



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MODELO ECONÓMICO - ECOLÓGICO INTEGRADO
PARA LA REGIÓN ILIATENCO -
BARRANCA DEL ÁGUILA EN LA MONTAÑA
ALTA DE GUERRERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
**MAESTRO EN ECONOMÍA
DE LOS RECURSOS NATURALES
Y DESARROLLO SUSTENTABLE**

P R E S E N T A :
JUAN CARLOS RAMOS ALVARADO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ASESOR: DRA. MARIA LUISA QUINTERO SOTO

SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO

2005

M: 349470



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Dedico este trabajo a la Universidad
Nacional Autónoma de México y en
especial a la Facultad de Estudios
Superiores Aragón,*

*a los profesores de la maestría en economía,
en particular al Dr. José Luis Romo Lozano,
al Dr. César Ramírez, al M. en C. Edilberto
Hernández San Román, al Dr. Ramón
Cruz, al Maestro Edsek Kieft Mulder*

*y con la mayor gratitud a mi
tutora y directora de tesis,
Dra. María Luisa Quintero Soto,
por su invaluable apoyo para
realizar esta empresa académica.*

*Dedico esta tesis a mis amigos
Alejandro, Maribel, Rocio y Marco,
gracias por su amistad, yo les
brindaré la mía por siempre.*

*A mis padres
Luis Ramos Castro y Guadalupe Alvarado de
Ramos, Dios los bendiga y que me siga
concediendo la dicha de tenerlos conmigo,*

*A mi familia
Ivonne mi esposa, gracias por tu
tolerancia y tu amor incondicional,
Ramsés hijo mío, eres la razón de mi vida.
Los amo.*

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 ANTECEDENTES, CONCEPTO Y METODOLOGÍAS PARA LA PLANEACIÓN DEL DESARROLLO SUSTENTABLE	8
1.1 Breve perspectiva general sobre la sociedad actual y los debates en torno al concepto del desarrollo	8
1.2 Antecedentes del enfoque ecológico del desarrollo	14
1.2.1 Bifurcación entre economía y ecología	14
1.2.2 Desarrollo de la conciencia ecológica	15
1.2.3 El desarrollo del enfoque sistémico	16
1.2.4 Reintegración de los enfoques económico y el ecológico	17
1.3 Principios básicos en torno al concepto de desarrollo sustentable y sus metodologías de planeación	19
1.3.1 Definición de conceptos	19
1.3.2 La incertidumbre de la sustentabilidad	20
1.3.3 Metodologías para evaluar la planeación	20
1.4 El Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo como organismo coadyuvante para el desarrollo sustentable	23
CAPITULO 2 CONCEPTOS TEÓRICOS PARA LA MODELACIÓN ECONÓMICO-ECOLÓGICA.	25
2.1 La Economía Ecológica como perspectiva para la modelación ecosistémica	25
2.2 Conceptos básicos relativos a la ciencia ecológica	33
2.2.1 Dinámica del medio ambiente físico	33
2.2.2 Jerarquías ecológicas	36
2.2.3 Dinámica del ecosistema	38
2.2.4 La edafosfera	43
2.2.5 La dinámica de las poblaciones	43
2.3 Técnicas para la modelación ecosistémica	45
2.3.1 El proceso general para la construcción de un modelo sistémico	45
2.3.2 Representación gráfica de la versión conceptual del modelo	49
2.3.3 La estrategia para construir modelos ecosistémicos	55
CAPITULO 3 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO ILIATENCO-BARRANCA DEL ÁGUILA	58

3.1	Condiciones fisiográficas de la zona de estudio	58
3.1.1	Localización	58
3.1.2	Orografía	59
3.1.3	Hidrografía	60
3.1.4	Clima	60
3.1.5	Vegetación	60
3.1.6	Fauna	61
3.2	Características demográficas y socioeconómicas	62
3.2.1	Demografía	62
3.2.2	Datos socioeconómicos	63
3.3	Actividades económicas	65
3.3.1	Agricultura y ganadería	65
3.3.2	Explotación forestal	66
3.3.3	Producción artesanal	66
3.4	Consecuencias de la actividad antropogénica sobre el medio ambiente local de la zona de estudio.	68
CAPITULO 4 EL MODELO, CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS DE SIMULACIÓN		69
4.1	Especificaciones del modelo	69
4.1.1	Definición de objetivos y criterios de validación	69
4.1.2	Fundamentos empíricos y supuestos para la formulación del modelo	70
4.2	Presentación y análisis de resultados de la simulación	81
CONCLUSIONES		91
BIBLIOGRAFÍA		95
ANEXO 1	FIGURAS	98
ANEXO 2	TABLAS	109
ANEXO 3	FOTOGRAFÍAS	117
ÍNDICE DE FIGURAS		129
ÍNDICE DE TABLAS		129
ÍNDICE DE GRAFICAS		130

INTRODUCCIÓN

Los bosques del estado de Guerrero, al igual que los de todo el país, han visto mermada su extensión por procesos de explotación irracional que llevan por lo menos cuatro siglos de duración. Antes de la época colonial también había presión sobre los recursos naturales, aunque el tamaño de la población era suficientemente pequeño para que los límites de recuperación natural no fuesen rebasados. Fue en la época de la colonia cuando se inició la explotación forestal, en zonas localizadas del estado, con la finalidad de extraer madera para utilizarla como fuente de energía en el beneficio de los productos mineros y para fabricar los elementos estructurales del apuntalamiento de los túneles. La extracción de maderas preciosas, para su transporte vía marítima, se realizaba en las zonas cercanas a la costa dada la inexistencia de vías de comunicación para extraerlas de sierra adentro. Adicionalmente el desplazamiento y concentración de los pueblos indígenas hacia las zonas montañosas dio origen a la aplicación intensiva de la técnica conocida como tlacolole¹, la cual aún hoy en día sigue practicándose ampliamente como medio de subsistencia de las comunidades indígenas. Fue este último proceso el que provocó la mayor devastación de los bosques durante el periodo colonial, el posterior a la independencia y el posrevolucionario preindustrial. Por si fuera poco hay que añadir que con la repartición del territorio entre las clases dominantes, mediante los diferentes mecanismos políticos que consigna la historia, se permitió la explotación privada de los recursos naturales. Esto por supuesto con las grandes limitaciones que imponían las dificultades fisiográficas y la carencia de infraestructura, pero sin ningún interés de beneficio social, ni carácter racional. Además la entrada del ferrocarril al estado consumió grandes extensiones forestales, en abrir paso para el mismo, así como en la producción de durmientes y de combustible. Las prácticas de ganadería trashumante, principalmente de especie caprina, también contribuyó a la deforestación acumulada en la época preindustrial.

Posteriormente, a partir de la década de los cuarenta del siglo XX, cuando México inicia su proceso de industrialización, la madera deja de ser básicamente fuente de energía, sino que además y primordialmente, se torna materia prima para la producción industrial. Nuevamente los latifundistas y terratenientes de Guerrero, en alianza con las autoridades políticas del país, se dieron a la tarea de talar los montes de manera intensiva, voraz y sin regulación alguna. La presencia de medios mecanizados para cortar, aserrar y transportar la madera incrementó notablemente los volúmenes de madera extraída con fines comerciales. La

¹ Esta técnica implica el retiro de la cubierta forestal en áreas discontinuas para cultivar maíz en asociación con otros cultivos como frijol y calabaza. En principio los espacios deforestados se aprovechan uno o dos ciclos productivos y se dejan descansar entre cinco y veinte años, según las condiciones fisiográficas, hasta que las características de fertilidad se recuperan en forma natural y pueden volver a utilizarse. La técnica del tlacolole se perfeccionó al grado de facilitar la regeneración natural de los bosques y selvas. Sin embargo, la demanda ejercida por concentraciones poblacionales altas con frecuencia rebasa la capacidad de las áreas forestales para sustentar esta forma de producción.

expansión de las vías de comunicación terrestres obedeció a los procesos de explotación forestal comercial. Esta situación produjo el descontento y la protesta social de la población rural, la que incluso derivó en guerrillas como la de Lucio Cabañas. Fue hasta el sexenio de Díaz Ordaz cuando los principales talamontes fueron expropiados y encima indemnizados para dar paso a los organismos paraestatales creados con la supuesta intención de regular y racionalizar la explotación forestal, pero que en realidad solo perseguían el enriquecimiento y posicionamiento de personajes allegados y familiares del presidente de la república, así como el ejercicio de un control político disfrazado en la zona, mediante la continuación del saqueo de los bosques.

A partir de los sexenios de Salinas de Gortari y de Zedillo y hasta la fecha, con el neoliberalismo económico y político en plena instauración, la explotación forestal con fines comerciales ha quedado, de manera disfrazada, directamente en manos de las empresas madereras privadas. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es el organismo encargado de regular la explotación forestal mediante los denominados *programas de manejo integral forestal*, mediante los cuales, los actuales propietarios de los bosques, campesinos ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, son autorizados a aprovechar sus recursos forestales, con el compromiso de realizar una explotación racional, sustentable y que conlleve el beneficio social de las regiones respectivas. Para emitir los permisos, la SEMARNAT requisita elaborados estudios que incluyen, entre otras cosas, la descripción física y biológica del aprovechamiento, el estudio dasonómico, los programas de extracción, el estudio socioeconómico de los ejidos y los compromisos de reforestación. Estos estudios solo pueden ser realizados por despachos particulares y personal técnico autorizado por la misma SEMARNAT. Este sistema en principio mejoraría las prácticas de aprovechamiento forestal, si fuesen supervisadas de cerca por la entidad reguladora, pero en la práctica no hay tal pues, en apariencia no hay suficientes recursos para ello o existe indiferencia por negligencia o corrupción. La realidad es que los campesinos no poseen medios económicos ni tecnológicos para extraer y comercializar la madera, por lo que optan por vender el recurso en pié, es decir, transfieren el ejercicio de los permisos de aprovechamiento a las empresas madereras, a cambio de una remuneración que es flagrantemente desventajosa. Los estudios requeridos para conceder los permisos son financiados por los empresarios por lo que hay razón para suponer que, actuando en contubernio con los despachos técnicos, los resultados son manipulados y abultados, con lo que la magnitud autorizada para los aprovechamientos suele sobrepasar los límites reales de los bosques. El hecho es que, bajo los programas de aprovechamiento integral forestal y con el aumento en los precios de la madera, durante la última década los volúmenes de extracción se han multiplicado varias veces, en comparación con los tiempos previos. Es de esta manera que los campesinos indígenas, pobladores de las montañas, con la responsabilidad de la explotación racional de sus recursos depositada en sus manos, aunada a las prácticas agrícolas de subsistencia, quedan en apariencia como los principales responsables de la deforestación. Situación por demás injusta.

No existen referencias cuantitativas de la magnitud de los recursos forestales de Guerrero en la época preindustrial. Es a partir de la década de los cuarenta del siglo pasado, cuando el crecimiento económico requirió del gobierno y de los inversionistas un mejor conocimiento de los recursos naturales disponibles. Un primer esfuerzo de cuantificación se realizó con el censo de 1940, en el que se estimó la extensión forestal de Guerrero en dos millones y medio de hectáreas. La diversidad de metodologías y criterios para clasificar y medir la extensión forestal arroja inconsistencias a lo largo del tiempo. Actualmente, según el inventario forestal de 1994, la SEMARNAT estima la extensión forestal en poco menos de dos millones de hectáreas. Sin embargo, Bustamante (2003), cuya investigación publicada inspira los primeros párrafos de esta introducción, considera que el estudio realizado a mediados de los ochenta, con la participación del gobierno mexicano y la Universidad de Helsinki de Finlandia, es hasta la fecha el más creíble y confiable, según el cual Guerrero andaría entonces por los 1.06 millones de hectáreas de cubierta forestal, de las cuales sólo 0.29 millones de hectáreas podrían ser susceptibles de aprovecharse comercialmente. De cualquier forma, la tendencia es a la baja y los estudios más recientes de la SEMARNAT calculan la tasa de deforestación en el sur del país en 0.7% anual. Naturalmente que la cubierta forestal se ha reducido de las tierras más bajas y accesibles a las más altas e inaccesibles, quedando hoy día los últimos bastiones forestales alojados en las zonas más abruptas de la Sierra Madre del Sur.

Esta ha sido, a enormes rasgos la trágica historia de los bosques de Guerrero. Su abatimiento ha contribuido a la crisis ecológica mundial que se vive hoy en día. La desaparición de especies vegetales y animales debilita y atenta contra la estabilidad del ecosistema global. La deforestación redundante en una menor captación de carbono, lo que favorece el efecto de invernadero y el calentamiento global del planeta. Al nivel regional y local los bosques captan y permiten la infiltración del agua que alimenta las corrientes perennes de las que dependen las poblaciones humanas y otros ecosistemas. La deforestación en combinación con el viento y la lluvia erosionan el suelo perdiéndose este valioso recurso. Los escurrimientos superficiales que no son atenuados por la cubierta forestal arrastran el suelo hacia los cuerpos de agua, donde los ecosistemas acuáticos son perturbados y disminuye aun más la disponibilidad del líquido. Estos son solo algunos de los efectos nocivos que la deforestación, en particular la del estado de Guerrero, ha traído consigo. Pero además es de gran importancia señalar que la subsistencia de miles de mexicanos que habitan en el medio rural, depende del consumo de los recursos forestales, ya sea mediante el aprovechamiento de la fertilidad del suelo (cultivo en tlacolole), mediante la extracción de leña como recurso energético, de madera como material de construcción o bien mediante su venta en pie. En las condiciones actuales esto genera un conflicto entre la conservación ambiental o el derecho de la población a subsistir.

El problema planteado en el párrafo anterior ha llevado a organismos como el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) a emprender proyectos que procuren el desarrollo regional sustentable, muy especialmente en los lugares que presentan un mayor estado de conservación. Caso particular es el

Proyecto de Manejo Integrado de Ecosistemas (MIE) en Tres Eco-regiones Prioritarias, el cual busca poner en práctica diferentes procesos de planeación, tomando como base la participación de la población, con el propósito de frenar los procesos de destrucción y contaminación de los sistemas naturales y de hacer más eficiente el manejo de los agrosistemas. Dentro de los principales objetivos ecológicos que persigue el PNUD con el proyecto MIE se encuentra la conservación de la cubierta forestal, mejorar la disponibilidad y la calidad del agua y el mantenimiento de la biodiversidad. Las zonas seleccionadas por el PNUD como focos de intervención para la aplicación del MIE son la Chinantla en Oaxaca, los Tuxtlas en Veracruz y la Montaña en Guerrero. Las tres regiones son montañosas y se distinguen por grandes variaciones locales en altitud, substrato y condiciones microclimáticas. Todas, a su vez, se caracterizan por una biodiversidad excepcional: producto de estos atributos geofísicos. Además, de acuerdo a los índices de marginación que utiliza la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), estas zonas presentan problemas de alta y muy alta marginación.

Definición del problema

En todo proceso de planeación el primer paso consiste en diagnosticar la problemática específica que se desea resolver. Tal es el caso del proyecto MIE del PNUD. El diagnóstico del problema es en sí mismo un problema que se puede abordar por diferentes vías complementarias como por ejemplo: la indagación directa sobre los actores y la medición de variables *in situ*, para su posterior estructuración en conocimiento aprehensible. También se pueden aplicar diferentes metodologías cognoscitivas tales como el análisis reduccionista o el holismo. El problema concreto que se pretende abordar en este trabajo es el de ejemplificar una alternativa metodológica para contribuir al *diagnóstico del problema*, en el contexto concreto del proyecto MIE del PNUD².

Definición del objetivo general

El propósito del presente trabajo de investigación es el de *aplicar el enfoque de la Economía Ecológica mediante la construcción de un modelo económico-ecológico integrado que simule las actividades económicas de la comunidad y el impacto que las primeras tienen sobre los recursos naturales objeto de aprovechamiento*. Dicho ejercicio podría servir como ejemplo de metodología alternativa para el diagnóstico de la situación actual y para la evaluación de las estrategias propuestas como resultado de los procesos de planeación realizados por el MIE.

Durante el periodo en el que se realizó el presente trabajo de investigación, el PNUD se encontraba trabajando en la Montaña de Guerrero, específicamente en las zonas piloto denominadas, la Cañada de Huamuxtlán y los bosques de Iliatenco-Barranca del Águila. La segunda área fue seleccionada como objeto de estudio de este trabajo por considerarse que su estructura económica y ecológica

² En el apartado 1.4 se expone con mayor amplitud el contexto y finalidad del proyecto MIE del PNUD.

es de menor complejidad que la de la primera, lo que facilita la realización de ejercicio de modelación.

Definición de objetivo específico

En concordancia con los objetivos del proyecto MIE del PNUD relacionados con la conservación de la cubierta forestal, el objetivo específico del modelo a construir es el de *estimar la variación en la extensión de la cubierta forestal de la zona de estudio y con ello la tasa de deforestación anual promedio, en función de una estructura sistémica que vincule el crecimiento poblacional de las comunidades y los procesos productivos que realizan estas, con el sistema ecológico que proporciona los recursos naturales necesarios para la producción, para identificar los factores clave que contribuyen al proceso de deforestación en la región de estudio*. Con ello se contribuye al diagnóstico de la problemática que el PNUD desea resolver, ubicando las causas que tienen un mayor impacto y sobre las que se debería centrar la atención.

Metodología seguida para la realización del trabajo de investigación

Para realizar la construcción del modelo objeto de este trabajo fue necesario reforzar los conocimientos teóricos en las siguientes materias:

- Principios que rigen la escuela de la Economía Ecológica.
- Fundamentos de ecología.
- Principios metodológicos del análisis de sistemas.
- Metodología para la construcción de modelos de sistemas dinámicos, en particular de aquellos que se refieren a modelos integrados de ecología y economía.
- Uso del software para la programación y simulación de sistemas dinámicos (se uso el programa Stella).

Este refuerzo de conocimientos se llevó a cabo mediante una revisión de autores clásicos y actuales relativos a cada temática. En el caso del uso de software la investigación se remitió a los manuales correspondientes.

La construcción de un modelo económico-ecológico requiere de un conocimiento descriptivo general del objeto de estudio. Para ello se realizó una investigación documental³ sobre los aspectos geográficos de la zona de estudio, abarcando las características climáticas, geomorfológicas, edafológicas, hidrológicas, demográficas, antropológicas y de las actividades económicas de la población. Se efectuó también una visita de campo para sensibilizar personalmente la correspondencia de la información investigada documentalmente.

Con base en los conocimientos teóricos, metodológicos y monográficos adquiridos se diseñó una versión preliminar del modelo a un nivel conceptual, el cual sirvió de

³ La principal fuente de información documental fue el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como la investigación local realizada por el Programa de Aprovechamiento Integral de los Recursos Naturales (PAIR, 1999).

principio para definir los datos estadísticos necesarios de recabar para estimar los parámetros cuantitativos a utilizar en la versión formal del modelo. Los datos estadísticos y cuantitativos fueron obtenidos por vía documental de investigaciones previas en zonas vecinas a la del objeto de estudio y corroboradas a un nivel cualitativo mediante observaciones de campo. Posteriormente se continuó con la programación y calibración de la versión formal del modelo y su posterior validación con los datos empíricos disponibles. Finalmente se realizaron varias simulaciones registrando gráficamente los efectos, de cambios graduales en las variables involucradas en el modelo, sobre la extensión de la cubierta forestal y se advirtieron los principales hallazgos fruto de esta experimentación.

Descripción del informe escrito

El informe escrito que se presenta expone en su primer capítulo una contextualización que explica la pertinencia del enfoque económico-ecológico y la de los propósitos de esta investigación. En su primer apartado se inicia dando una breve visión general sobre las características distintivas de la sociedad hoy en día, dentro de la cual se inserta la ideología del desarrollo y sus principales debates. En particular interesa saber sobre el concepto del denominado *desarrollo sustentable*, por lo que el segundo apartado del primer capítulo se refiere al origen del enfoque ecológico del desarrollo, abordándolo por el lado de la historia de separación y recuento de la economía y la ecología y lo que tuvo que ver en ello el nacimiento y evolución del enfoque de sistemas. El tercer apartado del primer capítulo continúa con la exposición de algunas de las principales ideas en torno al concepto del *desarrollo sustentable*, haciendo énfasis en la aplicación de la *economía ambiental* y la *economía ecológica* como metodologías de planeación para aproximarse al mismo. El apartado final del primer capítulo ahonda en mayores detalles sobre el proyecto MIE del PNUD.

