivariable que “busca distinguir y clasificar las observaciones de una investigación” (De la Garza, 1995). Para ejecutar el análisis discriminante se requiere de una variable no métrica o nominal y un conjunto de variables independientes métricas. La variable no métrica permite dividir la muestra en al menos dos grupos. Esta variable no métrica, determina los conjuntos mutuamente excluyentes de la muestra, de tal modo que la muestra queda separada en dos o más grupos. Con las variables métricas se determinan las funciones discriminantes. El análisis discriminante consiste en obtener una “combinación lineal de dos o más variables independientes que discrimine mejor entre los grupos definidos a priori” (Hair et al., 1999). La combinación lineal se denomina Función Discriminante  $\delta$  y tiene la forma:

$$\delta = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_p \cdot X_p \quad (1)$$

Una de las cuestiones que interesa en el análisis discriminante es el número de variables que se utilizará para determinar la función  $\delta$ . Cabe preguntarse si utilizaremos todas las variables o si podemos tener un conjunto relativamente pequeño de variables métricas que discrimine adecuadamente los conjuntos de datos especificados por la variable nominal. De tal forma que nuevas observaciones que surjan en el proceso de muestreo eco-biológico, puedan ser clasificadas adecuadamente. El problema de la escogencia de un conjunto de variables que mejor discrimine las poblaciones se resuelve con los procedimientos de selección de variables. Existen varios métodos de selección: hacia adelante (*forward*), selección hacia atrás (*backward*) y selección combinada. Existe software adecuado que incluye estos métodos de selección de variables como el *SYSTAT*<sup>(c)</sup>, *Minitab*<sup>(c)</sup>, *SAS*<sup>(c)</sup>, *SPSS*<sup>(c)</sup>, entre otros (Moreu, 2000) y *Software Libre* que es accesible en la web, como el sistema R que tienen la ventaja de no tener costo asociado por el uso. El procedimiento se inicia tomando la mejor variable discriminadora, es decir, la que produce el mayor valor de  $F$  (estadístico F-Fisher)

significativo en el análisis de varianza ANOVA, luego se escoge la siguiente variable que genere el siguiente valor de  $F$  más significativo y culmina el procedimiento de selección cuando no haya una variable que genere un valor de  $F$  que sea significativo (Johnson. 2000).

### 2.3.3.2 La Regresión Lineal Múltiple

La regresión lineal múltiple es una de las técnicas más utilizadas en el análisis multivariable, este modelo viene dado por la siguiente ecuación

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k \quad (2)$$

y la respuesta estimada viene dada por la ecuación de regresión muestral:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (3)$$

Cada coeficiente de regresión  $\beta_i$  viene estimado por los  $b_i$  y se determinan a partir de los valores observados de la muestra a partir de métodos, como el Método de Mínimos Cuadrados (Walpole et al., 2008). La ecuación (2) se llama modelo poblacional mientras que la ecuación (3) es el modelo estimado y es la que para efectos prácticos se utiliza. Para determinar valores de la variable de regresión  $Y$  dependiendo de los valores observados de las variables explicatorias  $X_i$  (independientes) se colocan en la ecuación (3) los valores observados  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$  y se determina la respuesta  $Y(x_1, x_2, \dots, x_k)$ . Para determinar la 'calidad' del modelo de regresión lineal múltiple se efectúa el Análisis de la Varianza (ANOVA), haciendo la suposición de que los  $\beta_i=0, k > 0$ . Del mismo modo que en el Análisis Discriminante en los modelos de regresión múltiple puede generarse la mejor combinación de variables  $X_i$  que explican a la variable dependiente  $Y$ , por medio del método de regresión paso a paso (*stepwise regression*). En la regresión paso a paso hacia adelante (*forward*) se añaden aquellas variables que aportan (aumentan) valor al coeficiente de regresión múltiple observado  $r$ , mientras que en el modo de regresión hacia atrás (*backward*) se remueven del modelo aquellas variables que no aportan valor al coeficiente  $r$  (Dytam, 2008).

### 2.3.3.3 La regresión Logit

El modelo de regresión Logit o logístico es un modelo clasificadorio, es semejante al modelo discriminante. En este modelo se requiere una variable dependiente no métrica

o cualitativa y un conjunto de variables independientes métricas. Se puede considerar este método de regresión cuando “las variables explicativas no tienen una distribución conjunta normal multivalente” (Peña, 2002). Esta regresión es parecida a la regresión múltiple, sin embargo, “la variable dependiente suele ser binaria, es decir, toma sólo dos valores posibles” (Johnson, 2000). La ecuación logística se puede expresar simbólicamente como:

$$\gamma = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_p \cdot X_p \quad (4)$$

La variable de regresión o variable explicada  $\gamma$  que se tome para calcular el modelo, debe tener dos valores (0,1). De la misma manera que en el análisis discriminante, en la regresión Logit se emplean procedimientos de selección de las variables para determinar un subconjunto “apropiado” que de cuenta del fenómeno que se esté estudiando. El método de estimación de los  $\beta_i$  en ésta regresión se obtiene por Máxima Verosimilitud (Peña, 2002). La normalidad o gaussianidad de las variables en los procesos de muestreo de situaciones asociadas a los sistemas ecológicos y la interacción entre sociedad y naturaleza usualmente no se cumple o se observa.

En este caso y de igual modo que en los métodos de estimación, debemos utilizar métodos que presupongan poca o ninguna normalidad en las variables en cuestión. Por tanto, el modelo Logit tiene algunas ventajas para su implementación en casos donde se puede prescindir de la suposición de gaussianidad en los observables  $X_i$  muestreados.

Comparar es una de las bondades que nos permite el buen juicio, comparar significa poner a trabajar el sistema apreciativo alrededor de uno o más cosas, métodos, sistemas o modelos. Lo que se compara debe tener categorías comunes, es decir, la naturaleza de lo que se compara debe ser análoga. En el caso de los métodos que clasifican un conjunto de observaciones de acuerdo a una variable dependiente especificada, se tiene en común la capacidad de clasificación, por un lado la ecuación canónica del método discriminante y por el otro la ecuación de regresión logística. En el momento de construir modelos se recomienda comparar la bondad de ejecución de los métodos de modelización para múltiples variables.

Si se conoce el valor de la variable dependiente o variable de regresión (que está relacionada con la variable cualitativa de clasificación), conocemos de antemano los valores de la variable con la que vamos a realizar la comparación de los dos métodos multivariantes, por tanto también en el caso de estas técnicas se puede encontrar que uno u otro método pueden ser más efectivos para la clasificación de los observables considerados. Así, cuando elaboramos modelos para cuantificar la sostenibilidad de sistemas socio-ecológicos se recomienda utilizar técnicas probadas y que puedan darnos resultados coherentes y representativos de la realidad observada. Una de las métricas para determinar la bondad de los métodos de clasificación múltiples es el error de clasificación, que se define como la proporción de datos u observaciones muestrales clasificadas inadecuadamente. Un error de clasificación se produce cuando se asigna inadecuadamente una observación a tal o cual conjunto de resultados de acuerdo a la variable dependiente escogida (Hair et al., 1999).

#### **2.3.3.4 El Análisis Factorial**

El Análisis factorial crea un nuevo conjunto de variables no correlacionadas, llamadas factores subyacentes o características subyacentes, con la esperanza de que éstas proporcionen una mejor comprensión de los datos que se están analizando. En el Modelo de análisis factorial se supone que existe un conjunto más pequeño de variables no correlacionadas, que de algún modo controla o impulsa los valores de las variables que se están midiendo. El Análisis Factorial es una técnica para reducir la información contenida en un gran número de variables, explicándolas a través de un “nuevo” conjunto de variables ficticias (Peña, 2002). Estas nuevas variables tendrán una dimensión menor que la del conjunto original. El significado de las nuevas variables depende de la comprensión que se tenga del tema que se esté analizando. El conocimiento y la familiaridad con los procesos asociados a las mediciones socio-ecológicas es de vital importancia para poder aplicar exitosamente el análisis factorial.

El Modelo de análisis factorial se puede expresar de la siguiente manera:

$$x_j = \mu_j + \lambda_{j1} \cdot f_1 + \lambda_{j2} \cdot f_2 + \dots + \lambda_{jm} \cdot f_m + \eta_j, j = 1, \dots, p \quad (5)$$

1. Donde los  $f_i$  son independientes con  $\mu=0$  y  $\sigma^2 = 1$
2. Donde los  $\eta_j$  son independientes con  $\mu=0$  y varianza  $f_j$
3. Donde los  $f_k$  y  $\eta_j$  tienen distribuciones independientes con  $\mu=0$  y  $\sigma^2 = 1$
4. Los  $\lambda_{jm}$  son las cargas factoriales (coeficientes)

Existen algunas consideraciones importantes en el Análisis factorial que se deben tomar en cuenta, entre ellas, el número de valores propios que genera la matriz, es decir, las raíces surgen de resolver la ecuación característica  $|A-\lambda I|$ , donde  $A$  es la matriz de los datos de las variables en cuestión e  $I$  la matriz Identidad. Los valores propios o raíces latentes determinan el número de factores  $f_i$  que explicaran las variables seleccionadas para el análisis (para generar el número de factores se utiliza el criterio de las raíces que son mayores que 1). Las cargas factoriales  $\lambda_{jm}$  con valores  $\pm 0.30$  se consideran que están en el nivel mínimo, las cargas de  $\pm 0.40$  se consideran moderadas y las de  $\pm 0.50$  o mayores se consideran marcadas o significativas. Los valores menores o cercanos a  $\pm 0.20$  se consideran muy bajas y podemos decir que son no apreciables en la relación factorial (Johnson, 2000).

Otra de las dificultades que hay que resolver a la hora de diseñar modelos basados en técnicas multivariantes, es aquella que se presenta cuando los modelos discrepan en la clasificación de una observación, ello ocasionará incertidumbre a la hora de incorporar estas técnicas en el modelo generador de datos para determinar una simulación. Entonces, la validación de la(s) ecuación(es) que genera la técnica multivariante es de vital importancia para la ejecución de los modelos que usen estos métodos para el procesamiento de observables.

#### **2.3.3.5 Modelos de Regresión no-Lineal**

Cuando la relación entre las variables explicatorias del modelo no puede ser expresada como una ecuación lineal, entonces se utilizan otro tipo de modelos no-lineales como los modelos polinómicos.

La ecuación de un modelo polinómico cuadrático con dos variables independientes puede ser representado del siguiente modo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2^2 \quad (6)$$

Donde  $\beta_0$  es la ordenada al origen de una superficie plana. Valor de Y cuando  $x_1=x_2=0$ .

$\beta_1$  es el cambio en Y por un incremento unitario de  $x_1$  cuando  $x_2$  se mantiene constante.

$\beta_2$  es el cambio en Y por un incremento unitario de  $x_2$  cuando  $x_1$  se mantiene constante.

Existen otro tipo de modelo llamados modelos con interacciones como el siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2^2 + \beta_3 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (7)$$

Los coeficientes  $\beta_1$  y  $\beta_2$  miden los cambios unitarios como en el modelo (6). En este caso  $\beta_3$  controla la tasa de curvatura de la superficie.

El denominado modelo completo de segundo orden con variables independientes se expresa según la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2^2 + \beta_3 \cdot X_1 \cdot X_2 + \beta_4 \cdot X_1^3 + \beta_5 \cdot X_2^3 \quad (8)$$

En este modelo los coeficientes  $\beta_4$  y  $\beta_5$  controlan el tipo de superficie y las tasas de curvatura. Los coeficientes  $\beta_1$  a  $\beta_4$  miden las mismas características que los modelos (6) y (7). Para llegar a representar un fenómeno de un sistema socio-ecológico con este tipo de modelo se requieren muchas pruebas de ensayo y error y un conocimiento de la situación observada para comprender las interacciones entre las variables del sistema.

En Walpole et al. (2007) se encuentran formas de modelos no lineales que pueden transformarse a ecuaciones lineales. El modelo  $Y = \alpha \cdot e^{\beta x}$  puede linealizarse utilizando la transformación  $y^* = \ln Y$ . Así mismo el modelo no lineal  $Y = \alpha \cdot x^\beta$  se puede transformar utilizando  $y^* = \log Y$ ;  $x^* = \log X$  y haciendo la regresión lineal simple entre las variables  $y^*$  y  $x^*$ . Si se hacen las transformadas  $y^* = 1/y$ ;  $x^* = 1/x$  los coeficientes del modelo denominado ecuación hiperbólica  $Y = x / (\alpha + \beta \cdot x)$  se encuentran haciendo la regresión de  $y^*$  contra  $x^*$ .

## Capítulo III

### La Red Conceptual Multinivel

*Tomaba notas sin parar y fui forjando mi manera de tratar un problema aireándolo, agrupándolo, reuniendo los elementos que venían de disciplinas separadas para articularlos y finalmente tratar el problema en su unidad y su diversidad... Sabía que debía tener una visión poliscópica, múltiple de mi tema.*

*De Edgar Morin en Mi Camino (2008).*

La red conceptual multinivel (RCM) puede definirse como un aparato conceptual (constructo) para hacer viable el análisis, la modelización y el cálculo de una medida de la sostenibilidad en sistemas socio-ecológicos. Con este constructo se postula un diseño que considera como un sistema las múltiples disciplinas relacionadas con la situación observada en el sistema socio-ecológico considerado, un conjunto de conceptos derivados de las disciplinas, las hipótesis necesarias para determinar la sostenibilidad y los observables que permiten la modelización y la cuantificación de la sostenibilidad. En este sentido la RCM es un modelo teórico que proporciona una manera de concebir la modelización y la medición de la sostenibilidad a partir de las disciplinas relacionadas con el sistema observado. En la figura 3.1 se observa la estructura de una RCM para la medición de la sostenibilidad, está conformada por la sostenibilidad como **entidad teórica interdisciplinar** y por la jerarquía disciplinas-conceptos e hipótesis-observables. Una entidad teórica se define como aquella entidad “presente en una teoría o hipótesis científica y que denota una cosa, propiedad o proceso inaccesible a la observación común” (Bunge, 2002). El carácter interdisciplinar se logra cuando se conceptualiza la problemática del sistema socio-ecológico a partir de la colaboración entre las disciplinas que forman parte del estudio para determinar la sostenibilidad. De cada una de las disciplinas relacionadas con el objeto de estudio se derivan conceptos y de ellos se ‘desprenden’ los observables (graficados con rectángulos) para la determinación de la cuantificación de la sostenibilidad.

Para lograr el análisis de la sostenibilidad en el sistema socio-ecológico que se estudia, el modelo que se propone relaciona el pensamiento complejo, el enfoque de sistemas (sistémica) y los métodos cuantitativos y cualitativos. La RCM es un modelo en el sentido en que Falguera lo establece: “un sistema mediante el cual se postula una representación conceptual de un asunto determinado conforme a determinada finalidad. Dicha representación conceptual es un sistema abstracto” (1994a). Suscribir esta definición nos obliga a describir los tres componentes mencionados por Falguera (1994b) en la construcción de modelos: el soporte material, la representación conceptual (sistema abstracto) y el asunto o finalidad.

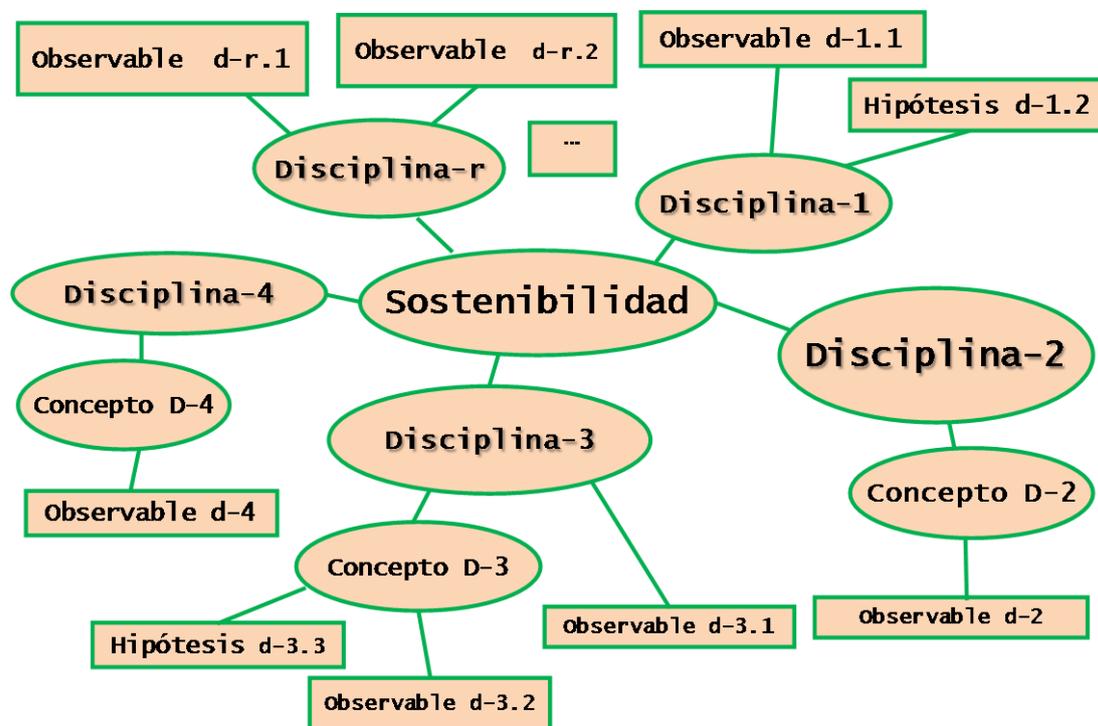


Figura 3.1. Una red conceptual multinivel

Consideremos en primer lugar el soporte material que se utiliza en la RCM. Este soporte se basa en la noción de grafo, es decir, un conjunto de vértices (sostenibilidad, disciplinas-conceptos-observables) unidos por un conjunto de arcos (líneas) y una relación de jerarquía que depende de un vértice único y central ocupado por la entidad interdisciplinaria, objeto de la red: la sostenibilidad. Alrededor de este vértice central se “agregan” –por así decirlo- las múltiples disciplinas con sus respectivos conceptos y

observables. Se comprende por disciplina un cuerpo teórico con un conjunto definido de métodos que posee un conjunto de proposiciones que se consideran verdaderas, a partir de las cuales es posible formular definiciones y nuevas proposiciones (Foucault, 2010).

La tríada conformada por vértices, arcos y una relación jerárquica, es el soporte material fundamental que proporciona la estructura de la red. En los vértices se encuentran las disciplinas, los conceptos, las hipótesis y los observables. Los arcos o líneas unen los elementos conceptuales en relación jerárquica. La relación jerárquica viene dada por los niveles conceptuales, de las disciplinas se derivan los conceptos e hipótesis y de éstos los observables.

En segundo lugar tenemos que la red está conformada por un conjunto de relaciones entre el sistema socio-ecológico y los hechos instanciados en los observables, utilizando conceptos e hipótesis. Los observables evidenciarán los puntos donde acontecen y ocurren los acoplamientos entre el sistema social y los ecosistemas. Los observables destacan los puntos focales donde los seres humanos tienen un “encuentro” con el ambiente, es decir, donde ocurre una o más transformaciones que tienen relevancia para la sostenibilidad del sistema observado. La representación conceptual o sistema abstracto está conformada en primera instancia por la red misma, con la sostenibilidad como entidad teórica central, ésta se considera una entidad interdisciplinar y multidisciplinar.

Otro de los elementos del sistema abstracto es el conjunto de relaciones que se diseña y construye a partir de la red, utilizando métodos cuantitativos y cualitativos. Para establecer las relaciones utilizamos un conjunto de principios del pensamiento complejo desarrollado por Morin (2004, 2005). Uno de los principios que se toma en cuenta es el principio de integración, que nos orienta en la composición de la red considerando diversas disciplinas, imbricándolas en un tejido conceptual coherente. El principio de multi-factorialidad o multi-dimensionalidad considera distintos factores y dimensiones en la construcción de las relaciones: los factores eco-biológicos, los factores sociales y la dimensión espacio-temporal. El principio de jerarquización permite seleccionar los datos significativos y no significativos para la concepción de los observables de la red que permitirá modelar algunos aspectos de una cuenca

hidrográfica. García (2006) establece la interdefinibilidad y la mutua dependencia como principios de la complejidad. La interdefinibilidad para un sistema complejo no puede determinarse sólo a partir de la suma de disciplinas sectoriales, sino a partir de la integración de los factores esenciales del estudio. Así mismo, el principio de mutua dependencia determina que la alteración que ocurre en 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 que acontecen en una cuenca hidrográfica. En este sentido, la red hace viable la interrelación entre disciplinas y la colaboración entre estas para comprender los múltiples aspectos de la sostenibilidad.

Finalmente, cuantificar o establecer cualificaciones sobre la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos es el asunto o finalidad de este modelo conceptual. Esto es posible a partir de los observables relacionados con los acoplamientos entre el sistema social y el sistema natural. Para la cuantificación se determinan las relaciones y se obtienen indicadores e índices de aquellos puntos focales que tienen vital importancia para la sostenibilidad del sistema socio-ecológico. Para establecer categorías cualitativas que den cuenta de la sostenibilidad, la RCM nos permite observar el ‘mapa’ de relaciones entre los observables necesarios para tal construcción.

En la tabla 3.1 se presentan los supuestos onto-epistemológicos en los que se basa el planteamiento de las redes conceptuales multinivel. Cada postulado se explica para lograr una comprensión adecuada mirando la praxis futura de la construcción de una red conceptual.

Tabla 3.1. Esquema para una posición onto-epistemológica para modelar y medir la sostenibilidad de un sistema

Postulado	Explicación
1. El mundo está compuesto por cosas.	1.1 Los sistemas son cosas. 1.2 Los sistemas son naturales o creados. 1.3 A los sistemas creados les llamaremos sistemas artificiales. 1.4 A las cosas les asignamos observables, atributos y categorías.

	<p>1.5 Los seres humanos creamos cosas materiales e inmateriales.</p> <p>1.6 Las ideas son construcciones inmateriales.</p>
2. Utilizaremos un lenguaje representacional para mostrar las relaciones entre los sistemas	<p>2.1 Denominaremos modelos a aquellas representaciones de las cosas.</p> <p>2.2 Los modelos son representaciones, son sistemas de ideas, sistemas artificiales.</p>
3. La sostenibilidad -en sí- es inobservable e imperceptible	<p>3.1 Se han de diseñar herramientas para su ‘observación’.</p> <p>3.2 La sostenibilidad se puede modelar a partir de las categorías y variables diseñadas para su ‘observación’.</p> <p>3.3 Medir la sostenibilidad requiere la creación de categorías: diseñar dimensiones para su observación.</p> <p>3.4 La dimensión económica, la dimensión ambiental, la dimensión social y la dimensión institucional permiten ‘observar’ la sostenibilidad de un sistema.</p>
4. Se pueden modelar las cosas desde la perspectiva disciplinar.	<p>4.1 Biocomplejidad, Salud Ambiental, Ecología del Paisaje, Toxicología, Eco-hidrología son disciplinas con las que podemos construir categorías para la observación y modelización de los sistemas.</p>
5. Las cosas están relacionadas formando redes.	<p>5.1 Redes de transporte, redes eléctricas, grafos, redes neuronales, redes bióticas.</p>
6. Una red conceptual es un constructo diseñado coherentemente para relacionar conceptos.	<p>6.1 Una red conceptual permite representar la sostenibilidad de un sistema.</p> <p>6.2 La sostenibilidad se puede modelar desde la perspectiva disciplinar.</p> <p>6.3 El diseño de redes conceptuales a partir de ‘lo disciplinar’ viabilizan la construcción de modelos para medir la sostenibilidad.</p> <p>6.4 Partiendo de la Biocomplejidad, Salud Ambiental (<i>EcoHealth</i>), Eco-hidrología, podemos construir modelos sobre la sostenibilidad de un sistema.</p> <p>6.5 Una red conceptual muestra la integración de ‘lo disciplinar’ alrededor de la entidad central (la sostenibilidad) de la red conceptual (Principio de Integración).</p> <p>6.6 Los sistemas forman redes inter-</p>

	<p>dependientes (Principio de inter-dependencia).</p> <p>6.7 Una red conceptual modela la sostenibilidad cuando se consideran los múltiples factores que se relacionan con el sistema observado (Principio de multi-factorialidad).</p> <p>Los Principios: integración, jerarquía, inter-dependencia, inter-definibilidad y multi-factorialidad.</p> <p>6.8 Los principios conforman la coherencia interna de la red conceptual</p> <p>6.9 La cohesión (coherencia externa) de la red conceptual la proporciona la consiliencia de la entidad central (la sostenibilidad).</p> <p>La consiliencia significa que todas las disciplinas de la red conceptual son coherentes para modelar la sostenibilidad.</p>
7. La medición de la sostenibilidad se realiza a partir de relaciones entre observables.	<p>7.1 A partir de modelos correlacionales se obtienen relaciones entre los observables.</p> <p>7.2 Para cualificar la sostenibilidad se requieren relaciones significativas a partir de categorías y de sus observables.</p>
8. Las redes conceptuales son constructos para representar las relaciones que permiten cuantificar/cualificar la sostenibilidad de un sistema (Enfoque Representacional).	
9. Las redes son modelos conceptuales y por tanto son falibles, refutables y validables.	<p>9.1 La evaluación de una red conceptual pasa por determinar la coherencia entre los conceptos, los observables y las hipótesis en la situación estudiada.</p> <p>9.2 Las relaciones entre observables pueden validarse a partir de métodos cuantitativos (regresión múltiple, regresión logit).</p> <p>9.3 Las relaciones entre observables y los resultados sobre la sostenibilidad están sujetos a refutación.</p>
10. La Sostenibilidad es una entidad teórica que se puede cuantificar/cualificar a partir de redes conceptuales basadas en disciplinas.	<p>10.1 Partiendo de las redes conceptuales y de la jerarquía disciplina-concepto-observable se pueden obtener valores y apreciaciones sobre la sostenibilidad de los sistemas que se han de observar.</p>

Fuente: elaboración propia.

Para garantizar la coherencia de los postulados establecidos, la posición onto-epistemológica que se ha enunciado se hizo revisar por dos expertos, los doctores: Luis D'Aubaterre (Universidad Nacional Experimental de Guayana, Venezuela) y Manuel García Sánchez (Universidad de Barcelona, España). La discusión y revisión de las ideas le permite al investigador que una comunidad científica refute sus planteamientos con el fin de recibir la retroalimentación que se requiere de sus pares.

La propuesta de las redes conceptuales se distingue de los métodos convencionales para analizar la sostenibilidad debido a que se orienta hacia las tendencias actuales en cuanto a disciplinariedad-interdisciplinariedad-multidisciplinariedad-transdisciplinariedad de los estudios de sostenibilidad y en general de las ciencias. Adicionalmente, la red conceptual es un modo de presentar la interdependencia y la conectividad que existe entre los objetos, las 'cosas', los entes de los sistemas socio-ecológicos. La red conceptual multinivel se ha concebido como un grafo que facilita la visualización de las relaciones entre los elementos del sistema socio-ecológico que serán objeto de análisis y de la modelización de la sostenibilidad.

Cada caso de estudio que se presenta en el próximo capítulo tiene asociado una red conceptual, tanto para los casos de estudio donde se cuantifica la sostenibilidad como para el caso donde se construyen unas categorías que permiten derivar una concepción de la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos estudiados. La sostenibilidad es un concepto interdisciplinar y multidisciplinar dueño de un carácter conceptual que permite determinar la viabilidad de los sistemas socio-ecológicos presentes en las cuencas de la Guayana Venezolana.

## Capítulo IV

### Los casos de estudio

En este capítulo se presentan cuatro casos de estudio que muestran cómo se desarrolla la hipótesis de método de esta tesis doctoral. Se entiende como **caso de estudio** una investigación que tiene como objetivo “responder al planteamiento de un problema, probar hipótesis o desarrollar una teoría” (Sampieri et al., 2006). Para Sabino (2000) los casos de estudio permiten adentrarse en profundidad y con exhaustividad en el conocimiento de un objeto de estudio complejo. En esta investigación cada caso de estudio nos permitirá darle credibilidad a la hipótesis de investigación acerca de la sostenibilidad de las cuencas de la Guayana Venezolana.

Los casos de estudio ilustran el estado actual de dos de las mayores cuencas de la Guayana Venezolana: la cuenca del Río Caroní y la cuenca del Río Caura. Los dos primeros casos de estudio se refieren a la cuenca del Caroní. En el primero de ellos se observan las desigualdades en el crecimiento de las poblaciones indígenas respecto de la población de criollos, la contaminación mercurial en peces y los daños al paisaje. En el segundo caso se muestran los daños neurológicos que ocasiona la contaminación mercurial en tres poblaciones de la cuenca baja del Río Caroní. Los casos tres y cuatro se desarrollan en la cuenca del Río Caura. En el tercer caso se destaca el papel de la capacidad generativa y su relación con la sostenibilidad ambiental. El último caso de estudio desarrollado se dedica a la sostenibilidad ambiental y la eventual vulnerabilidad del sistema socio-ecológico ante la influencia del El Niño Oscilación Sur y las alteraciones de la temperatura del Océano Atlántico Tropical. Los casos de estudio de esta investigación fueron desarrollados por la existencia de datos, proyectos de investigación e información bibliográfica pertinente.

## **4.1 Determinación de la Sostenibilidad en la Cuenca del Río Caroní**

### **4.1.1 Introducción**

En este caso de estudio 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 diseñan unos modelos estadísticos que muestran las relaciones entre un conjunto de variables que evidencian el deterioro causado al ambiente por esa actividad. Se cuantifica la sostenibilidad de dicha cuenca a partir de los modelos y relaciones encontradas. Este caso de estudio se construyó a partir del trabajo publicado con el nombre de “Diseño de un modelo para el análisis de la sostenibilidad en la Cuenca Hidrográfica del río Caroní en la Guayana Venezolana” en la Revista Internacional de la Cátedra UNESCO de Sostenibilidad y de la ponencia en la International Conference on Sustainability Measurement and Modelling ICSMM 2009.

La sostenibilidad tiene un componente que está asociado a la viabilidad socio-ecológica, esta clase de viabilidad se refiere a la posibilidad de que sean realizados los procesos bióticos y las actividades del grupo social. La viabilidad socio-ecológica comienza considerando la vida misma, la posibilidad de vida de los sistemas naturales y la continuidad de los procesos socio-culturales. 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 socio-ecológica, es la reproducibilidad de los sistemas, es decir, 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.

La sostenibilidad de un sistema socio-ecológico se puede determinar a través de la medida, utilizando observables que se obtengan por muestreo de un sistema observado cuando cambia en el tiempo. La consideración de una sostenibilidad eminentemente biótica debe ser ampliada, llegando así, a ciertas condiciones que exige la existencia de la vida de los

seres que moran en un espacio geográfico dado, en ese sentido consideraremos la sostenibilidad del sistema socio-ecológico como un todo. Las condiciones como la calidad de los suelos y del agua, la habitabilidad y la subsistencia de los seres del sistema socio-ecológico considerado, son relevantes para determinar de la sostenibilidad.

Para construir un modelo que cuantifique la sostenibilidad, hemos de utilizar variables en las que logremos observar las variaciones del sistema, partiendo de lo natural, de lo vivo, para luego considerar los elementos socio-culturales. Una vez integrados estos elementos, nos ofrecerán una visión sistémica de la sostenibilidad y del equilibrio entre esos elementos. 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 socio-ecológico es equivalente a determinar variables relevantes que en términos de las inter-relaciones entre múltiples disciplinas nos permitan determinar cuan sostenible es el sistema en cuestión. De acuerdo con 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 relaciones entre los elementos de una cuenca concebida ésta como un sistema. En este orden de ideas, se podrá entonces cuantificar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico y de las actividades desarrolladas en un espacio geográfico determinado como una cuenca hidrográfica. El foco de atención de la sostenibilidad son los recursos tanto naturales como culturales y la perdurabilidad en el tiempo del sistema socio-ecológico y la de sus procesos.

Se han establecido dimensiones en las que hemos de observar y cuantificar la sostenibilidad. Sin embargo, desde un conjunto de múltiples disciplinas relacionadas e

integradas alrededor del objeto de estudio, se puede concebir un marco de observación y análisis para la sostenibilidad. En este orden de ideas, Erias y Alvarez-Campana (2007) establecen que:

*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.*

Para determinar los efectos de la interacción hombre-ambiente se ha de apelar a los puntos de vista de la biocomplejidad, la ecología del paisaje, la salud ambiental, la demografía, así como también a las múltiples disciplinas relacionadas con el sistema bajo estudio.

#### **4.1.2 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 realiza una conceptualización del objeto de estudio para definir el problema.

El Objetivo general de este caso de estudio es el de diseñar un modelo que a partir de un marco teórico adecuado permita cuantificar la sostenibilidad de la cuenca Baja del Río Caroní ubicada en la Guayana Venezolana. Para ello se han construido modelos que relacionen variables y expliquen situaciones de interés para la sostenibilidad de esta cuenca hidrográfica. Además se elaboraron indicadores y un índice de sostenibilidad a partir de variables relevantes de esta cuenca hidrográfica. Finalmente se elaboró un pronóstico (previsión) del índice de sostenibilidad para este sistema socio-ecológico.

#### **4.1.3 Conceptualización de la situación**

El interés de nuestra investigación se centra en la sostenibilidad de una cuenca de la Guayana Venezolana, se comienza entonces con la definición de cuenca hidrográfica. Sanjaume y Batalla (1966) establecen que “el sistema cuenca fluvial está 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 está 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 uno o más grupos sociales. Las cuencas objeto de estudio de esta investigación se consideran los sistemas socio-ecológicos a los que les determinaremos la sostenibilidad.

Se puede construir una medida que nos evidencie las acciones antrópicas sobre el sistema socio-ecológico. Los indicadores son observables que nos permiten determinar el estado y la evolución del medio ambiente y de las relaciones entre el sistema social y el ambiente (Jimenez Herrero, 2000). Podemos entonces construir un indicador de paisaje que cuantifique las perturbaciones provocadas por actividades de los seres humanos sobre el paisaje, esto se ha definido como impacto paisajístico. El indicador definido por el área en hectáreas/año o  $\text{Km}^2/\text{año}$  determina la acción antrópica sobre el ambiente y cuantifica la intervención sobre el conjunto de paisajes y de los ecosistemas de la cuenca hidrográfica observada.

Entendemos a la biodiversidad como la variedad de vida que se presenta en el ambiente. En esta cuenca se ocasionan daños a la biodiversidad por el deterioro de los suelos producto de los incendios incontrolados de vegetación y por la remoción de la capa vegetal cuando se practica la minería de aluvión. Este deterioro de los sistemas naturales tiene escasas posibilidades de regeneración en un horizonte de tiempo corto y mediano (Yerena, 2011). Krammer (2003) establece que “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”. 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 intervención producida por las actividades mineras provoca impactos en la fauna y la flora de una región. De hecho uno de los residuos de las actividades mineras es el mercurio utilizado para amalgamar los metales. Este metal es vertido al ambiente pasa a los cuerpos de agua y luego a los peces como elementos de las cadenas tróficas de los ecosistemas acuáticos (Álvarez y Rojas, 2009).

La Cuenca del Río Caroní esta ubicada en el sur-oriente de la República Bolivariana de Venezuela, está ubicada en el estado Bolívar y tiene un área aproximada de 92.170 Km<sup>2</sup>. En la figura 4.1.1 se puede observar la cuenca y la situación relativa dentro del país. La población de la cuenca está compuesta por criollos y por indígenas en un mosaico pluri-étnico y multi-cultural. En la tabla 4.1.1 se pueden observar los valores para la población criolla e indígena, entendiendo por indígena a aquellas personas “descendientes de los pobladores del país que se encontraban en su territorio antes de la llegada de los europeos y personas de origen africano” (Silva Monterrey, 2006). En la tabla también se muestran los datos correspondientes a los contenidos de mercurio en el tejido de los peces como una variable relevante debida al impacto de las actividades mineras. Así mismo se cuantifica anualmente el número de hectáreas intervenidas por la acción de la minería y los daños que ocasionan los incendios de vegetación.

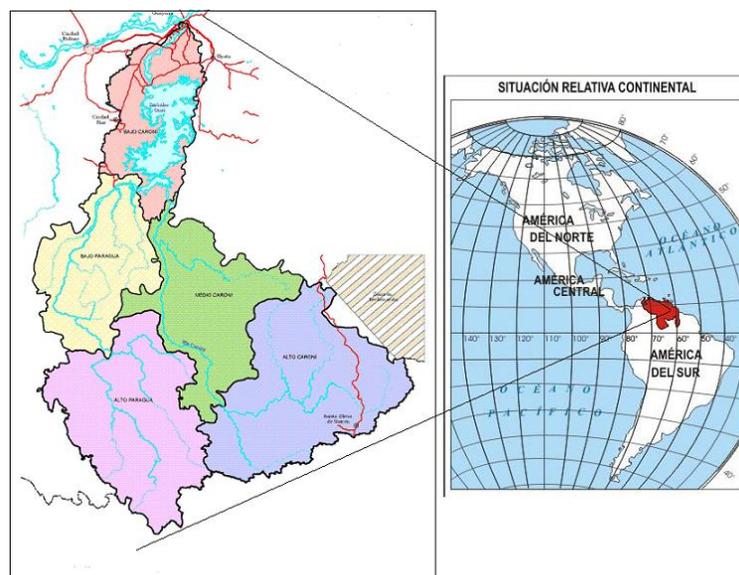


Figura 4.1.1 Ubicación geográfica de la cuenca del río Caroní.

Fuente: Cartografía Nacional de Venezuela y CVG EDELCA.

Tabla 4.1.1 Serie temporal del contenido de Hg en peces, población y áreas intervenidas en la cuenca del río Caroní

Año	Hg en peces	Población Cuenca	Población Indígena	Área Intervenida Minería	Área Intervenida Incendios
2000	0,09800	664503	24341	3257	4278
2001	0,09996	692479	24400	5789	5010
2002	0,10094	721633	24458	7852	4156
2003	0,16700	752015	24515	11380	2030
2004	0,16750	783675	24572	17461	1985
2005	0,25600	816669	24628	24523	2085
2006	0,25787	851051	24684	37412	6824
2007	0,25651	886881	24740	42297	7859

Fuente: EDELCA (2008), Allais (2004) e Instituto Nacional de Estadística de Venezuela. Programa de Investigación en Mercurio UNEG-UCV.

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. La figura 4.1.2 muestra esta idea adecuadamente. Esta desproporción evidencia un punto de insostenibilidad ocasionado por presión demográfica que se ejerce sobre los indígenas, la introducción de enfermedades en donde habitan los indígenas y una ocupación de las tierras donde cosechan y recolectan sus alimentos las etnias de la cuenca. Una de las fuentes que facilitan transmisión de enfermedades metaxénicas presentes en la cuenca es la actividad minera. Los mineros infectados van de un lugar a otro dependiendo del sitio donde suponen que se pueda encontrar una veta del mineral, en ese transitar dispersan los agentes causantes de las enfermedades (Prothero, 2001). 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 diferencia en el crecimiento de las poblaciones 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.