El segundo capítulo exhibe de manera sintética los conceptos teóricos básicos que es necesario conocer y manejar para realizar un ejercicio de modelación económico-ecológica integrada. En primer lugar se abordan las ideas elementales en torno al enfoque de la Economía Ecológica, que permiten ubicar a los modelos sistémicos dinámicos como una herramienta de análisis apropiada para esta filosofía. En segundo lugar, el capítulo dos expone los conceptos básicos relativos a la ciencia ecológica necesarios para contar con una formación menos profana en el aspecto ecológico a modelar. En tercer sitio se describen las bases teóricas y técnicas para la construcción de modelos sistémicos dinámicos y en particular los de carácter económico-ecológico.

El tercer capítulo entra en materia de la investigación con la caracterización de la zona de estudio abarcando los aspectos de tipo geográfico, sociodemográficos y económicos que sirven de base para proponer la estructura cualitativa y cuantitativa del modelo a construir.

El cuarto y último capítulo sirve para puntualizar las características específicas que darán forma a la estructura del modelo, así como los criterios empíricos y supuestos que deberá cumplir. Esto es, se definen los resultados específicos que

se obtendrán de la simulación del modelo, los criterios de validación del mismo, las agregaciones y simplificaciones consideradas, las regresiones realizadas para ajustar algunos de los parámetros empleados en la estructuración del modelo, la especificación de datos empleados ya sean supuestos u obtenidos de alguna fuente. Se expone una versión simbólica cualitativa de la estructura propuesta para el modelo y finalmente se presentan los resultados obtenidos con la simulación así como su respectivo análisis y comentarios.

Como último apartado del documento se presentan las conclusiones de la investigación, donde se comenta de manera sintética el conocimiento adquirido o ratificado y se recapitula brevemente la temática contextual del trabajo.

CAPITULO 1 ANTECEDENTES, CONCEPTO Y METODOLOGÍAS PARA LA PLANEACIÓN DEL DESARROLLO SUSTENTABLE

La intención del presente capítulo es ubicar la pertinencia del enfoque económico ecológico y la de los propósitos de esta investigación. La necesidad de políticas públicas que procuren aliviar la desigualdad y la exclusión social en la que viven miles de millones de seres humanos en países enteros, se aborda en el primer apartado "Breve perspectiva general sobre la sociedad actual y los debates en torno al concepto del desarrollo", refiriéndose al nuevo auge del capitalismo basado en el fenómeno de la globalización, facilitado por el surgimiento de una *sociedad informacional*, con la consecuente agudización de la explotación humana y la ampliación de la brecha entre los países llamados *desarrollados* y *subdesarrollados*. Dicha brecha busca ser disminuida inoculando desde el exterior tecnologías y modos de producción que supuestamente elevarían el estado de desarrollo del país receptor. Dicha suposición es revisada brevemente en este apartado. Uno de los enfoques del concepto de desarrollo considera que este no se puede dissociar del entorno ambiental, por lo que el segundo apartado revisa con mayor detenimiento los antecedentes del enfoque ecológico del desarrollo, desde la perspectiva de la bifurcación y posterior reunificación de las ciencias económica y ecológica. Uno de los frutos del enfoque ecológico del desarrollo es el denominado *desarrollo sustentable*, el tercer apartado de este capítulo revisa algunas de las principales ideas relativas a este tema en asociación con los enfoques teórico de la Economía Ambiental y la Economía ecológica, consideradas como metodologías de evaluación de las estrategias para el *desarrollo sustentable*. Finalmente el cuarto apartado "El Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo como organismo coadyuvante para el desarrollo sustentable" ilustra con mayor detenimiento la finalidad y características del proyecto del PNUD con respecto al cual se pretende construir el modelo objeto de este trabajo de investigación.

1.1 Breve perspectiva general sobre la sociedad actual⁴ y los debates en torno al concepto del desarrollo⁵

Conviene iniciar este trabajo estableciendo una referencia hacia el tipo de sociedad en la que vivimos actualmente, delineando a muy grandes rasgos sus principales características. Hoy día prevalece la denominada sociedad informacional. Esta denominación es una analogía al concepto de sociedad

⁴ El material empleado para armar esta parte del apartado 1.1 corresponde principalmente a Castell (1999).

⁵ El material empleado para armar esta parte del apartado 1.1 corresponde principalmente a Viola (2000).

industrial. Si la sociedad y su tecnología se determinan entre sí⁶, entonces la tecnología que se enfoca a combinar y transformar la energía contenida en los recursos naturales, el capital y el trabajo, para producir mercancías, determina una sociedad industrial. Mientras que la tecnología que utiliza información, para producir información, establece una sociedad informacional. Es la presencia de la tecnología de la información⁷ la que define las características sociales, económicas, políticas y culturales que prevalecen en la sociedad actual.

Es gracias al desarrollo de la tecnología de la información que el sistema capitalista ha tomado un nuevo aire a fines del siglo XX. Las dos revoluciones industriales⁸, indujeron cambios sin precedentes en la productividad y permitieron el crecimiento del capitalismo hasta alcanzar un tope a mediados de los años setenta, cuando la crisis energética y la inflación descontrolada amenazaban con colapsar al sistema capitalista, éste se reconfiguró a sí mismo mediante procesos de privatización, desregulación del comercio internacional, desmantelamiento del contrato social entre el capital y la mano de obra, disgregación geográfica y flexibilización de los procesos productivos, así como la integración de los mercados financieros globales. Dicha reconfiguración, conocida como *globalización*, no hubiese sido posible sin una revolución informática⁹ que produjese una tecnología que permitiera el flujo y procesamiento de información alrededor del mundo. Así pues, la sociedad informacional se caracteriza por ser globalizada y por ende por una minimización de la importancia de la soberanía económica de los países, sustituida por un conjunto de instituciones internacionales¹⁰ que dictan y promueven las políticas en torno a dicha globalización.

⁶ Ya que "la tecnología (o su carencia) plasma la capacidad de las sociedades para transformarse" (Castell, 1999: 33)

⁷ La tecnología de la información usa ésta como materia prima y su producto, a su vez, es más y mejor información. Se revoluciona así misma continuamente y velozmente. Abarca los sistemas que permiten el procesamiento de datos (hardware y software), así como los sistemas de interconectividad y la integración con la tecnología de telecomunicaciones que permiten el flujo de información a nivel local y alrededor del mundo. Incluye incluso a la biotecnología, ya que esta implica el desciframiento de la información genética.

⁸ La primera revolución industrial tuvo lugar en el último tercio del siglo XVIII, se caracterizó por la introducción de la máquina de vapor y en general por la sustitución de las herramientas por máquinas. La segunda se suscitó cien años después con la aplicación de la electricidad y la combustión interna a los motores, así como la invención del telégrafo y el teléfono. Se manifestaron como una expansión de las capacidades físicas del hombre para explotar a la naturaleza y al hombre mismo.

⁹ La revolución informática comenzó a gestarse a mediados del siglo XX pero su carácter revolucionario se dio a finales del mismo siglo, continúa hoy en día y se ha manifestado como una expansión de las capacidades mentales del hombre, que a su vez derivan en un incremento de la productividad física.

¹⁰ Tales como la Organización Mundial de Comercio (OMC), la Organización de Cooperación y Desarrollo Europeo (OCDE), el Fondo Monetario Internacional (FMI), El Banco Mundial (BM), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO por sus siglas en inglés), etcétera.

La globalización de la economía facilitada por la tecnología de la información acentúa las características propias del capitalismo tales como la desigualdad y la exclusión social, dándoles un formato específico. En éste caso, por ejemplo, una nueva fuente de inequidad se debe a que el acceso a la tecnología no es uniforme ni dentro de los países ni entre ellos:

Las poblaciones y territorios desprovistos de valor e interés para la dinámica del capitalismo global fueron desconectados de las redes del capital, trabajo, información y mercados. Ello produjo exclusión social e irrelevancia económica de segmentos de sociedades, áreas de ciudades, regiones y países enteros (Castell, 1999: 371).

En la versión informacional del capitalismo se caracteriza a la sociedad que lo sustenta por una atomización de las actividades laborales, lo cual deteriora aun más las posibilidades de la clase trabajadora de luchar por su bienestar:

El nuevo sistema se caracteriza por una tendencia a aumentar la desigualdad y la polarización sociales, a saber, el crecimiento simultáneo tanto del vértice como de la base de la escala social. Ello obedece a los tres siguientes factores: a) una diferenciación fundamental entre trabajo autoprogamable y altamente productivo, y trabajo genérico prescindible; b) la individualización del trabajo, que socava su organización colectiva, con lo que los sectores más débiles de la mano de obra quedan abandonados a su suerte; y c) la desaparición gradual del Estado de bienestar bajo el impacto de la individualización del trabajo, la globalización de la economía y la deslegitimación del Estado, privando así de una red de seguridad a la gente que no puede alcanzarla de forma individual (Castell, 1999: 378).

Con las nuevas modalidades organizativas del trabajo, los trabajadores de la clase media requieren de una gran capacidad de adaptación, según las formas de contratación y a las necesidades de permanente actualización, para no caer en la categoría de trabajador *genérico*, la cual tiene mayores desventajas en la escala social:

La flexibilidad, expresada desde el punto de vista organizativo por la empresa red, requiere trabajadores en red y a tiempo flexible, así como una amplia gama de relaciones laborales, incluidos el autoempleo y la subcontratación recíproca. La geometría variable de estas relaciones laborales conduce a la descentralización coordinada del trabajo y a su individualización (Castell, 1999: 376):

...los individuos que no pueden mantener la actualización constante de su cualificación y se quedan atrás en la carrera competitiva, se convierten en candidatos a la expulsión de esa "clase media" menguante que constituyó la fortaleza de las sociedades capitalistas durante la era industrial. Así los procesos de exclusión social no sólo afectan a los "miserables", sino a aquellos individuos y categorías sociales que construyen sus vidas en una lucha constante para evitar caer en un submundo estigmatizado de trabajo degradado y personas socialmente disminuidas (Castell, 1999: 379).

La inestabilidad es una característica distintiva de los empleos que se ofrecen en la economía globalizada:

...la masa de trabajadores genéricos en una variedad de puestos de trabajo, cada vez más ocasionales, con mucha discontinuidad. Así que millones de personas están dentro y fuera

del trabajo remunerado, participando a menudo en actividades informales y, en algunos casos, en los niveles más bajos de la economía criminal (Castell, 1999: 379).

Las relaciones de poder entre los seres humanos, institucionalizadas por la figura del Estado, se han caracterizado por el deterioro de la soberanía y la inestabilidad:

La principal transformación concierne a la crisis del Estado-nación como entidad soberana y la crisis relacionada de la democracia política, según se construyó en los dos últimos siglos... Puesto que la democracia representativa se basa en la idea de un estado soberano, el desdibujamiento de las fronteras de la soberanía conduce a la incertidumbre en el proceso de delegación de la voluntad del pueblo (Castell, 1999: 380).

Ya no existen relaciones de poder estables. Sin embargo, sí hay élites de poder, es decir, élites formadas durante su mandato, usualmente breve, en el que aprovechan su posición política privilegiada para obtener un acceso más estable a los recursos materiales y las conexiones sociales (<biblio>).

En el ámbito de la conducta humana, el proceso de reafirmación del capitalismo ha provocado cambios relevantes en la forma de relacionarse de las personas, en su lucha en contra de la desintegración familiar:

La transformación de las relaciones de experiencia gira sobre todo en torno a la crisis del patriarcado, en las raíces de una profunda redefinición de la familia, las relaciones de género, la sexualidad y, por consiguiente, la personalidad... El futuro de la familia es incierto, pero el futuro del patriarcado, no: sólo puede sobrevivir bajo la protección de estados autoritarios y fundamentalismos religiosos... Veo también señales de recomposición de la familia, ya que millones de hombres parecen estar dispuestos a renunciar a sus privilegios y a trabajar junto a las mujeres para encontrar nuevas formas de amar, compartir la vida y tener hijos... Hoy día las personas producen formas de sociabilidad, en lugar de seguir modelos de conducta (Castell, 1999: 382).

Paradójicamente y por fortuna, en forma paralela al crecimiento e intensificación del sistema capitalista en el mundo, ha incrementado la preocupación humana por combatir su propia miseria, ya que, contradictoriamente a la insultante acumulación de la riqueza material por una diminuta minoría, la gran mayoría de la población del planeta vive en condiciones deplorables e indignantes para la raza humana en su conjunto. Dicha preocupación tomó una forma específica a partir del fin de la Segunda Guerra Mundial, la cual fue y sigue siendo la búsqueda del *desarrollo*.

En un principio, el *desarrollo* fue concebido, por los países poderosos, cuyo nivel de consumo material era y es desproporcionadamente superior al del resto del mundo, como el estado de condiciones económicas, sociales, políticas y culturales que los caracterizaban. Por consiguiente, los países con cualidades diferentes (inferiores) eran catalogados por oposición como subdesarrollados. Estableciéndose así, como misión *lógica* de estos últimos, el alcanzar el mismo estado de *desarrollo* que los primeros. Este concepto de desarrollo es conocido como la *ideología de la modernización*, cuyo punto de partida se considera es el discurso de Truman del 20 de enero de 1949:

Más de la mitad de la población mundial está viviendo en condiciones próximas a la miseria. Su alimentación es inadecuada, son víctimas de la desnutrición. Su vida económica es primitiva y miserable. Su pobreza es un hándicap y una amenaza, tanto para ellos como para las regiones más prósperas. Por primera vez en la historia, la humanidad posee el conocimiento y la técnica para aliviar el sufrimiento de esas poblaciones. Estados Unidos ocupa un lugar preeminente entre las naciones en cuanto al desarrollo de las técnicas industriales y científicas. Los recursos materiales que podemos permitirnos utilizar para asistir a otros países son limitados. Pero nuestros recursos en conocimiento técnico, que físicamente no pesan nada, no dejan de crecer y son inagotables. Yo creo que debemos poner a la disposición de los pueblos pacíficos los beneficios de nuestra acumulación de conocimiento técnico con el propósito de ayudarles a satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor (...). Lo que estoy contemplando es un programa de desarrollo basado en los conceptos de una negociación equitativa y democrática donde todos los países, incluido el nuestro, obtendrán un gran provecho de un programa constructivo que permitirá utilizar mejor los recursos humanos y naturales del planeta. Una mayor producción es la clave para la prosperidad y la paz. Y la clave para una mayor producción es una aplicación, más extensa y más vigorosa del conocimiento técnico y de la ciencia moderna...¹¹

Por lo general se ha considerado que el desigual estado de desarrollo de las naciones, según al paradigma de la modernidad, no se debe a un proceso histórico conjunto, sino a causas endógenas de cada país. Bajo esta concepción, se cree que el proceso de desarrollo se puede inocular desde el exterior a todas aquellas regiones que lo necesiten. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que ninguna nación originalmente subdesarrollada ha logrado cruzar el umbral de la modernidad e incluso la distancia para llegar a dicho estado se hace cada vez mayor.

Ante la evidente ineficacia del paradigma modernista, el estudio del desarrollo ha evolucionado en diferentes dimensiones buscando la solución a los problemas que dicha corriente no ha conseguido remediar. Viola (2000) señala que *las principales causas del fracaso de tantos y tantos proyectos de desarrollo en el Tercer Mundo fue su escasa adecuación al marco cultural de las poblaciones destinatarias. Dicho fenómeno ha estimulado reflexiones teóricas, siendo innumerables las publicaciones que durante la última década han tratado de aportar nueva luz sobre las profundas y complejas relaciones entre cultura y desarrollo.* La dimensión cultural del desarrollo pone de manifiesto la importancia de un enfoque antropológico cuando se trata de diseñar el estado deseado al que aspira evolucionar un determinado grupo humano y las estrategias viables para su consecución. En otras palabras, debe respetarse la libertad de autodeterminación de los grupos sociales y conceder el derecho y la tolerancia a la diversidad cultural y la apertura a un intercambio de la misma que favorezca el progreso real de la humanidad.

Por otra parte, el fracaso de la idea de uniformizar el estado de desarrollo en el mundo entero, entendido como un estado de industrialización (y ahora de informatización), así como la aparición de pruebas indudables del deterioro

¹¹ Este es un segmento del discurso del presidente Truman de los Estados Unidos el 20 de enero de 1949. Dicha reproducción fue hecha por Rist (1996) quien es citado por Viola (2000:).

ambiental a escala global¹², han inducido la duda sobre los límites de consumo material a los que puede aspirar el hombre. Este problema es abordado por el enfoque ecológico del desarrollo. Dentro de esta perspectiva se encuentra el denominado *desarrollo sustentable*. Este concepto plantea la factibilidad de buscar el crecimiento económico y la erradicación de la pobreza, siempre y cuando se haga un uso racional de los recursos naturales que garantice el cumplimiento de la obligación moral que constituye garantizar que las generaciones futuras cuenten con la misma calidad ambiental y disponibilidad de recursos naturales que en las generaciones presentes. De hecho la noción original del desarrollo sustentable, emitida por el llamado informe Brundtland de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1987, consideraba que la causa fundamental del deterioro ambiental es la pobreza y la falta de crecimiento económico. Al respecto de la preservación del medio ambiente como condición *sine qua non* para el desarrollo, cualquiera que sea la interpretación para este último, Viola (2000:) cita a Guha (1994) quien identifica *la existencia de un "ecologismo de los pobres" que a diferencia del "ecologismo de la abundancia" de las clases medias de los países del Norte, defiende la naturaleza en tanto que fuente de recursos vitales para su subsistencia, uniendo a la demanda de sostenibilidad ecológica un importante componente de justicia social. Esta concepción de la ecología contrasta con la de la tendencia más fundamentalista del ambientalismo del Norte, conocida como la "Deep Ecology", que promueve la veneración de una naturaleza prístina, cuya conservación a ultranza se prioriza por delante de la propia supervivencia de los seres humanos (sobre todo, si estos son pobres y tercermundistas).*

Otro enfoque relevante del desarrollo es el que se refiere a la perspectiva del *género*. Varios debates tienen lugar en torno a él. Uno de ellos consiste en la discusión relativa a si la mujer tan sólo empieza a ser integrada al proceso de desarrollo mediante su incorporación a actividades productivas, con retribución remunerada, o si siempre ha participado mediante actividades domésticas y de formación de la familia, que son actividades no remuneradas pero igualmente esenciales para el desarrollo. Planteado de otra forma, el análisis es en torno a la cuestión de si la causa del subdesarrollo de la mujer es la insuficiente e inadecuada participación de ésta en el proceso de desarrollo, o más bien su forzada y asimétrica intervención, en una sociedad androcéntrica, en la que tiene que soportar los costos sin participar de los beneficios. Un segundo abordaje del tema es el discurso feminista de las mujeres de los países del Norte, el cual estereotipa y critica la imagen de la mujer del Tercer Mundo sin considerar la concepción que ésta tiene de sí misma. Un tercer aspecto que tiene una creciente atención es el papel que las organizaciones de mujeres desempeñan en el proceso de desarrollo, sirviendo como canal para el abastecimiento de bienes y servicios hacia los grupos más necesitados. Este enfoque continúa percibiendo a las mujeres como sujetos receptores del desarrollo y no como partícipes de él.

¹² Las principales evidencias de la proximidad del umbral de los límites del medio ambiente son : 1) la proporción de apropiación humana, directa e indirecta, de la biomasa que produce la biosfera vía la fotosíntesis, es superior al 40%; 2) el cambio climático; 3) la ruptura de la capa de ozono; 4) la degradación de los suelos y 5) la pérdida de biodiversidad, entre otras (Costanza, 1999).

El aspecto de la salud es otra dimensión importante del desarrollo sujeta a debate. El enfoque del modernismo sugiere que toda la población del mundo debiera recibir el servicio de la avanzada medicina occidental. Sin embargo, se siguen perdiendo de vista las condiciones culturales de cada grupo humano, ya que por lo general existe una etnomedicina, terapias de origen local y aún percepciones sicosociales del enfermo y el grupo social que lo rodea, las cuales debieran ser consideradas para una mejor adaptación y asimilación de la medicina tradicional occidental.

Por lo que respecta al proceso de desarrollo en el campo, el fracaso del intento de implantación del modelo de producción agrícola de los países del Norte, el cual no necesariamente responde a las condiciones biofísicas propias de cada región y localidad, sin mencionar las características culturales de sus poblaciones. Generalmente no existe una compatibilidad entre la moderna tecnología de la agricultura y la sabiduría local, que normalmente está mejor adaptada a las condiciones propias del lugar. Nuevamente se comete el error de tratar de inocular el desarrollo desde fuera, en lugar de promover la participación activa de los miembros de las comunidades en su autodeterminación.

1.2 Antecedentes del enfoque ecológico del desarrollo

Como se vio en el apartado anterior, el concepto del desarrollo sustentable nace dentro del enfoque ecológico del desarrollo. Para comprender mejor como surge este enfoque conviene revisar algunos antecedentes tales como la separación entre la ciencia económica y la ecología, el surgimiento y avance en la teoría de sistemas que contribuyó al desarrollo de la conciencia ecológica y la necesaria reintegración entre ambas disciplinas.

1.2.1 Bifurcación entre economía y ecología

Naredo (2001) señala que en el siglo XVIII los economistas franceses, hoy conocidos como fisiócratas, fueron los primeros en reconocer un vínculo entre los procesos de producción económica y la naturaleza, *... los fisiócratas trataron de conciliar sus reflexiones sobre los valores venales o pecuniarios, con esa economía de la naturaleza que extendía su objeto de estudio a toda la biosfera y los recursos. Estos autores propusieron así una síntesis entre crematología y economía de la naturaleza, tratando de orientar la gestión con unos principios de la economía monetaria acordes con las leyes del mundo físico (de ahí su posterior calificación como fisiócratas)...* Sin embargo, la idea de la supeditación del crecimiento económico al entorno físico fue perdiendo popularidad al comprobarse científicamente que *la tierra no crecía* y que el horizonte a la vista era el de un estado estacionario. Gradualmente, desde los economistas clásicos, se fue

perdiendo el nexo entre el estudio de la naturaleza y economía hasta que este divorcio alcanzó su máxima expresión con la llamada economía neoclásica o tradicional: *Serían los economistas llamados neoclásicos de finales del siglo XIX y principios del XX, los que acabaron vaciando de materialidad la noción de producción y separando ya por completo el razonamiento económico del mundo físico, complementando así la ruptura epistemológica que supuso desplazar la idea de sistema económico, con su carrusel de la producción y el crecimiento, al mero campo del valor...* (Naredo, 2001: párrafo 10).

Se creó así una bifurcación entre el estudio de la actividad humana creadora de valor, cuya protagonista es la economía tradicional, y el estudio de la biosfera y de los recursos naturales, cuya actriz principal es la ecología. El único nexo que siguió existiendo entre la economía y las ciencias naturales, en particular con la física, fue la analogía en el método de investigación. Al igual que la física clásica, la economía tradicional busca descubrir las leyes que rigen el comportamiento de las variables económicas y definir las ecuaciones matemáticas que las describen, siguiendo un enfoque analítico, investigando por separado cada uno de los fenómenos para después tratar de integrar el cúmulo de conocimientos. Para ello fue necesario realizar abstracciones de la realidad formulando supuestos que simplificasen el desarrollo de relaciones matemáticas coherentes; algo similar a la ejecución de experimentos físicos, regulando las variables que no interesan en el estudio. Por su parte las ciencias biológicas también siguieron la misma filosofía de investigación que la Física.

Así, el enfoque de investigación analítico produjo y continúa produciendo, tanto en la ciencia económica como en las naturales un legado de conocimientos esenciales y vigentes. Sin embargo, al paso del tiempo, conforme el estudio de los objetos comenzó a requerir el considerar su verdadera complejidad, esta metodología de investigación se volvió insuficiente y parcelaria.

1.2.2 Desarrollo de la conciencia ecológica

Desde mediados del siglo pasado empezó a tomar auge la conciencia ecológica en el mundo. Naredo (2001) relaciona las publicaciones de mayor impacto que hicieron voltear al mundo hacia la problemática ambiental: en las décadas de los 40as y 50as se publicaron libros como *Man's role in changing the face of the earth* e *International union for the conservation of nature*, en los 60's se publicó *The economics of the spaceship earth* de Boulding. En los 70as destacaron informes como *The limits of the growth* que subraya la inviabilidad del crecimiento permanente de la población y de sus consumos, programas como *Man and biosphere* que trataba de asociar la conservación a la gestión económica y la reducción de la pobreza que aquejaba a buena parte de la humanidad, conferencia "El medio humano" realizada por la Organización de Naciones Unidas (ONU) que subrayó la necesidad de modificar las tendencias al deterioro ecológico global y promovió el lanzamiento del PNUMA, libros como *Environment, power and*

society y *Energy basis for man and nature* de Odum, el informe *The global 2000* hecho para el presidente Carter de los Estados Unidos en el que se corroboran los pronósticos de publicaciones anteriores y se prevé el deterioro de los suelos, el aumento de la deforestación y la desnutrición, las enfermedades y los conflictos y se advierte que se agota el tiempo para tomar medidas al respecto. Las crisis energéticas de los 70as también contribuyeron al desarrollo de la conciencia ecológica. En la década de los 80as aparece el informe Brundtland: *Our common future*. Durante la década de los 90as el auge de la conciencia ecológica continúa pero toma un cariz diferente, ejemplo de ello es el segundo informe *Beyond the limits*, cuyos autores, a pesar de que los estudios evidenciaban una situación cada vez peor, decidieron obscurecer la realidad mediante la confusión de los conceptos de crecimiento y desarrollo: *si bien el crecimiento tiene límites, el desarrollo no tiene por que tenerlos*. En esta publicación se pretende *clarificar las condiciones bajo las cuales el crecimiento sostenido, un medio ambiente limpio e ingresos equitativos pueden ser organizados* (Naredo, 2001). Esta es una condición fundamental para el concepto de *desarrollo sostenible*.

El progreso de esta conciencia creó en los científicos la inquietud de retomar el estudio del medio ambiente y de la actividad antropogénica de una manera holística.

1.2.3 El desarrollo del enfoque sistémico

El florecimiento de la conciencia ecológica tuvo como condición catalizadora el surgimiento de una nueva manera de abordar y aprehender a la realidad. Dicha perspectiva se origina con la noción de sistema. Veniamin, *et. al.*, (2002) nos ilustran brevemente acerca del origen de este concepto:

La teoría general de sistemas fue desarrollada entre 1930 y 1960 por Ludwig von Bertalanffy en conexión directa con sus investigadores de biología. Desde un punto de vista filosófico, no estaba satisfecho con el enfoque predominante hacia finales de los 20as: el mecanicismo, por una deficiencia en su lógica para la explicación de fenómenos naturales, y el vitalismo porque le parecía una visión del mundo irracional durante el curso de sus estudios. Bertalanffy se embarcó en la formulación de una biología teórica sobre la base de las ideas de organismos mediante la combinación del concepto de totalidad (inherente en el vitalismo, pero con un significado diferente) la prioridad de las propiedades integrales de un sistema sobre las propiedades de sus componentes y el aparato analítico de la termodinámica estadística (inherente en el mecanicismo), por ello haciendo posible describir e integrar las propiedades de la agregación de los objetos. Este enfoque catalizador le permitió primero formular la teoría de los sistemas abiertos en los 30as y luego a finales de los 40as e inicios de los 50as, seguir adelante con un programa para la construcción de una teoría general de los sistemas. Además de la búsqueda pragmática de los objetivos de su estudio de los objetos biológicos, los que probablemente eran su interés principal, Bertalanffy puso considerable atención a la comprensión filosófica de un nuevo enfoque. La filosofía de sistemas y el principio de sistemas formaron la parte medular de este nuevo enfoque Veniamin, *et. al.*, (2002).¹³

¹³ Traducción propia.

Una analogía funcional con instrumentos que nos permiten explorar aquello que está fuera de nuestro alcance, nos ilustra sobre el enfoque sistémico: el microscopio y el telescopio son los utensilios que nos permiten observar lo infinitamente pequeño y lo infinitamente lejano respectivamente, y el macroscopio (el enfoque sistémico) es el instrumento que nos permite observar y comprender lo infinitamente complejo (Rosnay, 1979). Por ello desde entonces, cuando se pretende estudiar un objeto compuesto de innumerables variables dependientes todas entre sí, la aplicación de la teoría de sistemas es una alternativa apropiada. Esta nueva filosofía que consistía en concebir al mundo y a la realidad como sistemas, facilitó el reconocimiento de las relaciones e influencias mutuas entre todas las entidades componentes del medio ambiente natural y la actividad antropogénica, entre la dinámica económica y la biosfera. Los primeros esfuerzos por modelar los ecosistemas con la interacción del hombre, datan de la década de los 70as cuando un grupo de científicos encabezado por Howard Odum, Kenneth Watt, George Van Dyne, y varios más definieron los principios básicos para modelar y simular sistemas biológicos abarcando desde su representación conceptual hasta su traducción a lenguaje matemático. Establecieron los esquemas fundamentales de circulación de materia y energía. Especificaron estrategias para construir y validar modelos conceptual y matemáticamente. También se plantearon por primera vez modelos que representaban al ecosistema global incluyendo a la economía como subsistema.

Han crecido los rangos de aplicación y se ha ampliado el acervo teórico en la materia pero la filosofía de sistemas continúa siendo esencialmente la misma hasta la actualidad. Sin embargo, los avances en la tecnología informática y el desarrollo de algoritmos matemáticos que hacen más eficiente el uso de las computadoras, han incrementado sustancialmente la posibilidad de modelar sistemas cada vez más complejos e integrales, hasta llegar incluso a la modelación global del planeta.

1.2.4 Reintegración de los enfoques económico y el ecológico

El relativamente reciente auge de la conciencia ecológica ha movido la inquietud de los teóricos y analistas para reintegrar los conceptos de economía y ecología. Las dos principales orientaciones teóricas que ha seguido esta reintegración son la economía ambiental y la economía ecológica. Ambas son disciplinas que relacionan economía y ecología pero desde un punto de vista filosófico diferente. La economía llamada ambiental tiende a incorporar las cuestiones de gestión de la naturaleza, como externalidades, hacia el interior del marco de análisis de la economía ordinaria. Dicho de otra forma la economía ambiental consiste en la extensión del instrumental teórico analítico de la economía ordinaria sobre el proceso de administración del medio ambiente, razonando en términos de precios, costos y beneficios totales, reales o simulados, (Naredo, 2001). Por otro lado, la economía ecológica consiste en el reconocimiento del proceso económico como parte integrante del ecosistema global, no como algo externo que se puede medir

en términos del enfoque ecológico, sino como elemento interactivo con un entorno natural de dimensiones y capacidades limitadas. En el Cuadro 1.1 se resumen las principales diferencias entre la economía neoclásica y la economía ecológica.

Cuadro 1.1 Comparativa de puntos de vista de la Economía Neoclásica y la Economía Ecológica.

Economía neoclásica	Economía ecológica
La piedra angular es la maximización de la utilidad económica a corto plazo	La maximización de la utilidad económica está subordinada a las restricciones biológicas de largo plazo, tales como: la capacidad de los sistemas naturales de asimilar residuos, preocupaciones éticas sobre las generaciones futuras (igualdad intergeneracional), la supervivencia de especies no humanas (biodiversidad)
La economía neoclásica se basa en una visión antropocéntrica de la economía.	La economía ecológica se basa en una visión ecocéntrica o biocéntrica de los ecosistemas y en la inclusión de la economía como un subsistema.
Asume que los recursos naturales no son una restricción para el crecimiento económico a causa de un ilimitado potencial de innovación tecnológica y la sustitución del capital natural por capital manufacturero.	Reconoce que las innovaciones casi siempre implican un uso más intensivo de los recursos naturales y una mayor degradación ambiental, y que el capital manufacturero y el natural son complementarios en lugar de sustitutos.
La teoría neoclásica determina la escala óptima en términos del tamaño físico de las instalaciones elegidas por la firma.	El segundo mayor objetivo de la economía ecológica es mantener la sostenibilidad a largo plazo del sistema ecológico-económico integrado. El logro de esta meta requiere de la determinación de la escala óptima de la economía con relación al ecosistema y la implementación de políticas e instituciones que mantengan esa escala.
La economía neoclásica promueve el crecimiento de la economía y respalda la maximización del producto, lo que implica la maximización del flujo de materia y energía a través del sistema económico.	La economía ecológica pretende mantener la escala óptima de la economía y para ello es necesario minimizar el flujo de materia y energía que pasa a través del sistema económico.

Fuente: Tabla de elaboración propia con información de Prato (2002).

Conviene señalar que, tal como lo considera Naredo (2001), estas corrientes, cuya filosofía reconoce la importancia de tratar conjuntamente los enfoques económico, ecológico y ambiental, se han limitado al campo académico y de investigación. Pero su mayor explotación ha sido la de enriquecer el discurso político y el de crear pantallas virtuales que aparentan una reconciliación real entre la economía tradicional y la ecología. Hasta ahora no ha habido una labor real, concreta y unánime en pro de modificar de tajo la conducta del hombre sobre la tierra. Así pues continúan imperando las directrices de la economía tradicional. Por ello es necesario que las facciones concientes y preocupadas por nuestro futuro como especie, respalden la investigación que fundamente cada vez con mayor fuerza la necesidad de virar el cauce del río que nos lleva a nuestro irremediable destino.

1.3 Principios básicos en torno al concepto de desarrollo sustentable y sus metodologías de planeación

1.3.1 Definición de conceptos

Como se vio anteriormente, el estado de desarrollo de una nación, región o localidad, puede expresarse como el nivel o grado de optimación de un conjunto de condiciones económicas, sociales, políticas y culturales deseables para la población, según su propia visión del mundo. Hasta ahora el hombre sigue utilizando el crecimiento económico como estrategia para alcanzar el estado de desarrollo. Dicho objetivo no se ha alcanzado a plenitud en ningún lugar del mundo, pero lo que sí se ha logrado es un deterioro grave del medio ambiente, al grado de que se vislumbran riesgos para la vida en el planeta. Si se desea alcanzar, mantener y en su caso mejorar continuamente el estado desarrollo, para las generaciones presentes y futuras, el proceso para lograrlo debe ser compatible con un mantenimiento de las condiciones y funciones del medio ambiente, que son necesarias para la vida, lo que implica también una disponibilidad suficiente de recursos naturales para su consumo y utilización por parte el sistema económico. Esto probablemente implique el replanteamiento de las aspiraciones de progreso económico del hombre. Esta idea es la que ha dado en llamarse desarrollo sustentable (Corona, 2000).

La primera definición formal del concepto se emitió por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1987, en el informe Brundtland, conocido así por el apellido de la presidenta de la comisión, y menciona que *las rutas del progreso humano que satisfacen las necesidades y aspiraciones de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades.*

La definición de Costanza *et. al.*, (1991) para el concepto de sustentabilidad dice que:

... es una relación entre sistemas económicos humanos y sistemas dinámicos mayores pero que cambian más lentamente, en donde 1) la vida humana puede continuar indefinidamente, 2) los humanos pueden florecer, y 3) pueden desarrollarse culturas humanas; pero en donde los efectos de las actividades humanas permanecen dentro de límites, de manera de no destruir la diversidad, complejidad y función del sistema de soporte de la vida ecológica.

Así, en el concepto del desarrollo sustentable, el desarrollo es la meta y el carácter de sustentable sugiere las reglas del juego, cuya observancia no es opcional. Una vez definidas las metas y las reglas, el gran problema consiste en diseñar las estrategias apropiadas para cumplir con los objetivos. Si no se tiene una buena comprensión del sistema ecológico y se carece de la capacidad para percibir su potencial evolución, bastante más allá de su estado actual, entonces será extremadamente difícil saber si con la implementación de determinadas políticas tendientes a lograr la sustentabilidad puede confiarse en que ésta será lograda de hecho. Por desgracia, la carencia de conocimiento parece ser precisamente la situación prevaleciente. La complejidad del sistema ecológico y de sus

interrelaciones con la actividad humana es ilimitada. Aunque la ciencia ha logrado cierto grado de conocimiento, existe la incertidumbre sobre si ya se han sembrado las semillas de la insostenibilidad (Corona, 2000).

1.3.2 La incertidumbre de la sustentabilidad

Corona (2000) señala que los esfuerzos por atenuar el problema de la incertidumbre de la sustentabilidad, han conducido al desarrollo de diferentes criterios para su medición entre los que están la contabilidad del *capital natural*¹⁴ y los *sistemas de indicadores*. Bajo este criterio la sustentabilidad se logra si se mantiene constante en el tiempo el nivel de capital natural. Ello implica nuevamente el problema de la medición, ya que (...) *la diversidad de los capitales ambientales es muy grande. Además no son estimables, en una escala única, la variedad de beneficios fundamentales de apoyo vital de la biosfera, así como tampoco los ecosistemas como reservas que representan un interés simbólico (cultural) o biológico (genético), científico y estético más o menos único* (Corona, 2000: 168).

Así mismo, la naturaleza de los sistemas de indicadores de sustentabilidad es monetaria o no monetaria, según el tipo de metodología que se utilice. Los indicadores no monetarios son de carácter ecológico y se construyen relacionando la magnitud de distintas variables ecológicas permitiendo tener noción clara del estado de *salud* de los ecosistemas. Para que se logre la sustentabilidad los indicadores deben permanecer constantes en el tiempo o bien mejorar.

Además los criterios de medición de sustentabilidad permitirían conocer el estado de salud del medio ambiente en un momento determinado, pero para hacer un intento racional de lograr el desarrollo sustentable, se requiere planear estrategias y contar con metodologías para evaluar la evolución de la sustentabilidad. Dichas metodologías forzosamente deben ser interdisciplinarias.

1.3.3 Metodologías para evaluar la planeación

Dos metodologías utilizables para evaluar la planeación para el desarrollo sustentable son la Economía Ambiental y la Economía Ecológica, enfoques que se puntualizan a continuación.

¹⁴ *El capital natural es, en primera aproximación, una dotación de la naturaleza y no producible por las sociedades humanas. La dotación puede modificarse en importantes aspectos pero se mantiene sustancialmente irremplazable. Su uso o modificación es irreversible y/o fuera del control humano. El capital natural, en el sentido del acervo de recursos ambientales e infraestructuras, llena una multiplicidad de funciones económicas en un grado que no comparte el capital manufacturado. Esto incluye el sustento básico de la vida. En este sentido, el capital natural es estructuralmente más fundamental que el capital manufacturado* (Corona, 2000: 166).

La economía ambiental es una disciplina que puede describirse como una ampliación de la economía neoclásica para abarcar los beneficios aportados al hombre por el medio ambiente y los costos derivados de los daños ocasionados en sentido contrario. Desde el punto de vista neoclásico, la economía de nuestra sociedad ha sido modelada como un sistema de mercados de bienes y servicios, así como de factores de producción. Como actores de dichos mercados se encuentran los consumidores y los productores, cuya conducta es modelada a partir de una *función de utilidad*, la cual se supone es deseable maximizar. El modelo que explica la conducta del consumidor supone que éste distribuye su ingreso para adquirir bienes en una combinación de cantidades tal que su utilidad o bienestar se maximiza. De manera semejante se explica la conducta del productor con un modelo que procura la maximización de su beneficio. Dado un conjunto de precios y costos para los bienes y los insumos, eventualmente se logra encontrar un punto de equilibrio para los mercados. Bajo esta perspectiva, el deterioro del medio ambiente y el agotamiento de los recursos naturales se explica por que los bienes y servicios que proporciona el medio ambiente no operan dentro del mercado. La solución lógicamente propuesta es hacerlos entrar al mercado mediante un mecanismo de *internalización de externalidades*. Para ello se necesita valorar los servicios ambientales y los recursos naturales que no cuentan con un precio de mercado mediante diversas técnicas entre las que se encuentran la elaboración de *precios sombra*, la técnica del *costo de viaje* y la *valoración contingente*¹⁵. Una vez valorados los servicios ambientales y los recursos ambientales se hacen entrar en juego mediante la instrumentación de impuestos y cuotas por su uso. Posteriormente el mercado debiera encargarse de definir la ruta óptima de producción y consumo que garantice el uso sustentable de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

Bajo el enfoque de la economía ambiental, mediante técnicas de optimación que contemplen las tasas de descuento apropiadas, puede analizarse y evaluarse el curso que seguirá en el futuro la explotación de los recursos naturales. Con dicha información se pueden realizar análisis de costo-beneficio para determinar si vale la pena llevar a cabo proyectos de desarrollo específicos.