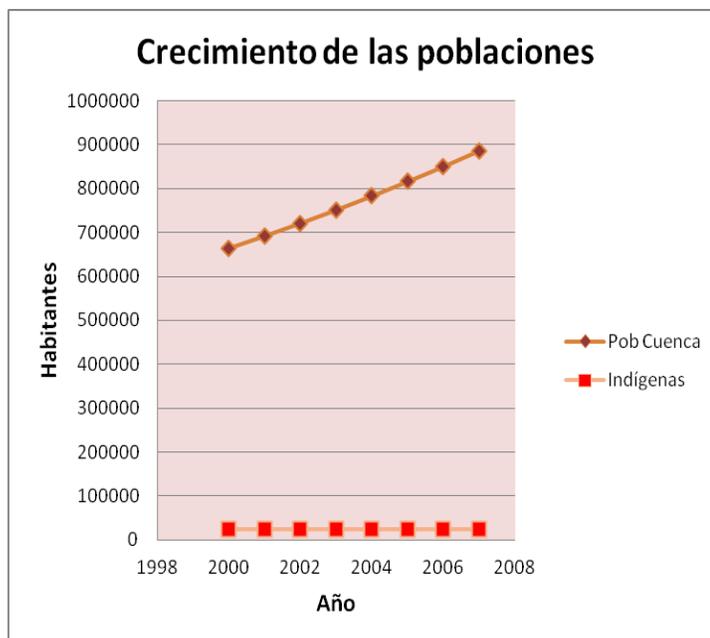


Figura 4.1.2 Crecimiento de las poblaciones en la cuenca del río Caroní.

Fuente: CVG (2004), Allais (2004) e Instituto Nacional de Estadística de Venezuela.

#### 4.1.4 Identificación del Problema

Las cuencas de la Guayana Venezolana vienen siendo objeto de un deterioro sostenido, debido a actividades 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.

#### 4.1.5 Diseño de modelos de la situación observada

Los modelos se elaboraron con datos anuales, iniciando en el año 2000 y finalizando en el año 2007. Se hicieron modelos de regresión múltiple para relacionar las variables observadas. Para el diseño de los modelos se utilizó la red de conceptos y observables que se muestra en la figura 4.1.3, allí se pueden ver los observables que surgen de los conceptos que se utilizan en el diseño de los modelos. Uno de los modelos que se planteó fue el de relacionar 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 ( $\text{Km}^2$ ). Los datos se obtuvieron de información aportada por la Electrificación del Caroní (EDELCA, 2008) y del Programa de Mercurio de la Universidad Nacional Experimental de Guayana (Bermúdez et al., 1999, 2004).

Con un valor de coeficiente de regresión múltiple  $r = 0,969$  y un valor de  $p=0,007$  (ANOVA) la ecuación de regresión múltiple es:

$$\text{Hg}_{\text{peces}} = -0,062 + 0,07 \cdot \text{Sedimentos} + 0,003 \cdot \text{ÁreaInterv} + 0,001 \cdot \text{PobCuenca}$$

$\text{Hg}_{\text{peces}}$ : 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 y los incendios de vegetación ( $\text{Km}^2$ )

PobCuenca: fracción de población de la cuenca (miles)

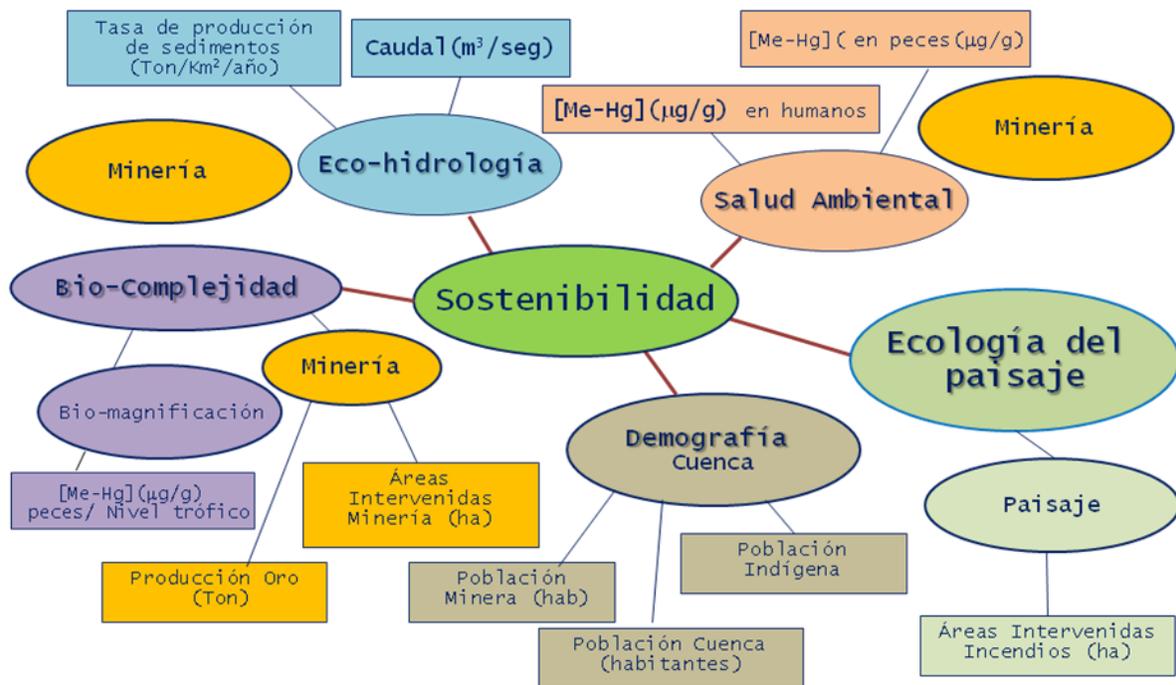


Figura 4.1.3 Red Conceptual con los observables de los modelos

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 la figura 4.1.4, se puede observar el escategrama entre  $Hg_{\text{peces}}$  y la tasa de producción de sedimentos, el coeficiente de correlación entre estas variables es de  $r=0,954$ . La tasa de producción de sedimentos revela la gran cantidad de material removido en la actividad minera y está relacionada con la cantidad de material para la obtención de oro.

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 para estos observables 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, la ecuación es:  $Y_{\text{mineros}} = 10 + 0,20 \cdot \text{Toneladas}^2$ , el valor del coeficiente de determinación no lineal corregido es  $r^2 = 0,985$ .

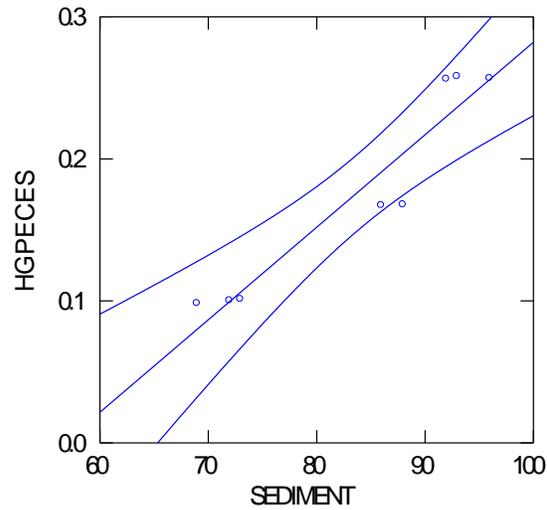


Figura 4.1.4. Escategrama con los límites de confianza ( $1-\alpha=0,95$ ) de la tasa de producción de sedimentos (SEDIMENT) y el mercurio en peces (HGPECES).

En la figura 4.1.5 podemos observar el ajuste no lineal para el número de mineros y las toneladas de oro producidas.

Una vez se determinó el número de mineros, se hizo una regresión múltiple para validar las áreas intervenidas. 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:

$$\text{Área Intervenida} = 23635 - 0.09 \cdot \text{PobCuenca} + 1,85 \cdot \text{Mineros}$$

Las variables del modelo son: las Área Intervenida es el área intervenida por la minería y los incendios de vegetación ( $\text{Km}^2$ ), PobCuenca es la fracción de población de la cuenca (miles de habitantes) y Mineros es número de mineros estimados en la región intervenida.

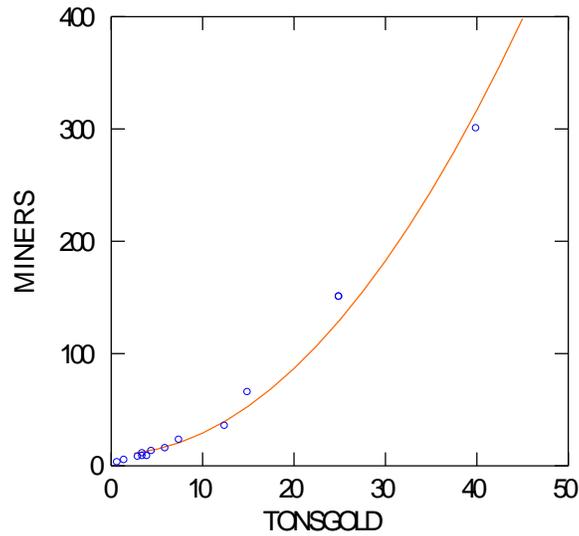


Figura 4.1.5. Ajuste no lineal entre la cantidad de mineros (MINERS) y la producción de oro artesanal (TONSGOLD). Fuente Huidobro (2004).

La regresión paso a paso consideró que el mejor predictor para el observable denominado área intervenida es el número de mineros. En la figura 4.1.6 se puede observar la relación entre las áreas intervenidas y el número de mineros estimados.

Los datos de la tabla 4.1.1 muestran una tendencia creciente, esta tendencia se evaluó utilizando la prueba de Mann-Kendall (SYSTAT, 2009). Para cada uno de los observables de la tabla mencionada se evaluó la prueba de Mann-Kendall y la hipótesis nula de no tendencia se rechazó en favor de la hipótesis alternativa de una tendencia creciente ( $p=0,0$ ). Para realizar los pronósticos (previsiones) para los años 2008-2015, se utilizó el modelo cuya ecuación se muestra a continuación:  $Y_{t+p} = A_t + p \cdot T_t$  donde el sub-índice  $t$  es el período y  $p$  es el período a pronosticar. El nuevo valor atenuado  $A_t$  se obtiene mediante la ecuación  $A_t = \alpha \cdot y_t + (1-\alpha) \cdot (A_{t-1} + T_{t-1})$ , donde  $y_t$  es el valor real de la serie de tiempo,  $T_t$  es la estimación de la tendencia y se obtiene así  $T_t = \beta \cdot (A_t - A_{t-1}) + (1-\beta) \cdot T_{t-1}$ . La constante  $\alpha$  es la constante de suavización de los datos ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) y  $\beta$  es la constante de atenuación de la tendencia de la serie ( $0 \leq \beta \leq 1$ ).

Esta técnica de pronóstico utilizada se denomina Método de Holt y permite hacer las previsiones para una serie de tiempo cuando se presenta una tendencia creciente o decreciente. El Método de Holt junto a los métodos de Brown y Winter son técnicas de pronóstico (forecast) de atenuación o suavización exponencial, este tipo de atenuación es un procedimiento para revisar constantemente una previsión a la luz de la ocurrencia mas reciente (Hanke y Reitsh, 1996; Anderson et al., 2006).

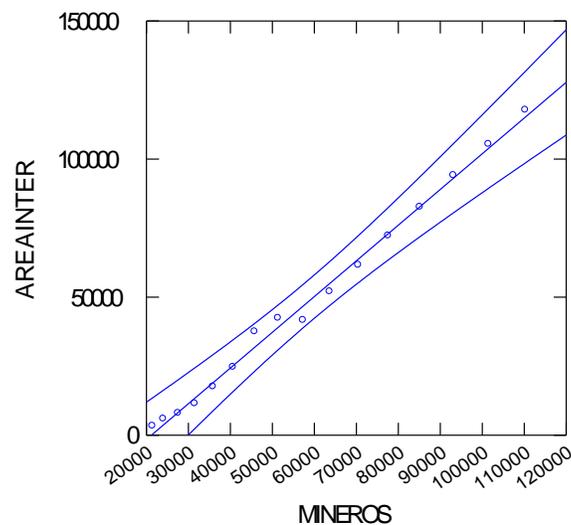


Figura 4.1.6. Áreas intervenidas (AREAINTER) en función del número de mineros (MINEROS) con los límites de confianza ( $1-\alpha=0,95$ ) de la recta de regresión.

#### 4.1.6 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 da cuenta de la acción que hace viable o inviable un sistema socio-ecológico será entonces 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. El indicador asociado al mercurio en peces determina la acción de la minería artesanal sobre los ecosistemas acuáticos, la proporción de indígenas respecto de la población criolla evidencia el crecimiento de la población criolla respecto de la población indígena. Este incremento requiere de áreas para ser habitadas por la población criolla en detrimento de las zonas donde los indígenas obtienen sus productos naturales. La incursión de la población criolla dentro de las tierras de caza y recolección de los indígenas acelera el agotamiento de los recursos de los que dependen los indígenas para su sobrevivencia. Este incremento de la población aumenta la incidencia de enfermedades que se transmiten a los indígenas, ya comentamos que la minería trae consigo condiciones de insalubridad que son propicias para la proliferación del dengue, el paludismo y de otras enfermedades metaxénicas.

Para construir los indicadores se utilizaron los datos originales y algunas estimaciones para los datos faltantes en las matrices de datos. Bohringer y Jochem (2007) recomiendan normalizar los indicadores para hacerlos comparables y transformarlos a una escala común.

En la tabla 4.1.2 se muestra el proceso de obtención del indicador asociado a las áreas intervenidas tanto por la minería como por los incendios de vegetación en la cuenca del río Caroní. Una vez se obtiene la suma de las áreas intervenidas, 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.

Tabla 4.1.2 Indicador de Áreas Intervenidas.

<b>Año</b>	<b>Área Intervenida Minería</b>	<b>Área Intervenida Incendios</b>	<b><math>\Sigma</math> Áreas Intervenidas</b>	<b>Z-Áreas Intervenidas</b>	<b>Indicador Áreas Intervenidas</b>
2000	3257,00	4278,00	7535,00	-0,96	3,3967
2001	5789,00	5010,00	10799,00	-0,76	3,7345
2002	7852,00	4156,00	12008,00	-0,68	3,8597
2003	11380,00	2030,00	13410,00	-0,60	4,0048
2004	17461,00	1985,00	19446,00	-0,22	4,6296
2005	24523,00	2085,00	26608,00	0,22	5,3709
2006	37412,00	6824,00	44236,00	1,32	7,1955
2007	42297,00	7859,00	50156,00	1,68	7,8083

La tabla 4.1.3 muestra la ejecución del modelo de Holt para calcular los valores futuros de  $y_{t+1}$  tanto para los indicadores como para el índice de sostenibilidad con  $\alpha=0,65$  y  $\beta=0,05$ . El valor de los pronósticos en la tabla se refieren a los años 2008-2015.

Tabla 4.1.3 Valores reales (2000-2007) y pronósticos (2008-2015) de los indicadores y del índice de sostenibilidad.

Año	Indicador Hg en peces	Indicador Proporción Indígenas	Indicador Áreas Intervenidas	Índice de Sostenibilidad
2000	3,2296	7,4674	3,3967	6,95
2001	3,2744	6,7079	3,7345	6,57
2002	3,2968	5,9762	3,8597	6,27
2003	4,8064	5,2718	4,0048	5,49
2004	4,8178	4,5940	4,6296	5,05
2005	6,8402	3,9417	5,3709	3,91
2006	6,8829	3,3141	7,1955	3,08
2007	6,8519	2,7099	7,8083	2,68
2008	7,1848	3,1937	7,7706	2,75
2009	7,4629	3,2727	8,0788	2,58
2010	7,7409	3,3518	8,3870	2,41
2011	8,0190	3,4308	8,6952	2,24
2012	8,2970	3,5098	9,0034	2,07
2013	8,5751	3,5889	9,3117	1,90
2014	8,8532	3,6679	9,6199	1,73
2015	9,1312	3,7469	9,9281	1,56

#### 4.1.7 Análisis de los resultados

Los indicadores de sostenibilidad muestran una tendencia marcada hacia lo desfavorable: se muestra un incremento de la cantidad de mercurio en los peces, un decremento de la proporción de indígenas respecto de la población criolla y un aumento de las áreas afectadas. La figura 4.1.7 muestra la evolución de los indicadores de sostenibilidad calculados a partir de las observaciones (2000-2007) y del método de pronóstico de Holt (2008-2015).

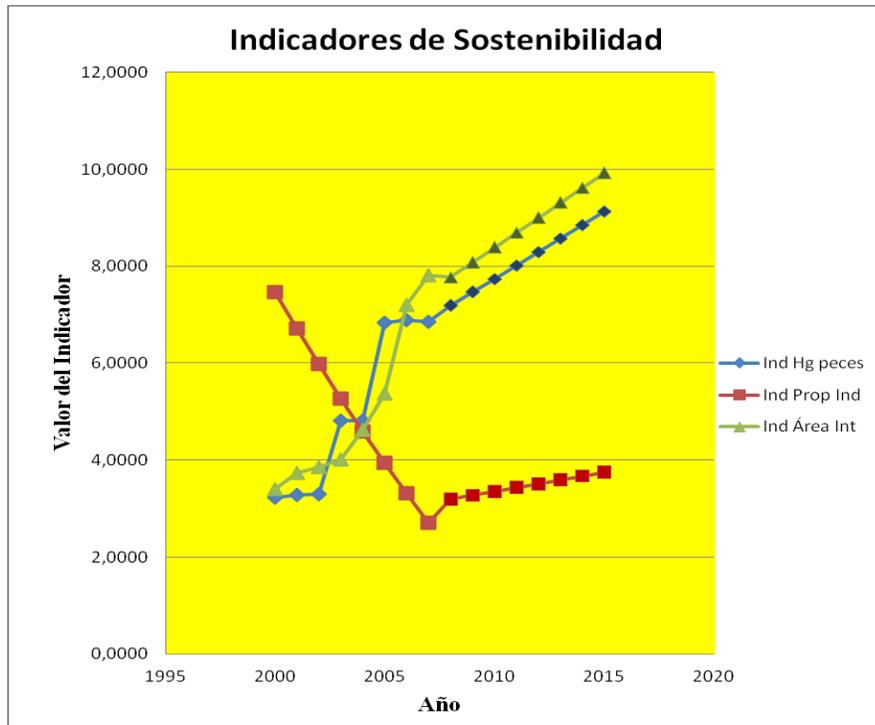


Figura 4.1.7. Evolución de los Indicadores de Sostenibilidad.

El Índice de Sostenibilidad se muestra en la figura 4.1.8. Se puede notar que de seguir la situación actual, la sostenibilidad -obtenida a partir de los indicadores utilizados- seguirá en una tendencia sostenida de decrecimiento.

La precisión de los pronósticos se puede obtener a partir del Error Cuadrático Medio (ECM) y de los criterios de Akaike y Schwarz. El ECM se determina promediando la diferencia cuadrática del error  $\varepsilon_t$ . El error de pronóstico se calcula de acuerdo a la ecuación  $\varepsilon_t = y_t - Y_t$ , donde  $y_t$  es el valor real y  $Y_t$  es la previsión para el período  $t$ . El criterio de Akaike se obtiene multiplicando el ECM por la constante  $e^{k/N}$ , donde  $k$  es la cantidad de parámetros estimados en el modelo de pronóstico y  $N$  es el número de períodos pronosticados (Diebold, 1999). En el método de Holt se estiman  $A_t$  y  $T_t$ , es decir  $k=2$ . Dado que se realizan pronósticos para los años 2008 al 2015, el valor para  $N$  es 8. Los valores para el criterio de Akaike se obtienen según la ecuación  $Akaike = ECM \cdot e^{k/N}$  y el criterio de Schwarz se determina así  $Schwarz = ECM \cdot N^{k/N}$  (Diebold, 1999). Es deseable que las cantidades que miden la exactitud de la previsión estén cercanas a cero.

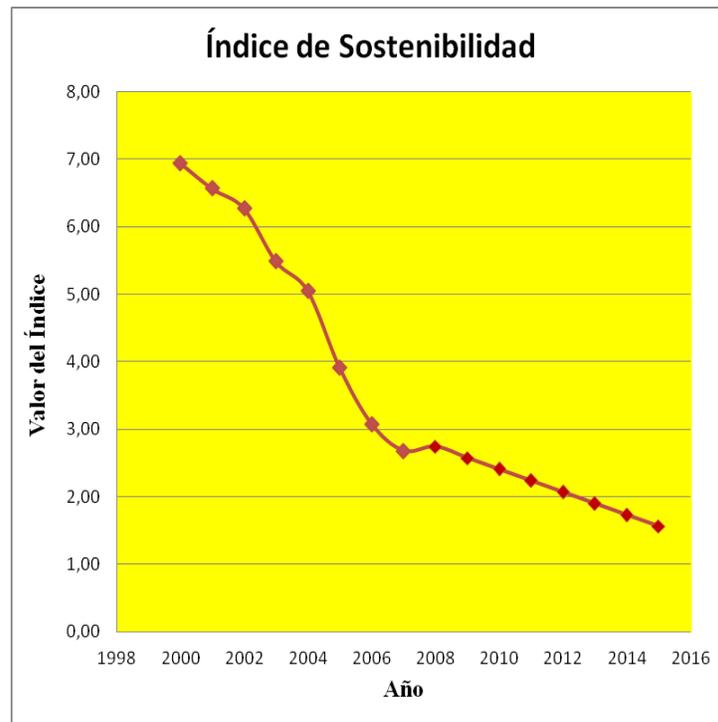


Figura 4.1.8. Índice de Sostenibilidad.

La tabla 4.1.4 muestra diferentes valores de precisión de los pronósticos del Índice de Sostenibilidad para diversos valores de la constante de suavización  $\alpha$  y de la constante de atenuación  $\beta$ . En la tabla se observa que la precisión obtenida de los pronósticos es máxima cuando  $\alpha= 0,99$  y  $\beta=0,01$ , nótese que la precisión es un valor relativamente pequeño. Cuando  $\alpha$  tiende a 1 ( $\alpha \rightarrow 1$ ) el valor del pronóstico incluirá un ajuste sustancial del error ocurrido en el pronóstico del período anterior. Cuando  $\beta$  tiende a cero ( $\beta \rightarrow 0$ ) el valor obtenido de la tendencia  $T_t = \beta \cdot (A_t - A_{t-1}) + (1-\beta) \cdot T_{t-1}$  está afectada en gran medida por el valor de la tendencia anterior. Nótese en la ecuación de  $T_t$  que cuando  $\beta \rightarrow 0$ , el multiplicador  $(1-\beta) \rightarrow 1$  y en consecuencia la tendencia  $T_t$  dependerá sustancialmente de la tendencia anterior  $T_{t-1}$ .

Tabla 4.1.4 Error Cuadrático Medio, Criterios de Akaike y Schwarz para diversos valores de  $\alpha$  y  $\beta$  en la obtención del Índice de Sostenibilidad.

Alfa ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )	ECMT	Akaike	Schwarz
<b>0,99</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0210</b>	<b>0,0035</b>	<b>0,0036</b>
0,99	0,02	0,0085	0,0140	0,0143
0,95	0,02	0,0114	0,0187	0,0191
0,90	0,02	0,0324	0,0534	0,0544
0,80	0,02	0,1363	0,2247	0,2292
0,75	0,02	0,2230	0,3667	0,3751
0,70	0,02	0,3370	0,5556	0,5667
<b>0,65</b>	<b>0,05</b>	<b>0,4421</b>	<b>0,7279</b>	<b>0,7435</b>
0,60	0,05	0,6072	1,0011	1,0212
0,55	0,05	0,8152	1,3441	1,3710
0,45	0,05	1,4082	2,3822	2,3683
0,35	0,05	2,3835	3,9297	4,0085
0,25	0,10	3,6431	6,0064	6,1269

#### 4.1.8 Conclusiones

Si continúan las tendencias actuales en cuanto a la contaminación mercurial en peces y el aumento de las áreas intervenidas, la evaluación de la sostenibilidad en la cuenca del río Caroní decrecerá sustancialmente año a año. De no tomar medidas inmediatas, los efectos de la minería en cuanto a contaminación y degradación del paisaje se incrementaran notablemente.

Para revertir la situación decreciente de la proporción de la población indígena en la cuenca se hace necesario introducir mejoras en las condiciones de salubridad de manera que el impacto en la tasa de mortalidad disminuya.

La sostenibilidad es una categoría conceptual que requiere de un enfoque interdisciplinario y multidisciplinario para poder abordar las dificultades asociadas a su complejidad, en ese sentido múltiples disciplinas deben converger para lograr cuantificarla utilizando modelos para representar la realidad observada.

## **4.2. Sostenibilidad local en la cuenca baja del Río Caroní**

En este caso de estudio se presenta un análisis de la sostenibilidad local a partir del estudio de impacto del mercurio proveniente de la minería artesanal en tres pequeñas poblaciones de la cuenca baja del Río Caroní. Esta investigación trata del estado de deterioro del ecosistema debido a la acción antrópica y como se revierte ese efecto sobre la salud de los habitantes de esta porción de la cuenca del Río Caroní. El estudio muestra los efectos de la minería ilegal de oro sobre los ecosistemas y sobre la población misma. Esta investigación fue presentada como ponencia en las Jornadas de Modelado y Simulación JMS 2010 y publicada en la revista *Open Journal Ciencia e Ingeniería* de la Universidad de los Andes en Venezuela.

### **4.2.1 Introducción**

El estudio de espacios en los que existen interacciones humanas con la naturaleza es de especial importancia para la observación y modelado de la sostenibilidad. En esos espacios donde la intervención humana deja sus huellas deteriorando el ambiente, es una cuestión imperiosa la observación y la detención de los daños. Por tanto, el diseño de modelos para cuantificar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico, más que un trabajo académico es una cuestión de responsabilidad social. Este trabajo tiene como objetivo diseñar un constructo que a partir de lo disciplinar, lo multidisciplinar e interdisciplinar se pueda construir una red que conecte conceptos, hipótesis y observables en un plexo de relaciones que permita cuantificar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico. Partiendo de los principios del pensamiento complejo se diseña una red conceptual multinivel (RCM) con los observables que sirven de fundamento para la construcción de cantidades que cuantifican la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico. En los estudios de sostenibilidad usualmente se tienen en cuenta tres dimensiones: la dimensión social, la dimensión económica y la dimensión ambiental (Granados, 2010; Martínez, 2010), algunos autores como Jiménez-Herrero (2000) incluyen además la dimensión política. Este trabajo prescinde del enfoque de las dimensiones para determinar la sostenibilidad, en lugar de ello, se construye una red que se conforma a partir de las disciplinas relacionadas con el

sistema socio-ecológico observado. De las disciplinas que representan el objeto de estudio se derivan los conceptos, las hipótesis y los observables cuantitativos para la determinación de la sostenibilidad.

#### **4.2.2 La minería artesanal en la cuenca baja del Río Caroní**

Las cuencas de la Guayana Venezolana están siendo objeto de un deterioro continuo debido a actividades mineras que impactan y alteran los ecosistemas acuáticos y terrestres. En adición a esto se realizan incendios de suelos para ‘limpiar’ las tierras que se dedicarán a actividades agrícolas y ganaderas (Picón, 2007; EDELCA, 2004). La cuenca del río Caroní está situada en el sur-oriente de la República Bolivariana de Venezuela, como se muestra en la figura 4.2.1. Allí puede verse la ubicación de la cuenca baja del río Caroní, donde se encuentra el reservorio de agua de Guri, que sirve a la central hidroeléctrica Raúl Leoni como fuente de suministro de agua.

Las actividades de extracción de oro de la minería artesanal no sólo deterioran los suelos y la cobertura vegetal, sino que además sus desechos son vertidos al ambiente. En la minería artesanal del oro se utilizan métodos rudimentarios de extracción que utilizan generalmente mercurio para amalgamar los metales, convirtiéndose este mercurio en uno de los residuos de la obtención del oro (Bermúdez et al., 1999). Huidobro et al. (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, en las plantas y en las aguas. Este tipo de proceso de producción de oro genera 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.

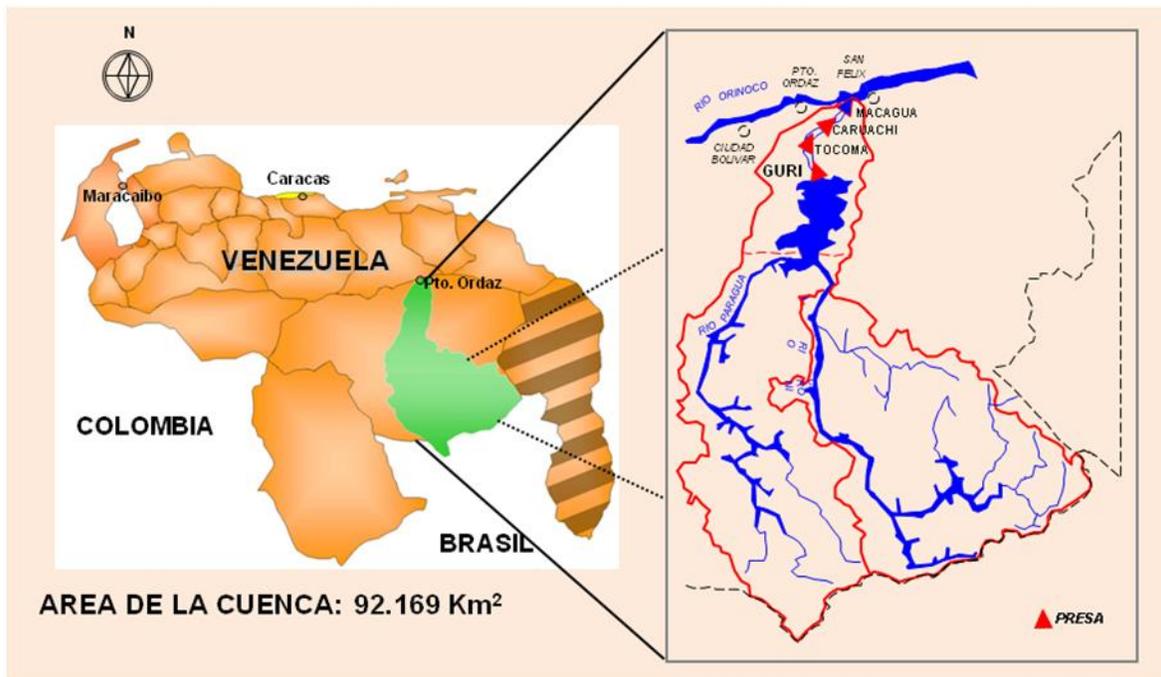


Figura 4.2.1 Ubicación geográfica de la cuenca del río Caroní  
 Fuente: Cartografía Nacional de Venezuela y CVG EDELCA.

Veiga y Baker (2005) han observado que se requiere determinar el mercurio en peces por dos razones, para determinar las cantidades de mercurio que pueden pasar a los habitantes ribereños a través de la ingesta de peces y para determinar la biodisponibilidad de mercurio debida a la minería artesanal, es decir, se desea determinar la presencia de mercurio proveniente de estas actividades 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 tiene “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). Estos impactos están afectando a las poblaciones ribereñas que dependen de estos

recursos naturales (agua, bosques, animales) para su supervivencia. En consecuencia se plantea diseñar un estudio que cuantifique los efectos de estas actividades antrópicas sobre los ecosistemas y los pobladores de la cuenca baja del río Caroní en términos de un marco para la sostenibilidad.

Se diseñó un estudio de campo muestreando tres poblaciones ribereñas del reservorio de Guri para determinar la ingesta de peces y los niveles de mercurio en los pobladores. Así mismo se elaboró una batería de pruebas para determinar la respuesta neurológica de la muestra de pobladores escogida. Las poblaciones escogidas fueron: El Manteco ( $n_M=206$ ), La Paragua ( $n_P=186$ ) y Los Guacos ( $n_G=79$ ). Para determinar los niveles de mercurio en los pobladores se construyeron unos criterios de inclusión que permitieron discriminar la muestra. Se incluyeron a las personas que consumieran peces del reservorio de Guri, con un consumo igual o mayor a 500 gramos/semana, cuya edad estuviese comprendida entre 30 y 60 años y con un índice de masa corporal entre 18 y 30  $\text{Kg/m}^2$ . Se excluyeron de la muestra a aquellas personas que estaban expuestas al mercurio debido al trabajo en la minería u odontología, a los que hicieran uso de plaguicidas, gasolina y kerosén y aquellos que tuvieran historias de desórdenes neurológicos, así como también a las mujeres en estado de gravidez (Bermúdez, 2008). Aplicando los criterios mencionados, el número de personas que resultaron seleccionadas para los estudios neuroconductuales y las muestras de mercurio en cabello, fueron  $n_1=51$  en El Manteco,  $n_2=34$  en la Paragua y  $n_3=13$  en Los Guacos. A estas personas se les aplicaron cuatro pruebas neuroconductuales diseñadas para estudios neurotóxicos descritas en el manual de Pruebas neuroconductuales (Van Wendel et al., 2000).

Las pruebas aplicadas fueron: Dígitos y Símbolos (dominio cognitivo), Santa Ana versión Helsinki (dominio cognitivo-motor), Tamborileo (dominio motor) y la Evaluación Neurológica Cuantitativa de Panisset (dominio motor). Todas las pruebas se aplicaron a la muestra de los pueblos considerados y a un grupo de  $n=12$  personas no expuestas al consumo de peces del reservorio de Guri y de los cuerpos de agua tributarios en la cuenca baja del río Caroní.

Una de las hipótesis que se desea probar es la de neurotoxicidad en los pobladores ribereños debido a la ingesta de peces contaminados con mercurio. La toxicidad del mercurio depende de su forma química. Una de las formas más comunes en la naturaleza es el metil-mercurio, cuya toxicidad está bien caracterizada y documentada como neurotóxico (UNEP, 2000). Se define neurotoxicidad a los déficits cognitivos presentes en las personas expuestas a sustancias químicas tóxicas y que se evidencian a partir de las pruebas neuroconductuales cuando se comparan con grupos de personas no expuestas (Slikker et al., 2000). Los resultados de las pruebas neuroconductuales se muestran en la tabla 4.2.1. Allí podemos observar los valores promedio de cada uno de los test ejecutados en las poblaciones expuestas y en la no expuesta al consumo de peces del reservorio Guri y ríos aledaños.

Tabla 4.2.1. Promedios de las puntuaciones de las pruebas neuroconductuales

Población	Santa Ana	Dígitos y Símbolos	Tamborileo	Panisset
El Manteco	73,43	17,64	55,45	153,81
La Paragua	69,76	30,57	45,25	156,09
Los Guacos	64,26	25,88	48,16	166,52
No Expuesta	88,25	54,08	132,75	101,08

Para el análisis de los resultados de las pruebas Santa Ana, Dígitos y Símbolos y Tamborileo, se tiene que considerar que las respuestas neuroconductuales con déficits neurológicos están asociadas a puntuaciones bajas en los test, mientras que en la prueba Panisset los valores altos indican déficits neurológicos. Nótese que en la población no expuesta los valores promedios de las tres primeras pruebas neuroconductuales se obtienen puntuaciones más altas, mientras que en la prueba Panisset el conjunto de personas no expuesta obtiene la menor puntuación promedio. Este valor se relaciona con bajos déficits neurológicos. Las mediciones de mercurio se realizaron a la población expuesta y a la población no expuesta. En todos los análisis efectuados se tomó el promedio de dos réplicas de cada muestra. Las mediciones se realizaron en cabello de la región occipital en la que se evalúa mercurio total mediante la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica por

combustión, con un analizador de mercurio AMA-254. Para las pruebas de laboratorio se utilizó material certificado de referencia proveniente del Consejo de Investigación Nacional de Canadá (Bermúdez, 2008).

En la tabla 4.2.2 se pueden observar los valores promedios de la suma de los puntajes de las pruebas neuroconductuales de cada una de las poblaciones seleccionadas y respectivamente los valores promedios del contenido de mercurio en cabello. Se puede notar que los valores mayores de la suma de puntajes de las pruebas neuroconductuales se corresponden con valores menores de contenido promedio de mercurio total en cabello. Se encontró una relación inversamente proporcional entre los puntajes obtenidos en las pruebas neuroconductuales y los contenidos de mercurio total en cabello ( $r = -0,62$ ). Se utiliza la suma de puntajes como un indicador que resume los resultados de las pruebas neuroconductuales asumiendo que se corresponden con una suma de variables aleatorias. Para sumar el valor de la prueba Panisset se tomó la diferencia entre 200 (máximo valor teórico de la prueba) y el valor del puntaje promedio de la prueba en cada población considerada. Este procedimiento hace homogéneos los resultados de todas las pruebas en términos de los déficits neurológicos. Para efectos de las pruebas estadísticas utilizadas se parte del supuesto de que la suma de los puntajes de las pruebas neuroconductuales se distribuye como una variable aleatoria normal (Dytham, 2003; Walpole et al., 2007; Van Emden, 2008).

Tabla 4.2.2. Valores promedios de la suma de los puntajes en las Pruebas Neuroconductuales y contenido promedio de mercurio total en cabello.

Población	No Expuesta	El Manteco	La Paragua	Los Guacos
Suma de puntajes de las pruebas Neuroconductuales	374,00	192,71	189,49	171,78
Hg en cabello (ppm)	1,16 ± 1,48	2,06 ± 1,55	5,91 ± 3,20	12,81 ± 6,22

Para evaluar la hipótesis de neurotoxicidad, se comparan cada una de las poblaciones expuestas con la muestra de personas no expuestas al consumo de peces, para ello se utiliza la prueba t-Student de diferencia de promedios. Las muestras se consideran homogéneas ya que el análisis de varianza del Índice de Masa Corporal (IMC) indica que no hay diferencias significativas ( $p=0,56$ ) entre los promedios observados. La tabla 4.2.3 muestra las comparaciones de las pruebas neuroconductuales entre cada una de las poblaciones (El Manteco, La Paragua y los Guacos) con la muestra de personas no expuestas. Adicionalmente, se observan los resultados de las pruebas de promedios entre las poblaciones expuestas y la muestra control (población no expuesta) para el observable mercurio en el cabello. Existen diferencia significativas entre las poblaciones expuestas y la población no expuesta al consumo de peces contaminados de mercurio tanto en las pruebas neuroconductuales como en las pruebas de mercurio en el cabello. Por tanto, podemos afirmar que existen evidencias para concluir que son altamente probables los indicios de neurotoxicidad en las poblaciones que consumen peces con los niveles de mercurio encontrados. La comprobación de esta hipótesis muestra el impacto de la minería de oro en las poblaciones ribereñas de la cuenca baja del río Caroní. En este sentido, la evaluación empírica de una hipótesis se considera una explicación razonable del fenómeno observado (King et al., 2000).