Este enfoque ha sido muy criticado pues, dado que su punto de vista filosófico es antropocéntrico, considera como objetivo la maximización del bienestar humano y al mercado capitalista como el mecanismo para lograrlo, y este, con la información apropiada, garantizaría la sustentabilidad ecológica del proceso de desarrollo. Bermejo (1995) apunta que no es comprensible pretender que el mercado capitalista, que ha sido la causa reconocida de la degradación ambiental, sea ahora enarbolado como la solución al mismo problema.

Jacobs (1999) critica el enfoque de la economía ambiental basándose en los que él considera los principales caracteres de la sustentabilidad: 1) carácter biofísico: la sustentabilidad es una característica del proceso de desarrollo del género humano que lo hace armónico con el sistema ecológico. Ello implica que el

¹⁵ Para revisar estas técnicas referirse a Corona (1993).

desarrollo sustentable debe permitir y mantener su funcionamiento global inalterado dentro de límites tolerables para la raza humana. Esto no tiene nada que ver con los consumidores (la tierra ha sustentado la vida millones de años antes de que apareciera el hombre). La ruta de crecimiento definida por el mecanismo de mercado puede o no ser sustentable, pero lo que no es correcto, es definir la sustentabilidad a partir de este razonamiento; 2) carácter colectivo: los bienes ambientales son parte del sistema ecológico en funcionamiento, lo que implica que son indivisibles y los convierte en bienes públicos. Ello requiere de un carácter colectivo para la toma de decisiones respecto al logro de la sustentabilidad. Esto está en contradicción con la conducta individual y egoísta que fundamenta el modelo neoclásico del mercado capitalista; 3) carácter de escala: para alcanzar un estado de sustentabilidad se requieren modificaciones de gran escala en la eficiencia productiva, las cuales solo pueden alcanzarse a muy largo plazo (muchas décadas). Los cambios producidos por la regulación del mercado son incrementales y muy reducidos en comparación con los grandes cambios estructurales que requiere el sistema económico para alcanzar la sustentabilidad.

Como alternativa al enfoque de la economía ambiental, surge la escuela denominada Economía Ecológica como metodología coadyuvante en la planeación para el desarrollo sustentable, la cual tiene una perspectiva radicalmente distinta de la primera debido a su sentido filosófico, pues considera que la planeación del desarrollo debe girar en torno a la conservación del sistema ecológico teniendo como beneficio implícito la conservación de la raza humana a un nivel de bienestar compatible con el objetivo primario. Uno de los métodos de estudio que utiliza la economía ecológica es el *análisis de sistemas dinámicos*: para producir un modelo de Economía Ecológica, con base en este método, se construye un modelo del ecosistema de interés, el cual debe incluir como subsistema la economía correspondiente al ecosistema considerado. Con ayuda de la tecnología informática el modelo construido puede programarse para simular su comportamiento futuro bajo diferentes políticas de propósito sustentable. Mediante este procedimiento pueden definirse las estrategias óptimas de desarrollo manteniendo las variables de estado del modelo ecosistémico dentro de rangos aceptables según los valores de los indicadores¹⁶ ecológicos y económicos que se decida utilizar para tal fin.

Los modelos de sistemas dinámicos, en tanto que abstracciones de una realidad de complejidad inconmensurable, siempre tendrán limitaciones y contendrán la ideología y prejuicios del sujeto que la estudia. No obstante ellos constituyen una de las herramientas, si no siempre de las más prácticas, con las que actualmente se cuenta para tratar de prever, en un sentido cuantitativo, las consecuencias de nuestras decisiones sobre el medio ambiente. Además debe considerarse que el proceso de planeación debe ser iterativo y permanente, buscando siempre detectar con mayor alcance y precisión cuales son las rutas que con mayor probabilidad favorezcan el desarrollo sustentable de la humanidad.

¹⁶ Para una explicación relativa a éstos indicadores revítese Corona (2000) capítulos 15 y 16.

1.4 El Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo como organismo coadyuvante para el desarrollo sustentable

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) es una de las agencias de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que administra recursos financieros internacionales para apoyar a los gobiernos de los países en la realización de proyectos de desarrollo, teniendo particular relevancia aquellos en los que se privilegie la sostenibilidad ecológica.

En México el esfuerzo de cooperación del PNUD con el Gobierno en materia de medio ambiente tiene dos objetivos fundamentales:

- Apoyar en el diseño, ejecución y evaluación de su programa ambiental, a través de la participación activa de organizaciones de la sociedad civil.
- Coadyuvar en el cumplimiento de los compromisos ambientales a nivel internacional, como los concertados en las convenciones y los protocolos respectivos, movilizand o e implementando programas con fondos internacionales, como es el caso del Protocolo de Montreal , del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF como se conoce por sus siglas en inglés) y Capacidad 21.

Para lograr estos objetivos, el PNUD en México ha desarrollado alianzas y redes estratégicas con varios sectores de la sociedad, vinculando al gobierno, la sociedad civil y el sector privado. Estas redes son respaldadas con la contratación de servicios especializados para llevar a cabo la identificación y diseño de proyectos y a la movilización de recursos en favor de la biodiversidad, del cambio climático y de la disminución del uso de sustancias que dañan la capa de ozono.

Algunas de las funciones de apoyo del PNUD a proyectos que respondan a cualquiera de los tres diferentes niveles de aplicación de políticas en los tres ámbitos gubernamentales -federal, estatal y municipal- son:

- Servicios especializados de asesoría técnica, poniendo a disposición expertos en temas específicos de desarrollo humano sostenible.
- Asesoría estratégica en los proyectos nacionales e internacionales de cooperación, brindando apoyo en la toma de decisiones estratégicas de gerencia de proyectos,
- Servicios administrativos, llevando un control de los presupuestos con base en las metas establecidas, así como contrataciones de personal, licitaciones y manejo fiduciario de fondos.

El GEF es un mecanismo financiero de las Naciones Unidas cuyo objetivo es proporcionar un financiamiento adicional a países en desarrollo para el cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos durante la

Convención Marco de Naciones Unidas de Cambio Climático y la Convención de Diversidad Biológica en las áreas de biodiversidad, cambio climático, aguas internacionales y el agotamiento de la capa de ozono.

En México la SEMARNAT y el PNUD llevaron a cabo proyectos habilitadores financiados por el GEF, cuyo objetivo ha sido apoyar al país en el cumplimiento de sus compromisos adquiridos en la Convención de Diversidad Biológica, colaborar en la elaboración del Estudio de País de Biodiversidad y de la Estrategia Nacional de Biodiversidad, así como del Plan de Acción Nacional de México en Biodiversidad y en la actualización del Inventario Nacional de Gases con Efecto Invernadero. También están en marcha desde el 2001 tres proyectos de gran alcance, dos de ellos a través de fondos para estudios de factibilidad. El importe total asciende a 130 millones de dólares (incluyendo las aportaciones GEF por 34.5 millones de dólares). Dos de ellos son de biodiversidad: Conservación de la Biodiversidad en la Reserva de la Biosfera de la Sierra Gorda y Manejo Integral de Ecosistemas en Tres Eco Regiones Prioritarias y uno de cambio climático: Demostración de la Tecnología de Celdas de Hidrógeno en una Flota de 10 Autobuses en la Ciudad de México.

El proyecto Manejo Integral de Ecosistemas en Tres Eco Regiones Prioritarias busca complementar otras iniciativas de manejo de la biodiversidad, incluidas las inversiones en el dominio de las áreas protegidas de México, al hacer encajar las estrategias de conservación y las estrategias regionales dentro de un planteamiento integrado para el manejo de ecosistemas. Este planteamiento se distingue de otros esfuerzos de conservación en que funcionará a escalas biorregionales y en todos los sectores productivos. Si bien está primordialmente encaminado a generar beneficios globales de conservación, al proteger la flora y la fauna, el proyecto también generará otros beneficios ambientales globales al procurar la salvaguarda de los captadores de carbono, la mitigación de la severa degradación del suelo y el incremento en la disponibilidad de agua. Se seleccionaron tres regiones globalmente significativas como el foco de intervención: Chinantla en Oaxaca, La Montaña de Guerrero y Los Tuxtlas en Veracruz. Todas estas regiones son montañosas y se distinguen por grandes variaciones locales en altitud, substrato y condiciones microclimáticas. Todas, a su vez, se caracterizan por una biodiversidad excepcional, producto de estos atributos geofísicos. Los resultados esperados por el proyecto se ubican en las dimensiones del fortalecimiento institucional, planeación y monitoreo participativos, mecanismos políticos, legales y financieros, modelos piloto para el uso sustentable de recursos y establecimiento de áreas de protección.

En el caso de Guerrero, en la zona de la Montaña Alta, el proyecto MIE pretende incidir en desarrollo comunitario y regional de la región mediante la formación y capacitación de grupos comunitarios de enlace (GCE) y la construcción de Ordenamientos Ecológicos Participativos que garanticen la conservación de la biodiversidad, mejore la cantidad y calidad del agua disponible para las poblaciones y reducir al mínimo la tasa de deforestación.

CAPITULO 2 CONCEPTOS TEÓRICOS PARA LA MODELACIÓN ECONÓMICO-ECOLÓGICA.

En este capítulo se expone sintéticamente las principales bases teóricas que un analista de sistemas, necesitaría manejar para, producir un modelo ecosistémico dinámico, teniendo como materia prima un bagaje de conocimientos, no necesariamente estructurados, relativos a el objeto a modelar, así como una buena dosis de intuición e inspiración. Primeramente, si deseamos que el modelo tenga un carácter económico-ecológico, conviene conocer los principios que rigen esta escuela y puntualizar su vinculación con el *análisis de sistemas* y los *modelos dinámicos*. Por otra parte, considerando la categoría académica a la que pertenece este trabajo de investigación, es probable que el lector sea un profano en materia ecológica, por lo que es conveniente conocer brevemente algunos de los principales conceptos de esta ciencia. Además el analista encargado de producir un modelo con enfoque económico-ecológico precisa de una cultura mínima en ambos campos. Finalmente se requiere manejar una técnica específica para construir un modelo formal que simule el comportamiento de un sistema real, dicho procedimiento se describe de manera enunciativa, evadiéndose la explicación de los métodos netamente matemáticos, que son recursos indispensables, pero que no son el objeto central de este trabajo. Adicionalmente se provee de los elementos básicos de un lenguaje gráfico apropiado para hacer una representación simbólica de un sistema económico-ecológico, así mismo se sugiere la estrategia para que la construcción del modelo sea pertinente y coherente con los intereses del analista.

2.1 La Economía Ecológica como perspectiva para la modelación ecosistémica

Robert Costanza (1991) es uno de los principales exponentes de la doctrina que ha dado en llamarse *Economía Ecológica*. En su opinión, una aportación científica que colabore con la construcción de un *pesimismo prudente* en torno a nuestra capacidad de controlar el medio ambiente mediante la tecnología, que contribuya a reducir la incertidumbre sobre el estado real y futuro del mundo, frente a la capacidad de la tecnología para esquivar los límites fundamentales de los recursos y la energía, puede ser acogida bajo la categoría de la *Economía Ecológica*. Costanza, *et. al.*, (1999) recopilan en *Una Introducción a la Economía Ecológica* los principios y problemas que aborda esta doctrina, puntualizándose a continuación algunos de ellos considerados principales.

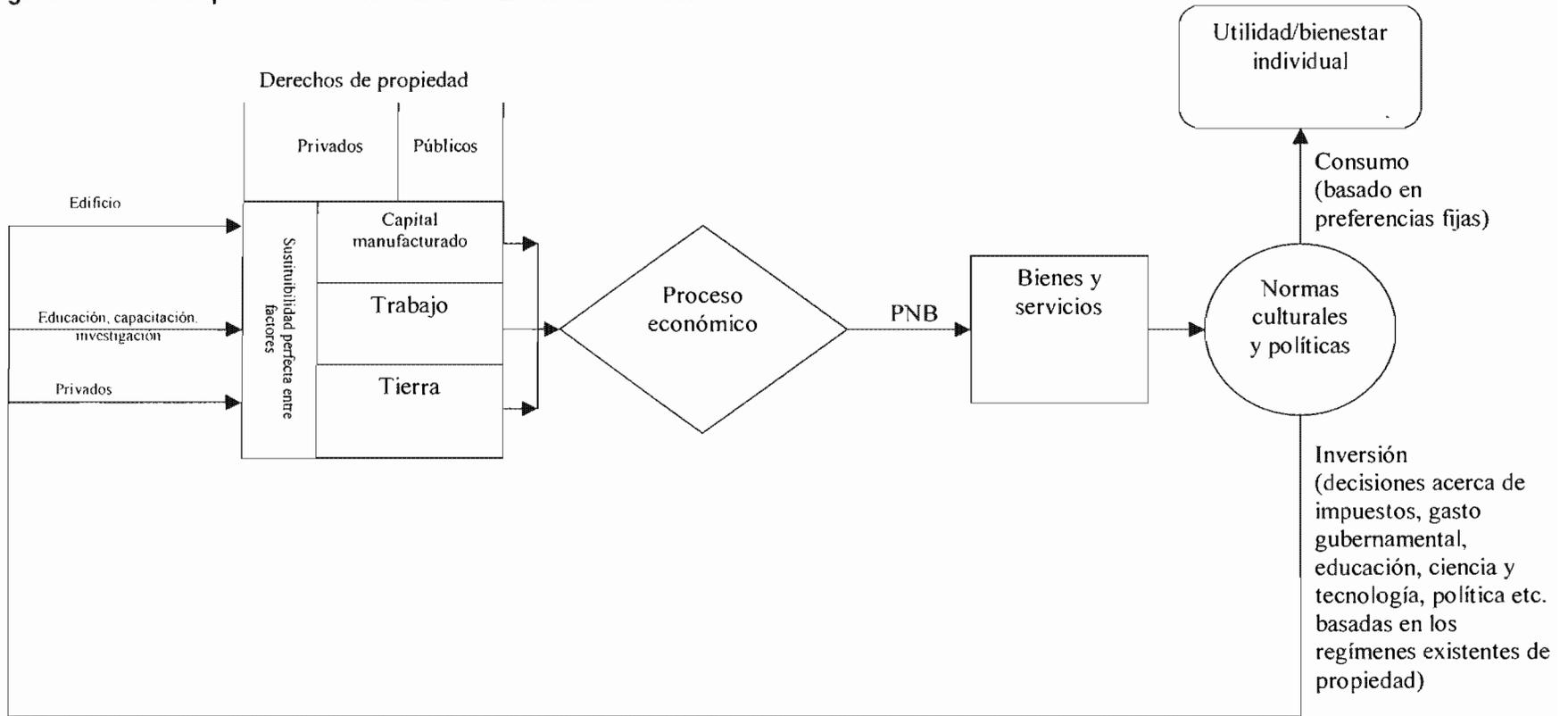
El enfoque de la Economía Ecológica aspira a contribuir a la solución de nuestros problemas sociales más complejos y urgentes mediante la aplicación de todas nuestras capacidades intelectuales a un análisis integrado e interactivo que desvanezca las fronteras interdisciplinarias de la ciencia como era al principio de

su historia. *En la Economía Ecológica consideramos el mantenimiento de la capacidad del planeta Tierra para sustentar la vida como un valor objetivo y compartido que es constitutivo de nuestra identidad como personas en comunidad. No inferimos este valor fundamental de preferencias subjetivas de individuos vivos, sopesadas por sus ingresos* (Costanza, 1999: 175).

La Economía Ecológica concibe a la economía como un subsistema de un ecosistema global finito, cuyos límites de carga han sido prácticamente alcanzados por el primero. La Figura 2.1 esquematiza la visión de la Economía convencional donde el proceso económico combina los factores de producción *trabajo, tierra y capital* para producir bienes y servicios, cuya cuantía se resume en el indicador conocido como Producto Nacional Bruto (PNB), el cual se divide en una parte para el consumo (que se considera como el único contribuyente a la utilidad y bienestar individual) y en otra para la inversión (destinada al mantenimiento y acrecentamiento de las reservas de capital). La norma que regula el consumo considera que las preferencias del consumidor son fijas en el tiempo. Los derechos de propiedad se consideran dados, suelen simplificarse en privados y públicos y los límites entre ellos no son claros. Por último los factores de la producción se consideran como sustitutos perfectos, es decir que un mismo nivel de producción se puede lograr con diferentes combinaciones de factores.

La Figura 2.2 ilustra la visión más realista de la Economía Ecológica. En esta concepción los factores de la producción son considerados como diferentes formas de capital de las cuales destaca el capital natural, que por si mismo tiene la capacidad de producir servicios y amenidades ambientales que contribuyen a la prosperidad individual y comunitaria. Pero también el capital natural se utiliza en la producción de bienes y servicios destinados al consumo y la inversión, produciéndose paralelamente desechos que en parte se diluyen en el sistema y en parte impactan negativamente sobre las distintas formas de capital, sobre los servicios ambientales y sobre el bienestar humano en general. Diferencias importantes con el modelo de economía convencional son que el consumo está regido por preferencias cambiantes y adaptativas, que la inversión se basa en regímenes complejos de derechos de propiedad, que se clasifican en individuales, comunes y públicos. Así mismo, el carácter de sustituibles entre sí de las formas de capital tiene límites estructurales y como una prioridad fundamental todos los aspectos y procesos del sistema económico-ecológico deben contribuir a la satisfacción de las verdaderas necesidades humanas.

Figura 2.1 Modelo que ilustra la visión de la Economía convencional



Fuente: Costanza, *et. al.*, (1999: 153)

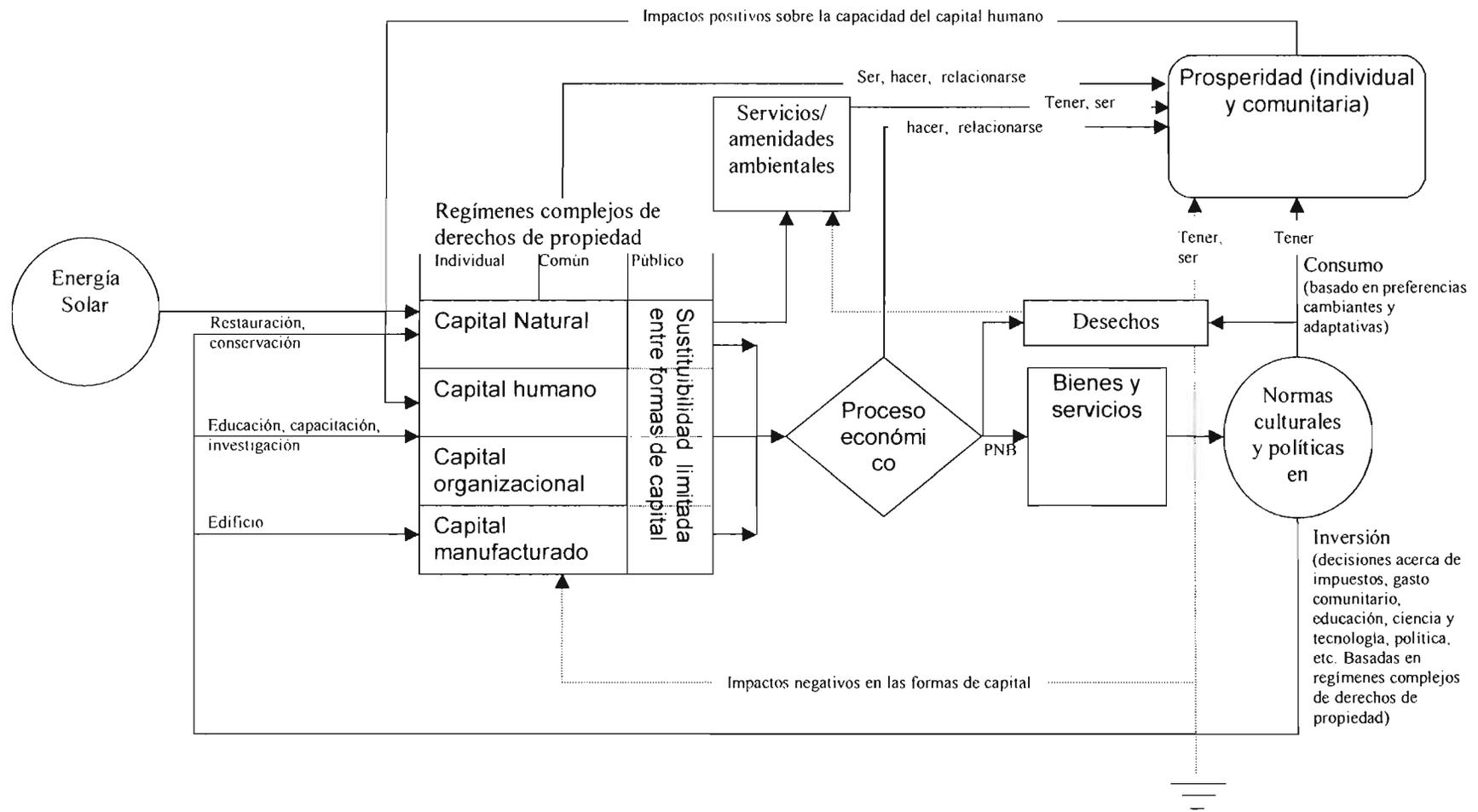
Desde la perspectiva de la Economía Ecológica es trascendental el criterio de evaluación para el bienestar humano, que en última instancia es la finalidad del sistema económico como tal. La Economía convencional asocia el bienestar directamente con el nivel de consumo de bienes y servicios materiales, por lo que su principal índice de medición es el PNB. La Economía Ecológica plantea como objetivo del sistema económico la búsqueda del bienestar humano mediante la satisfacción de los verdaderos anhelos y necesidades de la raza humana, los cuales están distorsionados por la enajenación creada por la economía de mercado capitalista. En un intento de especificar dichas necesidades Costanza, *et. al.*, (1999) se refieren a Max-Neef (1992) y colaboradores quienes elaboraron una matriz de necesidades humanas (ver Cuadro 2.1) clasificadas con un criterio bidimensional según correspondan a una categoría existencial (ser, tener, hacer, estar) y a una axiológica (subsistencia, protección, afecto, entendimiento, participación, ocio, creación, identidad, libertad). Por lo tanto se requieren criterios e índices diversos, cuantitativos y cualitativos, para medir que tan bien cumple con su objetivo un sistema económico. Alternativamente al crecimiento del PNB, Costanza, *et. al.*, (1999: 118) señala la conveniencia de evaluar la salud de la economía mediante el cálculo de un *ingreso sustentable, definido en el sentido Hicksiano como la cantidad de consumo que puede sustentarse indefinidamente sin degradar los stocks de capital, incluyendo stocks de "capital natural"*.

En un sentido funcional el *capital natural* se explica como una reserva de riqueza natural que se reproduce y produce bienes y servicios naturales valiosos. Cada especie biológica es un ejemplo de este concepto, ya que los seres vivos lo son en virtud de su capacidad de reproducirse y proporcionan un bien como sujetos de explotación para el consumo o como elementos que coadyuvan al mantenimiento del ecosistema local y global que a su vez genera los servicios ambientales necesarios para la vida e incluso para el bienestar del hombre. Ejemplos de dichos servicios son el reciclaje de desperdicios, captación de agua, control de la erosión, regulación del clima, etcétera.

Dado su carácter ecocéntrico, la Economía Ecológica aspira al logro de la sustentabilidad ecológica y el mantenimiento del capital natural. Para ello, Daly (1990) (citado por Costanza, *et. al.*, 1999: 118) ha elaborado tres criterios básicos:

1. Para los recursos renovables, la tasa de recolección no deberá exceder a la tasa de regeneración (producto sustentable).
2. Las tasas de generación de desechos de proyectos no deberán exceder la capacidad asimilativa del medio ambiente (eliminación sustentable de desechos); y
3. La disminución de los recursos no renovables debería requerir desarrollo comparable de sustitutos renovables.

Figura 2.2 Modelo que ilustra la visión de la Economía Ecológica



Fuente: Costanza, et. al. (1999:153).

Cuadro 2.1 Matriz de necesidades humanas y satisfactores de Max-Neef

La columna del *Ser* registra atributos, personales o colectivos, que se expresan como sustantivos. La columna del *Tener* registra instituciones, normas, mecanismos, herramientas (no en un sentido material), leyes, etc., que pueden ser expresadas en una o más palabras. La columna del *Hacer* registra acciones, personales o colectivas que pueden ser expresadas como verbos. La columna *Estar* del registra espacios y ambientes.

Necesidades según categorías:	<i>Ser</i>	<i>Tener</i>	<i>Hacer</i>	<i>Estar</i>
Existenciales →				
Axiológicas ↓				
<i>Subsistencia</i>	1) Salud física, salud mental, equilibrio, solidaridad, humor, adaptabilidad.	2) Alimentación, abrigo, trabajo	3) Alimentar, procrear, descansar, trabajar.	4) Entorno vital, entorno social.
<i>Protección</i>	5) Cuidado, adaptabilidad, autonomía, solidaridad.	6) Sistemas de seguros, ahorro, seguridad social, sistemas de salud, legislaciones, derechos, familia, trabajo.	7) Cooperar, prevenir, planificar, cuidar, curar, defender.	8) Entorno vital, entorno social.
<i>Afecto</i>	9) Autoestima, solidaridad, respeto, tolerancia, generosidad, receptividad, pasión, voluntad, sensualidad, humor.	10) Amistades, parejas, familia, animales domésticos, plantas, jardines.	11) Hacer el amor, acariciar, expresar emociones, compartir, cuidar, cultivar, apreciar.	12) Privacidad, intimidad, hogar, espacios de encuentro.
<i>Entendimiento</i>	13) Conciencia crítica, receptividad, curiosidad, asombro, disciplina, intuición, racionalidad.	14) Literatura maestros, método, políticas comunicacionales	15) Investigar, estudiar, experimentar, educar, analizar, meditar, interpretar.	16) Ámbitos de interacción formativa: escuelas, universidades, academias, agrupaciones, comunidades, familia.
<i>Participación</i>	17) Adaptabilidad, receptividad, curiosidad, asombro, disciplina, intuición, racionalidad.	18) Derechos responsabilidades, obligaciones, atribuciones, trabajo	19) Afiliarse, cooperar, proponer, compartir, discrepar, acatar, dialogar, acortar, opinar.	20) Ámbitos de interacción formativa: escuelas, universidades, academias, agrupaciones, comunidades, familia.
<i>Ocio</i>	21) Curiosidad, receptividad, disposición, convicción, entrega, respeto, pasión, humor.	22) Juegos, espectáculos, fiestas, calma.	23) Divagar, abstraerse, soñar, añorar, fantasear, avocar, relajarse, divertirse, jugar.	24) Privacidad, intimidad, espacios de encuentro, tiempo libre, ambientes, paisajes.
<i>Creación</i>	25) Pasión, voluntad, intuición, imaginación, audacia, racionalidad, autonomía, inventiva, curiosidad.	26) Habilidades, destrezas, método, trabajo.	27) Trabajar, inventar, construir, idear, componer, diseñar, interpretar.	28) Ámbitos de producción y retroalimentación, talleres, ateneos, agrupaciones, audiencia, espacios de expresión, libertad temporal.
<i>Identidad</i>	29) Pertenencia, coherencia, diferencia, autoestima, asertividad.	30) Símbolos, lenguaje, hábitos, costumbres, grupos de referencia, sexualidad, valores, normas, roles, memoria histórica, trabajo.	31) Comprometerse, integrarse, confundirse, definirse, conocerse, reconocerse, actualizarse, crecer	32) Sociorritmos, entornos de la cotidianidad, ámbitos de pertenencia, etapas madurativas.
<i>Libertad</i>	33) Autoestima, voluntad, pasión, apertura, audacia, tolerancia	34) Igualdad de derechos.	35) Discrepar, optar, diferenciarse, arriesgar, conocerse, asumirse, desobedecer, meditar.	36) Plasticidad espacio-temporal.

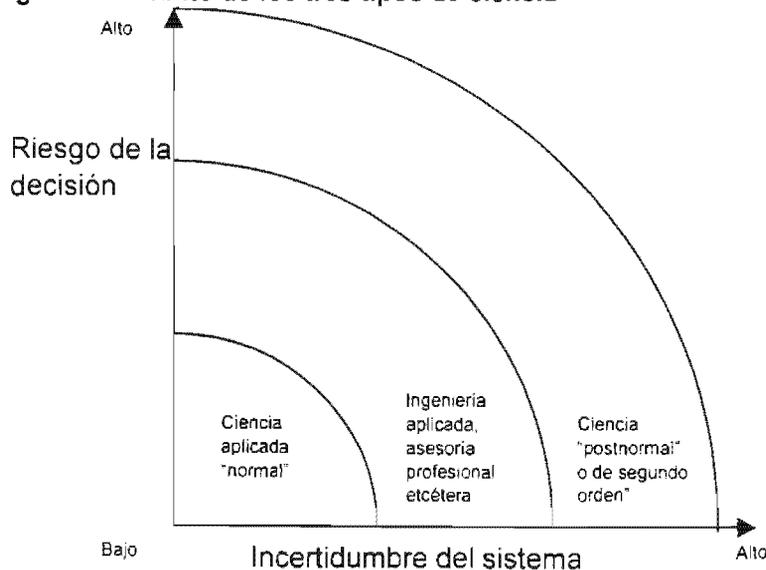
Fuente: Reproducción tomada de Jiménez (1996), pags. 244 y 245.

Cabe mencionar que adicionalmente al capital natural *a secas* existe la categoría de *capital natural cultivado*. Este consiste en cosas tales como bosques de plantación, rebaños de ganado, cosechas de agricultura, peces criados en estanques, etc. El capital natural cultivado proporciona los insumos de materia prima complementarios al capital hecho por el hombre, pero no suministra la amplia diversidad de servicios ecológicos naturales característicos del capital natural propiamente (por ejemplo, plantaciones de eucaliptos que suministran madera para el aserradero, e incluso pueden reducir la erosión, pero no

proporcionan un hábitat para la vida silvestre ni conservan la biodiversidad). La inversión en el capital natural cultivado de un bosque de plantación, sin embargo, es útil no únicamente por la madera, sino como una forma para aliviar la presión de los intereses madereros en el verdadero capital natural. Por lo tanto la Economía Ecológica tiene interés particular en el estudio de la gestión del capital natural cultivado.

Es necesario reconocer que el análisis del sistema económico-ecológico conlleva alto grado de incertidumbre. Una forma de tratar con este problema es el denominado *principio precautorio* que estipula que en vez de esperar la certidumbre, los reglamentadores ambientales deberían actuar en previsión de cualquier daño ambiental potencial con el fin de impedirlo (Costanza, et. al., 1999: 160). El principio precautorio prepara el terreno para un nuevo tipo de enfoque que consiste en la aplicación del método científico al escenario de la incertidumbre extrema. Dicho enfoque ha dado en llamarse ciencia *postnormal*¹⁷ o de segundo orden. La reglamentación sobre la gestión del medio ambiente deberá encontrar sus criterios fundamentales en este nuevo enfoque. La Figura 2.3 ilustra los ámbitos de aplicación de la ciencia según la respectiva combinación de incertidumbre en el conocimiento del sistema y el nivel de riesgo de las consecuencias de las decisiones que al respecto se tomen.

Figura 2.3 Ámbito de los tres tipos de ciencia



Fuente: Reproducido de Costanza, et. al., (1999:161).

Ante la incertidumbre, resulta razonablemente correcto adoptar una posición de *escepticismo prudente* con respecto al papel que la tecnología puede jugar en el futuro para resolver los inminentes problemas ambientales y de explotación de recursos naturales que empezamos a enfrentar. Un punto de vista optimista cree

¹⁷ Para una explicación relativa al concepto de la ciencia postnormal se puede revisar a Corona (2000, capítulo 9).

que dichos problemas serán resueltos a tiempo por la tecnología. Un punto de vista escéptico toma con reserva tanta confianza. Costanza justifica su razonamiento elaborando una matriz de pagos simplificada (Cuadro 2.2) en la que compara los resultados de las posibles combinaciones de política y estado real del mundo. Si se apuesta a una política de optimismo tecnológico y resulta que la tecnología logra resolver los problemas ambientales, las ganancias materiales serán muy altas. Si la tecnología falla, el resultado será desastroso para la humanidad. Si se opta por el escepticismo ante el papel que puede desempeñar la tecnología, tomando las medidas tendientes a un desarrollo sustentable, y finalmente la tecnología está en capacidad de superar las aparentes restricciones que el mundo impone al crecimiento económico, entonces las ganancias materiales sólo serán moderadas. Pero en el peor de los casos, una política de escepticismo tecnológico nos llevaría a un estado sustentable. Ciertamente no hay seguridad de que los vaticinios sobre la degradación ambiental se cumplan, pero una elección que maximice el menor de los resultados posibles de cada política nos llevaría a que la opción más prudente es la de escepticismo tecnológico.

Cuadro 2.2 Matriz de pagos para optimismo y escepticismo tecnológicos

Política	Estado real del mundo	
	Optimistas en lo correcto	Escépticos en lo correcto
Optimismo tecnológico	Ganancias altas	Resultado desastroso
Escepticismo tecnológico	Ganancias moderadas	Estado sustentable

Fuente: Reproducido de Costanza, *et. al.*, (1999:164)

Una de las causas, que hace que los sistemas económico-ecológicos sean inherentemente insostenibles, es que los incentivos locales e individuales que orientan el comportamiento humano no son congruentes con las metas generales del sistema. A estas desafortunadas combinaciones de objetivos dispares se les llama trampas sociales y son las causantes de que los seres humanos optemos por la estrategia más riesgosa del optimismo tecnológico. La Economía Ecológica busca resolver las trampas sociales desarrollando y proponiendo medidas que armonicen las metas y los incentivos sobre la jerarquía de escalas tiempo y espacio implicados. Es decir, se debe buscar que los costos y beneficios privados reflejen de algún modo los costos y beneficios sociales. Para lograr esto es necesario desplegar *modelos realistas de la conducta humana bajo incertidumbre, los cuales reconozcan la complejidad de la mayoría de las decisiones de mundo real y las capacidades limitadas de procesamiento de información de nuestra especie* (Heiner citado por Costanza, *et. al.*, 1999:167).

Como herramienta para lidiar con la complejidad se recomienda la aplicación del análisis de sistemas dinámicos el cual *se puede definir como el método científico aplicado tanto a través como dentro de disciplinas, escalas, resoluciones y tipos de sistemas. En otras palabras, es una manifestación integrante del método científico, mientras que la mayoría de las disciplinas científicas tradicionales o clásicas tienden a diseccionar sus temas de estudio en partes cada vez más pequeñas con la esperanza de reducir el problema a sus elementos esenciales. Así, el análisis de sistemas forma una base científica y una visión del mundo natural para la transdisciplina inherentemente integrante de la economía ecológica que la ciencia clásica reduccionista* (Costanza, et. al., 1999: 58).

2.2 Conceptos básicos relativos a la ciencia ecológica

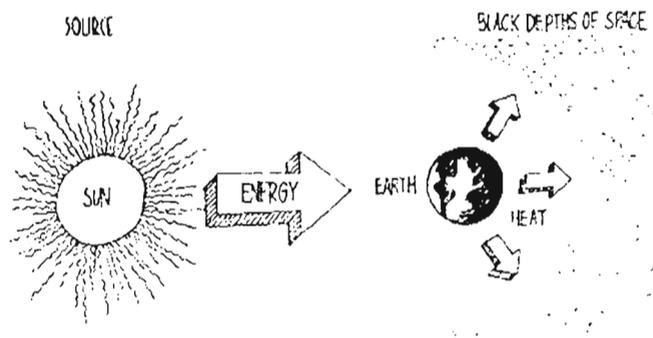
La palabra ecología proviene de las raíces griegas *oikos*, que significa casa, y *logos*, que significa estudio. Así, ecología es literalmente *el estudio de la casa*, el conocimiento del lugar donde vivimos, es decir, de nuestro medio ambiente. Este es un objeto de estudio infinitamente complejo y por ello la ciencia ecológica se vale del enfoque sistémico como herramienta epistémica para aprehenderlo. Odum y Sarmiento (1998), así como Equihua y Benítez (1985), ilustran con claridad para el profano sobre este proceso cognitivo y sobre la cultura ecológica moderna en general.

2.2.1 Dinámica del medio ambiente físico

Para comprender la dinámica del medio ambiente, la ecología concibe al planeta tierra como un sistema abierto, compuesto por elementos orgánicos e inorgánicos, por organismos vivos rodeados por componentes físicos interactuantes todos entre sí. El modelo de caja negra para el sistema tierra puede representarse como en la

Figura 2.4, donde la entrada al sistema es energía proveniente de la fuente primaria que es el sol. En su mayor parte dicha energía es reflejada hacia el espacio y una menor parte (aunque suficiente para permitir la vida) se retiene temporalmente en la tierra, donde se almacena y fluye accionando procesos físicos y biológicos, transformándose en energía calorífica diluida, que se dispersa de nuevo hacia el espacio. Aquí se verifican las dos leyes de la termodinámica: 1ª) la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma, es decir, que la misma cantidad de energía que entra al sistema tierra como radiación proveniente del sol es la misma que sale en forma de calor mas la retenida dentro en forma potencial y 2ª) conocida como la *ley de la entropía*, establece que la energía, al sufrir un proceso de transformación, en parte toma una forma indisponible (calor disperso por ejemplo) para intervenir en procesos de transformación posteriores. La palabra entropía proviene de *en* (en) y *trophos* (transformación): en transformación, y en física se entiende como una medida del desorden o irrecuperabilidad de la energía en un sistema termodinámicamente cerrado.

Figura 2.4 Modelo de caja negra del sistema tierra



Fuente: <http://pespmc1.vub.ac.be/macroscope/chap1.html> recuperado el 22 de febrero de 2005

La energía que llega del sol a la Tierra es radiación electromagnética que abarca el espectro¹⁸ de la luz visible y parte de los rangos ultravioleta e infrarrojo, la Figura 2.5 ilustra este concepto. La energía se encuentra más concentrada mientras menor es la longitud de la onda electromagnética. Para el caso de los rayos ultravioleta, dicha longitud es del orden de 0.1 micrometros¹⁹ y son los responsables de las quemaduras solares, pues son los que concentran una mayor energía. La existencia de la capa de ozono²⁰ en la estratosfera funciona como un filtro solar para la Tierra ya que reduce la proporción que se filtra a un 10% del total. El 90% restante se reparte por partes iguales entre la radiación visible y los rayos infrarrojos, responsables estos últimos de calentamiento de la atmósfera y de la superficie terrestre.