Tabla 4.2.3 Resultados de la hipótesis de Neurotoxicidad

Población	Pruebas Neuroconductuales		Hg en cabello (ppm)	
	Valor de p	Resultado de la Prueba	Valor de p	Resultado de la prueba
El Manteco	0,0 (t=49,1)	Significativa	0,056 (t=1,98)	poco significativa
La Paragua	0,0 (t=23,0)	Significativa	0,0 (t=8,36)	Significativa
Los Guacos	0,0 (t=23,9)	Significativa	0,0 (t=6,73)	Significativa

Otra de las hipótesis que se desea probar en el estudio de sostenibilidad de la cuenca baja del Río Caroní, es la de biomagnificación. Se entiende por biomagnificación el incremento

de la concentración de una sustancia usualmente tóxica a lo largo de una cadena trófica. El mercurio presente en el ambiente se deposita en el suelo y en los cuerpos de agua, luego pasa a la forma de mercurio orgánico a partir del proceso de metilación realizado por bacterias en condiciones anaeróbicas. Se conocen al menos dos bacterias que realizan este proceso: la *Eichoria crassipes*, identificada en Suecia y en América del Sur la bacteria *Miriophyllum spicatum*. Una vez las bacterias metilan el mercurio, éste se hace ‘asimilable’ a lo largo de las cadenas tróficas (Guimaraes et al., 2004). El metil-mercurio se fija a los sedimentos de los lagos y en otros cuerpos de agua, es absorbido por el fitoplancton, ingerido por el zooplancton y finalmente pasa a los peces como un eslabón más de la cadena alimenticia (WHO, 2007). Los peces son fuentes de proteínas para los seres humanos, en especial de aquellas poblaciones ribereñas. Una vez ocurre la ingesta de los peces, el mercurio en sus diferentes formas pasa al cuerpo humano.

El metil-mercurio en la forma orgánica  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  es el compuesto mas tóxico de los que provienen del mercurio (Hope, 2005). En una investigación experimental se estableció que el 90% del mercurio contenido en el tejido de los peces está presente en la forma de metil-mercurio (Hall et al., 1997). Para probar estadísticamente la hipótesis de biomagnificación de mercurio en las cadenas tróficas, se analizaron tres especies: la Payara (*Hydrolicus scomberoides*), la Curvinata (*Plagioscion squamosissimus*) y el Pavón (*Cichla ocellaris*). Los datos provienen de n=88 peces que fueron capturados en cuatro sitios escogidos del lago Guri (Bermúdez et al., 2004). El análisis de varianza permite determinar la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio [Me-Hg] de las especies consideradas.

La hipótesis **H** se establece de la siguiente forma:

$$\mathbf{H}: \mu_{[\text{Me-Hg}] \text{ Curvinata}} = \mu_{[\text{Me-Hg}] \text{ Pavón}} = \mu_{[\text{Me-Hg}] \text{ Payara}}$$

Esta hipótesis se prueba a través del estadístico F-Fisher del análisis de varianza. Se encuentra que existen diferencias significativas entre los promedios de las especies observadas ( $p=0$ ), esto significa que las concentraciones promedio de metil-mercurio en las especies muestreadas difieren entre sí. En la figura 4.2.2 se observa que la Payara (PAY) contiene el valor más alto de concentración de metil-mercurio entre las tres especies

estudiadas, lo que conduce a establecer que este pez ocupa un lugar relevante en la cadena alimenticia. Esto se debe a que pertenece al nivel trófico carnívoro (piscívoro). La biomagnificación en la Payara se produce por el consumo que hace de otros peces que contienen mercurio en los tejidos.

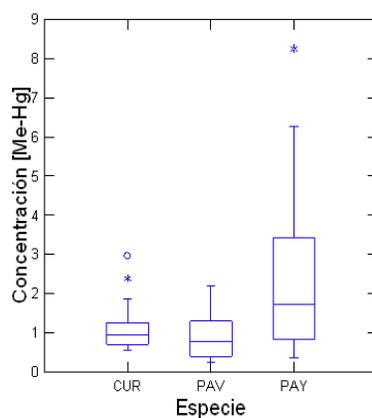


Figura 4.2.2. Concentración de metil-mercurio para las especies muestreadas

En el estudio de preferencias de los peces consumidos por los pobladores ribereños de la cuenca se encuentran las especies analizadas. La ingesta de estos peces ha conducido a los actuales niveles de mercurio encontrado en los habitantes y los indicios de contaminación mercurial con efectos neurotóxicos (Bermúdez, 2008). Dichos ecosistemas presentan altos contenidos de mercurio que se manifiestan en las cadenas tróficas y en especial en los habitantes de los pueblos ribereños que consumen peces con los niveles de mercurio observados.

### 4.2.3 Construcción de la red conceptual

La red conceptual se va construyendo en la medida en que se diseña la investigación. Cuando se planifica la investigación se establecen las variables, las hipótesis y se hace referencia a un conjunto de conceptos que le dan sentido al marco teórico del trabajo. Por investigaciones realizadas en la cuenca del Caroní (Bermúdez y et al., 1999, 2004; Paolini, 2008) se conoce la contaminación mercurial de las poblaciones ribereñas debida a las

actividades de la minería. De allí emergen los conceptos de bioacumulación, bioindicadores, toxicidad del mercurio, entre otros. Para el estudio de la sostenibilidad es necesario establecer una relación entre los contenidos de mercurio encontrados en los pobladores, los niveles de mercurio en los peces y la respuesta neurológica de las personas contaminadas. Surge así la necesidad de realizar las pruebas neuroconductuales en las poblaciones mencionadas. En el estudio socio-demográfico emergieron observables que dan cuenta del estado actual de los pobladores ribereños de la cuenca. En ese sondeo se determinaron las preferencias sobre la ingesta alimentaria, los ingresos económicos, el nivel educativo, las características de la vivienda, entre otros observables. La red conceptual se conforma con las disciplinas asociadas al estudio de un sistema socio-ecológico, allí se van agregando los conceptos y observables con los que se determina la sostenibilidad del sistema estudiado. En la red conceptual que se muestra en la figura 4.2.3 aparecen las pruebas neuroconductuales relacionadas con la toxicología, la demografía y la biocomplejidad; además se muestra la hipótesis de biomagnificación. Se pueden ver en esa RCM cada una de estas disciplinas con los respectivos observables que se requieren para determinar un índice de sostenibilidad del sistema.

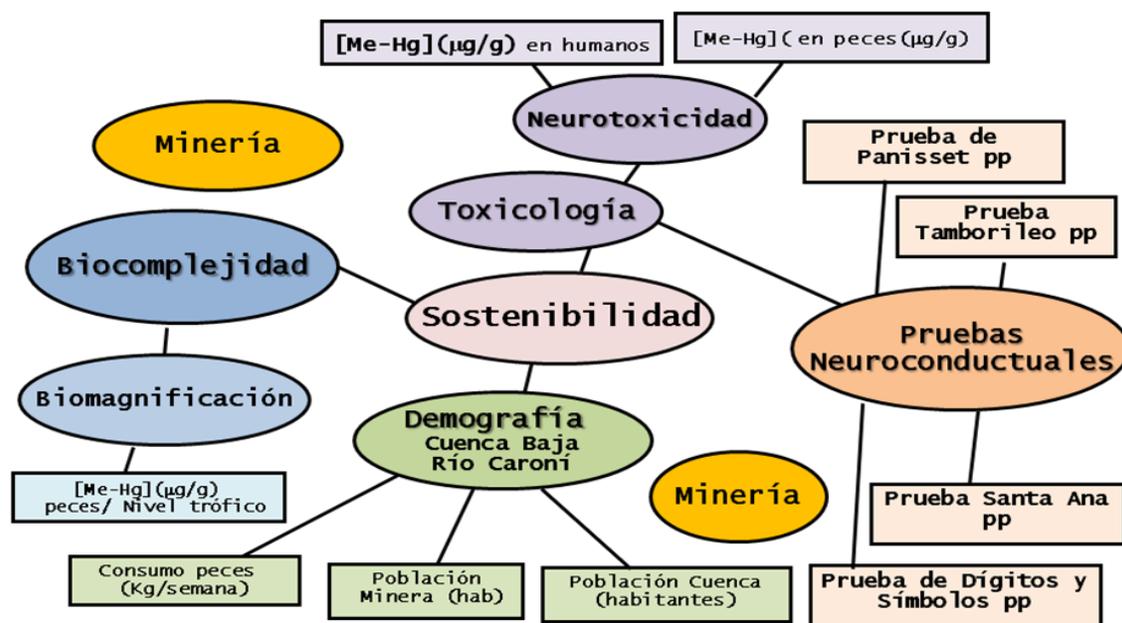


Figura. 4.2.3. Red Conceptual Multinivel de la investigación.

#### **4.2.4 Determinación de la sostenibilidad en las poblaciones observadas**

Cuando nos referimos a la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico hablamos de la perdurabilidad de los diversos aspectos de esa realidad observada. ¿Puede ser perdurable un sistema socio-ecológico con una manera de explotación de la naturaleza que expolie y contamine los ecosistemas que sustentan las poblaciones? Gallopin (2003) establece que uno de los factores fundamentales que subyacen en la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico es la disponibilidad de recursos que sustentan al sistema. El sustento de estas comunidades depende de los ingresos por la minería y de los productos extraídos de los bosques y los ríos (Mansutti, 2004; Milano, 2008).

En Paolini (2008) se cuantifica la sostenibilidad en la cuenca del Caroní a partir de tres indicadores: la proporción de indígenas respecto de la población total en la cuenca, la concentración de mercurio en los peces y el área intervenida por la minería del oro. Para cuantificar la sostenibilidad en las poblaciones observadas se construyó un índice con tres variables que se consideraron pertinentes: la ingesta de peces (consumo en Kg/semana), la suma de los puntajes de las pruebas neuroconductuales y la concentración de mercurio en cabello (Hg en ppm). Este índice nos revela el estado de la salud de los ecosistemas en términos de la contaminación mercurial y la incidencia de ese fenómeno en los habitantes de la cuenca. A partir del análisis de varianza se determinó que no existen diferencias significativas ( $p=0,84$ ) entre los promedios de los ingresos en las poblaciones estudiadas, en este sentido se considera que el ingreso mensual no aporta información significativa para incluirlo como indicador. En su lugar, se toma la ingesta de peces como un observable asociado al sustento cotidiano de las poblaciones. La entrada de este indicador en el cálculo del índice la consideramos como una realización del principio de jerarquización (selección de indicadores significativos). Los indicadores que se utilizan en la construcción del índice son observables que pertenecen a la RCM y revelan los principios de inter-definibilidad, multi-dimensionalidad y mutua dependencia. La RCM responde a una visión de la sostenibilidad relacionada con las disciplinas que estudian el sistema socio-ecológico bajo la influencia de un fenómeno especificado (la minería de oro). Un índice sólo muestra una cantidad que para efectos de comparación y comprensión, ilustra numéricamente el estado

en que el sistema socio-ecológico se encuentra. Para calcular el índice de sostenibilidad se obtienen los valores normalizados de los tres indicadores considerados, luego se trasladan de la escala normal a una escala comprendida entre 0 y 10. Para el cálculo del índice, el indicador de mercurio en cabello se transforma nuevamente. Se resta de 10 el valor inicial del indicador para que sea consistente con el comportamiento creciente o decreciente que se desea evidenciar. De esta manera todos los indicadores se direccionan en un único sentido. Finalmente, el índice se determina promediando los tres indicadores que resultan de las operaciones de transformación. Bohringer y Jochem (2007) recomiendan aplicar la normalización a los indicadores y utilizar una única escala que sirva para realizar las comparaciones. En la tabla 4.2.4 se muestra un índice que nos da una idea de ese aspecto que deseamos destacar: los impactos de la minería de aluvión en la sostenibilidad de las poblaciones ribereñas y en los ecosistemas.

Tabla 4.2.4. Índice Sostenibilidad en las poblaciones estudiadas

Población	Indicador Ingesta de peces	Indicador de puntajes pruebas neuroconductuales	Indicador Mercurio en cabello	Índice de sostenibilidad
No expuestos (NEX)	5,58	7,48	3,64	6,5
El Manteco (ELM)	7,04	4,31	3,92	5,8
La Paragua (PAR)	3,23	4,26	5,13	4,1
Los Guacos (GUA)	4,15	3,94	7,30	3,6

Se observa un mayor índice para la población no expuesta (NEX), le siguen El Manteco (ELM), La Paragua (PAR) y Los Guacos (GUA) respectivamente. En la figura 4.2.4 se observa el índice calculado para cada una de las poblaciones. Es de hacer notar que el menor índice observado se corresponde con la población de Los Guacos, en esta población se obtuvieron los menores puntajes en las pruebas neuroconductuales y las concentraciones más elevadas de mercurio en el cabello.

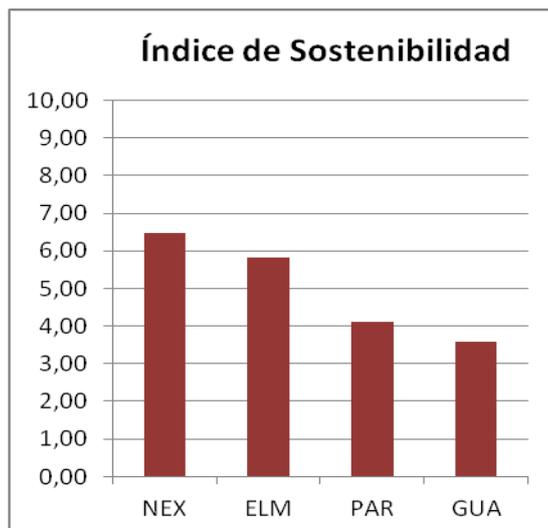


Figura 4.2.4. Índice de sostenibilidad local para las poblaciones observadas (2010)

#### 4.2.5 Conclusiones

La minería artesanal ocasiona daños inocultables sobre los ecosistemas. Dichas actividades ejercen un impacto que pone en riesgo la salud de los pobladores ribereños, especialmente a aquellas personas que consumen peces provenientes de los cuerpos de agua donde se ejerce esta actividad. Las actividades mineras amenazan la sostenibilidad del sistema socio-ecológico.

La cuantificación de la sostenibilidad requiere de la consideración de un conjunto de indicadores relevantes que se orienten en la comprensión del fenómeno bajo estudio, con el propósito de tomar decisiones que influyan en una mejora efectiva en estos sistemas socio-ecológicos.

Las redes conceptuales multinivel sintetizan en una estructura visual los principios del pensamiento complejo, materializan las relaciones que se dan en el espacio de lo disciplinar e interdisciplinar y proporcionan los observables para cuantificar la sostenibilidad.

### **4.3 Capacidad Generativa y sostenibilidad en la cuenca del Río Caura**

Este caso de estudio de sostenibilidad en la Cuenca del Río Caura se publicó en la Revista Internacional de Sostenibilidad Tecnología y Humanismo en el año 2011. Es de hacer notar que la mencionada revista aparece citada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España como un *peer review journal*.

#### **4.3.1 Introducción**

El objetivo del presente caso de estudio consiste en relacionar la capacidad generativa de los habitantes de la cuenca del Río Caura con la sostenibilidad del sistema socio-ecológico considerado. Para ello se amplía el concepto de capacidad generativa especificado por Fuenmayor (2000), agregándole a dicha capacidad las manifestaciones inmateriales que genera una sociedad. Para relacionar la capacidad generativa de las poblaciones de la cuenca del Caura con la sostenibilidad, se establece una concepción de sostenibilidad acorde con este sistema socio-ecológico (Callicot y Mumford, 1997). Se analiza desde las perspectivas de los conceptos de ‘sostenibilidad fuerte’ y ‘sostenibilidad débil’ en la viabilidad de las comunidades de la cuenca del Río Caura. Se considera el concepto de satisfactor establecido por Max-Neff (2006) como un constructo que permite brindarle coherencia a las ideas que se presentan en este caso de estudio. La capacidad generativa, la satisfacción de necesidades y la sostenibilidad conforman un modelo conceptual para comprender este sistema socio-ecológico de la Guayana Venezolana. Se mencionan los factores que afectan la capacidad generativa y la sostenibilidad de la cuenca del Río Caura partiendo de los riesgos a la capacidad generativa de los pobladores de la cuenca. Se desarrollan algunos principios del pensamiento complejo en la concepción de la sostenibilidad de este sistema socio-ecológico.

#### **4.3.2 Localización e importancia de la Cuenca del Caura**

La Cuenca del Río Caura es parte de la gran cuenca del río Orinoco, está ubicada en los municipios Cedeño y Sucre del estado Bolívar en la República Bolivariana de Venezuela, al norte de América del Sur. Cubre aproximadamente 45.000 Km<sup>2</sup> del Escudo Guayanés. Este escudo es una formación que data del período Pre-Cámbrico con una antigüedad de

aproximadamente 4.500 millones de años (Silva Monterrey, 2006; Rosales y Huber, 1996). El río Caura posee una longitud de más de 700 kilómetros con desniveles que van desde los 2000 msnm hasta los 500 msnm (Chernoff et al., 2003). Esa amplia extensión de 4.533.600 hectáreas está cubierta en un 90% por bosques en donde reside una diversidad de microsociedades como los Ye'kwana, los Sanema, Hoti, Ka'riña, Hivi y Pemón. Estas características hacen de la cuenca un lugar con gran valor ambiental, económico y cultural (Silva Monterrey, 1996; Bevilacqua et al., 2007). Debido a su megabiodiversidad, a los grandes recursos hídricos y a su estado prístino esta cuenca es considerada una reserva para la humanidad (Hernández et al., 2005; Castellanos, 2008). En el gráfico 4.3.1 podemos observar la ubicación de la cuenca del Río Caura en la Guayana Venezolana.

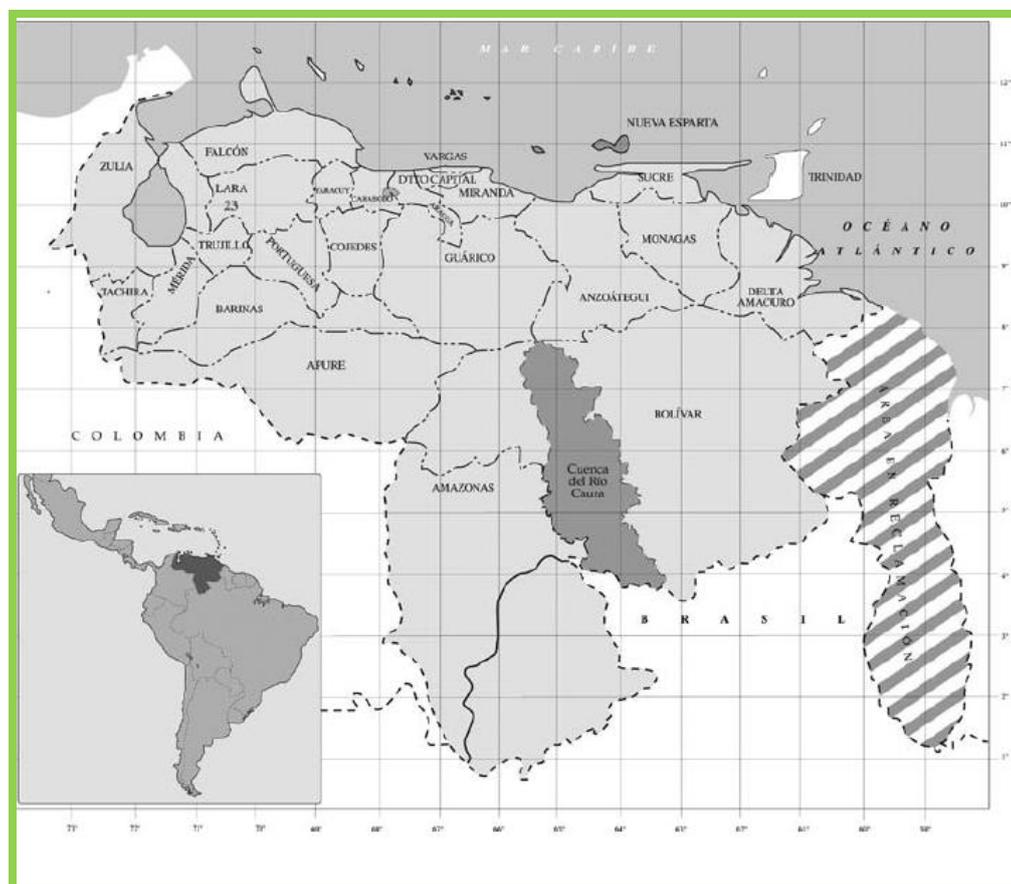


Gráfico 4.3.1. Ubicación de la Cuenca del Río Caura

Fuente: Corporación Venezolana de Guayana

### 4.3.3 Capacidad Generativa de los pobladores de la cuenca del Río Caura

Todas las sociedades poseen la capacidad de generar manifestaciones materiales e inmateriales con diversos propósitos. Desde la utilización de cuevas hasta la edificación de urbanizaciones para residir, los pueblos han dado respuesta al problema de habitación. Así mismo, han creado mitos y leyendas o leyes que usan proposiciones científicas para interpretar los fenómenos naturales (Agazzi, 2011). Además han expresado sus inquietudes artísticas desde distintas perspectivas y de acuerdo a una estética muy particular. Los pueblos en distintos momentos de su historia han generado a través de procesos complejos la capacidad de producir soluciones y expresiones a una necesidad percibida por sus comunidades. A esa habilidad y destreza para generar manifestaciones materiales e inmateriales es lo que definimos como *capacidad generativa*. Esa capacidad les ha permitido apropiarse a lo largo del tiempo de modos de gestar y producir ‘soluciones’ que permiten abordar una situación particular en la búsqueda de la satisfacción de sus diversas necesidades.

La capacidad generativa de los pueblos de la Guayana Venezolana les permite producir las manifestaciones materiales y no-materiales para lograr la permanencia en esos territorios. Esa capacidad les ha hecho posible mantenerse a lo largo de la historia y poseer una cultura y costumbres vigorosas. ¿Cómo se manifiesta la capacidad generativa? Las micro-sociedades que viven en la cuenca del río Caura se trasladan y comercian por la densa red fluvial de la cuenca, viajan cientos de kilómetros por agua y por tierra para comerciar sus productos y obtener otros que son inexistentes en su medio (Silva Monterrey, 2006). Para ello se han hecho hábiles constructores de curiaras, esta habilidad ha sido comentada ampliamente por Coppens (1981), Knab-Vispo et al. (1997) y Colchester et al. (2004). Para construir las curiaras monóxilas los pobladores de la cuenca han desarrollado una técnica propia a partir del conocimiento de las distintas maderas, los tamaños adecuados y densidades para lograr la flotabilidad requerida. La fabricación de estas canoas proporciona una fuente de ingresos importante para estas comunidades (Coppens, op. cit.; Knab-Vispo, op. cit.). Para sus labores cotidianas estas culturas utilizan un sinnúmero de cestas fabricadas con fibras vegetales, bejucos y palmas que obtienen del bosque. Las acciones que ejecutan hombres y mujeres incorporan un tejido específico para cada una, por ejemplo, para cargar las presas de la cacería, los frutos de la recolección y la cosecha,

para atrapar los peces y avivar el fuego (Hames and Hames, 1976; Escar, 1999; Mattei-Muller, 2010). La cestería forma parte de la distinción cultural que caracteriza a estas poblaciones, de hecho el vocablo Ye'kwana *tidiUma* (del verbo *tidi*, hacer) designa a los objetos creados dentro del seno de la cultura, define a aquellos objetos que una persona debe aprender a hacer, en contraste con la palabra *mesoma*, que se utiliza para referirse a aquellos artefactos que son ajenos a la cultura y se obtienen mediante intercambio comercial. Para convertirse en adulto cada persona debe desarrollar las habilidades para la confección de los *tidi'Uma* que requiere para incorporarse efectivamente en el proceso de socialización y toma de conciencia espiritual (Escar, op. cit.). Las tareas laborales se aprenden de manera diferenciada entre las niñas y los niños, correspondiéndole a la madre y las abuelas la enseñanza de los saberes femeninos, mientras que los niños aprenden a incorporarse a las tareas cotidianas con sus hermanos y padres (Amodio y du Arte, 2006). Las labores de construcción de las viviendas se desarrollan de manera comunal, compartiendo entre los pobladores de una comunidad las tareas de edificación (Coppens, op.cit.). El *sebucán* es uno de los artefactos más interesantes para la elaboración de alimentos, este tejido se utiliza para la extracción del líquido a la ralladura de la yuca amarga (*Manihot esculenta*). Con el sub-producto sólido que surge de dicho proceso, se fabrican el mañoco y el casabe, alimentos básicos de algunas etnias de la Guayana Venezolana. Silva Monterrey (1997a) afirma que la yuca es el alimento base de estas sociedades. Coppens (1981) comenta que de un modo directo o indirecto la vida de la mujer Ye'kwana gira alrededor de las actividades relacionadas con la yuca amarga, desde su cultivo hasta la fabricación de alimentos. El modo de siembra denominado *conuco* es una manifestación práctica de agricultura de rotación de parcelas de cultivo que se aprovecha durante un tiempo determinado y luego se deja en recuperación por algunos años. El *conuco* como proceso de producción agrícola es utilizado por los pobladores de la Guayana Venezolana para cultivar las plantas que consideran de utilidad para la subsistencia de las comunidades (Silva Monterrey, 2006). Alrededor de esta práctica agrícola existe un conjunto de ritos de carácter sagrado que se ejecutan a lo largo de la vida productiva del conuco (Silva Monterrey, 1997b).

Una de las cuestiones más interesantes que aportan estas sociedades son los modos de gobernanza y el manejo de las decisiones. Estas sociedades son profundamente equitativas, sin embargo, existe un jefe del pueblo que utiliza su liderazgo para mediar en las transacciones comerciales con los foráneos e influir en las relaciones entre las familias. Las

decisiones son tomadas por consenso y buscan el propósito común y la solidaridad comunitaria (Colchester et al., op. cit.). En la figura 4.3.2 podemos observar la red conceptual, las disciplinas esenciales, la capacidad generativa como categoría principal y algunos observables asociados a las capacidades de este sistema socio-ecológico.

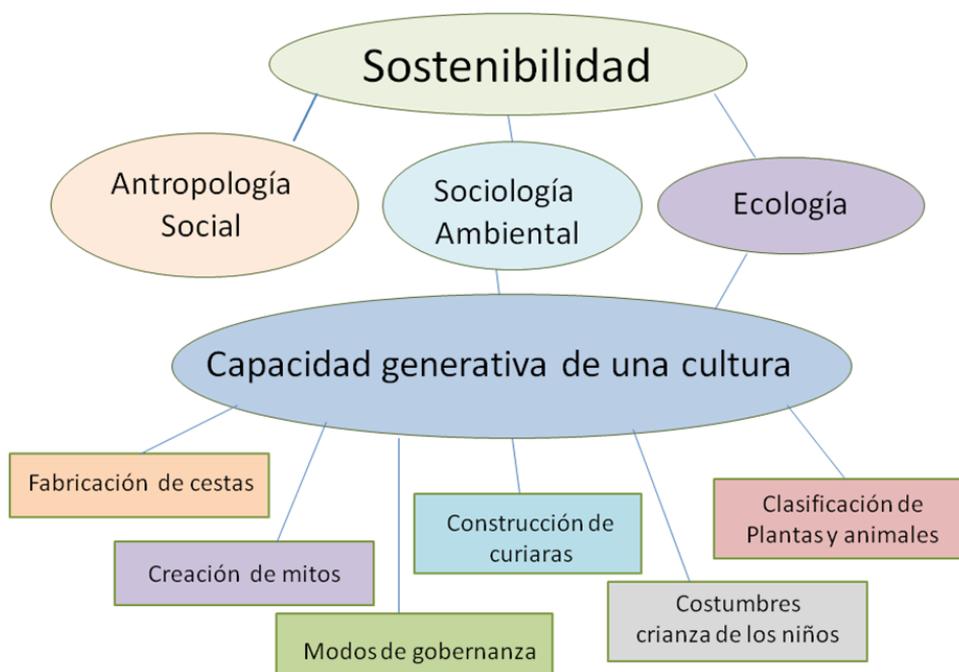


Figura 4.3.2. Red Conceptual sostenibilidad y capacidad generativa

Las actividades relacionadas con el dominio de las técnicas de cultivo local, los modelos de trabajo comunal, las labores de recolección y de clasificación de los alimentos, el diseño de nuevos modelos de cestería, el conocimiento sobre la fauna, el uso de los mitos en la interpretación de la naturaleza, el deseo de recuperar la memoria de sus antepasados y los saberes ancestrales, configuran una categoría conceptual que se denomina *capacidad generativa* de una cultura. La capacidad generativa engloba las capacidades que les permiten a los pobladores de la cuenca del Río Caura tener “el poder de legitimar su permanencia consolidando o dándole la sustentabilidad económica y ecológica a sus actividades” (Hernández et al., 2005).

#### **4.3.4 Amenazas a la capacidad generativa de los pobladores de la cuenca del Caura**

La presión que ejerce la caza, en mayor grado la que tiene fines comerciales, y la pesca de subsistencia, altera la productividad de los ecosistemas afectando sensiblemente las comunidades indígenas que dependen de estos recursos (Mondolfi, 1997, Colchester et al., op. cit.). En la década de los ochenta en la zona de Santa María de Erebató del Alto Caura, Coppens (op. cit.) comenta una disminución en los recursos de cacería. Recientemente se ha notado una declinación en las presas de cacería; un poblador de la cuenca la refiere en estos términos: “anteriormente había mucha cacería pero ahora no hay tanto” (Tomedes et al., 2008). La amenaza a la capacidad generativa de las poblaciones indígenas se manifiesta en el peligro de extinción local para una gran cantidad de recursos. Estos son utilizados para elaborar los productos indispensables de la subsistencia tradicional y para confeccionar objetos que forman parte de sus creencias y ritos (Bevilacqua, 2002). Una de las amenazas externas a la región la representa la minería y la eventual construcción de represas para aprovechar los recursos hídricos de la cuenca (Colchester et al., op. cit.). De hecho, desde la década de los setenta el gobierno venezolano ha estado estudiando la posibilidad de desarrollar el Río Caura para producir hidroelectricidad (Colchester, 1997). Recientemente se hizo un estudio para determinar el potencial hidrológico del Río Caura con la finalidad de retomar la idea del aprovechamiento de la cuenca con fines hidroeléctricos (EDELCA, 2007). Las recientes incursiones mineras en la cuenca han transformado grandes espacios anteriormente prístinos en terrenos arrasados, se estima que por efectos de la minería de aluvión se han devastado alrededor de 3000 hectáreas en la cuenca alta del río (Davies, 2010). Las transformaciones que se observan en los ecosistemas de Guayana provienen de las acciones de la minería y de los cambios de uso de los suelos, en el que los mineros remueven la capa vegetal para ir en la búsqueda de los minerales, así mismo los agricultores y ganaderos remueven la cobertura boscosa para transformar las tierras en cultivos o pastizales para ganadería (Mansutti, 2004).

Aunado a todos los riesgos anteriores, la malaria más que una amenaza a la capacidad generativa, es una amenaza a la vida misma de los pobladores de la cuenca. El estado Bolívar ocupó el primer lugar en casos diagnosticados de malaria en Venezuela, la situación fue declarada como epidemia debido a la ocurrencia del 85% de los casos de todo el país (Cáceres, 2010). Las comunidades afectadas en la cuenca del Caura perciben este auge de la enfermedad como “incontrolable”. Este incremento se ha relacionado con la

pérdida de superficie boscosa. Debido a los patrones de clareo del bosque creados por la deforestación, se estima que se han incrementado los criaderos de los vectores de la enfermedad aumentando el riesgo de transmisión (Bevilacqua, 2009). La distribución espacial de los casos de malaria en la cuenca baja del Río Caura se corresponden con zonas de mayor deforestación y cambios en el uso de los suelos (Bevilacqua et al, 2008). La tala de bosques, las condiciones de insalubridad de la minería en pequeña escala y la movilidad de los mineros son considerados como factores de riesgo en la transmisión de la malaria (Mansell-Protero, 2001). Todas las amenazas a la capacidad generativa ponen en riesgo la sobrevivencia de los pobladores autóctonos de la cuenca, dado que estas sociedades dependen de los ecosistemas de bosque y fluviales para su subsistencia.

#### **4.3.5 Sostenibilidad y capacidad generativa**

La sostenibilidad está relacionada con la perdurabilidad de las relaciones entre el sistema cultural y el ambiente. Dada la vital importancia de los ecosistemas para las poblaciones que habitan en la cuenca, consideraremos la sostenibilidad socio-ecológica como aquella que permite “alcanzar las necesidades humanas sin comprometer la salud de los ecosistemas” (Callicot y Mumford, 1997). Max Neef (2006) relaciona las necesidades con satisfactores, dice que el abrigo y el entorno vital son satisfactores de la necesidad de subsistencia, mientras que la morada y los servicios de salud son satisfactores de protección. El modo de abordar las necesidades y los satisfactores es parte y define la cultura de una sociedad. En las sociedades indígenas del estado Bolívar buena parte de los bienes que se requieren para afectar la eficiencia de un satisfactor provienen del bosque (Mansutti, 2004). En este sentido, las necesidades se lograrían a partir de la ‘obtención’ de los satisfactores mediante una realización efectiva de la capacidad generativa de estas comunidades y de los bienes naturales que provienen de los ecosistemas. Este modo de establecer la sostenibilidad como una relación perdurable entre las necesidades de un pueblo y la salud de los ecosistemas, nos permite afirmar que las amenazas a la capacidad generativa de los pueblos implica un riesgo a la sostenibilidad del sistema socio-ecológico que estamos considerando. En la figura 4.3.3 podemos observar las inter-relaciones entre capacidad generativa, sostenibilidad ecológica y satisfactores. Mediante la capacidad generativa se producen las manifestaciones, estas manifestaciones se relacionan con el medio ambiente a partir de la sostenibilidad ecológica para generar los satisfactores que dan respuesta a las necesidades. Uno de los factores determinantes de la sostenibilidad de

un sistema socio-ecológico es la disponibilidad de recursos y la capacidad de respuesta del sistema para enfrentar los desafíos frente a los cambios (Gallopín, 2003). La capacidad de respuesta se gesta desde la cultura misma. En este sentido, la capacidad generativa se ve afectada por la disponibilidad de los recursos y por las necesidades percibidas como se observa en el gráfico. Por tanto, se produce una relación de retroalimentación entre la capacidad generativa, la sostenibilidad ecológica del medio y la percepción de necesidades. Comprendemos entonces que las micro-sociedades que habitan en la cuenca dependen de los bienes y servicios que provienen del medio natural, es decir, el sustento cotidiano de estos pueblos está estrechamente vinculado al medio ambiente. En este caso no podemos hablar de sustituibilidad de bienes y servicios, ya que estas etnias han mantenido una estrecha relación espiritual y material con el ambiente a lo largo de miles de años. Los cambios de uso de estos espacios afectaría la capacidad generativa de estas comunidades.

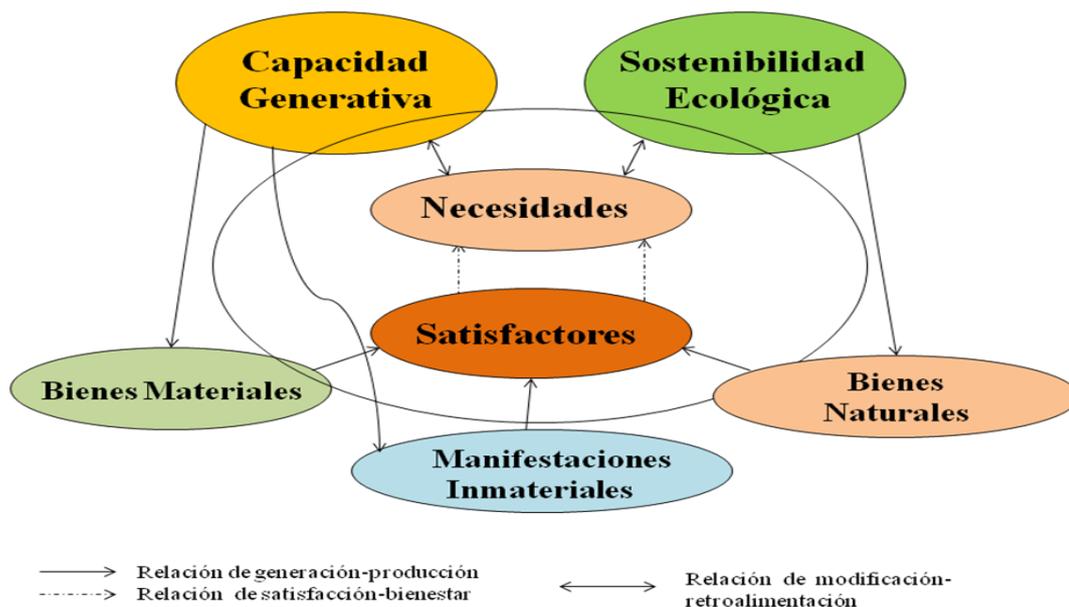


Figura 4.3.3. Relaciones entre capacidad generativa, sostenibilidad y satisfactores.

La ‘sostenibilidad débil’ como concepto -desde la perspectiva antropocéntrica- considera que a la naturaleza se le asigna un valor eminentemente económico y que no es imprescindible la conservación de los recursos naturales (Granados, 2010). Esta perspectiva de sostenibilidad permitiría cambiar el uso de la cuenca utilizando los ecosistemas con otra finalidad distinta a la que le han dado los moradores autóctonos. Cambiar la denominación del uso de reserva forestal a espacio de explotación minera

tendría unas consecuencias irreversibles tanto para los ecosistemas como para la vida de estos pobladores.

Las sociedades de la cuenca del Caura están construyendo iniciativas para resolver problemas relacionados con el ambiente, en otras palabras, están modificando su capacidad generativa a partir de relaciones con agentes externos y desde el seno de su cultura con el fin de tomar acciones sobre los problemas que perciben. La inquietud que ha provocado la disminución de recursos faunísticos condujo a la división de las poblaciones para disminuir la presión de los ecosistemas, se establecieron asentamientos satélites alejados entre sí y se propicio la cría de animales en las comunidades (Colchester, op. cit.). El proyecto de Parabiólogos establecido entre la organización indígena Kuyujani y la Universidad Nacional Experimental de Guayana, permitió formar a personas de las etnias Ye'kwana y Sanema en gestión de recursos naturales, sostenibilidad y otras disciplinas relacionadas con el medio ambiente (Colchester, 2004). A través de la organización Caura Futures (2011) se ha establecido un proyecto para la recolección sostenible de los frutos palma de seje (*Jessenia bataua*) sin tener que cortar las plantas. Por iniciativa de miembros de las etnias que viven en la Guayana Venezolana, se creó la Universidad Indígena de Venezuela, esta universidad tiene como misión desarrollar una educación intercultural bilingüe, respetando el origen y la sabiduría de los pueblos ancestrales, valorando a su vez este conocimiento en la formación integral de los estudiantes (Medios Comunitarios, 2009).

En el proceso dinámico de cambio cultural, la capacidad generativa adquiere nuevos modos de abordar las situaciones que se les presentan a los moradores de la cuenca. Desde esos cambios y mirando la sostenibilidad ecológica, estas sociedades intentan restablecer las relaciones de respeto con la naturaleza, sosteniendo modos de producción que tienen bajo impacto sobre el ambiente y que contribuyen a su conservación. En la 'sostenibilidad fuerte' se considera la conservación de los bienes naturales y sus servicios ecosistémicos como valiosos y esenciales para la vida, de tal modo que se consideran insustituibles (Granados, 2010). Desde la perspectiva que hemos desarrollado podemos establecer que la sostenibilidad de este sistema socio-ecológico está relacionada con la posibilidad de materializar una concepción de 'sostenibilidad fuerte'. De hecho, esta percepción no es nueva, desde hace algunos años se está solicitando que estos espacios se conviertan en parque Nacional (RAG, 2006; Caura Tatuy, 2009). Este cambio de figura ambiental

preservaría con mayor rigor estos espacios evitando los usos inadecuados y una explotación indiscriminada de los ecosistemas.

#### **4.3.6 La complejidad que subyace en los estudios sobre la sostenibilidad**

En los trabajos y estudios de sostenibilidad se suscribe una epistemología de la complejidad. Son necesarios algunos elementos conceptuales para comprender la complejidad que subyace en el tratamiento de la sostenibilidad. Abordar la sostenibilidad implica el uso de principios del pensamiento complejo que nos proporcionan una guía para la comprensión de las interacciones entre los sistemas sociales y naturales.

Cuando se utiliza el principio de multi-factorialidad o multi-dimensionalidad, se consideran los distintos factores y dimensiones en la construcción de una concepción sobre la sostenibilidad. Los factores ecológicos, socio-culturales, religiosos, ambientales, demográficos, conforman los múltiples aspectos que se han de observar en los estudios de sostenibilidad. Por lo anterior hemos apelado a las diversas disciplinas que han estudiado la Cuenca del Caura desde las distintas perspectivas que hemos mencionado. El principio de jerarquización permite seleccionar los aspectos significativos y no significativos que se consideran en el estudio de un sistema complejo (Morin, 2004).

El presente caso de estudio se inicia considerando los aspectos locales y singulares de las micro-sociedades que habitan en la cuenca del Río Caura, desde allí se presenta una visión de la manera como estos pueblos establecen sus relaciones con el ambiente. Morin (2005) considera que *lo local y lo singular* requieren ser incorporados en la explicación de los fenómenos. La capacidad generativa se construye sobre la base de los aspectos locales que se observan en esta cultura. La capacidad generativa como concepto, surge de la aplicación del principio de *integración-enlace*. Este principio establece que la vinculación de los elementos del sistema permite observar totalidades que la disyunción no lo permite (Morin, 2007). Así, los elementos culturales que se manifiestan desde lo cotidiano y que surgen en el seno de la cultura de estos pobladores se enlazan en la construcción del concepto de capacidad generativa. La capacidad generativa se materializa considerando los distintos aspectos que constituyen el modo de ser y hacer de estas sociedades. García (2006) sostiene que una de las características determinantes de un sistema complejo es la *interdefinibilidad*. Cuando se estudia la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico se considera la relación entre la sostenibilidad ecológica, la satisfacción de necesidades, la

capacidad generativa, la disponibilidad de recursos y la integración de estos factores como elementos inter-dependientes. Las interacciones entre estos elementos esenciales hacen posible la definición de los aspectos sustantivos que conforman la sostenibilidad. Se establece entonces la inter-dependencia entre los componentes de la sostenibilidad demarcando de este modo su *inter-definibilidad*. Esta inter-definibilidad permite tener en cuenta el énfasis que se da al logro de la capacidad generativa en las consideraciones de la sostenibilidad de la cuenca del Río Caura y las amenazas que se perciben a la sostenibilidad de este sistema socio-ecológico.

#### **4.3.7 Conclusiones**

La capacidad generativa en las sociedades que hemos estudiado depende de la realización efectiva de la sostenibilidad de esos sistemas ecológicos. Esta capacidad está asociada a la disponibilidad de recursos naturales en las tierras que habitan estos pobladores. La satisfacción de sus necesidades está asociada a la salud de los ecosistemas, de tal modo que las amenazas que se perciben sobre la capacidad generativa de estas sociedades, afectan la sostenibilidad del sistema socio-ecológico de la cuenca del Río Caura. Desde la perspectiva de la ‘sostenibilidad débil’ no se vislumbra la posibilidad de que los bienes de uso de estas sociedades puedan ser sustituidos. En las concepciones mágico-religiosas de estos pueblos subyacen valores asociados al cuidado y la conservación de la naturaleza, de tal forma que los recursos naturales son bienes invaluable que pertenecen a la cosmovisión integral de estas culturas. En consecuencia, la preservación de esta cuenca para que continúe siendo uno de los espacios prístinos de mayor valía ecológica para la humanidad, debe ser uno de nuestras tareas a mediano y largo plazo.

La consideración de la complejidad y los principios que se derivan del pensamiento complejo conforman guías conceptuales para la comprensión y la configuración de la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico.

#### **4.4 Sostenibilidad Ambiental en la cuenca del Río Caura.**

Este caso de estudio trata de la Influencia del fenómeno El Niño - La Niña / Oscilación Sur (ENSO) y de la temperatura del Atlántico norte en los caudales del Río Caura. Esta investigación apareció en el Open Journal Revista de Climatología del año 2012. El estudio tiene como finalidad relacionar la sostenibilidad ambiental con el fenómeno El Niño Oscilación Sur. Debido a la alta dependencia de los pobladores de la cuenca del Río Caura de los ecosistemas fluviales y de bosque, es importante hacerse cuestión de la eventual influencia del fenómeno denominado El Niño sobre este río. Más allá de cualquier consideración sobre la vulnerabilidad de los pobladores de la cuenca, este caso de estudio tiene como objetivo determinar si el caudal del río está relacionado con las oscilaciones del fenómeno de manera que pueda afectar los ecosistemas de la cuenca.

La sostenibilidad ambiental no solo se refiere a la disponibilidad de recursos y la capacidad generativa de los seres humanos de un sistema socio-ecológico, ésta tiene una dimensión biofísica relacionada con la vulnerabilidad. El uso del término vulnerabilidad tiene sus raíces en la geografía y en las investigaciones sobre riesgos naturales, sin embargo el concepto se ha venido utilizando en otras disciplinas como la ecología, las ciencias de la salud, los estudios de pobreza y desarrollo social, adicionalmente en las investigaciones sobre ciencia de la sostenibilidad, cambio climático, cambios de uso de las tierras y en la adaptación a los impactos climáticos (Fussel, 2007). Gilberto Gallopin (2006) sostiene que el uso de la idea de vulnerabilidad ha tenido una gran cantidad de interpretaciones y reformulaciones en disciplinas tan diversas como la ecología, la biología evolucionaria, los estudios culturales y las ciencias de la computación. La Vulnerabilidad es uno de los temas centrales en la ciencia de la sostenibilidad cuando se tratan los acoplamientos entre los humanos y el ambiente y se refiere al grado en que un sistema socio-ecológico está expuesto a daños debido a la exposición de un riesgo, una perturbación o a un *estresor* (Turner, 2003).

Fussel (2007, op. cit.) clasifica la vulnerabilidad en cuatro tipos dependiendo del ámbito y el dominio. Para el ámbito refiere las categorías interno (I) y externo (E), mientras que para el dominio alude a lo socioeconómico (S) y lo biofísico (B). De tal modo que surge en la

clasificación la vulnerabilidad  $V(I,S)$  que está asociada a los ingresos domésticos, las redes sociales y al acceso de la información. La vulnerabilidad que combina las categoría de ámbito interno y Biofísico  $V(I,B)$  se relaciona con la topografía, las condiciones ambientales y la cobertura de la tierra. Las vulnerabilidad que deviene de la aplicación de políticas públicas, la ayuda internacional y la globalización económica surge al combinar el ámbito externo con el dominio socioeconómico  $(E,S)$ . Finalmente se tiene la vulnerabilidad  $V(E,B)$  asociada al ámbito externo y el dominio biofísico que se refiere a las tormentas, terremotos, a los cambios del nivel del mar, eventos extremos, etc. Este caso de estudio lo dedicaremos a la eventual vulnerabilidad del sistema socio-ecológico de la cuenca del Río Caura.

#### **4.4.1. Introducción**

El Niño Oscilación Sur (ENSO) es uno de los fenómenos climáticos que tiene influencia global y afecta la variabilidad climática alrededor del planeta. Esta influencia se proyecta más allá del océano Pacífico Tropical a través de teleconexiones que alteran los patrones del tiempo atmosférico. Este fenómeno oscila entre dos fases, una fase fría (C) y una fase cálida (W) que dependen de la fuerza o debilidad de los vientos alisios (McPhaden et al., 2006). ENSO es un fenómeno que está relacionado con anomalías interanuales en las precipitaciones y en los caudales. Es bien conocida su relación con las fluctuaciones de los niveles de agua (Amarasekera et al., 1997), variabilidad en las precipitaciones (Ropelewsky and Halpert, 1987; Aceituno, 1988; Aceituno y Montecinos, 1992; Schongart and Junk, 2007; Chavasse and Seoane, 2009) y alteraciones de los caudales en las cuencas tropicales (García y Mechoso, 2005; Marengo et al., 2010). La influencia de las anomalías en las temperaturas del Atlántico sobre el régimen pluviométrico en Venezuela han sido reportados por Acevedo et al. (1999) y por Millano et al. (2007). El propósito de este trabajo es explorar la influencia de este fenómeno y de las variaciones de la temperatura en el Océano Atlántico Tropical en los caudales de una cuenca prístina tropical ubicada en la Guayana Venezolana. En este sentido, tiene un especial interés estudiar los efectos de estos fenómenos en una cuenca que no ha sido objeto de intervención humana en los bosques y suelos o que no haya sido objeto de alteraciones del curso del río como la construcción de represas (Kundzewicz and Robson, 2004). Se analizan 33 años de tres series de tiempo que muestran una estacionalidad muy marcada por los períodos lluvioso y seco. Los datos se

procesan estadísticamente para determinar la relación entre los caudales y el fenómeno ENSO.

#### 4.4.2 El Fenómeno ENSO y los índices ENSO

El fenómeno del Niño es el resultado del acoplamiento de los sistemas oceánico y atmosférico, este fenómeno se relaciona con anomalías interanuales en la precipitación y el caudal de los ríos. El Niño es producido por el debilitamiento y por el movimiento en reverso de los vientos alisios en el Pacífico Occidental ecuatorial ocasionando un inusual calentamiento en las temperaturas de la superficie del mar (McPhaden, 1999). Varios índices se han usado para cuantificar las variaciones del Niño, entre otros se tienen el *Oceanic Niño Index* (ONI) y el *Multivariate ENSO Index* (MEI). El índice ONI se calcula usando la versión 3b de la reconstrucción extendida de los datos de la temperatura de la superficie de mar (ERSST). Estos datos se generan usando la temperatura de la superficie del mar (SST) a través de métodos estadísticos que permiten una reconstrucción estable a partir de datos provenientes de lugares separados espacialmente (NOAA, 2011a; NOAA, 2011b). Este índice se calcula para varias regiones, sin embargo, el índice para la región 3.4 es el que ha mostrado una mejor ejecución en la investigación de teleconexiones, en el trabajo de diseñar modelos y hacer diagnósticos. El índice para la tal región se denomina “*Niño 3.4*” y cubre la zona del planeta acotada por las coordenadas. 05°N-05°S, 120-170°W (Barnston et al., 1997).

El índice MEI es un índice que depende de seis variables relacionadas con el clima: nubosidad total, presión de la superficie del mar, componentes zonal y meridional del viento, temperatura del aire y temperatura de la superficie del mar. Este índice se presenta en una tabla bimensual de valores normalizados que usan la media y la desviación estándar de la serie de valores 1950-1993 (Wolter and Timlin, 1993; NOAA, 2011c). Dado que los índices ONI y MEI están estadísticamente correlacionados ( $r=0.926$ ), el índice MEI lo utilizaremos para validar los hallazgos que dependen del índice ONI. En la figura 4.4.1 se puede observar la relación que muestran los índices ONI y MEI durante el período 1971-2003.

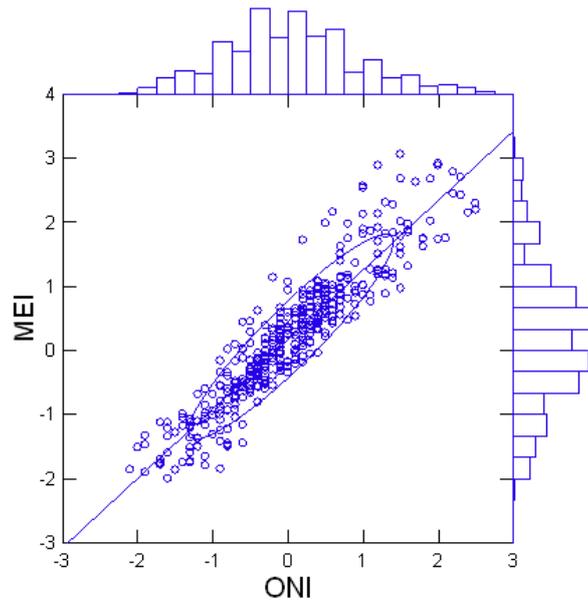


Figura 4.4.1. Relación entre los índices ONI y MEI (1971-2003)

#### 4.4.3 Datos y métodos para determinar las relaciones

Los datos de este caso de estudio provienen del Estudio Hidrológico de la cuenca del Río Caura (EDELCA, 2007), fueron obtenidos en tres estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del Río Caura. A los datos se les realizaron pruebas de análisis de varianza por años, el resultados para cada serie de caudales fue de igual promedio con  $p > 0,9$ . Del mismo modo la prueba de Bartlett reveló una total homogeneidad en los datos ( $p > 0,95$ ) con ausencia de valores atípicos (outliers). En la tabla 4.4.1 se puede ver la ubicación de cada una de las estaciones y el área tributaria que corresponde a cada estación, así mismo en la figura 4.4.2 se puede observar la distribución de las estaciones en la cuenca del Río Caura.

Tabla 4.4.1. Ubicación y área tributaria de las estaciones hidrométricas

Estación	Latitud N	Longitud W	Área tributaria (km <sup>2</sup> )
Pie de Salto (S1)	06°18'25''	64°29'00''	30009
Entreríos (S2)	05°56'20''	64°25'15''	13152
Dos Aguas (S3)	05°58'30''	64°25'40''	24177

Fuente: EDELCA (2007)

Para la detección de los fenómenos relacionados con ENSO, las series de tiempo se segmentaron de acuerdo a los valores del índice ONI. El proceso de segmentación nos ayuda a detectar y explorar relaciones entre los valores de series temporales (Hubert, 2000). Una sucesión de valores del índice genera los segmentos que se van a analizar, si el índice ONI toma un valor menor o igual a  $-0.5$  ( $ONI \leq -0.5$ ) el elemento de la serie de caudales se comprende como una ocurrencia de un evento 'C' (frío), si el valor del índice es mayor o igual a  $0.5$  ( $ONI \geq 0.5$ ) existe la ocurrencia de un evento 'W' (cálido), si el valor del índice oscila entre  $-0,5$  y  $0.5$  ( $0.5 < ONI < 0.5$ ) el evento se clasifica como 'N' (Neutral).

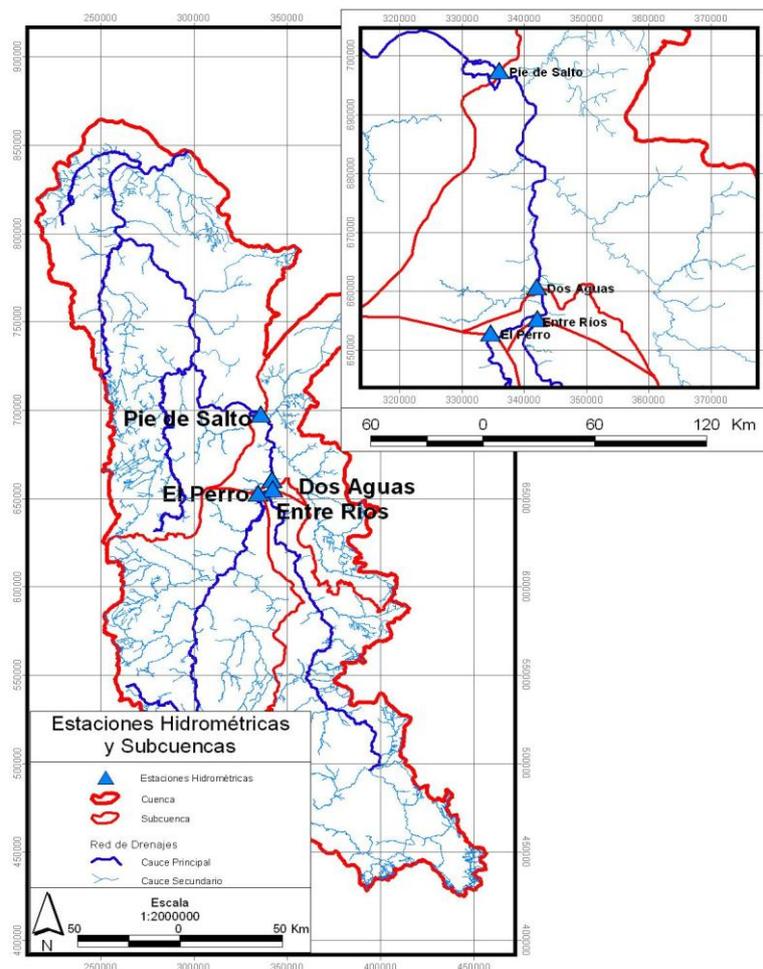


Figura 4.4.2 Ubicación de las estaciones hidrométricas.

Fuente: EDELCA (2007)

En la figura 4.4.3 se pueden ver los distintos observables asociados a los conceptos y las disciplinas, así mismo la hipótesis central de igualdad de caudales para los eventos ENSO.

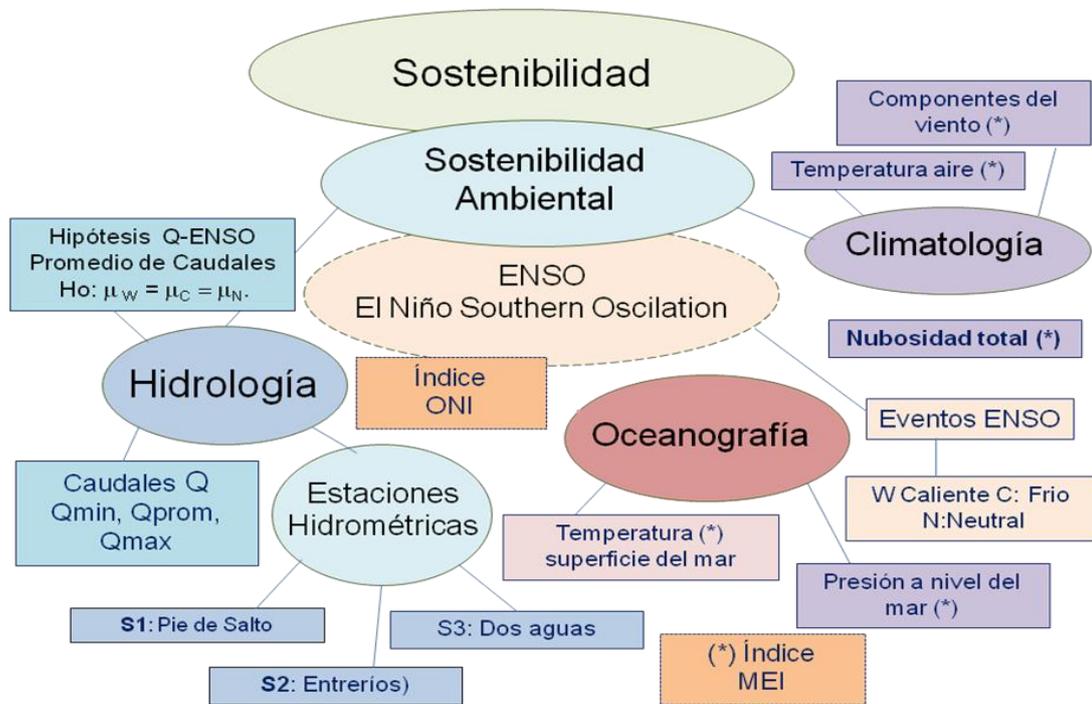


Figura 4.4.3. Red Conceptual de sostenibilidad ambiental ENSO en el Río Caura

La tabla 4.4.2 muestra un segmento de la serie de caudales de la estación Dos Aguas (S3) con las respectivas ocurrencias de los distintos eventos clasificados de acuerdo al valor del índice ONI. Se observa la sucesión de cuatro eventos ‘C’, luego tres episodios ‘N’ y finalmente tres eventos del tipo ‘W’, nótese que la asignación de cada tipo de evento está determinada por el valor del índice ONI en el tiempo que se observa en la tabla.

En el periodo estudiado (1971-2003) se encontraron ocho eventos clasificados como fríos ‘C’. Cada evento se enumera para distinguirlo de cualquier otro, de este modo resulta el conjunto de episodios  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_8\}$ . Se observaron diez eventos cálidos,  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_{10}\}$ .

Tabla 4.4.2. Segmentación de un sub-conjunto de la serie de tiempo de caudales de la estación S3

Año	1971	1971	1971	1972	1972	1972	1972	1972	1972	1972
Mes	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	2178.6	1923.5	1638.8	1535	938.7	787.6	1169.8	3008.3	2748.1	3788.6
ONI	-0.9	-1.0	-0.9	-0.7	-0.4	0.0	0.2	0.5	0.8	1.0
Evento	C	C	C	C	N	N	N	W	W	W

Estos eventos bien pudiesen ser fases frías o cálidas del fenómeno ENSO. La duración de los eventos varía, de tal modo que las fluctuaciones entre eventos fríos y cálidos pueden exhibir irregularidades en duración y estructura espacial (McPhaden *et al.*, 2006). La duración  $d$  en meses de cada episodio detectado difiere, por ejemplo  $d(C_2)=38$  mientras que  $d(W_6)=15$ , la duración para cada evento puede verse en las tablas 4.4.3 y 4.4.4 En la segmentación que hemos utilizado surgieron un conjunto de catorce eventos clasificados como ‘N’ que ocurren entre episodios ‘C’ y ‘W’, cada evento se genera debido a las variaciones temporales del índice ONI.

#### 4.4.4 Resultados y Discusión

##### 4.4.4.1 Relación entre los caudales y el índice ONI

La relación entre los caudales y el índice ONI para cada uno de los eventos detectados a partir de la segmentación de la serie de tiempo se encuentra utilizando el coeficiente de correlación  $r$  de Pearson. En la tabla 4.4.3 se tienen los coeficientes  $r$  que determinan el grado de relación entre los caudales en cada estación hidrométrica y los eventos cálidos ‘W’.

Tabla 4.4.3. Coeficientes de correlación  $r$  entre los caudales en cada estación y el índice ONI para los eventos cálidos ‘W’ durante el período 1971-2003.

	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>7</sub>	W <sub>8</sub>	W <sub>9</sub>	W <sub>10</sub>
r(S1)	-0.275	0.059	-0.88	-0.826	0.344	-0.685	-0.585	-0.610	-0.045	0.471
r(S2)	-0.314	0.234	-0.85	-0.840	0.320	-0.716	-0.636	-0.740	-0.057	0.466
r(S3)	-0.276	0.135	-0.89	-0.826	0.347	-0.673	-0.602	-0.638	-0.060	0.432
d(W) <sub>m</sub> eses	11	6	5	14	20	15	11	13	11	5

Con la excepción de los eventos  $W_2$ ,  $W_5$  y  $W_{10}$ , los signos del coeficiente de correlación  $r$  son negativos, indicando una relación decreciente entre los caudales y el índice ONI. Esto significa que a medida que aumenta el valor del índice los caudales decrecen. En la figura 4.4.4 se muestra el gráfico de dispersión entre el índice ONI y los caudales de la estación Pie de Salto (S1) durante el evento  $W_4$  ocurrido entre los meses de mayo de 1982 y junio de 1983.

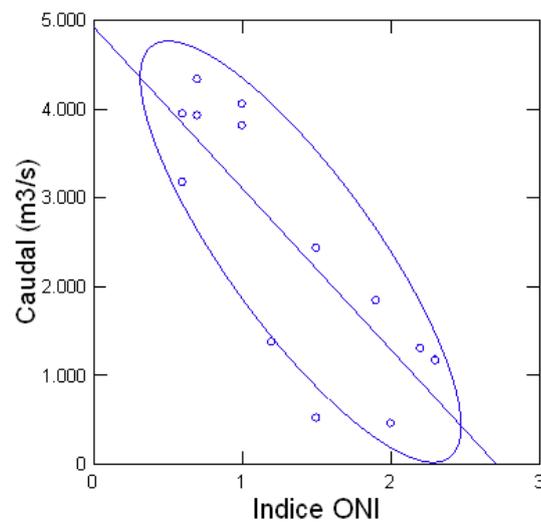


Figura 4.4.4. Relación entre el índice ONI y el caudal durante el evento  $W_4$

Para cada uno de los eventos fríos ‘C’ y en cada serie de tiempo se determinó el valor del coeficiente de correlación  $r$ . En la tabla 4.4.4 se pueden observar los valores de la relación a partir del coeficiente  $r$ . Se puede ver que sólo los eventos  $C_2$ ,  $C_5$  y en dos estaciones durante el evento  $C_8$  muestran valores negativos. Sin embargo, los restantes eventos muestran valores positivos en la relación.

Tabla 4.4.4. Coeficientes de correlación  $r$  entre los caudales en cada estación y el índice ONI para los eventos fríos ‘C’ durante el período 1971-2003.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
r(S1)	0.634	-0.097	0.610	0.471	-0.643	0.314	0.613	0.054
r(S2)	0.691	-0.035	0.325	0.401	-0.589	0.116	0.537	-0.030
r(S3)	0.645	-0.068	0.510	0.443	-0.581	0.248	0.576	-0.087
d(C) meses	13	38	5	12	14	7	25	5

Los signos del coeficiente de correlación  $r$  que son positivos indican una relación creciente entre los caudales y el índice ONI. Esto significa que a medida que el valor del índice se hace mayor (menos negativo) el caudal aumenta. La figura 4.4.5 muestra el gráfico de dispersión entre el índice ONI y los caudales de la estación Pie de Salto (S1) durante el evento C<sub>7</sub>. Este evento se prolongó durante más de dos años, ocurrió entre los meses de julio de 1998 y junio del año 2000.

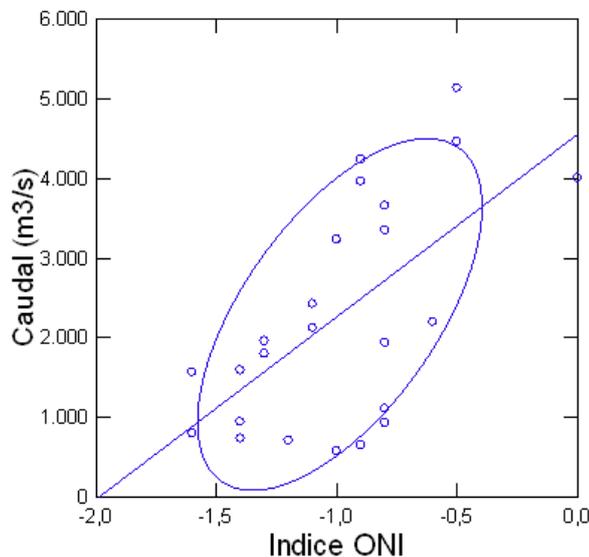


Figura 4.4.5 Relación entre el índice ONI y el caudal durante el evento C<sub>7</sub>

#### 4.4.4.2 Relación de los Caudales y el índice ONI con retardo

Con el fin de determinar la respuesta hidrológica y la influencia del fenómeno se correlacionaron los caudales con los índices ONI con un retardo de un mes. Los resultados

de esta relación se muestran en las tablas 4.4.5 y 4.4.6 para las fases ‘W’ y ‘C’ respectivamente. Podemos apreciar un comportamiento homogéneo tanto en signo como en la magnitud de las respuestas de los caudales a la influencia del fenómeno considerando un retardo de un mes en los valores del índice ONI.

Tabla 4.4.5. Coeficientes de correlación  $r$  entre los caudales de cada estación y el índice ONI con un mes de retardo eventos para los cálidos ‘W’ durante el período 1971-2003.

	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>7</sub>	W <sub>8</sub>	W <sub>9</sub>	W <sub>10</sub>
r(S <sub>1</sub> )	-0.726	-0.571	-0.984	-0.878	-0.195	-0.579	-0.767	-0.610	-0.466	-0.870
r(S <sub>2</sub> )	-0.767	-0.367	-0.971	-0.901	-0.233	-0.645	-0.825	-0.740	-0.518	-0.930
r(S <sub>3</sub> )	-0.729	-0.498	-0.984	-0.890	-0.193	-0.602	-0.775	-0.638	-0.489	-0.885

Se observa que para los eventos W<sub>1</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>, W<sub>7</sub> y W<sub>10</sub> la relación es alta con coeficientes de correlación  $|r| > 0.7$ . Para los eventos W<sub>2</sub>, W<sub>6</sub> y W<sub>9</sub> la relación es moderada  $0.35 < |r| < 0.65$ , mientras que para W<sub>5</sub> la relación es muy débil o insignificante.

Tabla 4.4.6. Coeficientes de correlación  $r$  entre los caudales y el índice ONI con un mes de retardo para los eventos fríos ‘C’ durante el período 1971-2003.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
r(S <sub>1</sub> )	0.882	0.082	0.998	0.575	0.246	0.913	0.807	0.877
r(S <sub>2</sub> )	0.915	0.130	0.931	0.579	0.166	0.762	0.810	0.887
r(S <sub>3</sub> )	0.887	0.103	0.983	0.589	0.187	0.872	0.799	0.623

En el caso de los eventos fríos se nota que existe una relación marcada para C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>, C<sub>7</sub> y C<sub>8</sub> con valores de  $r > 0.8$ , la relación entre el caudal y el índice ONI con retardo se muestra moderada para el evento C<sub>4</sub> con valores  $0.55 < r < 0.60$ , mientras que para los eventos C<sub>2</sub> y C<sub>5</sub> la relación es muy débil.

#### 4.4.4.3 Análisis de la influencia de los eventos ENSO sobre los caudales del Río Caura

Para determinar si los eventos detectados tienen una influencia sobre el caudal del río se realiza un análisis de varianza (ANOVA). Este análisis permite determinar si existen diferencias significativas en los caudales promedio de los eventos que surgen del proceso de segmentación. Para cada una de las estaciones se realizó el ANOVA y se determinó si los promedios del caudal durante las fases cálida ‘W’, fría ‘C’ y neutral ‘N’ son iguales. La hipótesis para esta prueba es  $H_0: \mu_W = \mu_C = \mu_N$ .

La tabla 4.4.7 muestra los valores promedio de cada evento en cada una de las estaciones donde se realizó el muestreo. Mediante el ANOVA se determina que no hay diferencias significativas en los promedios de los caudales dado que los valores de  $p$  son mayores que cualquier nivel de significación entre  $0,05 \leq \alpha \leq 0,10$ . Sin embargo, se puede notar que los valores menores de los promedios de los caudales se corresponden con los eventos cálidos ‘W’ mientras que los valores mayores ocurren en los eventos denominados neutrales ‘N’. Los valores promedios del caudal para los eventos fríos ‘C’ están comprendidos entre los dos anteriores.

Tabla 4.4.7. Valores promedios de los caudales para cada evento

Estación	Promedio ‘W’	Promedio ‘C’	Promedio ‘N’	$P$
Pie de Salto (S1)	2064.9	2089.6	2267.6	0.383
Entreríos (S2)	910.4	933.8	1017.3	0.204
Dos Aguas (S3)	1713.4	1729.6	1861.8	0.436

#### 4.4.4.4 Relación múltiple entre los caudales, el fenómeno ENSO y las temperaturas del Atlántico Tropical (TNAI)

Las alteraciones de las lluvias en América del Sur también están asociadas a las variaciones interanuales de la temperatura de la superficie del Atlántico (Acevedo et al, 1999; Millano et al., 2007; Kayano et al., 2009). En este sentido, se realizó una relación lineal múltiple para determinar la influencia ‘simultánea’ del fenómeno ENSO y de las temperaturas del océano Atlántico Tropical. Estas temperaturas se recogen en un índice denominado TNAI (Tropical North Atlantic Index) y se define como las anomalías de las temperaturas mensuales promedio de la superficie del mar en la región acotada por las

coordenadas 5.5N-23.5N y 15W-57.5W, el índice se calcula con la serie de datos que va desde 1951 al año 2000 (NASA, 2010). Para encontrar la relación se plantea un modelo múltiple en el que la variable de regresión es el caudal y las variables explicatorias son los índices ONI y TNAI en cada uno de los eventos detectados. En las tablas 4.4.8 y 4.4.9 se muestran los coeficientes de correlación múltiple para las relaciones encontradas.

Tabla 4.4.8. Coeficientes de correlación *r-múltiple* entre los caudales en cada estación, el índice ONI y el índice TNAI para los eventos cálidos ‘W’ durante el período 1971-2003.

	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>6</sub>	W <sub>7</sub>	W <sub>8</sub>	W <sub>9</sub>	W <sub>10</sub>
r(S1)	0.358	0.571	0.97	0.939	0.352	0.685	0.682	0.767	0.698	0.488
r(S2)	0.381	0.484	0.97	0.949	0.337	0.730	0.597	0.794	0.737	0.467
r(S3)	0.361	0.542	0.98	0.948	0.363	0.667	0.705	0.777	0.709	0.446

Tabla 4.4.9. Coeficientes de correlación *r-múltiple* entre los caudales en cada estación, el índice ONI y el índice TNAI para los eventos fríos ‘C’ durante el período 1971-2003.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
r(S1)	0.636	0.325	0.966	0.759	0.710	0.336	0.744	0.901
r(S2)	0.636	0.269	0.990	0.707	0.660	0.116	0.664	0.795
r(S3)	0.651	0.295	0.990	0.736	0.671	0.264	0.710	0.993

Es natural que al agregar variables explicatorias -como el índice TNAI- el coeficiente de regresión *r-múltiple* se incremente. Cuando se relacionan los dos índices (ONI y TNAI) con los caudales se obtienen valores del coeficiente de correlación *r-múltiple* > 0.9, esto se puede observar en los eventos W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>, C<sub>3</sub> y parcialmente para el evento C<sub>8</sub>. Este incremento en el coeficiente *r* muestra la influencia del fenómeno ENSO y las temperaturas oceánicas del Atlántico Tropical en la cuenca del Río Caura.

#### 4.4.4.5 Discusión de los resultados

Son variados los resultados que surgen al estudiar la influencia de ENSO con fenómenos hidrológicos y climáticos. Utilizando series de tiempo en dos lugares de Venezuela se encontró una influencia moderada entre el fenómeno ENSO y la variabilidad climática (Acevedo *et al.*, 1999). Giddins y Soto (2006) investigaron las teleconexiones con la lluvia en América del Sur utilizaron alrededor de una docena de índices. Para la relación mensual de la precipitación con El Niño usaron la región 3.4, el mayor valor encontrado en la

correlación es de  $|r| < 0.35$  Schongart y Junk W (2007) usaron datos diarios de pulso de inundación (*flood pulse*) para determinar la influencia de ENSO en la Amazonía Central. Los cálculos los realizaron sobre promedios mensuales y determinaron relaciones con valores de  $|r| < 0.5$ . En una investigación realizada para observar la influencia del fenómeno sobre la descarga anual en ríos Amazonas, Congo, Paraná y el Nilo se encontraron coeficientes de correlación  $|r| < 0.52$ , las mejores correlaciones se hallaron en los ríos Paraná y en el Nilo Azul (Amarasekera et al. 1997), en este caso se tomaron segmentos fijos de cuatro meses para hacer las comparaciones. El trabajo de Aceituno y Montecinos (1992) utiliza la presión en Darwin como índice de la oscilación Sur en siete estaciones de muestreo y series de tiempo cercanas a 100 años, los resultados en la relación entre el fenómeno ENSO y la precipitación dio coeficientes de correlación  $|r| \leq 0.8$ . La estación que arrojó los mejores resultados fue Ceres (Argentina). En los casos citados anteriormente la segmentación de los datos utiliza períodos fijos de tiempo, por ejemplo trimestres o cuatrimestres. En el presente estudio no se utilizaron períodos de tiempo fijo, se segmentaron los datos dependiendo de la duración del evento. Así, los resultados sólo dependen de la intensidad del evento para el tiempo de su detección y duración.

Existe una notable variabilidad en los coeficientes de correlación tanto en la fase fría de ENSO como es su fase cálida. Los valores encontrados son semejantes a los reportados en el trabajo de Aceituno y Montecinos (1992). Cuando se utiliza un mes de retardo las relaciones entre los caudales y el índice ONI se muestran más homogéneas que sin considerar el rezago, este hecho es natural debido al retardo de la atmósfera en responder a las anomalías de la temperatura del mar (Wolter, 2011) y adicionalmente el breve retardo en la respuesta entre la precipitación y los caudales.

Cuando se agrega a la influencia de ENSO los efectos de la temperatura del Atlántico Tropical (cuantificados a partir del índice TNAI) sobre los caudales, se incrementan los valores del coeficiente de correlación. Los valores encontrados del coeficiente de correlación se encuentran entre  $0.32 < r\text{-múltiple} < 0.95$ .

## Conclusiones

La detección de cada evento de El Niño de un modo directo es posible a partir de la segmentación de las series de tiempo. Este procedimiento permite analizar la influencia del fenómeno sobre los caudales únicamente durante su período de duración.

Aun cuando se evidencia una influencia del fenómeno sobre los caudales de la cuenca del Río Caura, no existen diferencias significativas entre los promedios de los caudales para los eventos analizados.

El análisis entre el índice ONI con un retardo de un mes y la respuesta hidrológica se muestran más homogéneos en signo y magnitud que cuando se relaciona estas variables sin considerar el retardo.

A partir del índice TNAI se determinó la influencia de las temperaturas del océano Atlántico sobre los caudales observados en la cuenca. Esta influencia se determinó estadísticamente utilizando un modelo lineal múltiple mediante el valor del coeficiente de correlación *r-múltiple* respectivo.

El índice MEI valida parcialmente los resultados que se generan a partir de la segmentación-ONI. El índice MEI en algunos casos se comporta independientemente arrojando coeficientes de correlación de signo opuesto a los encontrados mediante el índice ONI.

Aunque existe relación entre el fenómeno del Niño y las temperaturas del Océano Atlántico Tropical con los caudales del Río Caura el sistema socio-ecológico responde moderadamente a los eventos biofísicos que se generan de esta conjunción de fenómenos.

## Capítulo V

### La Consulta Delphi

Del diccionario de la lengua española se tiene que sostenible hace referencia a aquello “*que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente*”.

*“No hay ni existe una minería sostenible”*  
Selma García (experta consultada).