La energía solar fluye por el sistema Tierra incorporándose a la materia mediante procesos físicos, biológicos y químicos. Básicamente el resultado de esta incorporación es la producción de movimiento de la materia en forma de ciclos que ocurren en las diferentes capas de la esfera terrestre, las cuales son la litosfera (rocas, sedimento, manto y núcleo de la Tierra), la hidrosfera (océanos, mares y demás cuerpos de agua superficial o subterránea), la atmósfera que es la capa gaseosa que cubre la superficie terrestre y está compuesta en su mayor parte por

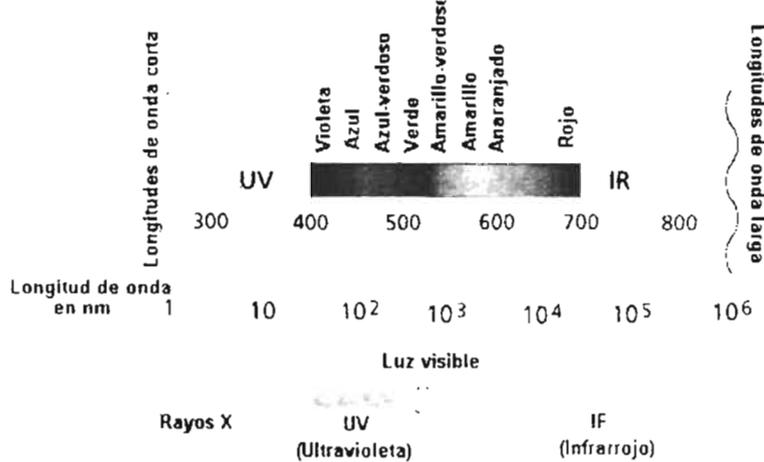
¹⁸ Se le llama espectro a la gama de longitudes de onda electromagnéticas. La teoría ondulatoria de la energía utiliza como modelo matemático el concepto de onda (piénsese en la forma que tienen las olas que se crean en el mar cerca de la costa), la cual tiene propiedades geométricas siendo una de ellas su longitud, que es la distancia entre dos crestas. El espectro de ondas electromagnéticas varía ampliamente en longitud de onda, desde varios metros (como en el caso de las ondas de radio o televisión), hasta nanómetros (metros $\times 10^{-9}$) como en el caso de los rayos gamma.

¹⁹ Un micrómetro es la milésima parte de un milímetro.

²⁰ El ozono es un compuesto cuyas moléculas están formadas por tres átomos de oxígeno que se forman por la interacción del O_2 con los rayos ultravioleta y tiene la propiedad de reflejar a éstos. Según la hipótesis de Gaia se cree que al principio de la vida en el planeta existieron plantas microscópicas capaces de resistir las radiaciones ultravioleta y de metabolizar el dióxido de carbono, formando así la acumulación primaria de oxígeno que generaría posteriormente la capa de ozono permitiendo así la evolución de formas de vida más complejas sobre la superficie terrestre.

nitrógeno y oxígeno, y la biosfera que es la capa donde tienen lugar los procesos orgánicos que permiten la vida en el planeta; el espacio que ocupa esta última capa, abarca a las primeras tres sin que exista una frontera bien definida. Todas estas fracciones de la esfera terrestre se encuentran en constante movimiento gracias a la energía solar incorporada. La Figura 2.6 ilustra metafóricamente las ideas expresadas en este párrafo.

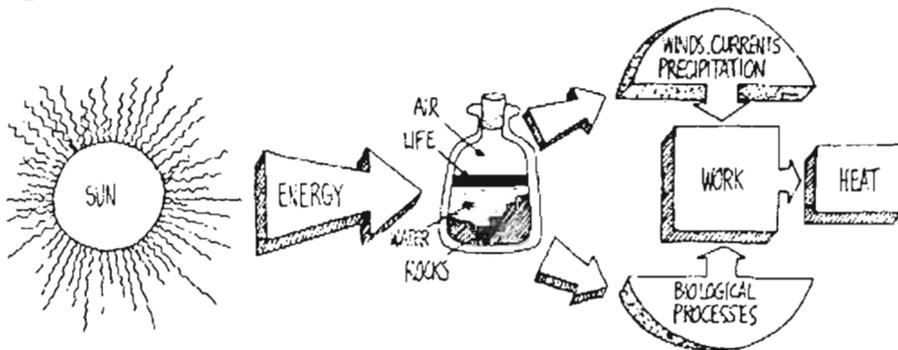
Figura 2.5 Espectro de la radiación solar



Fuente: <http://fai.unne.edu.ar/biologia/planta/fotosint.htm> (recuperada el 16 de junio de 2004).

Debido a la forma semiesférica del planeta, la radiación solar incide en ángulos diferentes, dependiendo de la latitud. En la zona ecuatorial los rayos inciden en ángulo próximo a la perpendicularidad y mientras nos alejamos hacia los polos, el ángulo de incidencia se hace más tangencial. De esta circunstancia se deriva la diferencia de temperatura sobre la superficie terrestre en función de la latitud, registrándose mayores temperaturas en el ecuador y temperaturas de congelación en los polos.

Figura 2.6 Metáfora de la dinámica del medio ambiente físico



Fuente: <http://pespmc1.vub.ac.be/macroscope/chap1.html> recuperado el 22 de febrero de 2005

La atmósfera se comporta según las leyes termodinámicas de los gases. Por ello, a mayor temperatura del aire, se tiene una menor presión atmosférica y viceversa.

Las diferencias de presión atmosférica producen el desplazamiento de las masas de aire, como cuando al ejercer presión en el extremo de un colchón inflable, el volumen de aire se desplaza al extremo opuesto. Así se establecen los patrones de vientos dominantes: en la zona ecuatorial el aire caliente se eleva y es relevado por masas de aire más fresco provenientes de zonas con una mayor presión atmosférica, donde el aire frío desciende, formándose un ciclo de ida y vuelta conocido como vientos alisios, cuya dirección es de los trópicos hacia el ecuador, con una pequeña desviación en el sentido contrario a la rotación de la Tierra (*efecto Coriolis*). Los vientos contralisios soplan en dirección contraria a los alisios pero por encima de estos. Ciclos de viento semejantes ocurren a latitudes más allá de los trópicos, los conocidos como vientos del oeste, tanto en el hemisferio norte como en el sur.

Por otra parte, la atmósfera contiene vapor de agua, producto de la evaporación de los cuerpos acuáticos, por efecto de la radiación solar. Cuando existen corrientes ascendentes que transportan aire húmedo, este se condensa al enfriarse con la altitud y genera precipitación. Por ello la zona ecuatorial tiene los mayores índices pluviométricos. Pero este fenómeno también ocurre donde el viento húmedo encuentra obstáculos orográficos a su paso, pues ellos fuerzan la elevación de viento y la consecuente lluvia. Este fenómeno conocido como *sombra pluviométrica* produce variaciones climáticas locales²¹.

Así como existen vientos en la atmósfera, a causa de la energía solar incorporada, también existen corrientes en la hidrosfera y desplazamientos de la corteza terrestre y flujos de magma bajo la misma. Aún cuando la radiación solar no alcanza los estratos inferiores de la litosfera, la energía almacenada ahí, tuvo su origen en la materia estelar del sol y continúa fluyendo hacia el exterior, modificando el perfil geográfico a lo largo del tiempo geológico.

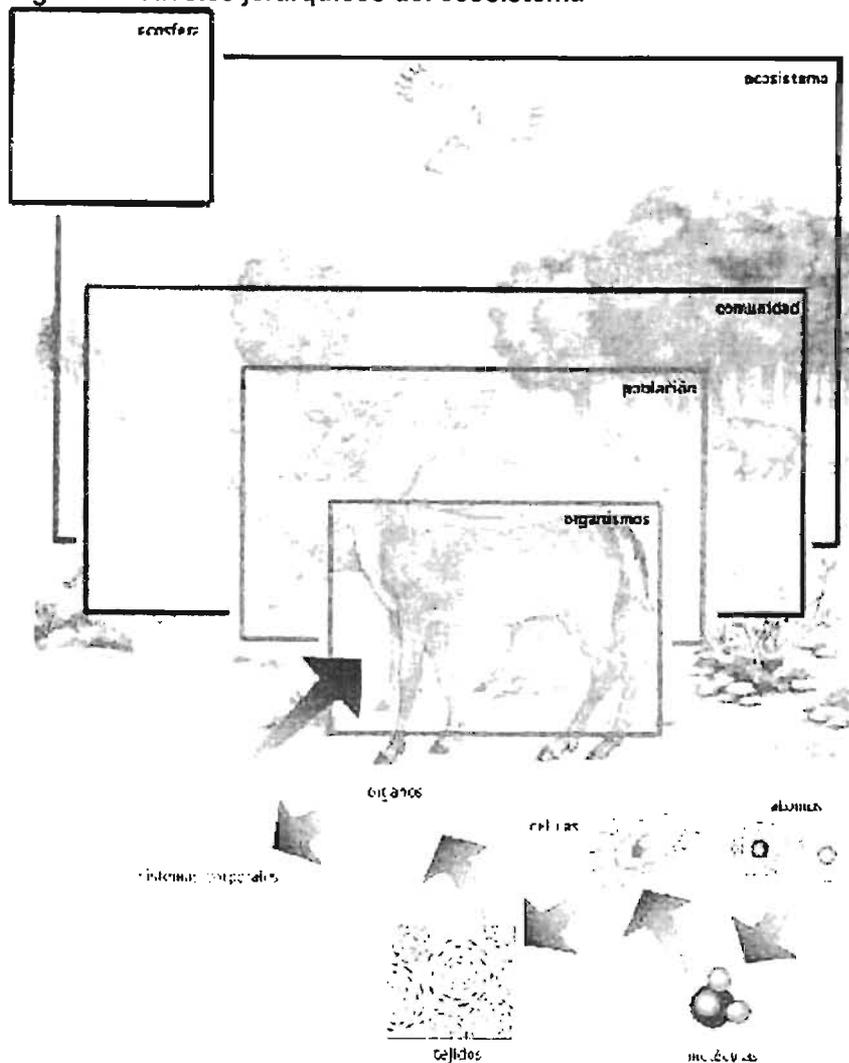
2.2.2 Jerarquías ecológicas

Las diferentes combinaciones de niveles de radiación solar, temperatura, vientos, corrientes marinas, regímenes pluviométricos, conformación orográfica, etcétera, dan como resultado una amplia diversidad de climas, los cuales determinan las características del sistema ecológico. Para el estudio de dicho sistema, se han establecido una serie de niveles jerárquicos organizacionales anidados: el primero de mayor a menor es la *ecosfera*, que es el sistema ecológico global; le siguen las *regiones biogeográficas*, que corresponden con los continentes y los océanos, cada uno con una tipología de flora y fauna específicas; enseguida están los *biomas*, que son comunidades de plantas y animales con formas de vida y

²¹ Como en el caso de los vientos alisios que a su paso sobre la sierra oriental Mexicana producen precipitaciones del lado del Golfo de México, creando un clima tropical; la ladera oriente de la sierra presenta vegetación de coníferas y al cruzar a lado poniente, el aire ya seco no produce precipitación, con lo que se da un clima árido. Esta característica climática se observa en la reserva de al biosfera de Tehuacán, estado de Puebla.

condiciones ambientales similares e incluyen varias comunidades y estados de desarrollo, suelen nombrarse por el tipo vegetación dominante (un bioma de pastizal por ejemplo); un bioma puede dividirse geográficamente en zonas a las que se les denomina *ecorregiones*; finalmente se tiene al *ecosistema*, que viene a ocupar entre todas las categorías ecológicas un lugar principal porque representa la unidad de convivencia energéticamente autárquica más pequeña, por debajo de este lugar en el escalafón no se encuentran, en consecuencia, combinaciones de organismos y ambientes capacitadas para desarrollar un ciclo completo de transferencias energéticas. Un ecosistema está conformado por *poblaciones* de *organismos* individuales de la misma especie, que forman *comunidades* al interactuar unas con otras dentro del ecosistema. La Figura 2.7 ilustra los niveles jerárquicos que componen a un ecosistema.

Figura 2.7 Niveles jerárquicos del ecosistema



Fuente: <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/100Ecosis.htm> (recuperado el 16 de junio e 2004).

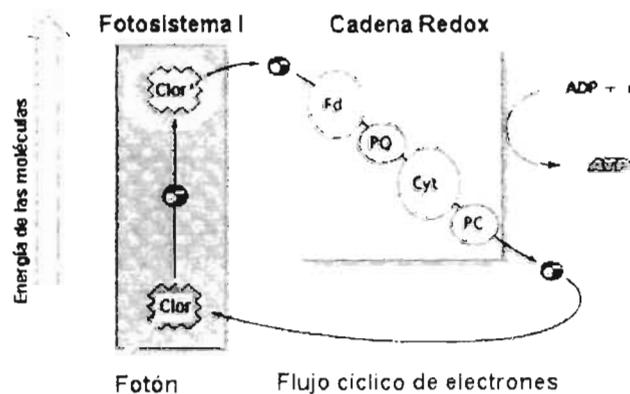
Un ecosistema es independiente desde el punto de vista de su estudio, pero es funcionalmente interdependiente con los demás ecosistemas que los rodean, de

manera que, procediendo a la inversa, los ecosistemas unitarios se pueden agregar para conformar las jerarquías superiores hasta llegar a la ecosfera como la suma total de todos los ecosistemas, o bien, como el ecosistema global.

2.2.3 Dinámica del ecosistema

La circulación de la energía en el ecosistema la inician las plantas al efectuar la fotosíntesis²² (ver Figura 2.8). Mediante dicho proceso la energía lumínica se incorpora en forma de tejidos vegetales, por lo que las plantas reciben el nombre de productores u organismos autótrofos. Estos son consumidos por los animales herbívoros, denominados consumidores de primer orden, éstos a su vez son comidos por los consumidores de segundo orden ó predadores, los que luego son devorados por los de tercer orden llamados depredadores. De ésta manera se constituyen redes tróficas que llegan a ser sumamente complejas. La Figura 2.9 esquematiza de manera simplificada una red trófica. Los desechos animales y vegetales, al excretar o morir, son consumidos por organismos *descomponedores* que habitan en el suelo. Como su nombre lo indica descomponen la materia orgánica y la transforman en nutrientes que fertilizan la tierra. Posteriormente son absorbidos por las plantas para cerrar el ciclo de la materia dentro del ecosistema, este concepto se ilustra metafóricamente en la Figura 2.10.

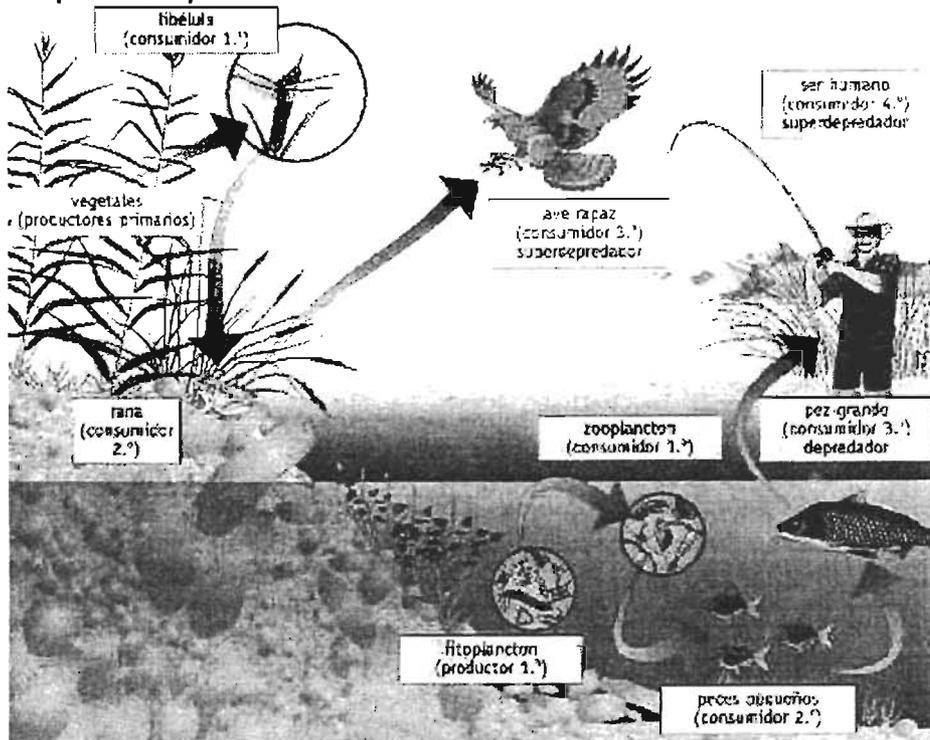
Figura 2.8 Esquema simplificado del proceso fotosintético



Fuente: <http://fai.unne.edu.ar/biologia/planta/fotosint.htm> (recuperada el 16 de junio de 2004).

²²A muy grandes rasgos, el proceso fotosintético es realizado por las plantas gracias a una sustancia llamada clorofila en el caso de las plantas verdes. Al ser éstas últimas irradiadas por la luz solar, los electrones de las moléculas de clorofila, son *impactados* por fotones (según la teoría corpuscular de la luz) y pasan a un estado de excitación, lo que significa que son desplazados a una órbita distinta más alejada del núcleo del átomo al que pertenecen. Con ello los electrones adquieren una energía potencial que se libera al retornar a su órbita de equilibrio. Dicha energía es la que la planta utiliza para metabolizar los nutrientes absorbidos del suelo y construir sus tejidos.

Figura 2.9 Esquema simplificado de una red trófica



Fuente: <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/100Ecosis.htm> (recuperado el 16 de junio e 2004).

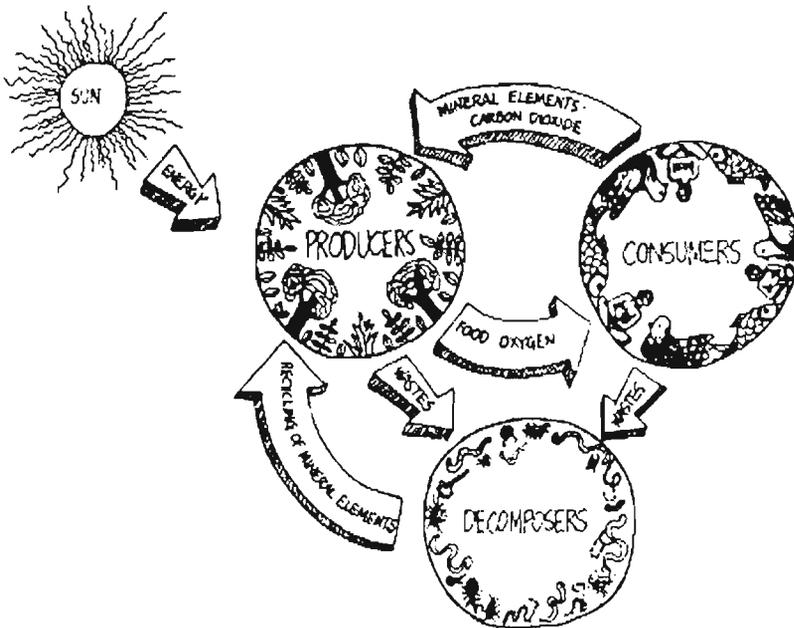
No toda la energía es asimilada al circular por la cadena trófica. En la etapa de producción como en los subsecuentes niveles tróficos, una porción de la energía no es consumida desde el inicio, otra parte se expelle vía la respiración celular y otra vía la excreción y el resto es utilizada por los organismos para la reproducción y el crecimiento de la biomasa²³. En general se estima que en cada proceso de consumo, la energía que se incorpora es un porcentaje del orden de sólo el 10%. El resto recircula en el ecosistema o pasa a formar parte de la entropía. Por ello se dice que la materia forma ciclos cerrados accionados por el flujo permanente, de entrada y salida, de la energía a través del ecosistema.

Los ciclos de la materia, también conocidos como ciclos biogeoquímicos por que consisten de elementos que circulan formando parte del sustrato mineral y de los tejidos de los organismos vivos, se dan al nivel de los ecosistemas unitarios pero también al nivel de la ecosfera. Los principales ciclos identificados se ilustran esquemáticamente en la Figura 2.11 y algunos de ellos se muestran con mayor

²³ Materia viva. La palabra biomasa se refiere al total de materia que constituye a un ser vivo y que se encuentra en forma de proteínas, carbohidratos, lípidos (grasas, aceites) y otros compuestos orgánicos. Se mide en peso fresco (como cuando se pesa en una báscula), peso seco (una vez que el organismo se ha sometido a desecación a temperaturas moderadas), en términos energéticos (Kcal.), etcétera.