*“El minero tiene la ilusión de que algún día llegará la suerte y conseguirá ese botín que lo saque de las penurias”*  
Natalie García (experta consultada).

*“No creo que ni en el corto ni el mediano plazo tengamos una ‘política minera’ adecuada, de esta época, sustentable, que detenga o minimice el daño a las cuencas”.*  
Elicer Calzadilla (experto consultado).

En los tres primeros casos de estudio hemos observado que una de las causas de insostenibilidad en las cuencas de la Guayana Venezolana es debida a la minería artesanal o de pequeña escala. Este capítulo está dedicado al desarrollo de una consulta *ex post facto* a un grupo de expertos de distintas disciplinas con el propósito de obtener diversas opiniones que se tienen de la minería del oro en las cuencas guayanesas. Para la consulta hemos escogido el método Delphi. La consulta tiene como propósito determinar las causas y motivaciones de la minería con el fin de comprender ese fenómeno y poder tener una visión de cara al futuro de la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos que son nuestro objeto de estudio: las cuencas de la Guayana Venezolana.

#### 5.1 El problema de la minería en las cuencas en la Guayana Venezolana

En el balance de la situación ambiental de Venezuela (VITALIS 2009, 2010) se destaca como problema la persistencia de la minería ilegal en el sur del país, en particular en los estados Amazonas, Bolívar y particularmente en la cuenca del Caura, con consecuencias lamentables en la calidad del agua debido al mercurio vertido en los cuerpos de agua. El Decreto de la Presidencia de la República N° 4633 (TSJ, 2006) considera que:

*El ejercicio irracional de la actividad minera en el estado Bolívar ha alterado gravemente el ambiente vulnerando así las normas que contemplan lo relativo a su conservación, defensa y mejoramiento, con lo cual han quedado afectadas las poblaciones cercanas, comunidades indígenas y el resto del colectivo.*

Este reconocimiento gubernamental del daño de la minería sobre la región Guayana no es nuevo, sin embargo lo importante para este trabajo es que se hace explícito el conocimiento del problema desde la instancia de mayor nivel del gobierno nacional. Para paliar la situación de la minería ilegal, llamada eufemísticamente minería artesanal, se diseñó una política pública denominada reconversión minera. La reconversión minera es una estrategia gubernamental que tiene como finalidad incorporar a los mineros del oro y del diamante que trabajan ilegalmente en las cuencas de la Guayana Venezolana en otras actividades productivas distintas de la minería, por ejemplo la agricultura, la piscicultura, el turismo y las micro-empresas de fabricación de artesanía.

Aunado al oro de aluvión, existen en la Guayana Venezolana diamantes y el denominado ‘oro azul’ o coltán (columbita y tantalita). Respecto del coltán se asegura que “su uso se ha vuelto cada vez más común e indispensable para la miniaturización de equipos electrónicos que van desde teléfonos celulares hasta misiles” (Díaz-Struck y Poliszuk, 2012). Oro, diamante y coltán son los ingredientes de una mezcla que tiene suficientes motivaciones materiales para asumir los riesgos y peligros en las selvas y ríos de las cuencas de Guayana y para dejar de lado las buenas intenciones de la política pública de Reconversión Minera.

## **5.2 El Método Delphi**

El Método Delphi ha sido utilizado como una técnica para solicitar información a un grupo de expertos sobre algún evento futuro, estimar cantidades sobre un fenómeno, obtener previsiones sobre tecnología (Strauss y Zeigler, 1975). Esta técnica se ha utilizado también para explorar la importancia de un acontecimiento histórico, evaluación de opciones presupuestarias, reunir la estructura de un modelo, determinar las ventajas y desventajas de la aplicación de políticas (Linston y Turoff, 2002). Okoli y Pawlowsky (2004) usaron Delphi para identificar y priorizar problemas en toma de decisiones administrativas cuando se diseñan en sistemas de información.

Green et al. (1990) utilizaron Delphi para identificar impactos ambientales en espacios rurales y obtener información sobre el impacto del turismo en zonas urbanas.

La técnica se basa en la definición de un problema y el diseño de preguntas que se formulan a un panel de expertos seleccionados previamente con el fin de obtener información y en lo posible llegar a un consenso alrededor del problema planteado. El número de personas consultadas puede variar desde dos hasta treinta, algunos autores refieren grupos ‘pequeños y manejables’. Sin embargo, no es el número de consultados sino la calidad del grupo de expertos lo que permite obtener la ‘riqueza’ en las respuestas. Aunque eventualmente los expertos se pueden conocer entre ellos, el carácter anónimo de la consulta pretende evitar dominancia y posibles sesgos entre los consultados (Dalkey, 1969; Wuodenberg, 1991; Linston y Turoff, 2002).

La validez de la técnica fue evaluada por Ono y Wedemeyer (1994) y concluyeron que los resultados de los pronósticos se correlacionaron significativamente con la evaluación de las tendencias en los casos estudiados.

En esta investigación, el método Delphi lo utilizaremos para explorar las motivaciones de la minería ilegal en las cuencas de la Guayana Venezolana y obtener una prospección sobre la sostenibilidad en la Guayana Venezolana. El grupo de expertos está conformado por dieciocho personas pertenecientes a diferentes áreas y de diversas ocupaciones que conocen el problema desde sus diferentes visiones: ambientalistas, periodistas, antropólogos, abogados, ingenieros y docentes universitarios. De las dieciocho personas consultadas, doce poseen título de doctor obtenidos en universidades europeas y norteamericanas. Se trató en lo posible de incorporar en el grupo de expertos a dos profesionales por especialidad. Para formar parte del grupo de opinión, se requería que todas las personas consultadas estuviesen en conocimiento de la problemática de la minería en Guayana. El cuestionario diseñado fue enviado por correo electrónico a cada uno de los expertos escogidos.

### 5.3 Las preguntas de la consulta Delphi

El número de preguntas y la forma de presentar la consulta Delphi puede variar de problema en problema. Para evaluar la técnica Ono y Wedemeyer (1994) consultaron a los expertos utilizando veinticuatro tendencias y diecisiete eventos. Okoli y Pawlowsky (2004) utilizaron tres preguntas para identificar factores claves en el desarrollo de estrategias de comercio electrónico. En la evaluación del impacto del turismo en el ambiente Green et al. (1990) utilizaron siete preguntas. Para diseñar indicadores Choy y Sirakaya (2006) enviaron un cuestionario estructurado con veintiséis indicadores, mientras que García-Melón et al. (2012) utilizaron para fines similares trece preguntas.

En esta investigación se formularon las siguientes preguntas (P):

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

El objetivo de esta primera pregunta es explorar las motivaciones para ejercer la minería. Allí se plantea al experto la cuestión de las posibles causas de la minería en la Guayana Venezolana.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

En esta pregunta se desea conocer la percepción de los expertos sobre las políticas públicas desarrolladas para incorporar a los mineros en otras actividades que no impacten las cuencas de la manera en que ocurre con la minería artesanal

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

En esta tercera y última pregunta se desea indagar sobre el futuro de la minería, en esta pregunta se quiere obtener una visión a futuro de las actividades mineras en las cuencas guayanesas. Esta última pregunta está relacionada con la sostenibilidad de las cuencas de Guayana. Las respuestas a esta pregunta permitirán obtener de modo indirecto una prospección de la sostenibilidad de las cuencas de la Guayana Venezolana a partir de las visiones de los consultados.

En la Guayana Venezolana además de la minería de oro existe minería de diamantes, minería de hierro y una incipiente minería de coltán. Es importante hacer notar que en

este caso referimos a minería ilegal dado que en la región Guayana existen unos desarrollos mineros institucionales a gran escala: un parque industrial sidero-metalúrgico debido a la existencia de mineral de hierro y la industria exportadora de aluminio (entre las diez primeras de la producción mundial) que reside en Guayana gracias a la presencia de ingentes reservas de bauxita y los recursos hídricos para generar la hidroelectricidad requerida para la producción de ese metal. Sin embargo, para efectos de la consulta nos hemos referido principalmente a la minería del oro que es la más significativa y la de mayor impacto en la región Guayana debido a la contaminación mercurial con efectos neurotóxicos y el deterioro del paisaje que producen esas actividades.

#### **5.4 Resultados de la consulta Delphi**

Las respuestas a la pregunta (P1) sobre las motivaciones para la existencia de la minería cubrieron un amplio espectro que se relacionaron con el carácter histórico de la minería en la región de Guayana. Se han desarrollado a lo largo del tiempo familias que sólo han tenido como sustento el oficio de la minería creando así una tradición más que centenaria en este quehacer. Esta actividad ha generado toda una forma de vida y una cultura minera de gran arraigo. Otras motivaciones que se mencionan son la existencia de grandes reservas del mineral, la necesidad de un trabajo que provea de ingresos monetarios rápidos para superar la pobreza material debido a la escasez de oportunidades y alternativas económicas. La existencia de un sistema de producción, distribución y mercadeo del mineral que permite el aprovechamiento económico de esta actividad. La poca inversión que se requiere para mantener las actividades de la minería de aluvión, unido a los pocos o escasos controles sobre los daños que se efectúan en el ambiente y la relativa facilidad de extracción, hacen de este tipo de minería una atractiva actividad económica. En este sentido, hay expertos que señalan la existencia de un sistema formado por funcionarios, políticos, militares, comerciantes y operarios que viven, avalan y mantienen estas actividades.

Por otro lado, ante la crisis económica mundial, el oro se ha convertido en un refugio seguro para los inversionistas elevando así su papel dentro de la economía. Existe una

motivación adicional debido al hecho de ser la Guayana Venezolana una región limítrofe con unas fronteras muy poco resguardadas. Esta situación hace que estos sitios sean permeables a la presencia de cualquier buscador de fortuna que se aventure por esos parajes. De este modo la presión que ejerce esta actividad sobre el ambiente no se limita a los habitantes nacionales sino que existe la presencia de extranjeros que se dedican a la minería en esta región Venezolana.

Uno de los especialistas consultados refiere antiguas motivaciones legales que avalarían históricamente las actividades mineras:

*... existieron en las viejas leyes de minas dos normativas que son causas remotas del actual desorden y depredación de las cuencas: uno, el denuncia, que otorgaba derechos de exploración y explotación por vía de concesión a quien descubriera el yacimiento y lo ‘denunciara’ y, dos, el llamado libre aprovechamiento que daba derecho a cualquiera para explotar con medios artesanales (zuruca y batea) el oro de aluvión. El libre aprovechamiento devino, por corrupción y complicidad de las autoridades del área, en el uso indiscriminado de los ‘monitores hidráulicos’ (máquinas a motor –diesel o gasolina que remueven, con presión de agua, y extraen grandes cantidades de tierra, y causan serios e irreversibles destrozos [ambientales]).*

Se considera entonces que *el denuncia* y el *libre aprovechamiento* serían en buena medida una motivación de tipo legal de las actividades desarrolladas por los mineros de pequeña escala. Los efectos negativos de esta minería sobre el ambiente van desde la contaminación ambiental con mercurio hasta la destrucción de ecosistemas boscosos y ribereños. A pesar de los daños sobre el lecho y riberas de los ríos producidos por la minería aluvional, esta actividad es un modo de mantener una parte de la población ocupada y un bajo nivel de conflictividad social en la región, como lo afirma uno de los expertos consultados. En resumen, la minería del oro con sus motivaciones sociales, culturales, históricas, legales y económicas es actualmente una actividad inocultable con consecuencias indeseables para los sistemas socio-ecológicos de la Guayana Venezolana.

En las respuestas a la pregunta (P2) sobre las políticas públicas que permitirían hacer que los mineros desistan de sus propósitos y se dediquen a otras actividades distintas de la minería (se reconviertan), hubo un consenso generalizado que se manifestó en la poca confianza que brindan estas políticas públicas para la reconversión y para la conservación de las cuencas donde se ejerce la minería. En opinión de los consultados, existen varios factores para que una política pública como la Reconversión Minera no sea efectiva. En primer lugar se desconoce la tradición cultural de la minería en la región Guayana y su evolución histórica. Lejos de buscar consensos y aproximaciones entre la posición que poseen los mineros y la visión del gobierno, se impone un modelo que no se gesta como solución negociada entre las partes negando una realidad social existente en la Guayana Venezolana.

La reconversión minera ha sido una estrategia fallida, los precios del oro en el mercado no dejan lugar al beneficio monetario que ofrece la estrategia para que los mineros abandonen esas actividades. En consecuencia, la minería artesanal se mantiene como una actividad que sigue siendo atractiva para aquellas personas que no poseen un nivel educativo adecuado para un trabajo formal que le sirva de fuente generadora de ingresos para su subsistencia.

El Plan Caura es una política que se diseñó para proteger las cuencas de Guayana frente a la amenaza ambiental que representa la minería ilegal y para restaurar las zonas devastadas por esta práctica. La finalidad del Plan está dirigida a “detener el avance de la minería ilegal en todo el territorio ubicado en la margen derecha del río Orinoco” (Davies, 2010). El ministro del ambiente comenta que “la aplicación del Plan Caura al sur del río Orinoco como política ambiental integral está orientada a proteger el ecosistema en la región” (CO, 2010a), el funcionario también afirmó que “se trata de una política integral para impedir agresiones a la soberanía territorial y proteger la naturaleza, que en algunos puntos pudiera tardar más de un siglo en recuperarse de los perjuicios [ocasionados por la minería ilegal]” (CO, 2010b).

Los expertos consultados coinciden que el Plan Caura ha fracasado como política para la conservación y protección de las cuencas al sur del Río Orinoco debido a “ la escasez de mecanismos de control en un ámbito tan extenso”, “el conocimiento que los mineros

tienen de donde se encuentra el mineral hace que abandonen ese punto, producto de la presión, pero se desplazan hacia otro, no controlado o con menos presión de control dentro de la misma región”, “se insiste en no reconocer la tradición minera de esta región”, “no hubo procedimientos claros en la implementación del Plan, ni claridad en los objetivos del mismo, ni tampoco seguimiento y continuidad”, “el Estado no solo carece de la fuerza para imponer sus designios sino que dentro de él hay altos intereses comprometidos con la continuidad de las actividades mineras y su riqueza fácil”, “los Presidentes lanzan una idea pero no seleccionan a los hombres acertados para la ejecución de los planes” y “por la corrupción y los intereses económicos asociados a esta actividad”. Uno de los especialistas en derecho afirma que:

*... No hay una ley de ordenamiento territorial que circunscriba la actividad minera a determinadas áreas de la región Guayanesa, hay sí, zonas de reserva forestal, parques nacionales, lotes boscosos, lechos de ríos, montes de galería, donde, por deducción, la minería está vedada, pero esa implícita prohibición no se acata.*

Además de lo anteriormente citado, los expertos opinan que el Plan Caura “fue improvisado, sin estudios ni planes: tiene un claro sustrato fascista pues pretendió ‘transformar’ por decreto a mineros en agricultores o artesanos”, “es casi como decir que los campesinos andinos ahora no van a ser agricultores sino fabricantes de vehículos y celulares”. Otro de los consultados hace esta reflexión:

*La historia de la humanidad se ha escrito con los intentos, muchas veces vanos, de modificar los sistemas de vida que la naturaleza misma ha impuesto a los seres humanos, es parte de las lecciones de la historia que la destrucción autoritaria y represiva de las tradiciones y de la idiosincrasia de los pueblos ha traído muerte y consecuencias muy negativas, heridas sociales y económicas de difícil y larga reparación, que, en la mayoría de los casos no han servido para lograr los efectos buscados.*

En un informe sobre la Política de Reconversión Minera un conocido periodista afirma que “la aplicación de la denominada reconversión minera, estuvo plagada de corruptelas y manejos dolosos” (Useche, 2010). La reconversión en su dimensión material no satisface la oferta monetaria y el deseo de superación de las personas y familias dedicadas a la minería. Un minero obtiene cerca de mil euros en una incursión razonablemente exitosa de una semana de duración (López, 2012). Para que un minero ilegal abandone sus actividades la política oficial le ofrece un bono único de aproximadamente 1200 euros (García, 2008). Esos pagos no se cumplieron para una

gran cantidad de la población minera, algunos de los expertos consultados indicaron que esa política fue olvidada y no tuvo continuidad alguna. A pesar de lo anterior, desde voceros gubernamentales se afirma que la política de Reconversión Minera fue exitosa en la cuenca del Río Caroní (Reinoso, 2006).

La pregunta que indaga si habrá cambios de cara al futuro en la minería que se ejerce en la Guayana Venezolana (P3) arrojó un abanico de respuestas que oscilan entre el ‘optimismo condicionado’ hasta un ‘absoluto pesimismo’ hacia un cambio favorable. En este sentido, uno de los expertos consultado afirmó que la minería ilegal no se acabará nunca. En general, se establece que la posibilidad de un cambio favorable está condicionado a la existencia de “políticas de abordaje del problema”, “se haga una evaluación del problema y se tomen las medidas adecuadas para conducir la explotación minera hacia un rumbo que genere beneficios sociales y a la par no sea destructiva”, “que se ejecute con eficiencia un plan de ordenamiento territorial”, que existan “políticas públicas de incentivo a la población [minera]”, que se defina “un esquema de cumplimiento de las leyes y un acompañamiento tecnológico del pequeño minero”, que ocurra “la mejoría económica y social del país” y además que “los legisladores puedan trabajar una ley que refleje el espíritu y realidad de la actividad minera”.

Se evidencia en las respuestas de los expertos que existe una debilidad en los mecanismos institucionales para evitar los efectos adversos de la actividad minera. Los expertos opinan que “el Estado debería establecer reglas claras para la explotación minera y cercarla a determinadas zonas”, además, “es posible disminuir considerablemente la minería en las cuencas y poderla orientar hacia otras áreas con vocación minera”.

### **5.5 La minería ilegal como una amenaza a la sostenibilidad de las cuencas de la Guayana Venezolana**

Las amenazas a la sostenibilidad de estos sistemas socio-ecológicos están relacionadas tanto con el ámbito externo como el interno, con una mayor fuerza en el dominio socio-económico. Sin embargo, las mayores consecuencias se evidencian en el ambiente y se revierten en la población que se contamina con el mercurio utilizado para amalgamar

los metales de la extracción minera. En la tabla 5.1 se sintetizan algunas de las amenazas a la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos que hemos estudiado.

La minería ilegal persiste por el atractivo económico, por la situación individual de las personas que laboran en esa actividad, por las debilidades del estado en combatir estos ilícitos ambientales y la corrupción que se pasea por estos parajes.

En el trabajo de Pellegrini e Invernón (2007) se dice que “el personal que actualmente trabaja en el Sistema de Parques Nacionales está en el orden de 500 personas entre profesionales universitarios, técnicos y guarda parques”. Esa ínfima cantidad de funcionarios para todo el sistema de Parques Nacionales evidencia en parte la debilidad de la presencia del estado en esas bastas regiones de la Guayana Venezolana, las dos cuencas que hemos mencionado en esta investigación cubren más de 120.000 Km<sup>2</sup>.

Tabla 5.1. Amenazas a la sostenibilidad del sistema socio-ecológico en las cuencas de Guayana

Ámbito \ Dominio	Socio-económico y legal	Biofísico
Interno	Minería ilegal de subsistencia Corrupción Debilidad institucional Impunidad	Destrucción de ecosistemas Contaminación mercurial
Externo	Minería ilegal de subsistencia Desplazamiento de extranjeros	Desatención de las fronteras

Los mineros re-inciden como lo afirman los expertos consultados, “los mineros son sacados [de las cuencas] una y otra vez y regresan”. Es decir, “se combate un foco [de actividad minera] en un sitio, pero el conocimiento que los mineros tienen de donde se encuentra el mineral hace que abandonen ese punto, producto de la presión, pero se desplazan hacia otro, no controlado o con menos presión de control dentro de la misma región”. Estos hechos evidencian la debilidad del estado, la impunidad y la corrupción que se ha establecido en estas tierras. Las presiones que se ejercen sobre los

*garimpeiros* brasileños hace que estos pasen la frontera y se instalen en espacios ‘más favorables’ para extraer minerales. Se afirma que el 40% de las personas que ejercen la minería son venezolanos y el restante 60 % vienen de dos países limítrofes: Brasil y Colombia (Davies, 2010), estas cifras no son exactas ya que el Ministro del sector ambiente comenta que “más del 80% de los mineros ilegales son extranjeros... vienen de Brasil, Colombia, Guyana y las islas del Caribe” (CO, 2010c). Independientemente de la inexactitud de las estimaciones, se infiere de las declaraciones citadas que existe una alta presencia de extranjeros dedicados a la minería ilegal.

Este panorama social se ha agravado con la presencia de mafias nacionales e internacionales en la región de Guayana. Uno de los expertos consultados lo manifiesta de este modo: “la minería ilegal de oro en Guayana, es un gigantesco negocio ilegal de corruptelas en el cual participan las mafias locales y foráneas, así como una red de comercialización internacional, que hacen muy difícil creer que pueda desaparecer en poco tiempo”. Otro de los expertos señala que:

*El nacimiento y organización de mafias, bandas armadas y delincuentes de toda clase que buscan refugio en esos lejanos parajes y que muchas veces prestan servicio a las organizaciones a las cuales el Gobierno ha favorecido con sus concesiones, contrataciones o negocios, empresas extranjeras que van desalojando a saco a quienes se interponen en sus territorios y que además cuentan con la complicidad de las autoridades militares que, lejos de cumplir su deber de protección patriótica y ciudadana, sirven de auxilio vergonzoso a estos intereses subordinados, que han ido monopolizando la actividad minera, desde la extracción hasta la misma orfebrería.*

También uno de los consultados menciona “la incursión de la delincuencia en los yacimientos, ilegales o no, en donde los ladrones son amos y señores”. Esta experta relata que en enero del 2012 fueron asesinadas ocho personas en La Paragua (cuenca del Río Caroní) debido a “una disputa por el control del lugar, lo que hace cada vez más peligroso el ejercicio de la minería”. Estos hechos lamentables se unen a las denuncias realizadas por el Ministro de la Defensa, éste sostiene que los líderes indígenas del estado Bolívar están vinculados con las mafias del oro de la región (Rangel, 2012). La réplica a esta información no se hizo esperar de lado del sector indígena, quienes “responsabilizan a la fuerza armada como ‘coparticipes’ de la minería ilegal en el estado [Bolívar]” (García, 2012). Uno de los expertos consultados se refiere a esta situación de

este modo: “también se debería depurar las Fuerzas Armadas, pues ellos contribuyen a la violación de las leyes incluso siendo ellos mismos dueños de máquinas en yacimientos ilegales”.

Reflexionando sobre la realidad mostrada por las respuestas de los expertos (en el anexo B se encuentran las respuestas de los expertos a la consulta), los hechos que acontecen en esa región y por las investigaciones realizadas en las cuencas guayanesas podemos hacernos cuestión sobre la sostenibilidad de estos sistemas socio-ecológicos en un horizonte de tiempo razonable.

¿Qué futuro le depara a la minería ilegal?

La minería existirá en la medida que siga existiendo mercado para el oro y el sistema mencionado anteriormente que ha *normalizado* esas prácticas ilegales. La situación es multifactorial y compleja. Se requiere de decisiones tomadas con rigor para controlar los espacios utilizados por este tipo de minería, una adecuada atención socio-económica para humanizar el conglomerado de personas que hoy dependen de esta forma de vida, atención educativa que instruya a las comunidades mineras acerca de los daños que ocasionan estas prácticas basadas en técnicas que empobrecen y contaminan el ambiente y un monitoreo efectivo de los espacios que sean factibles de ser explotados por la minería artesanal. Cambiar el actual estado de la situación no es fácil. Existen pocas voluntades para detener estos modos de destrucción de los ecosistemas. Desde que se iniciaron las incursiones de mineros en la cuenca del Caura el fenómeno no se ha detenido, el Plan Caura más que una política exitosa ha sido una estrategia fallida que no trajo consigo resultados fructíferos.

¿Qué prospección podemos hacer sobre la sostenibilidad de las cuencas Guayanesas?

Independientemente del número de variables (cambios de uso del suelo, deforestación, calidad del aire y del agua, contaminación con metales, presencia de enfermedades tropicales, etc.) la prospectiva que se determinó en los dos primeros casos de estudio, muestra que la sostenibilidad de las cuencas guayanesas está en franco y sostenido declive. En conclusión, a partir de la consulta Delphi y siguiendo el modo actual de explotación aurífera, podemos afirmar que no hay minería que pueda garantizar la sostenibilidad del sistema socio-ecológico en cuestión.

## Capítulo VI

### Conclusiones

#### 6.1 Sobre la propuesta Metodológica

El objetivo general de esta investigación se logró adecuadamente a través de la realización de los objetivos específicos y de las preguntas de investigación. Se han diseñado modelos tanto conceptuales como simbólicos que dan cuenta de la sostenibilidad en las cuencas que hemos observado. Además se realizaron prospecciones cuantitativas y cualitativas sobre la sostenibilidad en los sistemas socio-ecológicos estudiados.

Cuando se desea determinar la sostenibilidad en un sistema socio-ecológico se han de buscar los investigadores que apoyados en las disciplinas y en las relaciones interdisciplinarias describan y analicen los aspectos que dan cuenta de la sostenibilidad en tales sistemas. Las disciplinas proveen de conceptos, hipótesis y observables para cualificar/cuantificar la sostenibilidad.

Una red conceptual es un constructo que organiza y articula de modo coherente y *consiliente* los elementos que nos permiten observar la sostenibilidad. La riqueza de elementos conceptuales y observables que se integre a la red conceptual dependerá de la ‘capacidad sistémica’ y ‘sensibilidad teórica’ que posea el equipo de investigadores. Estas habilidades permitirán la detección de las diversas facetas que presente la situación que se ha de analizar y modelizar.

#### 6.2 Sobre la complejidad que subyace en los estudios de sostenibilidad

Mitchel (2009) establece tres características comunes de los sistemas complejos:

- i) Comportamiento colectivo complejo: los sistemas sociales, las comunidades de hormigas, las neuronas, las redes en la web, generan respuestas colectivas complejas. Las acciones colectivas se generan a partir de reglas simples sin depender de un control central o de la capacidad de un líder.

- ii) Procesamiento de información y generación de señales: los sistemas complejos generan y procesan información tanto a nivel interno como aquella proveniente del ambiente.
- iii) Adaptación: los sistemas cambian su comportamiento para adaptarse a los cambios externos a través de procesos de aprendizaje y/o mecanismos evolutivos. De este modo define los sistemas complejos como aquellos que poseen respuestas emergentes no-triviales y un comportamiento que exhibe auto-organización.

A través de los casos de estudio y después de obtener las respuestas de los expertos, se han observado respuestas complejas de los colectivos que viven en las cuencas y de aquellos que han llegado atraídos por la fiebre del oro. Motivados por los derechos que poseen sobre el territorio, un grupo de indígenas de la etnia Pemón detuvo y desarmó recientemente a un conjunto de soldados que realizaban explotación ilegal de oro (Cañas, 2011). Cuando ocurre una *bulla de oro* (lugar y momento donde se descubre una nueva veta de extracción de oro o diamante) se accionan una serie de mecanismos que procesan acciones e ‘información social’ que trasciende los límites de la zona donde ocurre el hallazgo. Se dispara un conjunto de señales que informan al exterior sobre lo acontecido. De un momento a otro aparecen en la zona servicios de transporte fluvial y aéreo, venta de licores y drogas, prostitución y los problemas asociados a las enfermedades metaxénicas (Davies, 2010). Se gesta así un modo de vida que se convierte en práctica cotidiana en las personas que moran alrededor de las minas. Hay un proceso de adaptación de los mineros y sus acompañantes a las condiciones que se presentan cada día en la explotación minera. Una de nuestras consultadas relata lo siguiente: “[los mineros] pasan hambre, infinidad de situaciones y como no saben hacer otra cosa pocas veces cambian de ocupación”.

Los sistemas socio-ecológicos son sistemas complejos. La comprensión de estos sistemas complejos pasa por adoptar una posición onto-epistemológica asociada a la sistémica (*enfoque de sistemas*) y al pensamiento complejo.

### 6.3 Sobre la prospección de la sostenibilidad en las cuencas de la Guayana Venezolana

La sostenibilidad de las cuencas observadas está severamente amenazada. Sin importar el método de prospección, sea analítico a través de modelos estocásticos o utilizando herramientas cualitativas, se obtienen resultados análogos: la sostenibilidad decrece sistemáticamente como se observa en la figura 6.1. Este gráfico surge de construir un índice que nos da cuenta de la sostenibilidad a partir de observables.

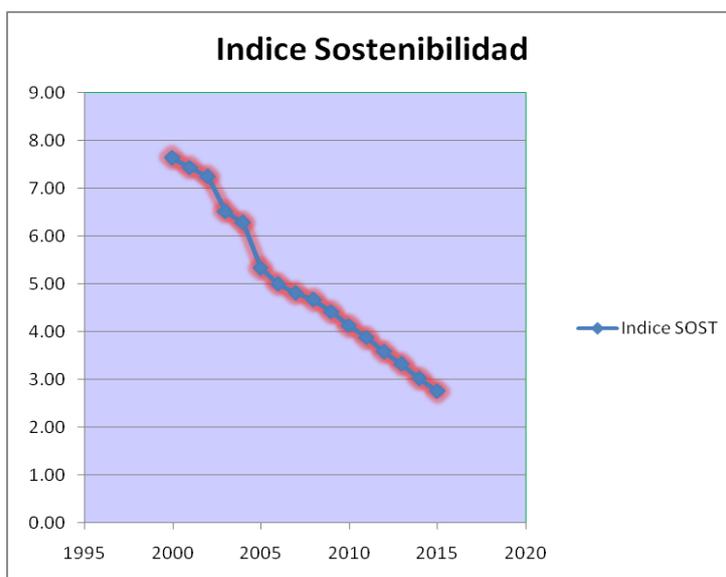


Figura 6.1 Índice de sostenibilidad calculado en la Cuenca del Río Caroní.

Establecimos a partir de la capacidad generativa de los pobladores de la cuenca del Río Caura que la sostenibilidad estaba amenazada. Nos referimos a los problemas que afectan la disponibilidad de los recursos naturales utilizados para satisfacer sus necesidades. Una realización efectiva de la capacidad generativa conlleva a consideraciones optimistas sobre la sostenibilidad. Sin embargo, debido a los problemas con la destrucción de ecosistemas, la intervención del paisaje por la minería y la persistencia de enfermedades metaxénicas podemos afirmar que la sostenibilidad de estos sistemas socio-ecológicos está severamente comprometida.

#### 6.4 Investigaciones de cara al futuro

- i) Dentro del Proyecto del Corredor Ribereño del Río Orinoco coordinado por la Dra. Judith Rosales se propuso el siguiente sub-proyecto (idea proyecto)

##### **Una Red Conceptual Multinivel para Analizar, Modelizar y Medir la Sostenibilidad del Sistema Socio-Ecológico Corredor Ribereño Orinoco ante los extremos de inundación y sequía relacionados con cambios climáticos.**

Este sub-proyecto tiene como finalidad construir una red conceptual para modelizar la sostenibilidad a partir de las disciplinas que se proponen observar y analizar el sistema socio-ecológico Corredor Ribereño Orinoco en el marco de eventos extremos relacionados con los cambios climáticos.

Esta investigación permitirá aumentar la *credibilidad* de la hipótesis de método de este trabajo de tesis. En el Anexo C se pueden leer los detalles de la idea-proyecto.

- ii) Continuar en la construcción de modelos cuantitativos y cualitativos para determinar la sostenibilidad ambiental. En este sentido, se propuso la siguiente investigación: **Determinación de la Sensibilidad-ENSO en la cuenca del Río Caura ubicada en la Guayana Venezolana.** Este trabajo se presentó en junio de 2012 en unas Jornadas de Investigación en la Universidad Nacional Experimental de Guayana (Venezuela).
- iii) Desarrollar el esquema onto-epistemológico para determinar la sostenibilidad de sistemas socio-ecológicos. En esta tesis doctoral propusimos un esquema (v. tabla 3.1) que es el punto de partida de una construcción teórica para estudiar la sostenibilidad. A partir de este intento podemos ‘afinar’ herramientas teóricas y metodológicas que nos ayuden en la tarea de construir técnicas para tal determinación. Una investigación que nos proponemos es la implementación de ‘mapas teóricos’ previos al diseño de una red conceptual multinivel. Un *mapa teórico* es un gráfico donde se observa y “analiza un determinado campo de estudio con las teorizaciones existentes y propias sobre el tema” (Vasilachis, 2006).

## Post Scriptum

### Una propuesta metodológica para la modelación y prospección de la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas en la Guayana Venezolana

¿Cuál es el problema cuando se quiere medir la sostenibilidad? Nos hemos ocupado de diseñar una herramienta que da cuenta del estado de sostenibilidad/insostenibilidad de un sistema socio-ecológico. La hipótesis asociada al problema de diseñar un modelo para cuantificar la sostenibilidad en un sistema socio-ecológico, se orientó hacia la construcción de una manera de guiarnos en un camino que garantizara la modelización de la sostenibilidad. La hipótesis central y fundamental de esta investigación es la hipótesis **H** que se enuncia de acuerdo a la siguiente proposición:

***H:** La sostenibilidad se modeliza a partir de las disciplinas relacionadas con el objeto de estudio.*

Esta hipótesis la podemos re-escribir de este modo:

***H<sub>1</sub>:** Podemos modelizar la sostenibilidad de las cuencas a partir de disciplinas como la Ecohidrología, la Ecohidráulica, la Salud Ambiental (EcoHealth), la Biocomplejidad, el Enfoque Ecosistémico, la Hidrología, la antropología social, la demografía, etc.*

En la propuesta de la hipótesis **H**, existe un rompimiento paradigmático, se rompe el esquema de las tres dimensiones: la dimensión ecológica, la dimensión social y la económica para sustituirla por una red conceptual. En esta tesis se propuso un nuevo paradigma para modelizar y medir la sostenibilidad.

¿En qué consiste el nuevo paradigma? El nuevo modelo consiste en una red conceptual sustentada en las disciplinas que tienen como objeto de estudio el sistema que se desea observar. Kuhn (1975) establece la dicotomía esencial *enigma-paradigma*. Asocia a un modelo de problema un modelo de solución. Algo que debemos decir cuando se establece que un constructo es un paradigma, es la declaración del enigma al que nos referimos. Si estamos proponiendo una red conceptual para modelizar la sostenibilidad, establecemos que la modelización de la sostenibilidad es el enigma a resolver.

Se define un enigma como “*aquella categoría especial de problemas que puede servir para poner a prueba el ingenio o la habilidad para resolverlos*” (Kuhn, op. cit.) y cuando consideramos que la modelización de una entidad teórica como la sostenibilidad es un enigma, es porque este problema se caracteriza por tener más de una solución.

Lo que proponemos como modelo de solución para el enigma enunciado es la construcción de una red conceptual basada en disciplinas y relaciones interdisciplinarias. Las redes conceptuales basadas en la multi-disciplinariedad y la interdisciplinariedad, son representaciones que facilitan y viabilizan el diseño de modelos de sostenibilidad en sistemas socio-ecológicos. Éstas se construyen bajo la jerarquía disciplina-concepto-observable. La base conceptual de la red son las disciplinas relacionadas con el objeto de estudio, es decir, las disciplinas relacionadas con una cuenca hidrográfica. Entre las disciplinas que tienen que ver con las cuencas tenemos: la ecología del paisaje, la ecohidrología, la ecohidráulica, la salud ambiental (*EcoHealth*), la economía ecológica, la ecología política, el enfoque ecosistémico, la antropología social, la sociología ambiental, la demografía, etc.

¿Cuál es el papel de las disciplinas en la red? Las disciplinas aportan los conceptos para derivar los observables que permiten la modelización y la cuantificación/cualificación 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 de la sostenibilidad. Además de los conceptos, las disciplinas disponen de hipótesis sobre los fenómenos que están asociados al objeto de estudio. Una de las hipótesis que hemos verificado en esta investigación es la hipótesis de biomagnificación. Esta hipótesis de biomagnificación se requiere para explicar el fenómeno de acumulación de mercurio en las represas y en los ecosistemas ribereños. En nuestro caso, se han establecido observables para conceptos como neurotoxicidad y aquellos otros que se derivan de la salud de los ecosistemas. Además, hemos utilizado otros conceptos como el de capacidad generativa, que están asociados a las disciplinas requeridas para estudiar estos sistemas. La comprobación de la hipótesis de neurotoxicidad del metil mercurio presente en las cadenas tróficas, devela la situación –en cuanto a la sostenibilidad– de las cuencas de la Guayana Venezolana.

Las redes conceptuales para medir y modelizar la sostenibilidad son herramientas que poseen la ventaja de tener en el centro de la red a la sostenibilidad como entidad teórica, alrededor de esta entidad se encuentran las disciplinas que se relacionan con los sistemas socio-ecológicos 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 comparte un espacio común de análisis y observación, esta consistencia entre disciplinas le imprime el carácter de *entidad integradora* que se requiere de la sostenibilidad.

Este paradigma (las redes conceptuales) garantiza que se puedan agregar disciplinas (lógica de inclusión) en la medida que se perciban problemas en el sistema socio-ecológico observado. La inclusión sucesiva de disciplinas permitirá aumentar el alcance (*scope*) de la red, esto posibilita la adopción de nuevos conceptos lo cual garantizará aumentar el nivel (*level*) de la red conceptual. Así, la inclusión de nuevas disciplinas en la red incrementa la comprensión de la situación planteada.

Las redes conceptuales multinivel son un **modelo de solución** (*paradigma*) para el **problema** de medir/cuantificar/cualificar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico (*enigma*) en las cuencas hidrográficas de la Guayana Venezolana.

#### Referencia bibliográfica

Kuhn, T (1975) *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de Cultura Económica

Jorge Iván Paolini Ruiz

Terrassa, abril del 2012.

## **ANEXOS**

**Anexo A.** La hipótesis de Biomagnificación de mercurio. Un requisito para la modelación de la Sostenibilidad de sistemas socio-ecológicos en la Guayana Venezolana

**Anexo B.** Respuestas de los Expertos al cuestionario Delphi

**Anexo C.** Una Red Conceptual Multinivel para Analizar, Modelizar y Medir la Sostenibilidad del Sistema Socio-Ecológico Corredor Ribereño Orinoco ante los extremos de inundación y sequía relacionados con cambios climáticos

## Anexo A

### La hipótesis de Biomagnificación de mercurio.

#### Un requisito para la modelación de la Sostenibilidad en sistemas socio-ecológicos en la Guayana Venezolana

Jorge I. Paolini Ruiz

Una de las hipótesis que se desea probar en el estudio de Sostenibilidad de las cuencas de la Guayana Venezolana es la hipótesis de biomagnificación, se entiende por *biomagnificación* el incremento de la concentración de una sustancia –usualmente-tóxica a lo largo de una cadena trófica. Hasta que no se evalúe empíricamente una hipótesis no se considerará una explicación razonable del fenómeno observado (King et al., 2000). Esta suposición de biomagnificación tiene una vital importancia ya que su aceptación o rechazo permitirá tener una idea del estado de la salud de los ecosistemas que se considerarán en la modelización de la sostenibilidad.

El mercurio presente en el ambiente se deposita en el suelo y en los cuerpos de agua, el mercurio metálico pasa a la forma de mercurio orgánico a partir del proceso de metilación realizado por bacterias en condiciones anaeróbicas. Se conocen al menos dos bacterias que realizan este proceso: la *Eichoria crassipes* identificada en Suecia y en América del Sur la bacteria *Miriophillum spicatum*, una vez las bacterias metilan el mercurio éste se hace ‘asimilable’ a lo largo de las cadenas tróficas (Guimaraes et al., 2004). El metil-mercurio se fija a los sedimentos de los lagos y en otros cuerpos de agua, es absorbido por el fitoplancton, ingerido por el zooplancton y finalmente pasa a los peces como un eslabón más de la cadena alimenticia (WHO, 2007). Los peces son fuentes de proteínas para los seres humanos, en especial de aquellas poblaciones ribereñas, una vez ocurre la ingesta del pescado, el mercurio en sus diferentes formas pasa al cuerpo humano. El metil-mercurio en la forma orgánica  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  es el compuesto mas tóxico de los que provienen del mercurio (Hope, 2005).

En una investigación experimental se estableció que el 90% del mercurio contenido en el tejido de los peces está presente en la forma de metil-mercurio (Hall et al., 1997).

Para probar estadísticamente la hipótesis de Biomagnificación de mercurio en las cadenas tróficas, se analizaron tres especies: la Payara (*Hydrolicus scomberoides*), la Curvinata (*Plagioscion squamosissimus*) y el Pavón (*Cichla ocellaris*). Los datos de este trabajo provienen de n=88 peces que fueron capturados en cuatro sitios escogidos del lago Guri para el proyecto financiado parcialmente por la Agencia Internacional de Energía Atómica (Bermudez et al., 2004, Bermudez, 2009). La hipótesis de Biomagnificación se enuncia en los siguientes términos:

***H: Los peces del Lago Guri (Río Caroní en la Guayana Venezolana) en los diferentes niveles tróficos presentan el efecto de Biomagnificación de metil-mercurio en tejido [Me-Hg].***

El efecto de Biomagnificación se revela con la talla de los peces y en los diferentes niveles tróficos de la cadena alimenticia. Una *suposición* de este trabajo es que la edad de los peces se establece indirectamente en función de su longitud, de tal modo que para una especie considerada, los peces de tallas mayores son los que poseen mayor edad. Para mostrar el efecto de Biomagnificación se requiere establecer que los peces de mayores longitudes se corresponden con concentraciones más altas de metil-mercurio [Me-Hg]. En la figura A.1 se puede observar la relación entre la longitud de tres especies de peces y las respectivas concentraciones de metil-mercurio.

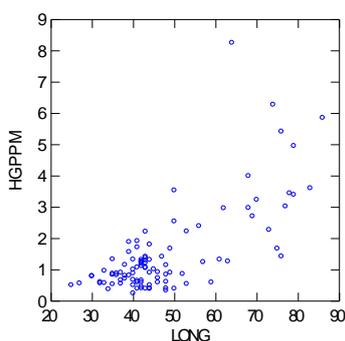


Figura A.1. Gráfico de dispersión entre la longitud (cm) y la concentración de Me-Hg (ppm) de los peces.

Para determinar si existe una relación entre la longitud del pez y la concentración de metil-mercurio en su tejido, se realiza un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de tal relación en cada una de las especies observadas. La hipótesis que subyace en este análisis es la siguiente:

***H<sub>1</sub>: Existe una relación entre la longitud del pez y la concentración de Me-Hg en el tejido de los peces.***

La prueba de esta hipótesis de investigación requiere de una transformación, hay que construir a partir de  $H_1$  una hipótesis paramétrica. Se debe establecer una relación estadístico-matemática entre las variables consideradas, para probar la hipótesis  $H_1$  se puede escoger una relación lineal como la que se muestra en la siguiente ecuación

$$Y_{[Me-Hg] \text{ pez}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot longitud_{\text{pez}} \quad (1)$$

La hipótesis estadística que se prueba (hipótesis nula) para este tipo de modelo es la siguiente:

$$H_2 : \beta_1 = 0$$

La hipótesis  $H_2$  especifica que el coeficiente  $\beta_1$  de la ecuación de regresión (la pendiente de la recta de regresión) en la ecuación (1) es nulo, es decir, la ecuación que relaciona la concentración del Me-Hg con la longitud del pez es constante (no hay relación lineal). Si la pendiente es nula, la relación especificada por (1) queda así:

$$Y_{[Me-Hg] \text{ pez}} = \beta_0 \quad (2)$$

De acuerdo al Análisis de varianza (ANOVA) se rechaza la hipótesis  $H_2$ , en consecuencia se acepta la existencia de la relación lineal ( $p < 0,05$ ) entre longitud y concentración de Me-Hg para las tres especies consideradas en la cadena trófica analizada. En la tabla A.1 se muestra el resumen de los análisis estadísticos para establecer la relación lineal especificada por la ecuación (1). Como se puede notar en la tabla, todos los valores de  $p$  son menores al nivel de significación  $\alpha = 0,05$ ; también se pueden observar los valores del coeficiente de correlación  $r$ .

Tabla A.1. Determinación de la relación entre longitud y concentración de Me-Hg en los peces del lago Guri (Guayana Venezolana).

Especie	n	Coefficiente de correlación $r$	Estadístico F-Fisher	p
Pavón	23	0,515	7,57	0,012 (< 0,05)
Curvinata	29	0,714	28,09	0,000
Payara	36	0,685	29,98	0,000

Fuente de los datos: Bermúdez (2004, 2009).

En la figura A.2 se observan las relaciones lineales para cada especie, en consecuencia podemos afirmar que existe relación entre la longitud del pez y la concentración. El efecto de Biomagnificación se da cuando el pez ingiere animales o plantas que contienen metil-mercurio, que a su vez se acumula en el organismo del predador a lo largo del tiempo, hecho que determina mayores concentraciones del tóxico a medida que el pez crece.

¿Cómo saber cuál de estas especies ocupa un puesto relevante en la cadena alimenticia?

Para ello establecemos la igualdad de concentraciones de Me-Hg en cada especie como hipótesis de conformidad, es decir, se establece que el promedio de las concentraciones de metil-mercurio son iguales para las tres especies. La hipótesis  $H_3$  se establece de la siguiente forma:

$$H_3 : \mu_{[Me-Hg] Curvinata} = \mu_{[Me-Hg] Pavón} = \mu_{[Me-Hg] Payara}$$

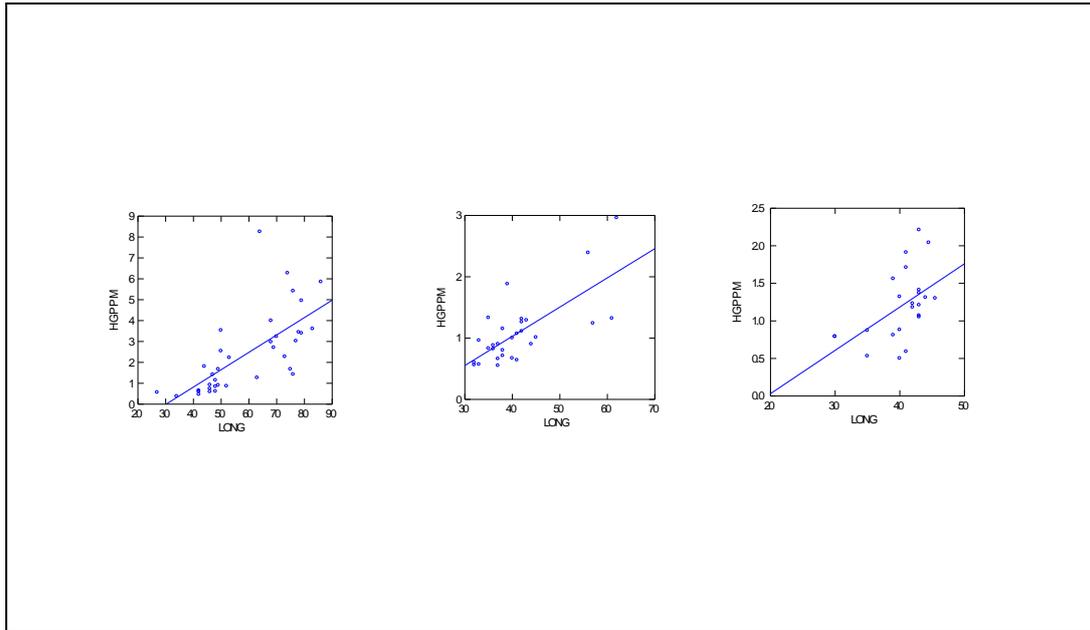


Figura A.2. Gráfico de dispersión que muestra una relación entre la longitud (cm) y la concentración de Me-Hg (ppm). a) Payara (izq), b) Curvinata (centro) y c) Pavón (der).

Esta hipótesis se prueba a través del estadístico F-Fisher en el Análisis de varianza. En la tabla A.2 se pueden ver los resultados de la prueba de igualdad de promedios de las concentraciones para las tres especies muestreadas, la tabla ANOVA muestra que existen diferencias significativas entre los promedios de las especies que se muestran ( $p=0$ ), esto significa que las concentraciones promedio de metil-mercurio en las especies muestreadas difieren entre sí.

Tabla A.2. Análisis de varianza para la diferencia de promedios ente la concentración de Me-Hg (ppm) de las tres especies consideradas.

Categorical values encountered during processing are:  
 NOMBRE\$ (3 especies): **Curvinata, Pavón, Payara**  
 Dep Var: **HGPPM** n=88 Multiple R: 0.440 Squared multiple R: 0.193

Análisis de Varianza					
Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	p
NOMBRE\$	33.759	2	16.880	10.182	<b>0.000</b>
Error	140.910	85	1.658		

En la figura A.3 se observa que la Payara (*H. scomberoides*) contiene los valores más altos de concentración de metil-mercurio entre los tres especies estudiadas, lo que conduce a establecer que este pez ocupa un lugar relevante de la cadena alimenticia. Este es uno de los pescados consumidos por los habitantes de la cuenca, en especial por los pobladores ribereños de las cuencas guayanesas, esta ingesta de pescados ha conducido a los preocupantes niveles de mercurio encontrado en estos habitantes y los indicios de contaminación mercurial con efectos neurotóxicos (Bermúdez , 2009).

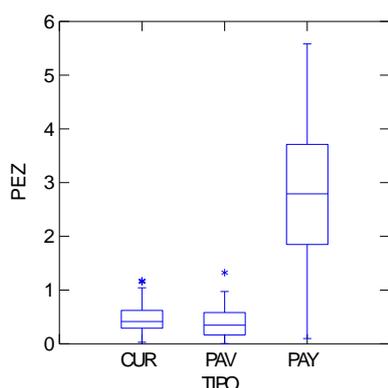


Figura A.3. Concentración de Me-Hg para cada especie.

## Conclusión

La prueba de que la hipótesis de Biomagnificación resulta aceptada en peces, permite a la vez determinar la salud de los ecosistemas observados.

Estos ecosistemas presentan altos contenidos de mercurio que se manifiesta en las cadenas tróficas y en especial en los habitantes de los pueblos ribereños que consumen estas especies.

La payara ocupa un ‘puesto de importancia’ dentro de la cadena alimenticia debido a las mayores concentraciones de mercurio encontradas en sus tejidos.

## Bibliografía anexo A

Bermúdez, D et al. (2004) *Mercury exposure through fish consumption in riparian populations at the Guri Reservoir, using nuclear techniques. State of Bolivar, Venezuela*. Uppsala (Sweden): International Atomic Energy Agency.

Bermúdez, D (2009) *Exposición al mercurio por el consumo de peces del embalse Guri: Causas y Efectos*. En prensa (Libro).

Guimaraes, JR et al. (2004) *Health Impact of Mercury cycling in contaminated environments studied by nuclear techniques*. Uppsala (Suecia): International Atomic Energy Agency IAEA. (E4.10.12/RC-798.3).

Hall, BD et al. (1997) *Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish*. *Water, Air and Soil pollution*. **100**: 13-24.

Hope, B (2005) *A mass budget for mercury in the Willamette river basin, Oregon, USA*. *Water, Air, and Soil Pollution* **161**: 365–382.

King, G et al. (2000) *El diseño de la investigación social. La inferencia científica en los estudios cualitativos*. Madrid: Alianza Editorial.

World Health Organization WHO (2007) *Exposure to Mercury: a major public health concern*. Geneva (Switzerland): Public Health and Environment.

Esta hipótesis fue revisada por la Dra. María Josefina Escalona de la Universidad del Zulia (Maracaibo, Venezuela).

Terrassa, 17 abril de 2009.

## **Anexo B**

### **Respuestas de los Expertos (Ex) al cuestionario Delphi**

En las respuestas dadas por los expertos aparecen locuciones castellanas propias de Venezuela y específicamente de la región Guayana. Se hizo una selección de vocablos para aclararle al lector el sentido de las frases donde aparecen los términos.

#### **Glosario**

*Bulla*: lugar y momento en que se descubre una veta o filón de oro.

*Cochano*: oro puro y sin aleación.

*Cochanitos*: pedazos de oro de aluvión (oro nativo).

*Coima*: soborno que se ofrece al funcionario.

*Matraca*: soborno que exige el funcionario.

*Minería de socavón*: Minería aluvional.

*Mordida*: soborno.

*Morisqueta de gobierno*: expresión despectiva para referirse al gobierno.

*Paila*: batea, recipiente para trabajar en la minería en el que se buscan los minerales para separarlos de los sedimentos.

*Zuruca o suruca*: batea circular de madera o metal que se utiliza para lavar los sedimentos que eventualmente pueden contener mineral de oro o diamantes.

*Zuruquear o suruquear*: acción de usar la zuruca [suruca].

Ex.1-Dra. (Ciencias Ambientales. Experta Cuenca del Caroní)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Considero que a través del tiempo, la motivación principal para la minería en las cuencas de Guayana ha ido variando. En sus inicios pudo responder principalmente a la riqueza del mineral en las cuencas, con relativamente fáciles condiciones para su extracción. Esta situación generó el desarrollo de una “cultura minera” en la región, la cual, a medida que el proceso de extracción y la disponibilidad del mineral fue haciéndose más conocido, sustituyó a la razón principal anteriormente mencionada. Se fueron desarrollando generaciones de familias en la región que sólo conocen el oficio de la minería, transformándose así en la principal motivación hasta ese momento (quizás hasta el segundo tercio del siglo pasado). Posteriormente, y más recientemente, considero que esta motivación ha sido sustituida por el interés de acceder a riqueza “fácil”, poco controlada, y acceso a un recurso fácilmente intercambiable en el mercado internacional, evadiendo controles gubernamentales en cuanto a acceso a divisas, impuestos, y otros. La inmensa cantidad de “negocios” que actualmente se desarrollan alrededor de lo que era el tradicional aprovechamiento minero (acceso a divisas no controladas, contrabando de combustible, precios exorbitantes de agua y alimentos, prostitución, entre otros) han ido sustituyendo a la tradición en cuanto a motivación principal. Por supuesto, fundamentado en las razones anteriormente esgrimidas: es una región aun con ingente riqueza en mineral aurífero y a través del tiempo se desarrollaron generaciones que saben cómo ubicarlo y extraerlo. A esta motivación, y ya como razón sinérgica, está el hecho geopolítico: las cuencas de Guayana son limítrofes y nuestras fronteras no siempre (por no decir nunca) han estado bien resguardadas, consecuentemente, la presión sobre el recurso no es solamente local o nacional, sino internacional, considerando el papel del oro en la economía mundial (más ahora que se propone internacionalmente regresar al patrón oro en economía).

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Considero que la principal debilidad en la efectividad de ambas figuras es el no reconocimiento (o desconocimiento) de la evolución histórica de la minería en la región. Ambas se están aplicando desconociendo el hecho de que la minería de oro en la región forma parte de una “cultura” de esa región. Es casi como decir que los campesinos andinos ahora no van a ser agricultores sino fabricantes de vehículos y celulares, por ejemplo! Por otra parte, está el desconocimiento de las bondades geológicas que la región ofrece. Se combate un foco en un sitio, pero el conocimiento que los mineros tienen de donde se encuentra el mineral hace que abandonen ese punto, producto de la presión, pero se desplazan hacia otro, no controlado o con menos presión de control dentro de la misma región. Ciertamente, estas consideraciones abordan uno de los dos componentes de la actividad “minería ilegal”. Con esto sólo explico lo relativo a “minería”. El tema de la ilegalidad de la minería en buena medida es débilmente abordado por ambas soluciones debido a la escasez de mecanismos de control en un ámbito tan extenso y, como mencionaba anteriormente, con una presión adicional como es la condición limítrofe.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Solamente vislumbro posibilidad de cambio, cambiando las estrategias de abordaje del tema. No vamos a obtener resultados diferentes si hacemos siempre lo mismo. Las soluciones reales son aquellas que provienen de múltiples fuentes de conocimiento, acompañadas de una inversión importante dirigida a lograr la presencia efectiva, sistemática y permanente de organismos capaces de instrumentar las soluciones que se identifiquen en ese proceso de abordaje interdisciplinario. Es destacable que al hablar de “presencia” incluyo tanto mecanismos de monitoreo del cumplimiento del plan como de mecanismos de respuesta esencialmente proactivos, sin desmedro de aquellos reactivos, ante inconformidades en el cumplimiento de los objetivos propuestos en las soluciones identificadas y en sus formas de instrumentación.

Ex.2-Lic. (Periodista Científico Especialista en Ambiente)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Me parece que incide de forma determinante la tradición cultural del auténtico guayanés que ha sido minero desde hace siglo y medio y el hecho mismo de la geología de este territorio. Para darte un ejemplo, mi bisabuelo y abuelo eran mineros, guayaneses ambos; además la historia da cuenta de ello desde que los españoles fundaron la Provincia de Guayana en 1595 tras la idea del Dorado y después que vieron a los aborígenes exhibiendo prendas de oro. Asimismo, los estudios de prospección minera confirman las enormes reservas de oro y diamante que existe en el cinturón de rocas verdes inventariado desde los años 80.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Hasta ahora ningún plan ejecutado por los distintos gobiernos nacionales han dado resultados eficientes porque se insiste en no reconocer la tradición minera de esta región; y esto lo han esgrimido numerosos científicos que analizan esta actividad desde lo antropológico cultural y ambiental.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Solo cambiará en la medida en que se defina, se ejecute con eficiencia y se cumpla una política de Estado que contemple un plan de ordenamiento territorial que establezca la vocación de cada cuenca de la Guayana Venezolana, las áreas para la minería, el tipo de minería y las alternativas ambientales que deben cumplir todos los ejecutores mineros, con acompañamiento de los organismos gubernamentales en lo técnico ambiental y de salubridad; y que existan los fiscales que hagan respetar dicha política.

Ex.3-Dr. (Psicólogo. Especialista en Análisis del Discurso)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Aparte de una tradición bicentenaria de la práctica de minería de oro y diamante en Guayana, que supone la existencia de toda una forma de vida y cultura (con sus dimensiones: real, simbólica e imaginaria en el colectivo), arraigada en esta región alrededor de la extracción minera de bajo impacto.

Actualmente (en la última década), ha habido un impresionante fenómeno de concentración de la actividad minera por parte de grupos (regulares e irregulares) que se comportan como mafias que compiten brutalmente entre sí a causa de la revalorización creciente del oro a nivel de los mercados globales. (Inclusive, con la perspectiva del posible retorno global del patrón oro, frente a las crisis de las monedas fuertes -Euro y US Dólar- en los mercados mundiales).

En suma, la motivación principal de la minería de oro en las cuencas de Guayana es el lucro inmediato y exorbitante de grupos mafiosos que extraen el mineral y lo sacan del país de forma ilegal (militares de rangos altos y medios y políticos importantes del régimen chavista, guerrilla colombiana, garimpeiros brasileros, grupos armados nacionales y -en menor medida-, pequeños mineros artesanales e indígenas).

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Me temo que no. El Plan Caura y la "Reconversión Minera" hacen parte de una supuesta estrategia de resguardo y preservación de una de las pocas cuencas prístinas del planeta. Pero, en realidad, ha sido varias veces criticado y públicamente denunciado por los mismos pequeños mineros, como un fraude del gobierno nacional y regional, ya que: 1) Tardaron mucho tiempo en cancelar sólo una mínima parte de lo que el Gobierno prometió a los pequeños mineros; 2) Nunca hubo un tal proceso de reconversión, que implicara la formación técnica, asesoría y financiamiento gubernamental que permitiera a los pequeños mineros ejercer otro tipo de actividad alternativa que significara una mejor calidad de vida para ellos y su familia; 3) No hubo procedimientos claros en la implementación del Plan, ni claridad en los objetivos del mismo, ni tampoco seguimiento y continuidad de lo que se inició y dejó a medias.

La moraleja de todo este contradictorio embrollo, es que la supuesta "buena intención" del gobierno por "preservar la cuenca del Caura", ha derivado hacia la caotización creciente de la explotación ilegal de oro y diamante en esta cuenca por parte de grupos armados que actúan como mafias organizadas, con mucho poder, que compiten entre sí, dejando un saldo de destrucción de ecosistemas muy frágiles y de muerte pendericera, en los enfrentamientos cada vez más frecuentes entre ellos; en donde los militares venezolanos y la nueva clase política del país participan muy activa e interesadamente.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

La minería ilegal de oro en Guayana, es un gigantesco negocio ilegal de corruptelas en el cual participan las mafias locales y foráneas, así como una red de comercialización internacional, que hacen muy difícil creer que pueda desaparecer en poco tiempo.

Por darte una somera idea, la Tesis de Maestría del IVIC de hace 12 años, de un amigo antropólogo inglés, -el Dr. Andrew Cousin-, estimaba que para finales de los 90's, salían en avioneta unas 10 TM de oro de Guayana.

No obstante, estimo que todo lo que pueda ocurrir en esta región respecto a la explotación minera ilegal del oro y diamantes, así como de todo el resto de prospectivas de explotación de tierras raras y minerales estratégicos, dependerá en alguna medida de los resultados electorales del 7 de Octubre. Como ves, no soy muy optimista al respecto

Ex.4-Dr. (Antropólogo, Investigador Socio-antropología)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

¿Motivación o causas? Dos son las motivaciones fundamentales: La primera es un bien de altísimo valor que hoy se ha convertido en refugio para los bancos centrales y los dueños de capital y la segunda es la existencia de un sistema de producción, distribución y consumo, estructurado y consolidado, que permite su aprovechamiento económico, tanto del oro aluvional como del de mina, en la región. Ello significa que tenemos políticos avaladores, funcionarios gubernamentales civiles y militares, financiadores, comerciantes y operarios que viven del sistema y lo mantienen.

Hay una tercera motivación, bien fundamentada por Milano, que es la existencia de una tradición cultural asociada que ofrece a un núcleo duro de actores la posibilidad de soñar con la riqueza y hacerse expectativas de enriquecimiento súbito.

La cuarta motivación, también subordinada, para una buena parte de los mineros es la escasez de alternativas económicas para actores económicos muchos de ellos mal preparados para enfrentar con éxito los retos de vivir bien en la modernidad y que son presa fácil para incorporarse a la actividad minera. estos se dividen en dos grupos: Aquellos que van, se integran, pero no se mantienen todo el tiempo, y aquellos que son flotantes, que van, experimentan la dureza de la actividad y luego regresan a sus casas sin gana alguna de repetir la experiencia.

La motivación para el gobierno es la necesidad de mantener en bajo nivel la conflictividad social. Por la debilidad del Estado en las áreas mineras, la conflictividad en ellas se multiplica.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

No, el Estado no solo carece de la fuerza para imponer sus designios sino que al interior de él hay altos intereses comprometidos con la continuidad de las actividades mineras y su riqueza fácil. Mientras ello sea así no hay posibilidades de que haya mejor control.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Hasta donde sabemos, la pequeña minería masiva solo se mitiga sustancialmente con la hegemonía de la gran minería en países donde el desempleo es muy bajo y los niveles educativos muy altos. Ninguna de las condiciones se da en Venezuela.

Ex.5-Lic. (Docente Universitaria. Especialidad Metodología de la Investigación)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Pienso que la minería existe, en cualquier lugar del mundo, dónde se ubique mineral con valor de comercialización, de extracción relativamente fácil y con poca inversión, y que además no existan controles suficientemente claros y severos como para detener el proceso. Pienso que la analogía de la fiebre del oro es válida en cualquier lugar del mundo donde exista la oportunidad de que se produzca. Concretando la respuesta sobre la motivación está sería el logro de dinero fácil, es la misma motivación que lleva a una gran empresa ingresar en el negocio.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

En cuanto el cambio a futuro lo pongo en duda. Considero que este tipo de actividad posee una tradición en esta zona y que existe la cultura del minero bien desarrollada y establecida. En consecuencia, cualquier cambio implica, además de la normativa y el control aplicado de forma estricta y "pareja", la intervención a la cultura y la sustitución de la forma de vida. El cambio requiere de una intervención formativa y social.

Ex.6-Dra. (Bióloga-Ecóloga. Investigadora en las cuencas del Caura y del Orinoco)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Búsqueda de riqueza fácil (dinero rápido)

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Realmente NO.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Difícilmente se cambiaría esta situación a futuro.

Hay un ‘determinismo genético’ a la riqueza fácil (El Dorado). Esto puede ser debido a esa herencia de los conquistadores españoles, ingleses y holandeses que vinieron inicialmente desde las cárceles europeas. Aún hoy explotan la pesquería con criterio de ‘*bull*a’ o pequeña minería (minería ilegal).

Ex.7-Dra. (Antropóloga Especialista en la Cultura Ye’kwana. Cuenca del Caura)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

El alto precio del oro en los mercados internacionales

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Por lo anterior, ninguna política gubernamental sin rigor y seriedad hará desistir a los mineros ilegales de esta actividad

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

La situación puede cambiar con políticas públicas bien implementadas de incentivo a la población, de educación ambiental y de concienciación sobre el daño de este tipo de minería aunado a un plan de monitoreo y control rigurosos.

Ex.8-Ing. (Experta en Ciencias Ambientales)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

La motivación principal es la existencia natural del recurso

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Ni el Plan Caura ni la reconversión minera harán desistir en sus prácticas a los mineros.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Si existe la posibilidad de cambio a futuro, en un esquema de cumplimiento de las leyes y en un acompañamiento tecnológico al pequeño minero. Sin embargo, este horizonte se vislumbra lejano en el país en los actuales momentos, hoy más que nunca el sector está invadido por militares corruptos, quienes están obstaculizando cualquier avance que se pueda realizar en esta materia. El caso que retrata perfectamente esta situación es lo sucedido últimamente en la Paragua.

El tema es de mucha complejidad y desafortunadamente no ha habido voluntad política para su resolución, cosa que no es de extrañar considerando el nivel de ingobernabilidad del país.

Ex.9-Dr. (Biología Animal. Investigador Cuenca del Caura)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

a) Al no saber otro oficio, b) la aventura que implica hacer minería sea artesanal o industrial y c) la fiebre por el oro que este recurso genera toda vez que la minería le dé frutos aunque la riqueza obtenida la malgasten en mujeres, bebidas y parrandas. Al parecer les genera euforia.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

¡Jamás! Por cuanto la euforia los domina al presentarse una *bull* sea donde sea. Ellos dejan de hacer sus trabajos cotidianos para aventurarse a explotar la *bull* hasta agotarla.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Dudo mucho que cambie por lo respondido en la respuesta 2. Esa situación es evidenciada cada vez hay una *bullá* de oro y los mineros emprenden viajes para explotarla a toda costa sin mirar las consecuencias.

Ex.10-Dr. (Médico, Ambientalista, Columnista)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Si revisamos la historia de Venezuela desde Marzo de 1528, España arrienda a este bello país a los Welzares, para que funden pueblos y fortalezas para los enfrentamientos con los nativos. Ambrosio Alfinger con sus Alemanes llega al país y comienza a recorrer toda la geografía buscando oro y piedras preciosas, así comienza la minería ilegal. No olvidemos la leyenda del Dorado, cuando descubren los españoles el río Orinoco y sigue la búsqueda del oro, que continúan los garimpeiros brasileros para drenar el oro por los caminos verdes hacia el gran mercado carioca. Desde mi punto de vista esta es una realidad incontrovertible existe oro y su explotación genera un beneficio económico. Desde el punto de vista social el minero ilegal va a seguir existiendo mientras el desmoronamiento económico del país limite la oferta del empleo y la formación educativa no atrape al estudiante para que logre un empleo socialmente sustentable, para cambiarlo por la riqueza súbita que genera el oro y los diamantes. En comparación como evitamos el contrabando en las fronteras. ¿Borrando la línea fronteriza? No, debemos regularlo para hacer el reparto más equitativo no olvidar a los militares y potentados que hacen un uso abusivo de sus armas interviniendo con abuso cobrando coimas a los mineros y estupro de las doncellas en el negocio ilegal. Como observaras existe motivación económica, histórica y social.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Tengo en este aspecto que recurrir a la historia nuevamente con una premisa con el fundamento del plan Caura como ambientalista estoy de acuerdo, pero aquí se observa nuevamente los presidentes lanzan una idea pero no seleccionan a los hombres

acertados para la ejecución de los planes. Recuerda la conquista del sur del presidente Caldera, fundar pueblos, defender los cursos de agua, militarización de las fronteras en el papel muy bello en la ejecución. El levantamiento topográfico por una firma Española de geodestas de toda la zona fronteriza del estado Bolívar de nuestro país con Brasil y la Guayana en conjunto con la Dirección de Cartografía Nacional, hasta este punto bonito en su aplicación. Con este gobierno loco e irreverente regalando dinero a los mineros para que se larguen de la zona, para que desarrollen otro oficio, no se crea un productor del campo de la noche a la mañana y la corrupción que nos asquea el dinero siempre se desvió a los más vivos (truhanes), aún así se ha limpiado la cuenca de una gran parte de mineros ilegales pero no olvides a los cuidadores vestidos de verdes con armas en la mano.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

La minería Ilegal no se acabará nunca solo queda reunir a los autores y establecer las reglas del juego, mineros, gobierno, militares y grandes compradores. Solo la mejoría económica y social del país lo permitirá pero no con esta morisqueta de gobierno que está como me decía un profesor en la Universidad está montado en un tren que no viaja a ninguna parte. Recuerda que la minería empresarial o gran minería abona a los pequeños mineros permitiendo legalmente la explotación de las colas de cada faena.

Ex.11-Dr. (Docente Universitario. Experto en Derecho Constitucional)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

En primer lugar y de forma simplista, te puedo decir que la principal motivación es la existencia misma de los yacimientos en esta región y los precios del oro, siempre en incremento, lo cual hace de la explotación un negocio muy rentable, pero existen diversos factores, tales como la distancia y ausencia de poblaciones en esta región, lo cual conlleva el descuido, el abandono y la negligencia gubernamental en prestar atención debida, para racionalizar la extracción aurífera en Guayana, extendida por diversas causas a personas que no son o no han sido habitantes tradicionales de Guayana y han venido a extender y perturbar una actividad autóctona que, practicada en la forma tradicional nunca ha representado un peligro de ninguna naturaleza.

La minería del oro en las cuencas siempre ha existido, precisamente por la facilidad que comporta la extracción del oro por medios domésticos, simples y rudimentarios en las riberas de los ríos, donde la presencia del agua corriente y permanente y la facilidad de remover las tierras, facilita el sacado (“lavado” o “saque”), casi en forma natural.

Estos medios fueron utilizados por los primeros mineros con las bateas de madera y métodos caseros, que, prevaliéndose del mayor peso del mineral cuya característica les permite el lavado de otros sedimentos y arenas que se remueven con facilidad, hacen posible que el mineral quede asentado en el fondo.

Posteriormente se utilizó el mercurio para separar el oro y todos los demás medios que el progreso aportó, tales como compresores para chupar la tierra, el buceo y las bombas de presión para romper y lavar los terrenos, para extender la búsqueda hasta las áreas más separadas de las orillas, tanto tierra adentro como en aguas profundas, la instalación de pequeñas gabarras o barcasas para implementar sistemas que permiten extraer mayores cantidades de mineral, en toda la extensión de las cuencas, pero que, consecuentemente, comportan utilización de mayores cantidades de mercurio y excedentes de combustibles que han sido elementos determinantes de las contaminaciones diversas, sin dejar de lado la deforestación de las selvas y la destrucción del medio ambiente con toda la secuela de daños colaterales; y quizás el más grave de ellos, la desnaturalización de la explotación doméstica y social de nuestras riquezas auríferas.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

La historia de la humanidad se ha escrito con los intentos, muchas veces vanos, de modificar los sistemas de vida que la naturaleza misma ha impuesto a los seres humanos, es parte de las lecciones de la historia que la destrucción autoritaria y represiva de las tradiciones y de la idiosincrasia de los pueblos ha traído muerte y consecuencias muy negativas, heridas sociales y económicas de difícil y larga reparación, que, en la mayoría de los casos no han servido para lograr los efectos buscados.

Por eso y por no haber leído el Decreto 4633 del que me hablas, solo puedo permitirme hacer una observación más de carácter histórico que objetivo, en cuanto a la pregunta

que me haces, con el único propósito de intentar formular una advertencia y un llamado de atención en este punto, sobre todo porque la realidad de los efectos prácticos que la tal reconversión minera ha traído a Guayana, hasta ahora no solo han sido improductivos sino que solo han servido para desatar una serie de fenómenos socio económicos de alta peligrosidad, tales como: el aprovechamiento de sectores vinculados al Poder económico y político que han prevalecido incluso de la fuerza militar para desalojar a “plomo limpio” a los habitantes y mineros locales, incautándoles su utensilios y equipos que, después son utilizados por los mismos perseguidores para sacar el oro en su propio provecho. El Nacimiento y organizaciones de mafias, bandas armadas y delincuentes de toda clase que buscan refugio en esos lejanos parajes y que muchas veces prestan servicio a las organizaciones a las cuales el Gobierno ha favorecido con sus concesiones, contrataciones o negocios, empresas extranjeras que van desalojando a saco a quienes se interponen en sus territorios y que además cuentan con la complicidad de las autoridades militares que, lejos de cumplir su deber de protección patriótica y ciudadana, sirven de auxilio vergonzoso a estos intereses subordinados, que han ido monopolizando la actividad minera, desde la extracción hasta la misma orfebrería.

El surgimiento de un sector poblacional abandonado y desempleado, incluyendo pobladores indígenas, obligados a deambular inútilmente de oficina pública en oficina pública, de esperanza sin respuesta alguna en busca de protección, sin ninguna atención médica, laboral ni social e impelidos incluso al enfrentamiento, con sus armas primitivas, a los fusiles de la propia Guardia nacional. Episodios trágicos han aparecido en nuestra prensa, no sé si los habrás leído.

Me llama la atención la inclusión en tu pregunta del calificativo de “minería ilegal”, sobre todo por el matiz superficial que el concepto de “legal o ilegal” ha llegado a significar en estos “tiempos de revolución socialista”, pues me lleva a preguntarme, si la verdadera ilegalidad no se encuentra más bien en quienes hacen las leyes en sentido contrario al sentido democrático y conforme al deseo del verdadero legislador que es el pueblo mismo. A los abogados se nos enseña que “ilegal” es aquella conducta contraria a lo que dispone la ley, pero pareciera olvidarse que el solo hecho de que una disposición aparezca en la Gaceta Oficial no significa que tenga apego a los principios universales que conforman e inspiran el derecho, sobre todo el de la justicia, que es el desiderátum del derecho mismo y que en Venezuela constituye una de las base que

integran el concepto de Estado Venezolano, (Artículo 2 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela: “Venezuela se constituye en un Estado social y democrático, de derecho y de justicia...” Según este imperativo constitucional la justicia debe prevalecer por encima del derecho y así poder investir a la ley de “legitimidad”, atributo sin el cual nadie podría hablar de legalidad o de ilegalidad. Lo que sí es importante es que tomes en consideración que las leyes son el producto del quehacer de los pueblos, y ya que el pueblo mismo es quien elige a sus legisladores, éstos solo deben legislar en el sentido que imponga la voluntad del pueblo a quien representan, por ello nunca podrá tener legitimidad una ley que se haya promulgado para favorecer sectores, personas o ideologías contrarias al sentir del pueblo y en contra de su voluntad, la cual siempre ha de ser consultada. Puedes tener la seguridad que ningún Decreto Presidencia ha sido objeto de la consulta popular y que los “seudo legisladores” que hacen vida fácil en nuestra asamblea, no le sirven al pueblo sino al amo patán que los maneja y a la ideología que los fanatiza. De esto también podríamos hablar otro poco, pero creo que estoy abusando de tu paciencia.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Si te refieres a la minera tradicional, doméstica y socialmente aceptable de un pueblo que hace su vida normal merced a los frutos de la naturaleza, es bien difícil que cambie, pues todos sus valores están contaminados y pienso que pudiera ser tarde ya para sanar heridas que, merced a un capitalismo salvaje de las clases dominantes económicas minaron sus bondades y tolerancias, pero que ahora, en los últimos tiempos de esta “democracia del siglo XXI” se han hecho profundas y llagosas, cuando la practicas de ese mismo capitalismo se convirtieron en privilegios incluso armados, de la clase política que hoy nos desgobierna en un sistema de real y verdadero “capitalismo salvaje de Estado”.

Si te refieres a la “minería ilegal”, solo podría cambiar cuando los legisladores puedan trabajar una ley que refleje el espíritu y la realidad de la actividad minera, como forma de riqueza para el país y forma de vida para los pueblos mineros, y pueda el Estado a través de esa Ley racionalizar la explotación, asumiendo el monopolio de la explotación industrial a gran escala en beneficio del país total, pero permitiendo la explotación social de la minería doméstica en forma ordenada y regulada por principios de justicia social, no “socialista”, que permitan un equilibrio en esa necesaria convivencia del

Estado con el principal de sus integrantes, la Nación, es decir la población y sus organizaciones de todo tipo.

Ex.12-Lic. (Periodista. Trabajos Especiales en el diario Correo del Caroní)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Considero que a lo largo del tiempo se han creado muchas expectativas en cuanto al metal precioso, y esto genera una esperanza entre quienes ansían riquezas, pero irónicamente no la consiguen. Por mi experiencia, el minero tiene la "ilusión" de que algún día llegará la suerte y conseguirá ese botín que lo saque de las penurias. A veces solo pocos lo consiguen, y sin embargo aún consiguiéndolo al poco tiempo vuelven a las minas, es como una suerte de círculo vicioso alimentado por la ausencia de empleos formales.

El trabajo en las minas es uno de los más duros, los mineros pasan muchas calamidades, sufren con frecuencia los embates de la malaria, deben dejar a sus familias, pasar horas metidos en agua, expuestos al mercurio. En fin, condiciones inhumanas que en algunos casos son inimaginables en pleno siglo XXI pero que siguen ocurriendo, por la ausencia de empleos estables y alternativas económicas que les permitan a estas personas subsistir de una forma más digna y cómoda para ellos y sus familias.