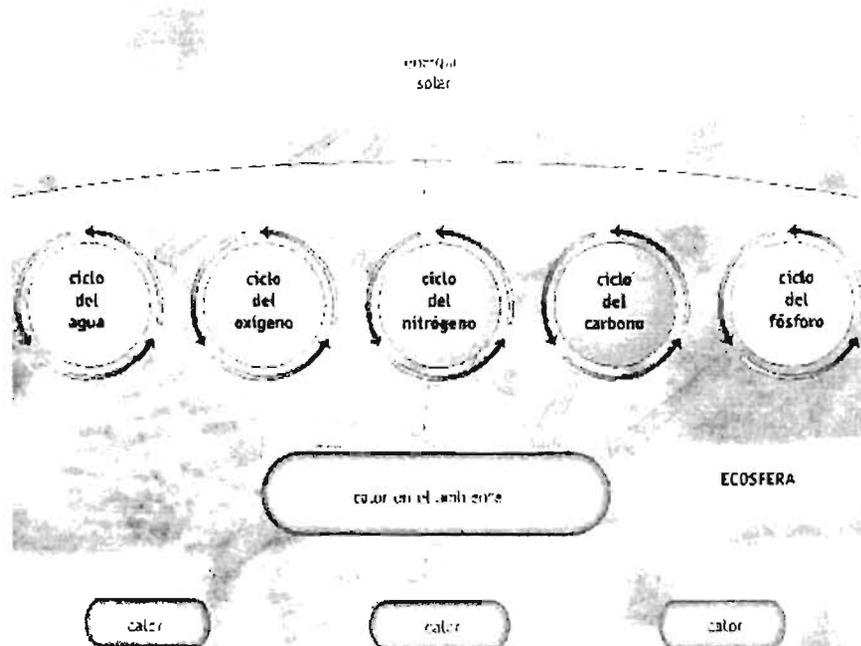
detalle en la Figura 2.12 para el caso del nitrógeno, en la Figura 2.13 para el del carbono, en la Figura 2.14 para el del fósforo y en la Figura 2.15 para el del azufre.

Figura 2.10 Ciclo de la materia en el ecosistema



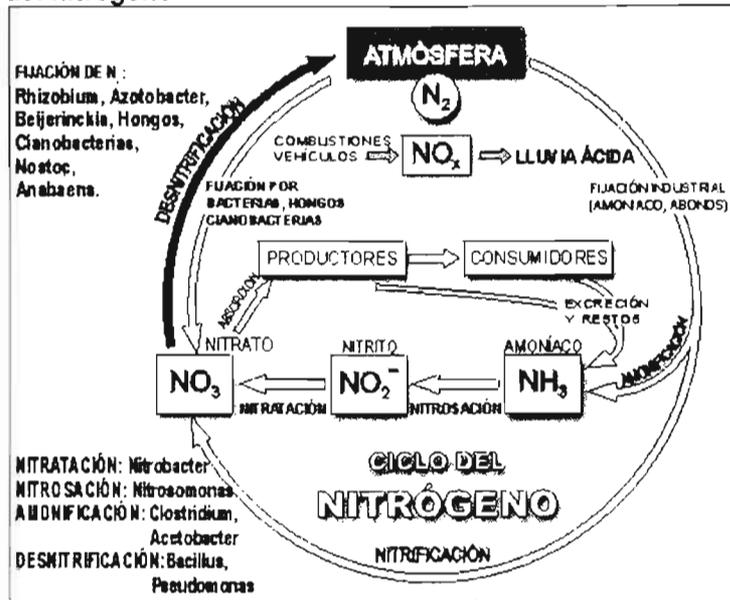
Fuente: <http://pespmc1.vub.ac.be/macroscope/chap1.html> recuperado el 22 de febrero de 2005

Figura 2.11 Ciclos biogeoquímicos



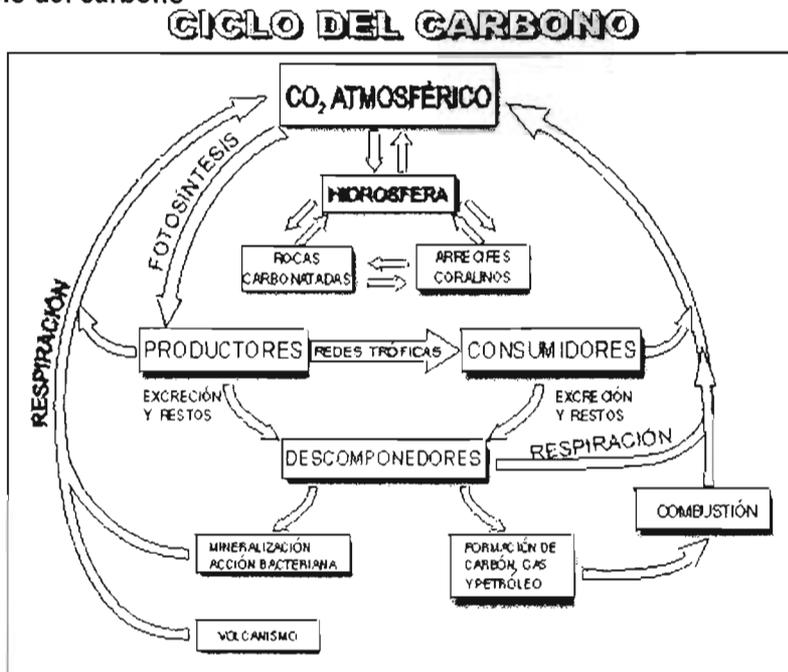
Fuente: <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/04Ecosis/100Ecosis.htm> (recuperado el 16 de junio e 2004).

Figura 2.12 Ciclo del nitrógeno



Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/CTMA/BIOSFERA/c.htm> (recuperado el 16 de junio de 2004)

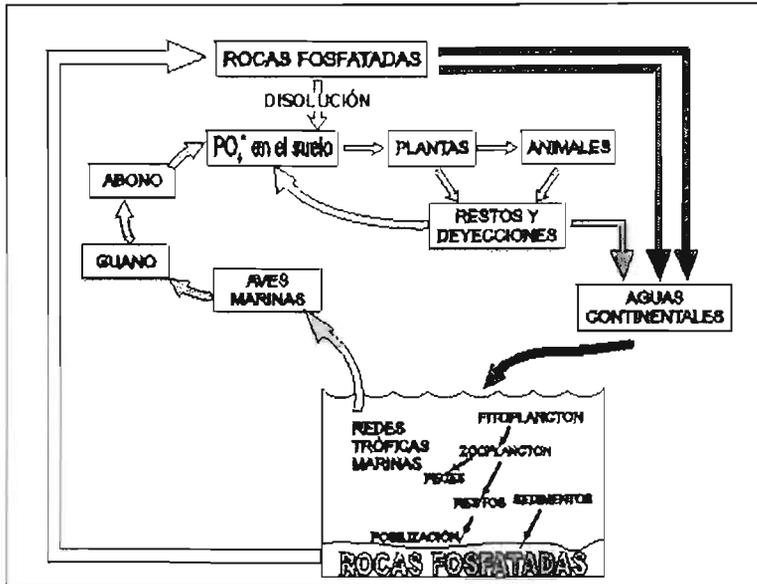
Figura 2.13 Ciclo del carbono



Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/CTMA/BIOSFERA/c.htm> (recuperado el 16 de junio de 2004)

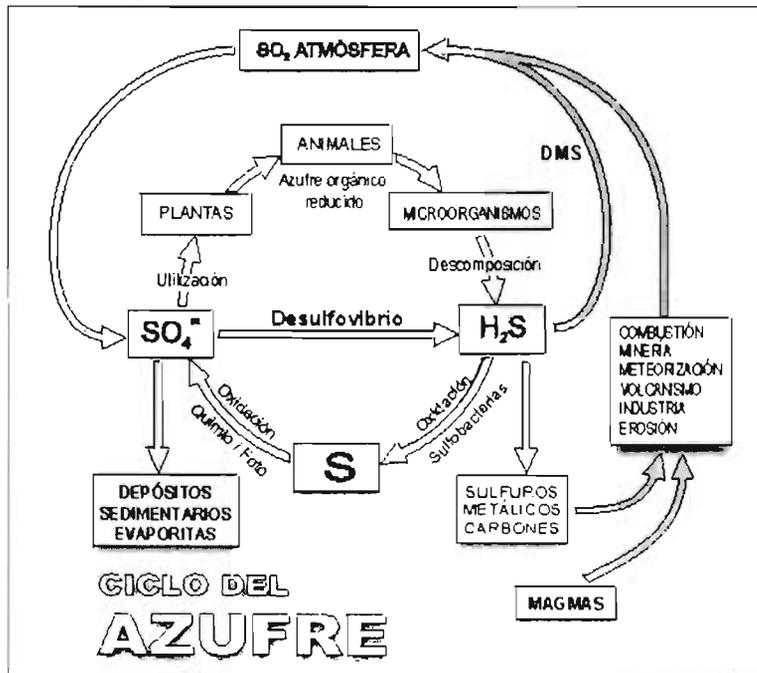
Figura 2.14 Ciclo del fósforo

CICLO DEL FÓSFORO



Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/CTMA/BIOSFERA/c.htm> (recuperado el 16 de junio de 2004)

Figura 2.15 Ciclo del azufre



Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/CTMA/BIOSFERA/c.htm> (recuperado el 16 de junio de 2004)

2.2.4 La edafosfera

Junto con la atmósfera y la hidrosfera, la edafosfera es el medio que sostiene la vida. Por ello la importancia de distinguir las características del suelo. Este es el producto del intemperismo físico de la corteza terrestre y de la acción de los seres vivos, especialmente los microorganismos y la vegetación. El suelo está compuesto por capas denominadas horizontes. El horizonte superior está compuesto por los cuerpos de plantas y animales reducidos a finas partículas de materia orgánica, mezcladas con arcilla, arena limo y demás materia mineral. El segundo horizonte está formado por suelo mineral, en el que la materia orgánica es mineralizada (descompuesta a materia inorgánica) y mezclada de manera uniforme con materia parental finamente dividida. Las sustancias solubles en el horizonte B a menudo se forman en el horizonte A y son llevadas hacia abajo por el flujo del agua (lixiviación). El tercer horizonte es la materia madre más o menos inalterada. La materia madre es la sustancia geológicamente original que se desintegra en el lugar, o bien ha sido transportada ahí por gravedad (depósitos derrubios), glaciares (morrenas), viento (depósitos eólicos), agua (aluviones) o por la acción volcánica (cenizas).

En términos de recirculación de nutrientes, la porción orgánica del suelo ocupa dos reservorios: 1) la fracción lábil, activa, que es la fuente inmediata de nutrientes para las plantas, principalmente formada por microorganismos y 2) una fracción estable, menos activa, compuesta de sustancias húmicas resistentes a la descomposición y que proporcionan la textura vital para mantener la calidad del suelo.

Los edafólogos clasifican los suelos básicamente en *aridisoles* (suelos de desierto), *inceptisoles* (suelos desarrollados), *alfisoles* (suelos de bosque moderadamente intemperizados), *entisoles* (suelos recientes de perfil no desarrollado), *oxisoles* (suelos tropicales), *molisoles* (suelos de pastizal), *ultisoles* (suelos de bosque altamente intemperizados), *espodosoles* (suelos de los bosques de coníferas del norte), *vertisoles* (suelos de arcilla expandibles) y *histosoles* (suelos orgánicos).

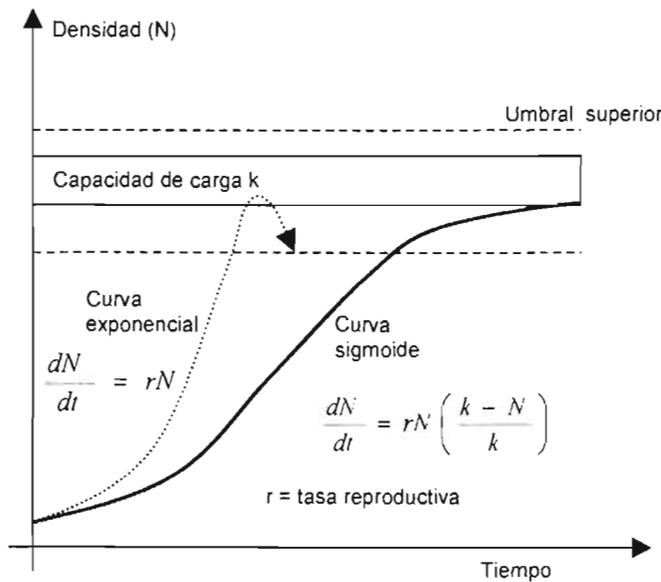
2.2.5 La dinámica de las poblaciones

La dinámica de las poblaciones que componen un ecosistema se estudia a partir de la forma de crecimiento de ésta y en función de las formas de interacción entre ellas. El tamaño de la población varía según el número de nacimientos, muertes y dispersiones²⁴. Por su sencillez, suelen emplearse dos tipos de funciones para

²⁴ La dispersión es el ritmo con que inmigran o emigran individuos a la población.

modelar la variación de la densidad de población: el modelo de crecimiento exponencial y el modelo de crecimiento sigmoide, (ver Figura 2.16). El primero ocurre cuando la población crece geoméricamente hasta agotar algún recurso o encontrar alguna otra limitación y llega a su límite de crecimiento poblacional. En el patrón de crecimiento sigmoide, los factores limitantes que resultan del hacinamiento constituyen una retroalimentación negativa que reduce el ritmo de crecimiento a medida que la densidad aumenta. Al límite superior del modelo sigmoide se le conoce como capacidad de carga del ecosistema para la población respectiva.

Figura 2.16 Modelos de crecimiento poblacional para organismos de un ecosistema



Fuente: Adaptación de Odum y Sarmiento (1998:170)

En la Figura 2.16 también se indican las ecuaciones que determinan la rapidez con la que crece la densidad de población. Pero en estos modelos no se toman en cuenta las interacciones con otras especies. De particular interés es el modelo que define la interacción entre presa y predador. El modelo más conocido para dicho propósito los constituyen la ecuación (4.1) y la ecuación (4.2) conocidas como las ecuaciones de Lotka y Volterra.

$$\frac{dV}{dt} = rV - (aV)P \quad (4.1)$$

$$\frac{dP}{dt} = b(aV)P - dP \quad (4.2)$$

En este modelo V y P representan las densidades de población de las presas y los predadores respectivamente, r es la tasa de reproducción de las presas, a es la

tasa de captura de presas por predador, b es la tasa a la que el predador transforma presas capturadas en nacimientos de predadores y d es la tasa de mortandad de predadores en ausencia de presas.

Pero la depredación no es el único tipo de relación que puede darse entre especies en un ecosistema. El efecto que una especie puede tener en el crecimiento poblacional y el bienestar de otra especie puede ser negativo (-), positivo (+) o neutro (0), dependiendo de su relación temporal o permanente. Así, en teoría, las poblaciones de dos especies que vivan juntas (en simbiosis; literalmente, vida en común) pueden interactuar de nueve maneras básicas que corresponden a la combinaciones posibles de los efectos (0), (+) y (-) y según la naturaleza de la interacción que puede ser obligada (esencial o permanente) ó facultativa (opcional, esporádica o circunstancial) (ver Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3 Tipos de simbiosis y posibles interacciones entre simbiosites

signo	Tipo de relación	Obligado	Facultativo	Simbionte 1	Simbionte 2
+	+	X		Socio	Socio
+	+		X	Socio	Socio
+	0	X		Comensal	Huésped
+	0		X	Inquilino	Vector
+	-	X		Parásito	Huésped
+	-		X	Predador	Presa
+	-		X	Herbívoro	Planta
0	0	X		Amensal	Amensal
0	0		X	Indiferente	Neutro
0	-	X		Huésped	Antígeno
0	-		X	Huésped	Alelo
-	-	X		Competidor	Competidor
-	-		X	Antagonista	antagonista

Fuente: Reproducción de Odum y Sarmiento (1998:188)

2.3 Técnicas para la modelación ecosistémica

2.3.1 El proceso general para la construcción de un modelo sistémico

El modelo de un sistema es una abstracción o simplificación que recoge los aspectos más relevantes para el analista. La idea de modelar un objeto complejo es la de facilitar su estudio; mientras más complicado se vuelve un modelo menos útil se torna. Por fortuna los adelantos en la tecnología informática permiten manejar modelos de un alto grado de complejidad. Hall y Day (1977) exponen los aspectos generales del proceso para la construcción de modelos sistémicos representado en forma de diagrama de flujo en la Figura 2.17. El proceso se inicia con el reconocimiento formal de la necesidad de adquirir comprensión respecto a cierta fracción de la realidad y eventualmente actuar sobre ella para lograr una

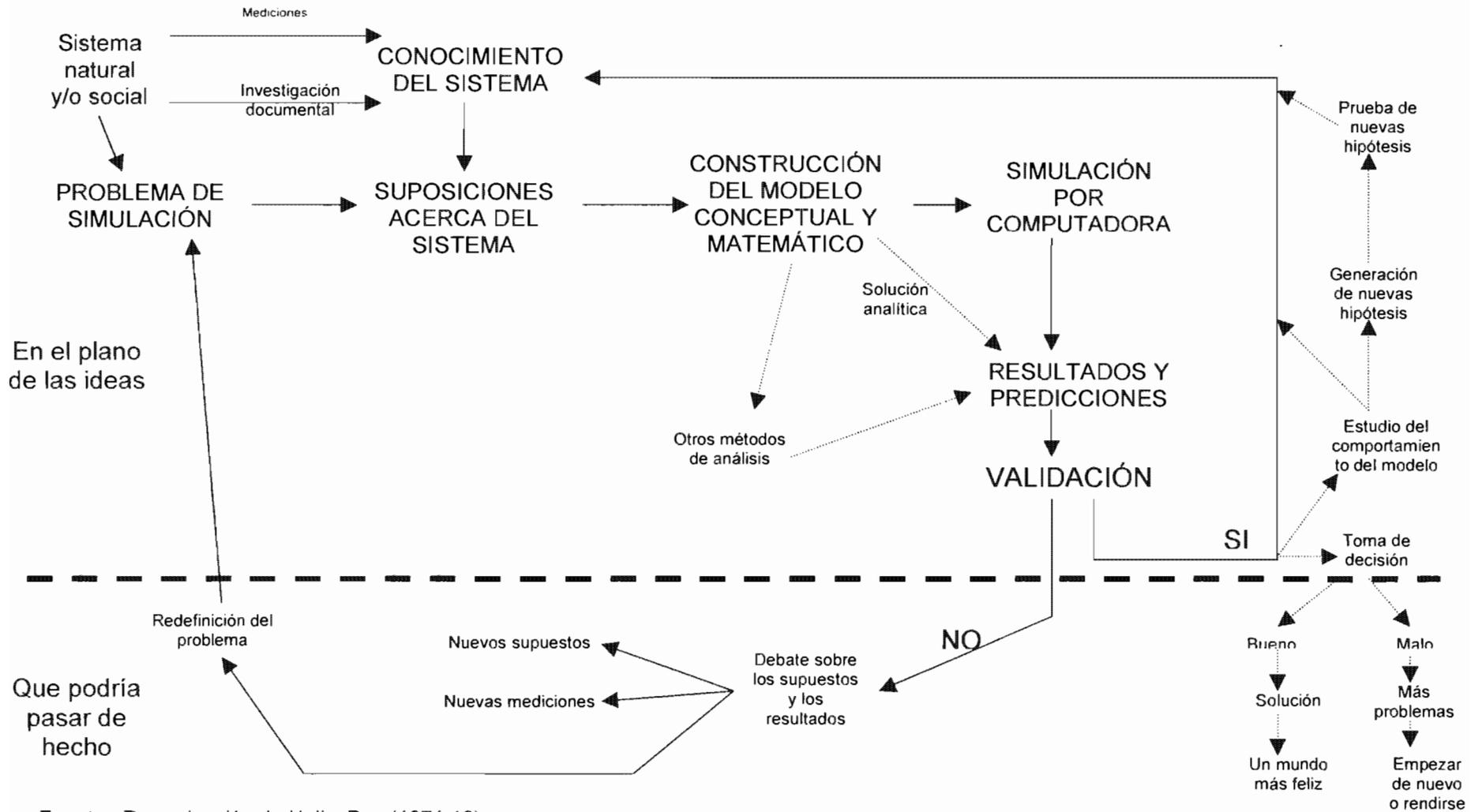
mejoría. El analista debe poseer ó adquirir cierto nivel de conocimiento respecto a los elementos e interacciones que componen al sistema para que, por medio de su intuición y experiencia, plantee el modelo definiendo su estructura a un nivel conceptual o cualitativo. La etapa conceptual del modelo puede ser una descripción narrativa de los elementos principales del sistema y de como interactúan. Seguidamente es necesario hacer una representación gráfica del modelo, usualmente en forma de diagramas, que permita su visualización de manera integral. Esto es extremadamente útil no solo como una forma de comunicación de la estructura del sistema que se modela, sino también como una guía para la traducción del modelo a un formato matemático.