Todo esto está aderezado con la incursión de la delincuencia en los yacimientos, ilegales o no, en donde los ladrones son "amos y señores" en enero de este año por ejemplo ocho personas fueron asesinadas en La Paragua en medio de una disputa por el control del lugar, lo que hace cada vez más peligroso el ejercicio de la minería, en conclusión creo que aún hay explotación minera por la necesidad de muchos de ocuparse en algo que les depare ganancias, aunque sean muchos los sacrificios que hagan al respecto.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Lo dudo, los mineros son sacados una y otra vez y regresan. Pasan hambre, infinidad de situaciones y como no saben hacer otra cosa pocas veces cambian de ocupación, aunque he visto ejemplos de reconversión, casi forzada. A mi juicio el Estado debería establecer reglas claras para la explotación minera y cercarla a determinadas zonas. También

debería depurar las Fuerzas Armadas, pues ellos contribuyen a la violación de las leyes incluso siendo ellos mismos dueños de máquinas en yacimientos ilegales.

Creo que una de las vías para reorganizar a las personas podría ser darles empleos en empresas afines al ramo minero, con las adecuadas condiciones y beneficios. Y así utilizar su sabiduría para hacer explotaciones controladas, eso sí siempre y cuando estas cumplan con una estricta normativa ambiental donde se garantice el menor impacto posible.

También creo que muchas áreas deberán ser prohibidas para la explotación minera, por estar en las cuencas de ríos tan importantes como el Caroní o el Paragua, por citar un ejemplo, y en este sentido ser rigurosos con el cumplimiento de las leyes.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Siempre y cuando se haga una evaluación del problema y se tomen las medidas adecuadas se puede conducir la explotación minera hacia un rumbo que genere beneficios sociales, y a la par no sea destructiva. Pese a esto, y esta es una opinión muy personal, creo que la minería debería ser muy limitada. A mi juicio tenemos más potencial en otras áreas que ejerciendo este tipo de actividades, lamentablemente hay una tradición minera en el estado y muchos intereses que impiden prohibirla definitivamente, y es una lástima pues podríamos dedicarnos como región a otros renglones que no sean los auríferos frenando así mucha destrucción.

Ex.13-Lic. (Docente Universitario. Ecología. Investigador Cuenca del Caura)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Una de las causas principales es la gran cantidad de recursos auríferos de la Guayana, por otra parte, al ser áreas poco pobladas en su mayoría, los mineros artesanales y de mediana escala, tienen la posibilidad de extraer este mineral sin cumplir con los reglamentos ambientales vigentes. Además, la cercanía con zonas fronterizas favorece el tráfico ilegal del oro extraído y la movilización de extranjeros indocumentados, que muchas veces forman el mayor porcentaje de los mineros.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

No. El Plan Caura no ha tenido los resultados esperados por el gobierno, en buena parte por la corrupción y los intereses económicos asociados a esta actividad. Por otra parte, la reconversión minera no ataca los problemas de fondo que originan la minería ilegal, por lo que ninguna de las medidas hasta ahora aplicadas ha reducido el impacto ambiental de la minería del oro en las cuencas guayanesas.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Bajo las circunstancias actuales lo dudo. Desde 2006 la actividad minera en el Alto Caura no ha disminuido y ya hay síntomas de contaminación ambiental graves.

Para que de forma efectiva se controle la minería ilegal pienso que es necesario:

El seguimiento y protección de las cuencas (calidad de las aguas, cobertura boscosa, concentración de metales en especies bioacumuladoras), especialmente aquellas que están dentro de las ABRAE (Áreas bajo régimen de administración Especial). La falta de aplicación de sanciones penales contra los promotores de la actividad minera ilegal. La evaluación socioeconómica y cultural de los mineros artesanales, para una reconversión laboral real (no económica y de corto plazo).

Ex.13-Lic. (Sociólogo. Experto en Cuenca del Caroní)

Hola, Jorge, encantado en saludarte. Antes de contestar las tres preguntas, quiero informarte que hasta hace año y medio viajé mensualmente, durante diez años, al sur del Estado Bolívar. Conozco muy bien la zona, desde Luepa hasta Icabarú, y desde Luepa hasta Kavanayén. El problema de la minería lo conversé con indígenas, con criollos, con mineros y con funcionarios del Estado, incluyendo miembros de las fuerzas armadas.

Ahora vamos con las preguntas...

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro (me imagino que te refieres a la pequeña minería, depredadora e ilegal) en las cuencas Guayanesas?

Seamos precisos. La “motivación” es que existe mucho oro, tanto *aluvional* (los famosos “*cochanitos*”), como en suelo propiamente dicho, el que se extrae cuando se

acciona la bomba, se derrumban los taludes de las cuencas y se *suruquea* o se emplean las máquinas; lo mismo cuando se abre hoyos artesanalmente o se “raspa” la capa superior del suelo con máquinas.

Pero hay otro tipo de propiciante que no se puede llamar “motivación”, sino “contextual” y que se manifiesta en la minería ilegal, pero que en realidad forma parte de un sustrato sociocultural venezolano, del cual no te hablaré ahora porque es muy largo. Jorge, en la minería ilegal -lo he visto con mis propios ojos y conversado con mil personas en el sur de Bolívar- se mezclan:

- Un abandono institucional de grandes proporciones. Creo que el nuestro es el país “más abierto” a cualquier intervención de nacionales y extranjeros. Así que no hay Estado.
- La corrupción que ha permeado en los organismos del Estado que actúan en este ámbito (Min Ambiente, otros ministerios, fuerzas armadas, gobernación (como recordarás, a la guardia se le sacó de toda la región porque su corrupción desde arriba hasta abajo, era insoportable; pues ahora se corrompió la oficialidad que dirige a los efectivos que están “haciendo cumplir la ley”). Si hay mucho oro – y lo hay – el ambiente es muy propicio para que cada quien reciba la parte que le corresponde y deje de molestar. En los campamentos mineros del eje Santa Elena – Icabarú-Zapata, todos saben (Perro Loco, El Polaco, Playa Blanca, etc.) cuánto oro hay que entregarle a cada quien mensualmente.
- La pobreza, que ve en el oro una oportunidad de ingreso en una vasta zona sin fuentes de trabajo.
- El valor sociocultural venezolano de la riqueza fácil y rápida. Eso arrastra a pobres, pero también a personas de las clases medias y hasta a extranjeros. ¿Te acuerdas del inglés Michael que era profesor en Chilemex? Pues, él fue minero en el sur. Este valor sociocultural es importante de considerar, no lo olvides como elemento contextual sociológico. El mismo entronca con la visión que tienen los venezolanos (¡Todo el mundo, incluyendo al Estado!) sobre la renta petrolera, de la cual se vive desde los años treinta. El concepto de renta es que se trata de un ingreso por el que no se trabaja o se trabaja muy poco. Pues, en el caso del oro la expectativa es hacerse rico rápido y trabajando poco. Y,

ciertamente, hay quienes se hacen ricos de la noche a la mañana. Pero, ¿sabes tú que hacen, salvo algunos pocos? Se gastan el platal en putas, licor y comida de lo mejor. Al mes andan pidiendo fiado una lata de sardinas. Historias como esa abundan en La Sabana.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

No creo. El Plan Caura -eso te lo pueden decir fehacientemente Nalúa, Alexander y Hernán- es un ente parapléjico que se mueve al ritmo de los intereses de quienes lo administran. No es posible que los mineros “por sí solos” actúen en esa zona, sin el apoyo los militares. Todo el mundo sabe que si controlas los combustibles entonces controlas las bombas (monitores hidráulicos) y en alguna medida controlas la pequeña minería ilegal y depredadora. Hay algunos episodios que me han contado que me convencen de esto.

En cuanto a la reconversión minera, que no está mal en su concepción, pienso que nunca se podrá aplicar mientras exista la debilidad institucional -yo diría que parapleja- del Estado como un todo, y los intereses “crematísticos” de personajes claves en ese proceso. Bien sabes que en Venezuela las leyes, decretos, ordenanzas y hasta en buena medida la Constitución, son buena letra, pero nada más. De eso hay un millón de ejemplos.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Claro, cuando exista un Estado que controle su territorio y aplique las leyes, que, en este caso por cierto, tienen mucho que ver con la seguridad nacional.

Por otro lado:

- Hay que crear las condiciones para que en las áreas pobres del sur del país se generen fuentes de empleos estables y dignos.
- Hay que acercar a los pobres mecanismos de educación formal y formación para el trabajo.
- Aplicar la ley penal del ambiente a los miles de mineros ilegales colombianos, dominicanos, guyaneses, brasileños, etc. Pero no se hace porque son “fuente de ingreso” de los funcionarios públicos que intervienen en esta materia.

- Hay mucho oro y eso nos ofrece una oportunidad económica, pero hay que ordenarla. ¿Pueden existir áreas donde se practique la pequeña minería legalmente y con métodos relativamente respetuosos del ambiente?: SI. Pero para eso falta un Estado real, moderno. Igualmente, se puede explotar el oro en forma industrial a través de proyectos bien concebidos y bien controlados, que no estén sujetos a los caprichos del ministro de turno o a las “pataletas mentales” de quien toma las decisiones en esa área.

Bueno, Jorge, promesa cumplida. Hazme el favor de no reproducir este texto con mi firma. Sólo debe servirte como orientador en un tema que reconozco no es nada sencillo. Un abrazo.

Ex.14-Dr. (Abogado. Columnista. Especialista en Derecho Minero)

Hola Jorge, con mucho gusto paso responder las preguntas (esto está escrito de una sola vez, de un tirón).

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

Las causas son múltiples: existieron en las viejas leyes de minas dos normativas que son causas remotas del actual desorden y depredación de las cuencas: uno, el "denuncio", que otorgaba derechos de exploración y explotación por vía de concesión a quien descubriera el yacimiento y lo "denunciara" y, dos, el llamado "libre aprovechamiento" que daba derecho a cualquiera para explotar con medios artesanales (*zuruca* y *batea*) el oro de aluvión. El libre aprovechamiento devino, por corrupción y complicidad de las autoridades del área, en el uso indiscriminado de los "monitores hidráulicos" (máquinas a motor –diesel o gasolina que remueven, con presión de agua, y extraen grandes cantidades de tierra, y causan serios e irreversibles destrozos). Unida a esas causas “históricas” (en Venezuela hay explotación aurífera desde mediados del siglo XIX, 1853-54, que se descubren los ricos yacimientos de Caratal, en lo que es hoy El Callao, Estado Bolívar), no hay una ley de ordenamiento territorial que circunscriba la actividad minera a determinadas áreas de la región Guayanesa, hay sí, zonas de reserva forestal, parques nacionales, lotes boscosos, lechos de ríos, montes de galería, donde, por deducción, la minería está vedada, pero esa implícita prohibición no se acata. Sostengo

que la causa efectiva o “eficiente” de la minería en las cuencas es la corrupción. Paso a esbozar este tema.

Como quiera que solo la minería de socavón está más o menos delimitada en las leyes (ahora que el gobierno ha terminado o “caducado” todas las concesiones, en teoría han cesado, todos los permisos de los privados terminan con la “nacionalización del oro”, que ya era “nacional”), toda la actividad de “libre aprovechamiento” en las cuencas y aún la minería de socavón en dichas cuencas, realizadas por mineros libres, es ilegal, siempre lo fue; como es ilegal, se transforma en permisos de hecho porque la tolerancia de las autoridades –caprichosa, arbitraria y con establecimiento de cuotas pagadas con gramos de oro semanales a los encargados de resguardar las cuencas- así lo determina en la práctica. Los “operativos” militares para desalojar mineros de las cuencas son espasmódicos, epilépticos, con escasos resultados en el medio y largo plazo, y bajo sospecha de abusos y corrupción. Como quiera que la minería ilegal mueve millones de bolívares y dólares, mantener esa ilegalidad es un negocio enorme y el “llamado costo político-electoral” de una política permanente en contra de minería depredadora nadie lo quiere pagar.

Finalmente, duele reconocerlo, la cuestión ambiental es un tema de tercer o cuarto orden en la Agenda Política Venezolana, en todas las corrientes y partidos políticos, incluso en de gobierno. La razón es que “eso (la cuestión ambiental) no da votos”, lo afirmo con responsabilidad. En Venezuela estamos, desde 1810, discutiendo el poder y la cuestión ambiental es absolutamente subalterna. Además, unido al negocio del oro ilegal han aparecido vinculaciones con lavado de dinero y mafias internacionales, eso ha traído un nuevo ingrediente, el miedo, en una atmósfera de temor general en el país por la criminalidad sin control, por la corrupción policial y de elementos de la fuerza armada, y de un gobierno autoritario, con claros visos proto-totalitarios: un nuevo mal que se suma al viejo vicio de la desidia ambiental.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

No lo creo en absoluto. El decreto de reconversión minera es hijo del remordimiento, la improvisación y de lo que en juegos de guerra se conoce como “diversión” o engaño.

Ese decreto nace por la llamada “Masacre de La Paragua”, que usted conoce y que obvio comentar. Fue improvisado, sin estudios ni planes: tiene un claro sustrato fascista pues pretendió “transformar” por decreto a mineros en agricultores o artesanos. (Otro día le prometo mi caracterización de lo que podríamos llamar el talante minero, individuo poco sujeto a normas o leyes, anárquico y negociador con la coima, mordida o la “matraca”, como le decimos los venezolanos). Se sabía que iba a fracasar y se redujo a la entrega graciosa de dinero efectivo a los supuestos mineros. Eso duró unos meses hasta que se agotó por fatiga, por inviable y porque al final se anotaron miles de “vivos” o pícaros como mineros para recibir una paga sin trabajar en nada: terminó con motines callejeros de los “mineros” reclamando la paga, y represión policial. Fue un engaño, un nido de corrupción para aparentar que se estaba haciendo algo. De la reconversión minera no queda ni el nombre. Paralelamente, por aquellos días, el gobierno anunció una “misión Piar”, que también fracasó.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Difícil saberlo, más difícil responderlo. Venezuela es un país donde es un deber mirar en corto plazo, aunque el venezolano es optimista. Yo soy un pesimista social, descreo que esa situación mejore; creo conocer algo a mi país y a la manera de pensar de políticos, militares y policías y conjeturo que prevalecerán, en cualquier caso, la acción represiva, de corto plazo, y la depredación ambiental. Debe usted saber, por otra parte, que imposible hacer escenarios en Venezuela sin pronosticar quién puede estar en el poder. Chávez padece un cáncer y eso abre un abanico de escenarios que pueden resumirse en tres: Chávez vive y es reelecto; Chávez gana y muere en el poder y, Chávez pierde. Si Chávez gana y sobrevive es de esperar un gran operativo militar-represivo para desalojar algunas cuencas e intentar controlar para el poder todo el oro y los dólares del oro. Si Chávez muere en el poder habría mucha turbulencia y la minería ilegal se fortalecería (a menos que surja una dictadura militar “para salvar al país”). Si gana Capriles, es decir, si Chávez pierde, me temo que Capriles carezca de apoyo político para sanear las cuencas ni que quiera meterse con ese espinoso asunto.

En cualquier caso, no creo que ni en el corto ni el mediano plazo tengamos una “política” minera adecuada, de esta época, sustentable, que detenga o minimice el daño a las cuencas. Reciba usted y su equipo mis saludos. Quedo a sus gratas órdenes.

Ex.15-Ing. (Especialista en Incendios Forestales. Experto cuenca del Caroní)

P1-En su criterio ¿Cuál cree que es la motivación principal para que exista la minería del oro en las cuencas Guayanesas?

El aprovechamiento de las riquezas mineras especialmente oro y diamante sin un plan específico que oriente o redistribuya la explotación de manera sustentable. El gobierno Regional y Nacional está consciente de la destrucción de los recursos en las cuencas, a pesar de hacer operativos militares puntuales que no han arrojado resultados positivos. Es así como al principio de año los indígenas de la Paragua detuvieron un número importante de militares practicando minería. La presencia de mineros en las cuencas de la región de Guayana tiene muchos años, son decenas de miles de pequeños mineros distribuidos a lo largo y ancho de las principales cuencas de Guayana. La actividad minera se ha incrementado considerablemente (artesanal, mediana y la gran minería), a pesar de existir una legalización específica que regula, controla y protege las cuencas donde se realiza esta actividad.

P2-¿Cree usted que el Plan Caura y la reconversión minera (Decreto 4633) harán desistir a los mineros de abandonar las cuencas de Guayana que han sido objeto de minería ilegal?

Es una buena iniciativa, a pesar de las bondades del Plan y el decreto, no ha sido posible disminuir dicha actividad en las cuencas de Guayana. Se han implementado en el caso de la reconversión minera trabajos específicos con los mineros quienes están dispuestos a cambiar su hábito de trabajo minero por el artesanal, agrícola, pecuario, turismo entre otras actividades, pero el acompañamiento y el apoyo con recursos (económicos, técnicos y tecnológicos) no ha sido constante, quedando a criterio de los mineros en un show mediático por parte del gobierno, es decir, pura promesa y pocos resultados.

Del año 2006 en que entró en vigencia el decreto y no hay resultados alentadores al respecto.

P3-Refiriéndonos a este tipo de minería ¿Puede cambiar esta situación a futuro?

Con una política seria sobre la importancia de las cuencas y los recursos allí existente, considero que es posible disminuir considerablemente la minería en las cuencas y poderla orientar a otras áreas con vocación minera (Km 88, Las Claritas, áreas de Sierra Imataca).

## Anexo C

### **Una Red Conceptual Multinivel para Analizar, Modelizar y Medir la Sostenibilidad del Sistema Socio-Ecológico Corredor Ribereño Orinoco ante los extremos de inundación y sequía relacionados con cambios climáticos**

#### **Objetivo General**

- Este proyecto tiene como finalidad construir una red conceptual para modelizar la sostenibilidad a partir de las disciplinas que se proponen observar y analizar el sistema socio-ecológico Corredor Ribereño Orinoco en el marco de eventos extremos relacionados con los cambios climáticos.

**Marco:** eventos extremos de inundación y sequía relacionados con los cambios climáticos.

#### **Objetivos específicos:**

1. Especificar los eventos extremos ocurridos en el río Orinoco.
2. Determinar la exposición y la intensidad de los eventos extremos acaecidos y su incidencia en las poblaciones del Corredor Ribereño Orinoco (historia de los eventos).
3. Conocer y tabular las variables demográficas de las poblaciones.
4. Cuantificar los efectos de los eventos extremos en los ecosistemas ribereños.
5. Estimar la vulnerabilidad del sistema socio-ecológico en el marco especificado.
6. Indagar sobre la capacidad adaptativa de las poblaciones ribereñas como sociedades socio-productivas ante eventos extremos del río Orinoco.
7. Determinar los vínculos entre los eventos extremos y la resiliencia socio-ecológica de las poblaciones ribereñas del Orinoco.
8. Construir la red conceptual multinivel (RCM) con los conceptos y observables que se derivan del estudio
9. Modelizar la sostenibilidad de las poblaciones observadas a partir de las RCM
10. Cuantificar la sostenibilidad en el sistema socio-ecológico total.

Un sistema socio-ecológico se comprende como la unidad-objeto en la investigación de la sostenibilidad de un sistema abierto a interacciones con su mundo externo (Gallopín, 2010). Para determinar la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico se empieza por observar los puntos de interacción entre la sociedad considerada y el sistema ecológico que sirve de asiento y que representa el sustento total o parcial de esa sociedad. La cuantificación de la sostenibilidad de un sistema socio-ecológico se realiza en una temporalidad especificada y bajo las situaciones o fenómenos que son relevantes para su integridad. El análisis y la posterior modelización de sostenibilidad del sistema socio-ecológico existente en el Corredor Ribereño del río Orinoco requieren de una red conceptual multinivel conformada por un conjunto de disciplinas, conceptos y observables relacionados con el sistema estudiado en el marco que se ha especificado (Paolini et al., 2010). Se definieron los extremos de inundación y sequía relacionados con los cambios climáticos como marco de la investigación.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2001, p.73) establece que *cambio climático* es la “variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantienen por un período prolongado (durante decenios o por más tiempo)”. Los eventos extremos en el Corredor Ribereño Orinoco están asociados a severas crecidas y marcadas sequías, estos eventos pueden ocurrir por las variaciones naturales del río (Amarasekera, 1997; Kayano, 2009; Marengo et al., 2010) o influidas por las variaciones climáticas (Horel y Geisler, 1997; Kundzewics et al., 2000; Quintana, 2001; Svenson et al., 2005).

El diseño y construcción de la RCM permitirá modelizar la sostenibilidad en el sistema socio-ecológico de las poblaciones ribereñas del río Orinoco a partir de preguntas relevantes que viabilicen la permanencia de sus pobladores, la preservación del patrimonio socio-cultural y la sucesión generacional de sus integrantes. Para ello se requiere determinar un conjunto de conceptos que viabilicen la construcción de la RCM considerando a la sostenibilidad como entidad conceptual multidisciplinaria (ver figura C.1). Las unidades conceptuales que se requiere para el desarrollo de la RCM son: cambio climático, sociedad socio-productiva, sistema socio-ecológico, vulnerabilidad, eventos extremos, resiliencia socio-ecológica, patrimonio socio-cultural, índices de

Sostenibilidad, índices de cambio climático, índices climáticos, parámetros hidro-climatológicos y paleo-climáticos.

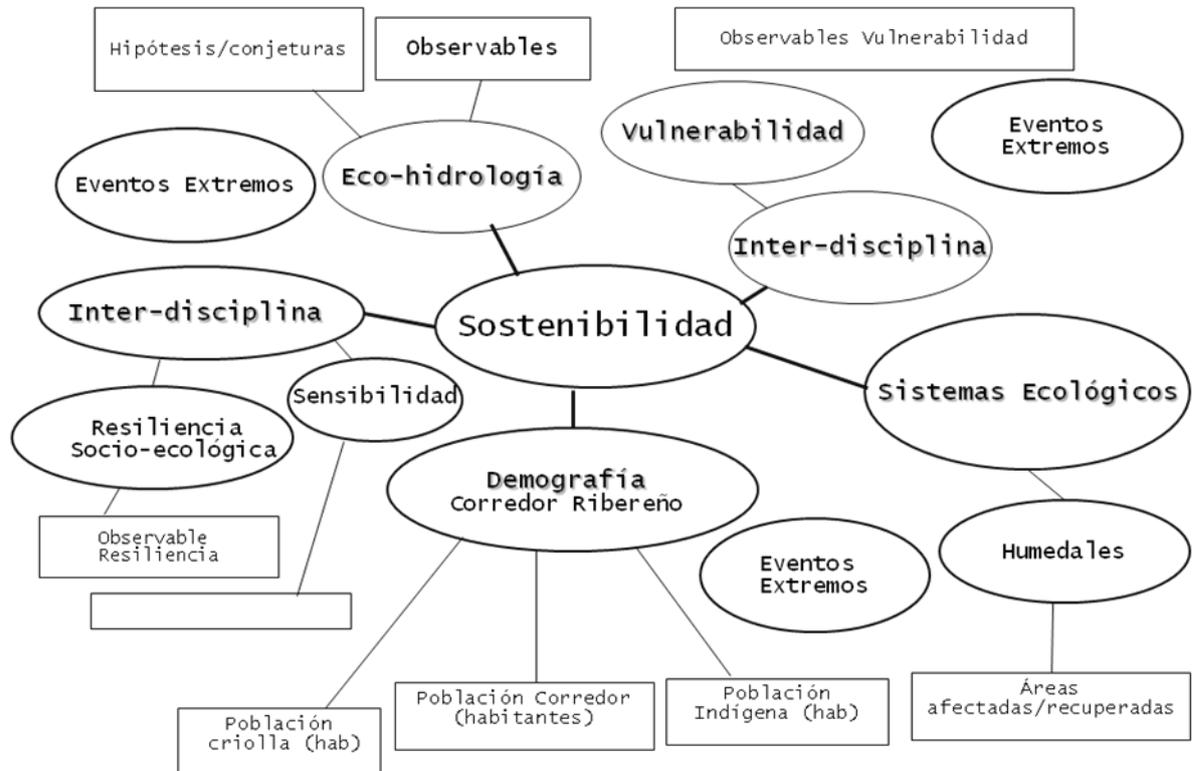


Fig. C.1. Esquema de una red conceptual multinivel para determinar la sostenibilidad.

La determinación cuantitativa de la sostenibilidad de las poblaciones ribereñas de río Orinoco permitirá hacer inferencias y comparaciones sobre el estado actual y futuro (societal-forecasting) en que se podrían encontrar las sociedades afectadas por los cambios climáticos que se están produciendo. La natural relación de las poblaciones ribereñas con su entorno ambiental y el grado de dependencia material de esas poblaciones con sus ecosistemas ribereños permiten observar, conocer y analizar modos de vida y valoración distintos al de las poblaciones urbanas. La ocurrencia de eventos extremos que afecten los sistemas socio-ecológicos del Corredor Ribereño del río Orinoco determinaran el grado de vulnerabilidad y resiliencia que poseen tales sistemas. Es innegable la relación entre los pobladores y su ambiente y la influencia en sus vidas, cultura y costumbres de los cambios estacionales del río. La observación de estas situaciones y el conocimiento de la ocurrencia de eventos extremos ayudará en la

determinación de la vulnerabilidad, resiliencia y capacidad de adaptación de esos sistemas socio-ecológicos a tales cambios (Gallopín, 2006).

Los cambios que ocurren en la dimensión espacio-temporal vienen teñidos por las variaciones ambientales que ocurren a nivel global. Es por ello que tanto la biodiversidad de los ecosistemas de amortiguamiento de los cambios climáticos como los puntos de acoplamiento de los pobladores ribereños con su entorno ecológico deben ser considerados en una investigación de sostenibilidad (Reid y Swiderska, 2008)

En ese sentido, más que un ejercicio de investigación teórico-metodológico, esta investigación se comprende como un modo de dinamizar y hacer efectivo el sentido de responsabilidad y de pertinencia social de la universidad con su entorno. Los contextos en los que se desarrollará este trabajo serán concebidos como la aplicación de conocimientos, la innovación de método y formas de abordar problemas científicamente, en la enseñanza de formas de analizar el conocimiento, compartir los saberes y en el modo de valorar los entornos socio-culturales propios de la investigación (Echeverría, 2003).

#### -Requerimientos del Sub-proyecto de Sostenibilidad

1 Software SYSTAT v.13 Costo aproximado BsF 12.000,00

1 Dispositivo de almacenamiento portable (disk-memory) Costo BsF 2.250,00

1 Analista de base de datos (Ingeniero en Informática/Computación/Sistemas).

Duración del sub-proyecto un (1) año. (Costo BsF 32.000,00)

1 Computador portable BsF 15.000,00

Bibliografía (Costo BsF 12.000,00)

#### -Ideas Proyecto para tesis de Maestría

1. Diseño y estructuración de la Base de datos para la modelización de la Sostenibilidad en el Corredor Ribereño del Río Orinoco (Informática)
2. Resiliencia de las poblaciones ante los cambios climáticos que ocurren en el Corredor Ribereño del Río Orinoco (Ciencias Ambientales)

3. Análisis de los efectos de los cambios climáticos en las comunidades socio-productivas de Corredor Ribereño del Río Orinoco (Gerencia de Recursos Humanos)

-Idea Proyecto para un estudiante de doctorado en Ciencias Ambientales

Pregunta de Investigación

¿Podemos incrementar/aumentar la resiliencia de las comunidades ribereñas del río Orinoco afectadas por los cambios climáticos a partir de la acción propositiva de sus pobladores?

Asunto temático: Construcción de Resiliencia socio-ecológica.

Marco de la Investigación: cambios ambientales en el Corredor Ribereño del Río Orinoco.

### **Referencias bibliográficas anexo C**

Amarasekera et al. (1997) *ENSO and the natural variability in the flow of tropical rivers*. Journal of Hydrology. **200**: 24-39.

Echeverría, J (2003) *Filosofía de la Ciencia*. Madrid: Akal Ediciones.

Folke, C (2006). *Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological system analyses*. Global Environmental Change. **16**: 253-267.

Gallopín, G (2010) *Desarrollo sostenible desde una perspectiva sistémica*. Revista Sostenible? Cátedra UNESCO de Sostenibilidad UPC. Barcelona España. pp 19-35.

Gallopín, G (2006) *Linkage between vulnerability, resilience and adaptive capacity*. Global Environmental Change **16**: 293-303.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2001) *Tercer informe de Evaluación Cambio climático. La base científica*. OMM y PNUMA. p. 84.

Horel, J y Geisler, J (1997) *Global Environmental Change*. New York: John Wiley and Sons.

Kayano, MT et al. (2009) *Interannual relations between South America rainfall and tropical surface temperature anomalies before 1976*. International Journal of Climatology. **29**: 1439-1447.

Kundzewicz, Z y Robson, A Eds. (2000). *Detecting trends and other changes in Hydrological data*. World Climate Programme. Wallingford (UK).

Marengo, J et al. (2010) *Review recent developments on the South American monsoon system*. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.2254.

Paolini, J et al. (2011) *Una red conceptual multinivel para analizar, modelizar y medir la sostenibilidad en sistemas socio-ecológicos*. Revista Ciencia e Ingeniería. Edición Especial Jornadas de Modelaje y Simulación.

Paolini, J et al. (2012) *Influencia del fenómeno El Niño- La Niña /Oscilación Sur (ENOS ) y de la temperatura del Atlántico norte en los caudales del Río Caura, Guayana Venezolana*. Revista de Climatología. **12**: 23-32.

Quintana, R (2001) *Cambios Climáticos en Sur América*. Barinas (Venezuela): Ediciones de la Universidad Ezequiel Zamora.

Reid, H. y Swiderska (2008) *Biodiversidad, cambio climático y pobreza: una exploración de los vínculos*. International Institute for Environment and Development. London: IIED. p8.

Svensson, C et al. (2006) *Trend detection in river flow series: 2. Flood and low flow index series*. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques. **50** (5). pp 811-823.

## Referencias bibliográficas

### Capítulo I. Metodología de la investigación

Aquino, R (2006) *Agenda Ambiental del estado Bolívar*. En Guayana Sustentable 7. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello y Konrad Adenauer Stiftung.

Baumgärtner, et al. (2008) *Relating the philosophy and practice of ecological economics: The role of concept, models, and case studies in inter- and trans disciplinary sustainability research*. Ecological Economics. **67**: 384-393.

Bevilaqua, M et al. (2002) *Situación de los bosques en Venezuela. La región Guayana como caso de estudio*. Informe del Instituto Mundial de Bosques. Caracas: World Resource Institute.

Bunge, M (1981) *La Ciencia su método y su filosofía*. Buenos Aires: Ediciones Siglo XX.

Bunge, M (2000) *Epistemología*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores. 2ª ed.

Bunge, M (2002) *Diccionario de Filosofía*. México: Siglo veintiuno editores.

Castellano, H (2006) *La Planificación del desarrollo sostenible*. Caracas: CENDES Universidad Central de Venezuela.

DRAE (2001) *Diccionario de la Lengua Española. Real Academia Española*. Madrid: Editorial Espasa-Calpe. 22ª edic.

Estany, A (2006) *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Bellaterra (Barcelona): Universitat Autònoma de Barcelona.

Gallopin, G (2003) *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. Santiago de Chile: CEPAL-ECLAC Naciones Unidas. Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/14256/lcl1864p.pdf> Consulta: febrero 13 2012.

Gallopin, G (2006) *Linkages between vulnerability, resilience and adaptive capacity*. Global Environmental Change. **16**: 293-303.

García, E (2004) *Medio Ambiente y Sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta*. Madrid: Alianza Editorial.

GEB Gobernación del Estado Bolívar. (2005) *Agenda Ambiental del Estado Bolívar*. Secretaria de Turismo y Ambiente. Dirección de Ambiente.

Gómez, E (2006) *Barrios por su dignidad y la lucha por el agua*. En Guayana Sustentable 7. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello y Konrad Adenauer Stiftung

- Hempel, C (1979) *Filosofía de la Ciencia Natural*. Madrid: Alianza Editorial.
- Hempel, C (1988) *Fundamentos de la formación de conceptos en ciencia empírica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Hernández, S et al. (2006) *Metodología de la Investigación*. México: Mac Graw Hill. 4ª edición.
- Hernández, S et al. (2007) *Fundamentos de metodología de la investigación*. México: Mac Graw Hill.
- IISD International Institute for Sustainable Development (2005) *Prairie Water Policy Symposium*. Winnipeg, Canada.
- IISD International Institute for Sustainable Development. Página web.  
Disponible en: <http://www.iisd.org/natres/water/> Consulta: diciembre 12 de 2008.
- Jiménez-Herrero, L (2000) *Desarrollo sostenible. Transición hacia la coevolución global*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- Kajikawa, Y et al. (2007) *Creating an academic landscape of sustainability science: an analysis of the citation network*. *Sustain Sci*. **2**:221–231.
- Mansutti, A (2004) *El bosque cercado: características del poblamiento de los bosques de la Guayana venezolana*. *Copérnico*. **1**, 1:13-23.
- Martinez-Huerta, J (2010) *Viaje a la Sostenibilidad. Una guía para la escuela*. Madrid: Los libros de la Catarata.
- Maurer, B (2000) *Macroecology and Consilience*. *Global Ecology & Biogeography*. **9**: 275–280.
- McMichael, A et al. (2003) *New Visions for Addressing Sustainability*. *Science*. **302**: 1919-1920.
- NRC National Research Council (1999) *Our Common Journey*. Washington: National Academy Press.
- OMS Organización Mundial de la Salud (1990) *International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 101. Methyl mercury*. Geneva: WHO IPCS.
- Ostrom, E (2009) *A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems*. *Science*. **325**: 419-422.
- 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.

RBV República Bolivariana de Venezuela (1998) *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*. Gaceta Oficial N° 36.860. Caracas. Venezuela.

Rosales, J (2006) *El agua en el futuro de la humanidad*. En Guayana Sustentable 7. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello y Konrad Adenauer Stiftung.

Scotto, C (2006). *Para una comprensión del recurso agua*. En Guayana Sustentable 7. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello y Konrad Adenauer Stiftung.

Tappeiner et al. (2007) *Integrating disciplinary research into an interdisciplinary framework: A case study in sustainability research*. Environmental Modeling & Assessment. **12**: 253-256.

UICN Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2006) *The Future of Sustainability. Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century*. Gland (Switzerland): The World Conservation Union.

UNIDO United Nations Industrial Development Organization (2004) *Mercury Pollution from Artisanal Gold Mining in Block B, El Callao, Bolivar State, Venezuela: Health and Technological Assessment*. Project XP/VEN/03/C04. 65 pp.

Walpole, R et al. (2007) *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Educación. 8ª edición.

## Capítulo II. El estado del Arte (Marco Teórico-Conceptual)

Acevedo, M et al. (2007) *Modelos de interacción humano-ambiental: el enfoque de la Biocomplejidad*. Ecosistemas 3. Disponible en:

[http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=507&Id\\_Categoria=1&tipo=portada](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=507&Id_Categoria=1&tipo=portada))

Consulta: marzo 25 de 2009.

Antequera, J et al. (2005) *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un modelo para construir*. Sostenible? 7: 93-118.

Antequera, J (2007) *Sostenibilidad ambiental y complejidad Social: ¿Dos caras de la misma moneda?* Sostenible? **9**: 93-109.

Aracil, J (1978) *Introducción a la dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza Editorial.

Aracil, J y Gordillo, F (2005) *Dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza Editorial.

Billen, G y Garnier, J (1994) *Modelling phytoplankton development in whole drainage networks: the RIVERSTRAHLER Model applied to the Seine river system*. Hydrobiologia. **289**: 119-137.

Billen, G y Garnier, J (2000) *Nitrogen transfers through the Seine drainage network: a budget based on the application of the 'Riverstrahler' model*. Hydrobiologia. **410**: 139–150.

- BOE Boletín Oficial del Estado (2008). *BOE 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>  
Consulta: abril 18 de 2008.
- Bonn, D (2001) *Biocomplexity: look at the whole, not the parts*. The Lancet. Vol 357.
- Bunge, M (1985) *Teoría y realidad*. Barcelona (España): Editorial Ariel.
- Bunge, M. (2002). *Diccionario de Filosofía*. México: Siglo Veintiuno editores.
- Bunge, M (2004) *Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento*. Barcelona (España): Gedisa editorial.
- Burel, F y Baudry, J (2002) *Ecología del Paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Callicot, J B and Mumford, K. (1997). *Ecological Sustainability as a Conservation Concept*. Conservation Biology. **11**, 1. pp. 32-40.
- Callicot, J et al. (2007) *Biocomplexity and conservation of biodiversity hotspots: three case studies from the Americas*. Phil. Trans. R. Soc. B. 362, 321-333.
- Capra, F (1990) *Sabiduría Insólita*. Barcelona (España): Editorial Kairós.
- Capra, F (1999) *Ecoliteracy: The Challenge for Education in the next Century*. Berkeley (California): Center for Ecoliteracy. Disponible en: <http://www.ecoliteracy.org/publications/pdf/challenge.pdf> Consulta: marzo 23 de 2009.
- Capra, F (2004) *Las conexiones ocultas*. Barcelona (España): Editorial Anagrama.
- Carson, R ([1960], 2008). *Primavera silenciosa*. Barcelona: Crítica.
- Castellanos, H (2008) *¿Por qué debemos conservar a El Caura?*. Kuawai. **1** (1): pp. 81-88.
- CE Comisión Europea (2008) *Convenio sobre la diversidad biológica. Aplicación en la unión Europea*. Bélgica: Comunidades Europeas.
- Checkland, P (1993) *Pensamiento de Sistemas, práctica de sistemas*. México: Editorial Limusa.
- Churchman, C, Ackoff, R y Arnoff, E (1973) *Introducción a la Investigación Operativa*. Madrid: Editorial Aguilar
- Clark, W and Dickson, N (2003) *Sustainability Science: The emerging research program*. PNAS. **100** (14): 8059-8061.

CMMAD Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1992) *Nuestro futuro común*. Madrid: Alianza Editorial.

Colchester, M et al. (2004) *Protegiendo y fomentando el Uso Consuetudinario de los Recursos Biológicos: Alto Caura, Venezuela*. Moreton-in-Marsh (UK): Forest People Programme.

Colwell, R (2001) *Balancing the biocomplexity of the planet's living systems: a 21st century task for science*. *Internatl. Microbiol.* **2**: 47-48.

Coss Bu, R (1982) *Simulación, un enfoque práctico*. México: Editorial Limusa.

De la Garza, J (1995) *Análisis de la Información Mercadológica a través del Análisis Multivariante*. México: Editorial Alhambra Mexicana.

Delgado, L et al. (2008) *Atlas de la Cuenca Alta del Río Botanamo*. Ciudad Guayana (Venezuela): Fondo Editorial Universidad Nacional Experimental de Guayana

Domingo, C (1990) *Solución de problemas mediante modelos de simulación*. Mérida. (Venezuela): Universidad de los Andes. Instituto de Estadística Aplicada y Computación.

Dytam, C (2008) *Choosing and Using Statistics. A Biologist's Guide*. Singapore: Blackwell Publishing. 2nd. Ed.

Echeverría, J (2003) *Introducción a la Metodología de la Ciencia*. La filosofía de la ciencia en el siglo XX. Madrid: Cátedra.

Eckhardt, K and Arnold, J G (2001) *Automatic calibration of a distributed catchment model*. *Journal of Hidrology*. **251**: 103-109.

EcoHealth (2004) *EcoHealth: A Transdisciplinary Imperative for a Sustainable Future*. *EcoHealth* **1**, 3-5.

ESA Ecological Society of America (2002) *What is Biocomplexity?* *Biocomplexity*. p4. Disponible en: [http://www.esa.org/education\\_diversity/pdfDocs/Biocomplexity.pdf](http://www.esa.org/education_diversity/pdfDocs/Biocomplexity.pdf)  
Consulta: diciembre 16 de 2008.

Funtowicz, S y Ravetz, J (1994) *Emergent Complex Systems*. *Futures* **26** (6): 568-582.

Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible: Un enfoque Sistémico*. Santiago de Chile: CEPAL-ECLAC

García, E (2004) *Medio Ambiente y Sociedad. La civilización industrial y los límites del planeta*. Madrid: Alianza Editorial.

García, R (2006) *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona (España): Gedisa editorial.

- González, J et al. (2009) *Effects of fragmentation on pollinator assemblage, pollen limitation and seed production of Mediterranean myrtle (Myrtus communis)*. Biological Conservation. **142**: 1058–1065.
- Goodland, R., Daly, H., El Serafy, S. y von Droste, B. Eds. (1997) *Medio Ambiente y desarrollo sostenible. Más allá del Informe Brundtland*. Valladolid: Editorial Trotta.
- Granados, J (2010) *Manual de Medio Ambiente y Sostenibilidad*. Madrid: Editorial Dykinson,
- Gunawardena, W. (1985) *Conceptos relacionados con la Construcción de Modelos de Sistemas*. Universidad de los Andes. Mérida Venezuela. Mimeografiado no publicado.
- Habermas, J (2007) *Ciencia y técnica como “ideología”*. Madrid: Editorial Tecnos. 5ª edición.
- Hair, J, Anderson, R, Tatham, R y Black, W (1999) *Análisis Multivariante*. 5a Edición. Mexico: Prentice Hall.
- Hannoura, A et al. (2006) *The development of a sustainable development model framework*. Energy. **31**: 2269–2275.
- Hernandez, L et al. (2005) *Reserva Forestal El Caura*. Ciudad Guayana (Venezuela): Fondo Editorial Universidad Nacional Experimental de Guayana.
- Hernández, L y Valero, N Eds. (2005) *Desarrollo sustentable del Bosque húmedo Tropical. Características, ecología y uso*. Ciudad Guayana (Venezuela): Fondo Editorial Universidad Nacional Experimental de Guayana
- Hessea, C et al. (2008) *Eco-hydrological modelling in a highly regulated lowland catchment to find measures for improving water quality*. Ecological Modelling. **218**: 135–148.
- Higginbotham, N et al. (2007) *Validation of a Environmental Distress Scale*. EcoHealt. **3**: 245-254.
- Hoekstra, A (2011) *The Global Dimension of Water Governance. Why the River basin Approach Is No Longer Sufficient and Why Cooperative Action at Global Level Is Needed*. Water. **3**: 21-46.
- Huber, O y Rosales, J Eds. (1997) *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela II. Estudios Especiales*. Scientia Guaianae N° 7.
- Jerneck, A et al. (2010) *Structuring sustainability science*. Sustainability Science. DOI 10.1007/s11625-010-0117x.
- Johnson, D (2000) *Métodos Multivariables aplicados al Análisis de Datos*. México: International Thompson Editores.

Jiménez Herrero, L (2000) *Desarrollo Sostenible. Transición hacia la coevolución global*. Madrid: Ediciones Pirámide.

Kates, R et al. (2001) *Sustainability Science*. Science. **292**, 5517: 641-642.

Kates, R (2011) *What kind of a science is sustainability science?* PNAS. **108**, 49: 19449-19450.

Kramer, F (2003) *Educación Ambiental para el desarrollo sostenible*. Madrid: Catarata.

Krysanova, V et al. (1998) *Development and test of a spatially distributed hydrological: water quality model for mesoscale watersheds*. Ecological Modelling. **106**: 261–289.

Krysanova, V and Haberlandt, U (2002) *Assessment of nitrogen leaching from arable land in large river basins Part I. Simulation experiments using a process-based model*. Ecological Modelling. **150**: 255–275.

Law, A and Kelton, D (2000) *Simulation modeling and analysis*. Boston: Mc Graw Hill. 3rd edition.

Lebel, J (2004). *Ecohealth and the Developing World*. Ecohealth. **1**: 325-326.

Lenhart, T et al. (2003) *Effects of land use changes on the nutrient balance in mesoscale catchments*. Physics and Chemistry of the Earth. **28**: 1301–1309

Linz, M et al. (2007) *Vivir (bien) con menos. Sobre suficiencia y sostenibilidad*. Barcelona (España): Icaria. 2ª. Edición.

López, JL, Saavedra, I y Dubois, M (1998) *El Río Orinoco. Aprovechamiento Sustentable*. Caracas (Venezuela): Instituto de Mecánica de Fluidos Universidad central de Venezuela.

Meadows, D et al. (1972) *Los límites del crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica.

Michel, M (2009) *Complexity: a Guided Tour*. New York: Oxford University Press.

Molle, F (2009) *River-basin planning and management: The social life of a concept*. Geoforum. **40**: 484-494.

Meadows, D et al. (2006) *Los límites del crecimiento 30 años después*. Madrid: Galaxia Gutenberg.

McMichael, A et al. (2003) *New Visions for Addressing Sustainability*. Science. **302**: 1919-1920.

Michener, W et al. (2001) *Defining and unraveling Biocomplexity*. BioScience. Vol **51**, 12: 1018-1023.

- Molles, M. (2006) *Ecología. Conceptos y aplicaciones*. Madrid: Mc Graw Hill-Interamericana.
- Moreu, P. (2000) *Estadística Informatizada*. Madrid: Paraninfo.
- Morín, E (2004) *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona (España): Gedisa editorial.
- Morin, E (2005) *La epistemología de la complejidad*. En *Con Edgar Morin, por un pensamiento complejo. Implicaciones interdisciplinarias*. Solana, J (Coord.). Madrid: Universidad Internacional de Andalucía/Akal.
- Motta, R. (2000) *Complejidad, Educación y Transdisciplinariedad*. Revista Latinoamericana de Estudios Avanzados. **11**: 37-63.
- Myrdal, G (1973) *Un modelo que olvida muchas cosas*. El Correo de la UNESCO. **XXVI**: 12-13.
- Naveh, Z (2007) *Landscape ecology and sustainability*. Landscape Ecology. 22. pp. 1437-1440.
- Newton, J and Freyfogle, E (2005) *Sustainability: a dissent*. Conservation Biology. **19**, 1: 23-32.
- Novo, M (2006) *El desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa*. Madrid: Pearson-Prentice Hall.
- NRC National Research Council (1999) *Our Common Journey*. Washington: National Academy Press.
- Observatorio del Paisaje de Cataluña OPC (2009). *Glosario*. Disponible en: <http://www.catpaisatge.net/esp/glossari.php?id=50> Consulta: mayo 13 de 2009.
- Paolini, J (2002) *Modelos de simulación: una herramienta para la toma de decisiones*. Universidad Nacional Experimental de Guayana. Mimeografiado no publicado.
- 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.
- Pedgen, D et al. (1995) *Introduction to Simulation using SIMAN*. Blacklick (USA): Mc Graw Hill. 2nd edit.
- Peña, D (2002) *Análisis de datos multivariantes*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Piñol, J y Martínez-Villalta, J (2006). *Ecología con números. Una introducción a la ecología con problemas y ejercicios de simulación*. Bellaterra (España): Lynx Edicions.

- Post, J et al. (2007) *Integrated eco-hydrological modelling of soil organic matter dynamics for the assessment of environmental change impacts in meso- to macro-scale river basins*. *Ecological modeling*. **206**: 93–109.
- Rapport, (2007) *Sustainability science: an EcoHealth perspective*. *Sustainability Science*. **2**: 77-84.
- Reis dos Santos, P et al. (2009) *Using subsystem linear regression meta models in stochastic simulation*. *European Journal of Operational Research*. **196**. pp. 1031-1040.
- Rice, J (2008) *Can we manage ecosystems in a sustainable way?* *Journal of Sea Research*. **60**: 8–20.
- Riechmann, J (2006) *Biomimesis. Ensayos sobre imitación de la naturaleza, ecosocialismo y autocontención*. Madrid: Catarata.
- Robinson, S (1994) *Simulation Projects: Building de Right Conceptual Model*. Institute of Industrial Engineers, Inc. (IIE).
- Rosales, J y Huber, O Eds. (1996) *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela I. Caracterización General*. *Scientia Guaianae* N° **6**.
- Santamarina, B (2006) *Ecología y Poder. El discurso medioambiental como mercancía*. Madrid: Los libros de Catarata.
- Shannon, R (1975) *System Simulation. The art and science*. New Jersey: Prentice Hall.
- Shannon, R (1988) *Simulación de Sistemas. Diseño desarrollo e implementación*. México: Editorial Trillas.
- Sheperd, G (2004) *The Ecosystem Approach. Five Steps to Implementation*. Gland (Switzerland): International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Sheperd, G Ed. (2008) *The Ecosystem Approach. Learning from the experience*. Gland (Switzerland): International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Silva Monterrey, N (2006) *Introducción a la Etnografía de los Pueblos Indígenas de la Guayana Venezolana*. Ciudad Guayana (Venezuela): Fondo Editorial Universidad Nacional Experimental de Guayana.
- Simon, H (1962) *The Architecture of Complexity*. *Proceedings of APS*. 106, 2: 467-482.
- Strauss, A y Corbin, J (2002). *Bases de la Investigación Cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Medellín (Colombia): Editorial de la Universidad de Antioquia.
- Suppes, P (1976) *Some Remark about Complexity*. *Proceedings of APS*. Vol 2: 543-547.

UICN Unión Internacional para la Conservación de la naturaleza (1980) *Estrategia Mundial para la Conservación*. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente.

UNESCO (1973) *¿Interrumpir el crecimiento? Entrevista a Aurelio Peccei*. El Correo de la UNESCO. **XXVI**: 10-12.

Vispo, C and Knab-Vispo, C Eds. (2003) *Plants and vertebrates of the Caura's Riparian corridor: Their Biology, Use and Conservation*. Scientia Guaianae N° 12.

Wagensberg, J (2007) *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona (España): Fábula Tusquets Editores.

Walpole, R et al. (2007) *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Educación. 8ª edición.

Wilcox, B et al. (2004). *EcoHealth: A transdisciplinary Imperative for a Sustainable Future*. *EcoHealth*. **1**, pp. 3-5.

Williams, J and Arnold, G (1997) *A system of erosion-sediment yield models*. *Soil Technology*. **11**, 43-55.

Wolsink, M (2006) *River basin approach and integrated water management: Governance pitfall for the Dutch Space-Water-Adjustment Management Principle*. *Geoforum*. **37**: 473-487.

Zoido, F (2003). *Un nuevo horizonte para la geografía en los estudios y aplicaciones sobre el paisaje*. Banco de buenas prácticas de Geografía. N° 1. Colegio de Geógrafos.

Disponible en:

[http://www.geografos.org/nuevaweb/seccion/78\\_Banco%20Buenas%20Pr%20E1cticas%20n1.pdf](http://www.geografos.org/nuevaweb/seccion/78_Banco%20Buenas%20Pr%20E1cticas%20n1.pdf)

Consulta: febrero 14 de 2008.

### **Capítulo III. La Red Conceptual Multinivel**

Bunge, M (2002) *Diccionario de Filosofía*. México: Siglo Veintiuno editores.

Falguera, J L (1994a) *Unidad de noción bajo los usos del término 'modelo' en las ciencias matemáticas y factuales*. *Contextos* **XII**. 23-24: 221-244.

Falguera, J L (1994b) *La naturaleza representacional de los modelos*. Endoxa 3. Series Filosóficas. UNED Madrid, pp. 7-29.

Foucault, M (2010) *El Orden del Discurso*. Barcelona: Tusquets Editores.

Morín, E (2004) *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona (España): Gedisa editorial.

Morin, E (2005) *La epistemología de la complejidad*. En *Con Edgar Morin, por un pensamiento complejo. Implicaciones interdisciplinarias*. Solana, J (Coord.). Madrid: Universidad Internacional de Andalucía/Akal.

Morin, E (2008) *Mi Camino. Edgar Morin conversa con Djéne Kareh Tager*. Barcelona (España): Gedisa editorial.

García, R (2006) *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona (España): Gedisa editorial.

## **Capítulo IV. Los casos de estudio**

Hernández, S et al. (2006) *Metodología de la Investigación*. México: Mac Graw Hill. 4ª edición.

Sabino, C (2000) *El Proceso de Investigación*. Caracas: Editorial Panapo.

### **4.1 Determinación de la Sostenibilidad en la Cuenca del Río Caroní**

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.

Álvarez, LA y Rojas, LA (2009) *Contenido de mercurio total en peces de consumo habitual en los asentamientos indígenas El Plomo y El Casabe en el estado Bolívar*. Revista Universidad, Ciencia y Tecnología. **13** (51): 97-102.

Anderson et al. (2006) *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. México: Cengage Learning.

Antequera, J., et al. (2005) *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un modelo para construir*. Sostenible? Terrassa: Cátedra UNESCO en Tecnología, Desarrollo Sostenible y Cambio Global. N° 7. pp 95-118.

Bermudez, D et al. (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.

Bermúdez D et al. (2004) *Mercury exposure through fish consumption in riparian populations at the Guri Reservoir, using nuclear techniques. Bolivar State, Venezuela*. International Atomic Energy Agency: Uppsala (Sweden).

Boada, M y Gómez, F (2008) *Biodiversidad*. Barcelona: Rubes Editorial.

Bohringer, C and Jochem, P (2007) *Measuring the immensurable. A survey of sustainability indices*. Ecological Economics. 63. p 1-8.

Burel F y Baudry J (2002) *Ecología del Paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Diebold, F (1999) *Elementos de Pronósticos*. México: International Thomson Editores.

EDELCA Electrificación del Caroní (2008) *La cuenca del Rio Caroní. Una visión en cifras*. Ciudad Guayana (Venezuela): CVG Corporación Venezolana de Guayana.

Erias, A y Alvarez-Campana, G (2007). *Evaluación Ambiental y Desarrollo Sostenible*. Madrid: Ediciones Pirámide.

Gallopín, 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.

Hanke, J y Reitsch, A (1996) *Pronóstico en los Negocios*. México: Prentice Hall. Quinta edición.

Huidobro, P et al. (2004) *Strategies to Reduce Hg exposure in Artisanal and Small-Scale Miners*. Regional Awareness Raising Workshop on Mercury Pollution, Dakar.

Jiménez-Herrero, L (2000) *Desarrollo sostenible. Transición hacia la coevolución global*. Madrid: Ediciones Pirámide.

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 al. (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](http://www.artisanalmining.org/UserFiles/file/AMS_finalreport_13.pdf) Consulta: feb 12 de 2009.

Molles, M. (2006) *Ecología. Conceptos y aplicaciones*. Madrid: Mc Graw Hill-Interamericana

Novo, M (2006). *El Desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa*. Madrid: Pearson Educación.

Observatorio del Paisaje de Cataluña OPC (2009). *Glosario*. <http://www.catpaisatge.net/esp/glossari.php?id=50> Consulta: agosto 4 de 2011.

Patton, C P y Kramer, F (1983) *Curso de Geografía Física*. Barcelona: Vincent Vives Ediciones.

Prothero, R (2001) *Migration and Malaria risk*. Health, Risk and Society. DOI:10.1080/13698570020029189.

Sanjaume, M y Batalla, R (1966) *Teoría y Métodos en Geografía Física*. Madrid: Editorial Síntesis.

Silva Monterrey, N (2006) *Introducción a la Etnografía de los Pueblos Indígenas de la Guayana Venezolana*. Ciudad Guayana (Venezuela): Fondo Editorial Universidad Nacional Experimental de Guayana.

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. 2. p. 4-19.

SYSTAT (2009) SYSTAT 13 Statistics IV. Washington: SYSTAT Software Inc.

Xercavins, J et al. (2005) *Desarrollo Sostenible*. Cornell de Llobegat: Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña.

Yerena, E (2011) *La Guayana Venezolana: sostenibilidad ambiental incierta*. Mundo Nuevo. 1. 6: 339-357.

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%20On1.pdf](http://www.geografos.org/nuevaweb/seccion/78_Banco%20Buenas%20Pr%20E1cticas%20On1.pdf) Consulta: agosto 4 de 2011.

#### **4.2. Sostenibilidad local en la cuenca baja del Río Caroní**

Bermúdez, D et al. (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, Ljubljana Slovenia, International Atomic Energy Agency.

Bermúdez, D et al. (2004) *Mercury exposure through fish consumption in riparian populations at the Guri Reservoir, using nuclear techniques*. State of Bolivar, Venezuela, International Atomic Energy Agency. Upssala (Sweden).

Bermúdez, D (2008) *Exposición al mercurio por el consumo de peces del Embalse de Guri: Causas y efectos*. Universidad Nacional Experimental de Guayana: Ciudad Guayana.

Bohringer, C and Jochem P (2007) *Measuring the immensurable. A survey of sustainability indices*. Ecological Economics. 63: 1-8.

Dytam C (2003) *Choosing and using Statistics. A Biologist guide*, 2nd edit., Blackwell Publishing Victoria.

EDELCA Corporación Venezolana de Guayana (2004) *La cuenca del Rio Caroní. Una visión en cifras*. CVG Electrificación del Caroní: Ciudad Guayana.

Gallopín, G (2003) *Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. División de Desarrollo sostenible y Asentamientos Humanos CEPAL: Santiago de Chile.

Granados, J (2010) *Manual de medio ambiente y sostenibilidad*. Editorial Dykinson: Madrid.

Guimaraes, J et al. (2004) *Health Impact of Mercury cycling in contaminated environments studied by nuclear techniques*. International Atomic Energy Agency IAEA: Uppsala (Suecia).

Hall B D et al. (1997) *Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish*. Water, Air and Soil pollution. **100**: 13-24.

Hope, B (2005) *A mass budget for mercury in the Willamette river basin, Oregon, USA*. Water, Air, and Soil Pollution. **161**: 365–382.

Huidobro, P et. al. (2004) *Strategies to Reduce Hg exposure in Artisanal and Small-Scale Miners*. Regional Awareness Raising Workshop on Mercury Pollution: Dakar.

Jimenez-Herrero, L (2000) *Desarrollo Sostenible. Transición hacia la coevolución global*. Ediciones Pirámide: Madrid.

King G et al. (2000) *El diseño de la investigación social. La inferencia científica en los estudios cualitativos*. Alianza Editorial: Madrid.

Mansutti, A (2004) *El bosque cercado: características del poblamiento en los bosques de la Guayana venezolana*. Copérnico. **1**: 13-23.

Martinez, J (2010) *Viaje a la sostenibilidad, una guía para la escuela*. Catarata ediciones, Madrid.

Milano, S (2008) *Símbolo y objeto de la minería del oro y diamante en la subjetividad del minero en pequeña escala*. Kuawai. **1**: 40-56.

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](http://www.artisanalmining.org/UserFiles/file/AMS_finalreport_13.pdf)  
Consulta: diciembre 18 de 2009.

Novo, M (2006) *El Desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa*. Pearson Educación: Madrid.

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.

Picon, G y Dezeo, H (2007) *Evaluación ambiental en áreas de influencia del Embalse GURI: Recorrido aéreo en el perímetro de la margen derecha*. CVG EDELCA. Gerencia de Gestión Ambiental: Ciudad Guayana (Venezuela).

Slikker W et al. (2000) *Cognitive Test: interpretation for Neurotoxicity?* Toxicological Sciences. **58**: 222-234.

UNEP United Nations Environment Programme (2002) *Global Mercury Assessment*. Issued by UNEP Chemicals: Geneva (Switzerland).

Van Emden, H (2008) *Statistics for terrified biologist*. Blackwell Publishing: Victoria (Australia).

Veiga, M and Baker, R (2005) *Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury released by Artisanal and Small-Scale Miners*. Global Mercury Project. UNIDO. Viena (Austria).

Walpole, R et al. (2007) *Probabilidad & Estadística para ingeniería y ciencias*. 7ª edic. Pearson Prentice Hall: México.

World Health Organization WHO (2007) *Exposure to Mercury: a major public health concern, Public Health and Environment*. Geneva (Switzerland).

#### **4.3 Capacidad generativa y sostenibilidad en la cuenca del Río Caura**

Agazzi, E (2011). *La ciencia y el alma de Occidente*. Madrid: Editorial Tecnos.

Amodio, E y du Arte, O. (2006) *Las pautas de crianza del pueblo Ye'kwana en Venezuela*. Caracas: UNICEF.

Bevilacqua, M et al. (2002) *Situación de los bosques de Venezuela. La región Guayana como caso de estudio*. Caracas: Instituto de Recursos Mundiales (WRI).

Bevilacqua, M et al. (2007) *Situación de los Bosques en la Guayana, Venezuela. La Cuenca del Río Caura como caso de estudio*. Caracas: ACOANA.

Bevilacqua, M et al. (2008) *La malaria en poblaciones indígenas de la cuenca del Caura, estado Bolívar Venezuela. Principales hallazgos 2005-2007*. Proyecto Wesoichay. Caracas: ACOANA.

Bevilacqua, M et al. (2009) *Orientaciones para fortalecer el programa de malaria en zonas remotas con poblaciones indígenas en el Caura, Venezuela*. Boletín de Malariología y Salud ambiental. **XLIX** (1): 53-71.

- Cáceres, J (2010) *Situación epidemiológica de la malaria en Venezuela. Año 2009*, *Boletín de Malariología y Salud ambiental*. **L** (2): 271-282.
- Callicot, J and Mumford, K (1997) *Ecological sustainability as a Conservation concept*. *Conservation Biology*. **11**(1): 32-40.
- Castellanos, H (2008) *¿Por qué debemos conservar a El Caura?*. *Kuawai*. **1** (1): 81-88.
- Caura Futures (2011). *Climb for the Rain Forest*. [Vídeo en línea] Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=19G-l6q3ftg> Consulta: julio 28 de 2011.
- Caura Tatuy (2009). *Parque Nacional Indígena Caura*. [Vídeo en línea] Disponible en: [http://www.youtube.com/watch?v=m\\_8Ex9NgI2o](http://www.youtube.com/watch?v=m_8Ex9NgI2o) Consulta: abril 19 de 2011.
- Chernoff, B et al (2003) *Una evaluación rápida de los ecosistemas acuáticos de la Cuenca del río Caura, Estado Bolívar, Venezuela*. Washington: Conservation International.
- Colchester, M (1997) *La Ecología Social de los Indígenas Sanema*. *Scientia Guainae* **7**: 111-140.
- Colchester, M et al. (2004) *Protegiendo y fomentando el Uso Consuetudinario de los Recursos Biológicos: Alto Caura, Venezuela*. Moreton-in-Marsh (UK): Forest People Programme.
- Coppens, W (1981) *Del canaleta al motor fuera de borda*. Caracas: Fundación La Salle. Instituto Caribe de Antropología y Sociología.
- Davies, V (2010) *Plan Caura intenta salvar de la minería ilegal uno de los pulmones de Venezuela*. Disponible en: <http://www.correodelorinoco.gob.ve/edicion-impresal/?page=106> Consulta: mayo 30 de 2011.
- EDELCA Electrificación del Caroní (2007) *Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Caura*. Ciudad Guayana (Venezuela): Gerencia de Gestión Ambiental.
- Escar, N (1999) *Los Ye'kuana: Cesteros milenarios*. *Boletín antropológico*, **44**: 39-53. Universidad de los Andes: Mérida Venezuela.
- Fuenmayor, R (2000) *Sentido y Sinsentido del desarrollo*. Mérida (Venezuela): Consejo Editorial Universidad de los Andes.
- Gallopín, G (2003) *Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. Santiago de Chile: División de Desarrollo sostenible y Asentamientos Humanos CEPAL.
- García, R (2006) *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona (España): Gedisa editorial.

Granados, J (2010) *Manual de medio ambiente y sostenibilidad*. Madrid: Editorial Dykinson.

Hames, R and Hames, I (1976). *Ye'kuana basketry: its cultural context*. *Antropológica*. **44**: 3-58.

Hernández, L et al. (2005) *Reserva Forestal El Caura, propuesta*. Ciudad Guayana (Venezuela): Fondo Editorial Universidad Nacional Experimental de Guayana.

Knab-Vispo, C et al. (1997) *Observaciones sobre el uso de plantas por los Ye'kuana en el bajo río Caura*. En Huber, O y Rosales, J Eds. *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela: II Estudios Especiales*. *Scientia Guainae*. **7**: 215-257.

Max-Neef, M (2006) *Desarrollo a escala humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Barcelona (España): Icaria Editorial.

Mansell-Prothero, R (2001) *Migration and Malaria risk*. *Health, Risk and Society*, **3** (1): 19-38.

Mansutti, A (2004) *El bosque cercado: características del poblamiento en los bosques de la Guayana venezolana*. *Copérnico*. **1** (1), pp. 13-23

Mattei-Muller, M (2009) *El alma de las manos. El arte cesterero de los pueblos indígenas de Venezuela*. Caracas: Fundación Banco de Comercio Exterior.

Medios Comunitarios (2009) *Universidad Indígena de Venezuela: Construcción, modelo, bases y principios*. Disponible en:

<http://www.medioscomunitarios.org/pag/index.php?id=33&idn=11916>>

Consulta: octubre 10 de 2011.

Mondolfi, E (1997) *Lista provisional anotada de los mamíferos de la cuenca del río Caura*. En Huber, O y Rosales, J Eds. *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela: II Estudios Especiales*. *Scientia Guainae*. **7**, pp. 11-63.

Morín, E (2004) *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona, España. Gedisa editorial.

Morin, E (2005) *La epistemología de la complejidad*. En *Con Edgar Morin, por un pensamiento complejo. Implicaciones interdisciplinarias*. Solana, J (Coord.). Madrid, Universidad Internacional de Andalucía/Akal. pp 27-52.

Morín, E (2007) *Complejidad restringida, complejidad general*. *Sostenible?* **9**: 25-49. *Revista de la Cátedra UNESCO de Sostenibilidad*.

RAG Red Ambientalista de Guayana (2006) *Vídeo promocional Parque Nacional El Caura* [Vídeo en línea] Disponible en:

<http://www.youtube.com/watch?v=3OMRYO7dcLU> Consulta: abril 11 de 2011.

Rosales, J y Huber, O (1996) *Ecología de la Cuenca del Río Caura*. Caracas: Scientia Guainae.

Silva Monterrey, N (1996) *Etnografía de la Cuenca del Caura*. En Rosales, J y Huber, O Eds. *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela: I Caracterización general*. Scientia Guainae. **6**, pp. 98-105.

Silva Monterrey, N (1997a) *La percepción Ye'kwana del entorno natural*. En Huber, O y Rosales, J Eds. *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela: II Estudios Especiales*, Scientia Guainae. **7**: 65-84.

Silva Monterrey, N (1997b) *Utilización alimentaria de los recursos naturales entre los Ye'kwana*. En Huber, O y Rosales, J Eds. *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela: II Estudios Especiales*. Scientia Guainae. **7**:85-109.

Silva Monterrey, N (2006) *Introducción a la Etnografía de los Pueblos Indígenas de la Guayana Venezolana*. Ciudad Guayana (Venezuela): Fondo Editorial Universidad Nacional Experimental de Guayana.

Tomedes, R et al. (2008) *Territorio Ye'kwana/Dhécwana y su conservación. Una mirada desde sus líderes y representantes*. Mérida (Venezuela): Fundación The Natural Conservancy of Venezuela.

#### **4.4 Sostenibilidad Ambiental en la cuenca del Río Caura**

Aceituno, P. (1988) *On the functioning of the Southern Oscillation in the South America Sector*. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review*. **116**: 505-524.

Aceituno, P y Montecinos, A (1992) *Análisis de la estabilidad de la relación entre la Oscilación Sur y la Precipitación en América del Sur*. En *Proceedings of International Symposium in Paleo ENSO Records*. pp. 7-13.

Acevedo, M et al. (1999) *Relations of climate variability in Venezuela to tropical Pacific SST anomalies*. American Meteorological Soc. 10th Symposium on Global Change Studies. 10-15 January. Preprints.

Amarasekera, K. et al. (1997) *ENSO and the natural variability in the flow of the tropical rivers*. *Journal of Hydrology*. **200**: 24-39.

Barnston, A et al. (1997) *Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial Pacific*. *Atmosphere–Ocean*. **35**: 367–383.

Chavasse, D and Seoane, R (2009) *Assessing and predicting the impact of El Niño southern Oscillation (ENSO) events on runoff from the Chopin River basin, Brasil*. *Hydrological Processes*. **23**: 3261-3266.

Electrificación del Caroní EDELCA (2007) *Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Caura*. Ciudad Guayana (Venezuela): Gerencia de Gestión Ambiental.

Fussel, HM (2007) *Vulnerability: A general applicable conceptual framework for climate change research*. Global environmental Change. **17**: 155-167.

Gallopin, G (2006) *Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity*. Global environmental Change. **16**: 293-303.

García, N and Mechoso C (2005) *Variability in the discharge of South American rivers and in climate*. Hydrological Sciences. **50** (3): 459-478.

Giddings, M y Soto, M (2006) *Teleconexiones y precipitación en América del sur*. Revista de Climatología. **6**: 13-20.

Hubert, P (2000) *Segmentation*. In Detecting trend and other changes in hydrological data. Kundzewicz, Z. and Robson, A. Eds. World Climate Program-Water. Geneva: World Meteorological Organization.

Kayano, M et al. (2009) *Interannual relation between South American rainfall and tropical sea surface temperature anomalies before and after 1976*. International Journal of Climatology. **29**: 1439-1448.

Kundzewicz, Z and Robson A (2004) *Change detection in hydrological records a review of the methodology*. Hydrological Science. **49** (1): 7-19.

Marengo, J et al. (2010) *Recent developments on South America monsoon system*. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.2254.

McPhaden, M (1999) *Genesis and evolution of the 1997-1998 El Niño*. Science. **283**: 950-954.

McPhaden, M et al. (2006) *ENSO as an Integrating Concept in Earth Science*. Science. **314**: 1740-1745.

Millano, J et al. (2007) *Efecto de la Oscilación Meridional (ENSO) y la temperatura superficial del Océano Atlántico sobre la distribución espacio-temporal de las lluvias en el estado Cojedes*. Revista Agrollanía. **4**: 110-116.

NASA (2010) *Monthly Tropical North Atlantic Index (TNA)*. Disponible en: [http://gcmd.gsfc.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=&EntryId=NOAA\\_NWS\\_CPC\\_TNAI&MetadataView=Text&MetadataType=0&lbno=mdlb5](http://gcmd.gsfc.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=GCMD&KeywordPath=&EntryId=NOAA_NWS_CPC_TNAI&MetadataView=Text&MetadataType=0&lbno=mdlb5) Consulta: febrero 02 de 2013.

NOAA Climate Prediction Center (2011a) *Cold and Warm episodes by season*. Disponible en: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ENSOstuff/ENSOyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ENSOstuff/ENSOyears.shtml) Consulta: febrero 12 de 2011.

NOAA Climate Prediction Center (2011b) *Description of changes to Oceanic Niño Index (ONI)*. Disponible en:

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ENSOstuff/ONI\\_change.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ENSOstuff/ONI_change.shtml) Consulta: febrero 14 de 2011.

NOAA Earth System Research Laboratory (2011c) *Multivariate ENSO Index (MEI)*  
Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/table.html>  
Consulta: febrero 24 de 2011.

Ropelewsky, C and Halpert, M (1987) *Global and Regional Scale Precipitation Pattern associated with the El Niño/southern Oscillation*. Monthly Weather Review. **115**: 1606-1626.

Schongart, J and Junk, W (2007) *Forecasting the flood pulse in Central Amazonia by ENSO indices*. Journal of Hydrology. **335**: 124-132.

Turner, B L (2003) *A framework for vulnerability analysis in sustainable science*. PNAS. **100**, 14: 8074-8079.

Wolter, K and Timlin, M (1993) *Monitoring ENSO in COADS with a Seasonally Adjusted Principal Component Index*. In Proceedings of the 17<sup>th</sup> Climate Diagnostics Workshop, Norman, Oklahoma. pp 52-57.

Wolter, K (2011) *MEI Index*. Disponible en:  
<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html> Consulta: Julio 20 de 2011.

## Capítulo V. La Consulta Delphi

CO Correo del Orinoco (2010a) *Plan Caura apunta hacia la protección ambiental y de los ciudadanos* [Periódico en línea] Disponible en:  
<http://www.correodelorinoco.gob.ve/ambiente-ecologia/plan-caura-apunta-hacia-proteccion-ambiental-y-ciudadanos/> Consulta: febrero 12 de 2012.

CO Correo del Orinoco (2010b) *Plan Caura detendrá a las mafias de la minería ilegal en Venezuela* [Periódico en línea] Disponible en:  
<http://www.correodelorinoco.gob.ve/ambiente-ecologia/plan-caura-detendra-a-mafias-mineria-ilegal-venezuela/> Consulta: febrero 12 de 2012.

CO Correo del Orinoco (2010c) *Mafias y trasnacionales se llevaban oro, diamantes y coltán del río Caura* [Periódico en línea] Disponible en:  
<http://www.correodelorinoco.gob.ve/tema-dia/mafias-y-trasnacionales-se-llevaban-oro-diamantes-y-coltan-rio-caura/> Consulta: febrero 12 de 2012.

Choy, H and Sirakaya, E (2006) *Sustainability indicators for managing community tourism*. Tourism Management. **27**: 1274:1289.

Dalkey, N (1969) *An Experimental Study of group opinion. The Delphi Method.* Futures. **1**: 408-426.

Davies, V (2010) *Plan Caura intenta salvar de la minería ilegal uno de los pulmones de Venezuela.* Disponible en: <http://www.correodelorinoco.gob.ve/edicion-impresas/?page=106> Consulta: mayo 5 de 2011.

Díaz-Struck, E y Poliszuk, J (2012) *Buhoneros del coltán.* El Universal [Periódico en línea]. Disponible en: <http://www.eluniversal.com/nacional-y-politica/120304/buhoneros-del-coltan> Consulta: marzo 6 de 2012.

García-Melón M, Gómez-Navarro T y Acuña-Dutra S (2012) *A combined ANP-Delphi approach to evaluate sustainable tourism.* Environment Impact assessment Review. **14**: 41-50.

García, N (2008) *A dos años del engaño* [Noticia en línea] Disponible en: <http://www.correodelcaroni.com/especial/a-dos-anos-del-engano> Consulta: marzo 4 de 2012.

García, N (2012) *Indígenas acusan a la FANB por auge de minería ilegal* [Noticia en línea] Disponible en: [http://www.correodelcaroni.com/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=174&id\\_articulo=199741&catid=68](http://www.correodelcaroni.com/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=174&id_articulo=199741&catid=68) Consulta: marzo 4 de 2012.

Green, H et al. (1990) *Assessing the environmental impact of tourism development. Use of Delphi Technique.* Tourism Management **11** (2): 111-120.

Linston, H and Turoff, M Eds.(2002) *The Delphi Method. Techniques and Applications.* Disponible en: <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/delphibook.pdf> Consulta: febrero 28 de 2012.

López, E (2012) *Piscicultura: una alternativa a la minería en La Paragua.* El Nacional [Periódico en línea]. Disponible en: <http://www.el-nacional.com/noticia/24384/15/Piscicultura:-una-alternativa-a-la-mineria-en-La-Paragua.html> Consulta: agosto 4 de 2011

Okoli, Ch and Pawlowski, S (2004) *The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and application.* Information & Management **42**: 15–29.

Ono, R and Wedemeyer, D (1994) *Assessing the Validity of the Delphi Method.* Futures. **26** (3): 289:304.

Pellegrini, N e Invernón, J (2007) *Un programa de capacitación de guardaparques y personal técnico del servicio de Parques Nacionales de Venezuela. Identificación de necesidades de capacitación.* Revista de Investigación, **61**: 195-214.

Rangel, C (2012) *Rangel Silva vincula a indígenas con mafias del oro.* El Nacional [Periódico en línea]. Disponible en: <http://www.el-nacional.com/noticia/26846/15/Rangel-Silva-vincula-a-indigenas-con-mafias-del-oro.html>

Consulta: marzo 4 de 2012

Reinoso, Y (2006) *Entrevista, Una alianza en favor del Caroní. Nora Delgado: La reconversión minera es el primer paso hacia el rescate ambiental*. Disponible en: <http://www.minci.gob.ve/pagina/3/5987/completa.htm> Consulta: marzo 31 de 2012.

Strauss, H and Zeigler, L (1975) *Delphi, Political Philosophy and the Future*. *Futures*. 7 (3): 184-196.

Tribunal Supremo de Justicia TSJ (2006) *Decreto de la Presidencia de la República N° 4633*. Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela. Disponible online en: <http://www.tsj.gov.ve/gaceta/gacetaoficial.asp> Consulta: 3 de marzo de 2012.

Useche, M (2010) *Historias de la reconversión minera en Guayana*. Aporrea. [Publicación en línea]. Disponible en: <http://www.aporrea.org/endogeno/a102105.html> Consultado: 4 de marzo de 2012.

VITALIS (2010) *Situación Ambiental de Venezuela 2010*. Análisis de Percepción del Sector. Editor y Compilador: Diego Díaz Martín, 37 pp. 2da. Edición. Caracas, Diciembre. Disponible online en: [www.vitalis.net](http://www.vitalis.net) Consulta: 4 de marzo de 2012.

VITALIS (2009) *Situación Ambiental de Venezuela 2009*. Análisis de Percepción del Sector. Editores: Diego Díaz Martín, José Antonio Apostólico y Yazenia Frontado. 29 pp. Disponible online en: [www.vitalis.net](http://www.vitalis.net) Consulta: 1 de marzo de 2012.

Wuodenberg, F (1991) *A Delphi Evaluation*. *Technological Forecasting and Social Change* **40**: 131-150.

## Capítulo VI. Conclusiones

Cañas, L (2011) *Indígenas asaltaron y desarmaron a un grupo de militares en Bolívar por conflicto de oro* [Noticia en línea] Disponible en: <http://www.globovision.com/news.php?nid=207324> Consulta: Marzo 4 de 2012.

Davies, V (2010) *Plan Caura intenta salvar de la minería ilegal uno de los pulmones de Venezuela*. Disponible en: <http://www.correodelorinoco.gob.ve/edicion-impres/?page=106> Consulta: mayo 5 de 2011.

Michel, M (2009) *Complexity: a Guided Tour*. New York: Oxford University Press.

Vasilachis, I et al. (2006) *Estrategias de Investigación Cualitativa*. Barcelona: Gedisa Editorial