Los modelos matemáticos pueden ser de tipo analítico o de simulación. Los modelos analíticos son preferibles desde el punto de vista de que proporcionan soluciones exactas, siempre y cuando sean posibles de resolver. El Cuadro 2.4 es la clasificación clásica de los tipos de problemas matemáticos y su factibilidad de solución por medio de métodos analíticos. Cuando el objeto de modelación es un ecosistema, usualmente las interacciones corresponden a relaciones no lineales y la regla es que se tengan que resolver modelos de docenas de ecuaciones, por lo que, atendiendo a la clasificación del Cuadro 2.4, es imposible aspirar a un modelo analítico. La alternativa son los modelos por simulación que, aunque no dan resultados exactos, logran proporcionar el grado de aproximación necesario.

La traducción de un modelo conceptual a uno matemático consiste de manera enunciativa de los siguientes pasos:

- a) Identificar un conjunto de variables cuyo valor cuantitativo defina, en cada instante del tiempo, el estado que guarda el sistema. Dichos valores, conocidos como variables de estado, corresponden en un ecosistema a los niveles de los reservorios de materia y energía, que se miden por ejemplo en términos de la biomasa de las poblaciones.
- b) Determinar las relaciones funcionales entre las variables de estado. Esto es, en el caso de un ecosistema, determinar la magnitud y ritmo de la transferencia de materia y/o energía entre reservorios en función de los niveles de éstos últimos. Las relaciones funcionales se expresan obviamente en forma de ecuaciones matemáticas.
- c) Determinar las relaciones funcionales entre las variables de estado correspondientes y el exterior del sistema. En un ecosistema existen entradas y salidas de materia y energía, la magnitud y ritmo de esta transferencia debe determinarse en función de los niveles de reserva del interior y de las ofertas y demandas del exterior.

Figura 2.17 Diagrama de flujo del proceso para la construcción de un modelo sistémico



Fuente: Reproducción de Hall y Day (1971:16)

Cuadro 2.4 Clasificación de problemas matemáticos y su factibilidad de solución por métodos analíticos

Tipo de ecuación	Ecuaciones lineales			Ecuaciones no lineales		
	Una ecuación	Varias ecuaciones	Muchas ecuaciones	Una ecuación	Varias ecuaciones	Muchas ecuaciones
Algebraica	Trivial	Fácil	En esencia imposible	Muy difícil	Muy difícil	Imposible
Diferencial ordinaria	Fácil	Difícil	En esencia imposible	Muy difícil	Imposible	Imposible
Diferencial parcial	Difícil	En esencia imposible	Imposible	Imposible	Imposible	Imposible

Fuente: Reproducido de Hall y Day (1977:10)

- d) A partir de un estado inicial del sistema, el juego consiste en calcular cual será el estado siguiente transcurrido un intervalo de tiempo. En un ecosistema el problema consiste en calcular el nivel que tendrán los reservorios de materia y energía, habiendo transcurrido un intervalo de tiempo desde un estado anterior. En este sentido, el valor actual de una variable de estado será igual a su valor anterior más la suma de todos los flujos que entran al reservorio menos la suma de todos los flujos que salen del mismo. En otras palabras la variación en el tiempo de una variable de estado es igual a la suma neta de los flujos que entran y los que salen del reservorio en cuestión. Esto nos define para cada reservorio una ecuación diferencial, si el problema se analiza en términos de tiempo continuo, o una ecuación en diferencias, si el problema se analiza en términos de tiempo discreto, el cual sería el caso si el modelo va a resolverse por simulación. El conjunto de ecuaciones diferenciales o en diferencias, que determinan la evolución en el tiempo de las variables de estado, conforma un sistema de ecuaciones que es la versión matemática del modelo conceptual.

Dada la virtual imposibilidad de resolver un sistema de ecuaciones en diferencias como el que produce la modelación de un ecosistema, el siguiente paso, después de formular el modelo matemático, es codificarlo en lenguaje computacional dentro de un programa que permita iterar repetidamente los valores de las variables de estado, a partir de un estado inicial y conocer así la evolución del sistema en el tiempo, según el modelo propuesto. Actualmente existe software que facilita extraordinariamente la tarea de generar y simular modelos matemáticos asociados a sistemas reales. En ellos sólo es necesario definir la estructura del modelo mediante las herramientas que el programa proporcione para representar los reservorios, los canales de transferencia de flujos y las relaciones funcionales que definen a éstos. Con ello la programación del modelo es automática y su simulación es mediante un comando del programa. Los resultados y predicciones de la simulación son presentados por el software según los requerimientos del usuario. Gracias a estas facilidades proporcionadas por la tecnología de la información, el analista de sistemas reales necesita ocuparse menos en las tareas

de codificación y programación y dedicarse más a la investigación de la esencia de su objeto de estudio.

A partir de los resultados de la simulación, el modelo debe ser validado, lo que consiste en evaluar si los resultados son congruentes con los comportamientos lógicos esperados del sistema e incluso razonablemente parecidos a su evolución real en periodos históricos. También es posible validar el modelo comparando los resultados predictivos de su simulación con su evolución real en el futuro. Se recomienda que la comparación entre resultados de simulación y comportamiento observado se realice en términos de pruebas de hipótesis estadísticas.

Si los criterios de validación del modelo no son satisfechos por los resultados de la simulación deben discutirse los supuestos de los que partió la construcción conceptual y en su caso replantear nuevos supuestos o bien redefinir el problema que desea resolverse con la construcción del modelo y el proceso de modelación se reinicia. Si los criterios de validación son satisfechos el modelo es apropiado y procede su utilización para incrementar el conocimiento sobre el mundo real para continuar con el ciclo cognitivo y para tomar decisiones que conduzcan a un estado preferible del sistema verdadero.

2.3.2 Representación gráfica de la versión conceptual del modelo

Es de relevancia contar con un lenguaje apropiado que permita la esquematización de la estructura de un modelo ecosistémico. El proceso de dibujar un diagrama de flujo es una estrategia conveniente para la construcción de la versión conceptual del modelo. Además, la representación gráfica sirve de guía para la traducción del modelo a una versión matemática y su posterior programación, así como un medio de comunicación del conocimiento estructurado mediante la construcción del modelo. Hall, Day y Odum (1977) enlistan la simbología creada por Odum para construir modelos conceptuales de ecosistemas, los principales símbolos están contenidos en la Tabla 2.1

Un ejemplo de aplicación bastante simple de la simbología explicada en la Tabla 2.1 se muestra en la Figura 2.18. En ella se aprecian una fuente de energía externa que es el sol y cuatro variables de estado que son el nivel de nutrientes en el suelo y las poblaciones de plantas verdes, venados y hombres cazadores, los bucles de retroalimentación de fertilización del suelo por los venados y del desgaste de los hombres para cazar a los venados, así como la dispersión de la energía en forma de calor por causa de la entropía. es un ejemplo de aplicación más elaborado del lenguaje simbólico para modelos ecosistémicos. Este diagrama podría utilizarse a manera de plantilla general agregada para modelar sistemas ecológico-económicos integrados, ya que se compone del subsistema ecológico natural, que es autosustentable y del cual se sirven los sistemas económicos productivos conducidos por el hombre tanto en el sector agropecuario como en el industrial que se lleva a cabo en las ciudades. Se indican también los intercambios

energético-monetarios entre el campo y la ciudad, así como entre el sistema y el exterior. También se indica un flujo de degradación de la estructura citadina hacia el sistema natural que bien puede simbolizar la contaminación ambiental. Tanto la ciudad como el campo se simbolizan como grandes productores agregados y la ciudad como una gran consumidora de los primeros dos y de combustible fósil.

Tabla 2.1 Simbología para la representación gráfica del modelo conceptual de un ecosistema.

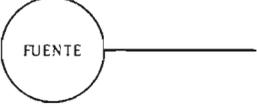
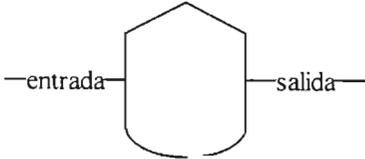
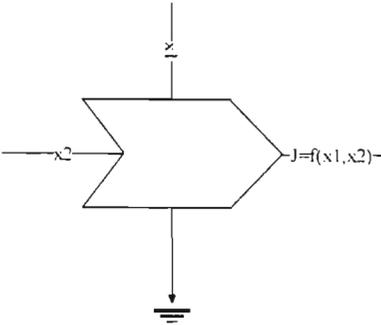
SÍMBOLO	EXPLICACIÓN
	<p>Fuente: Representa una fuente de energía, materia o información externa al sistema bajo consideración. Por ejemplo, si se desea modelar un bosque, pueden considerarse fuentes externas de energía solar, agua, viento, etcétera, cuyos procesos de generación no es necesario considerar dentro del modelo, pero sí se debe estimar el ritmo e intensidad del flujo correspondiente.</p>
<p>Sumidero</p> 	<p>Sumidero: Representa el flujo de energía que sale del sistema en forma de calor disperso según la segunda ley de la entropía o bien la degradación de la materia en una forma que no corresponde considerar en el sistema en cuestión.</p>
<p>Depósito o reservorio</p> 	<p>Depósito o reservorio: Representa a los elementos que contienen la materia, energía o información almacenada dentro del sistema en cuestión. A ellos entran y salen flujos que hacen variar sus niveles, los cuales determinan los valores de las variables que definen el estado del sistema en un instante determinado. Dependiendo del tipo de reservorio y del flujo de carga, puede presentarse la acumulación de energía potencial y la pérdida de energía en el proceso de llenado. Por ejemplo cuando se bombea agua a un tanque elevado, se consume energía mecánica que en parte se mantiene en forma potencial en el agua almacenada en el tanque y en parte fluye a un sumidero en forma de calor disperso.</p>
<p>Compuerta de trabajo o intersección</p> 	<p>Compuerta de trabajo o intersección: Representa un nodo en el que interaccionan dos o más flujos para producir otro cuyo tipo y magnitud está en función del tipo y magnitud de los que ingresan. La función que relaciona a los flujos se supone conocida a partir de información teórica o experimental. Además siempre debe considerarse la dispersión de energía o materia hacia un sumidero en todo proceso de interacción de flujos, de acuerdo con la ley de la entropía.</p>

Tabla 2.1 Simbología para la representación gráfica del modelo conceptual de un ecosistema. Continuación.

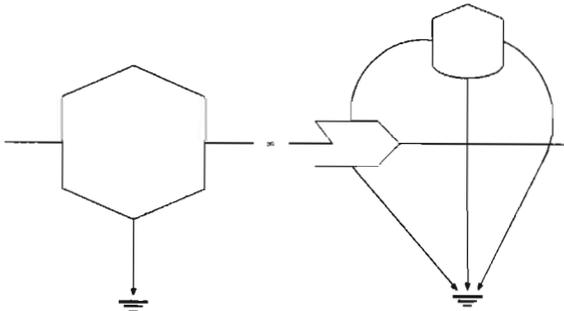
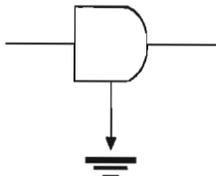
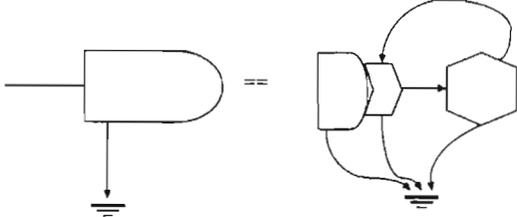
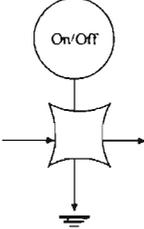
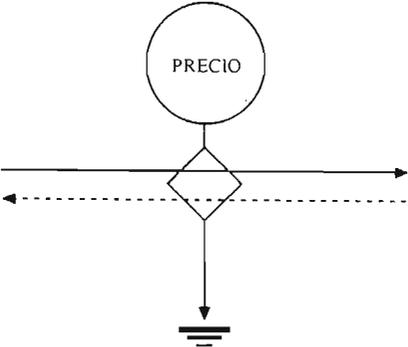
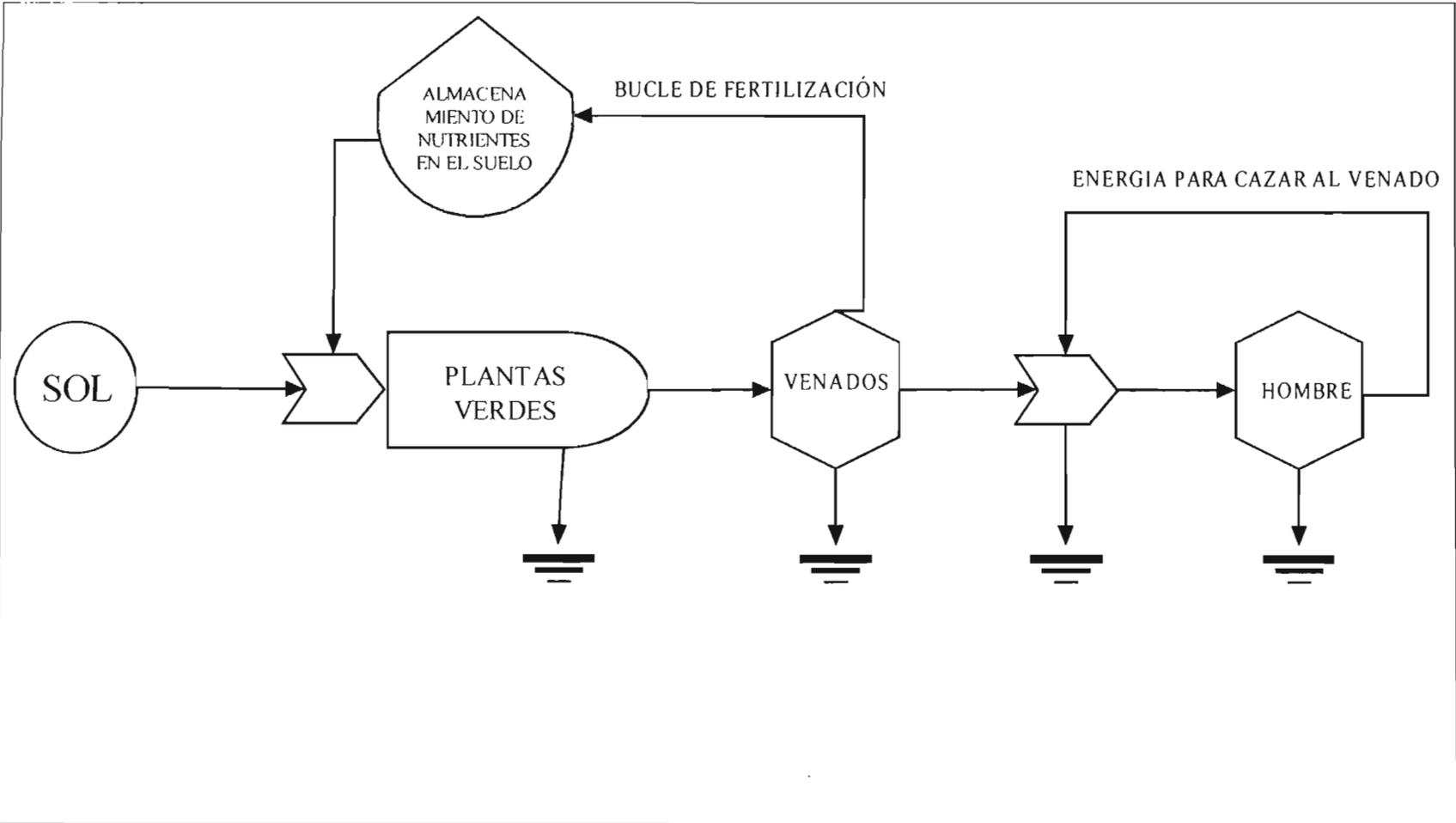
SÍMBOLO	EXPLICACIÓN
<p style="text-align: center;">Consumidores</p> 	<p>Consumidores: El hexágono se utiliza para representar a los componentes de un ecosistema que se autosustentan tales como los animales y los descomponedores, o las ciudades. De acuerdo con la descomposición del símbolo indicada en el diagrama, éste puede representar una población ecológica cuya energía almacenada en forma de biomasa fluye e interacciona con el flujo que representa al alimento en el proceso de alimentación, con lo que se recarga el reservorio de biomasa. Los tres flujos que fluyen al sumidero representan de izquierda a derecha (1) energía perdida en el proceso de alimentación, (2) energía perdida en el proceso de almacenaje y (3) energía dispersada en el proceso de mantenimiento del metabolismo. Los consumidores son elementos de un ecosistema, cuyo nivel de almacenamiento constituye el valor de una variable de estado más que varía a lo largo del tiempo.</p>
<p style="text-align: center;">Receptor de energía pura</p> 	<p>Receptor de energía pura: La figura en forma de bala corta representa un elemento capaz de captar parte de la energía que recibe directamente de la fuente que la emite y almacenarla. Por ejemplo los cloroplastos de las plantas verdes que captan parte de la energía luminica que reciben del sol. Este elemento se utiliza como componente de los productores.</p>
<p style="text-align: center;">Productor</p> 	<p>Productor: La forma de bala alargada representa a los productores que son los componentes del ecosistema que utilizan la energía que ellos mismos captan para alimentarse y automantenerse son vida. Ejemplo inmediato son las plantas. El nivel almacenado dentro de este componente es otra variable de estado del sistema en cuestión.</p>
<p style="text-align: center;">Flujo</p> 	<p>Flujo: La línea direccionada indica un flujo y su sentido donde no existe mayor oposición que la fricción o la inercia.</p>
<p style="text-align: center;">Contraflujos</p> 	<p>Contraflujos: Esta simbología se utiliza cuando se trata de representar la contraposición de flujos, como en el caso de un tanque de agua llenando a otro.</p>

Tabla 2.1 Simbología para la representación gráfica del modelo conceptual de un ecosistema. Continuación.

SÍMBOLO	EXPLICACIÓN
<p data-bbox="273 273 560 308">Conjunción de flujos</p> 	<p data-bbox="724 273 1302 349">Conjunción de flujos: Este símbolo se utiliza para representar la unión de dos o más flujos en uno solo.</p>
<p data-bbox="278 472 555 506">Flujo unidireccional</p> 	<p data-bbox="724 472 1302 547">Flujo unidireccional: La línea direccionada con segmento tope indica que el flujo solo puede ser en una dirección.</p>
<p data-bbox="264 666 569 701">Control de encendido</p> 	<p data-bbox="724 666 1302 741">Control de encendido: Este arreglo se utiliza para simbolizar que un flujo solo tiene condición de encendido o apagado.</p>
<p data-bbox="253 997 580 1032">Transacción monetaria</p> 	<p data-bbox="724 997 1302 1175">Módulo de transacción monetaria: Se utiliza para representar la regulación en la magnitud de los flujos energético y monetario en función de un precio. La línea discontinua indica la dirección del flujo monetario que es opuesta a la del flujo energético. Como en todos los casos siempre existe una cantidad de energía que se dispersa al efectuar la transacción.</p>

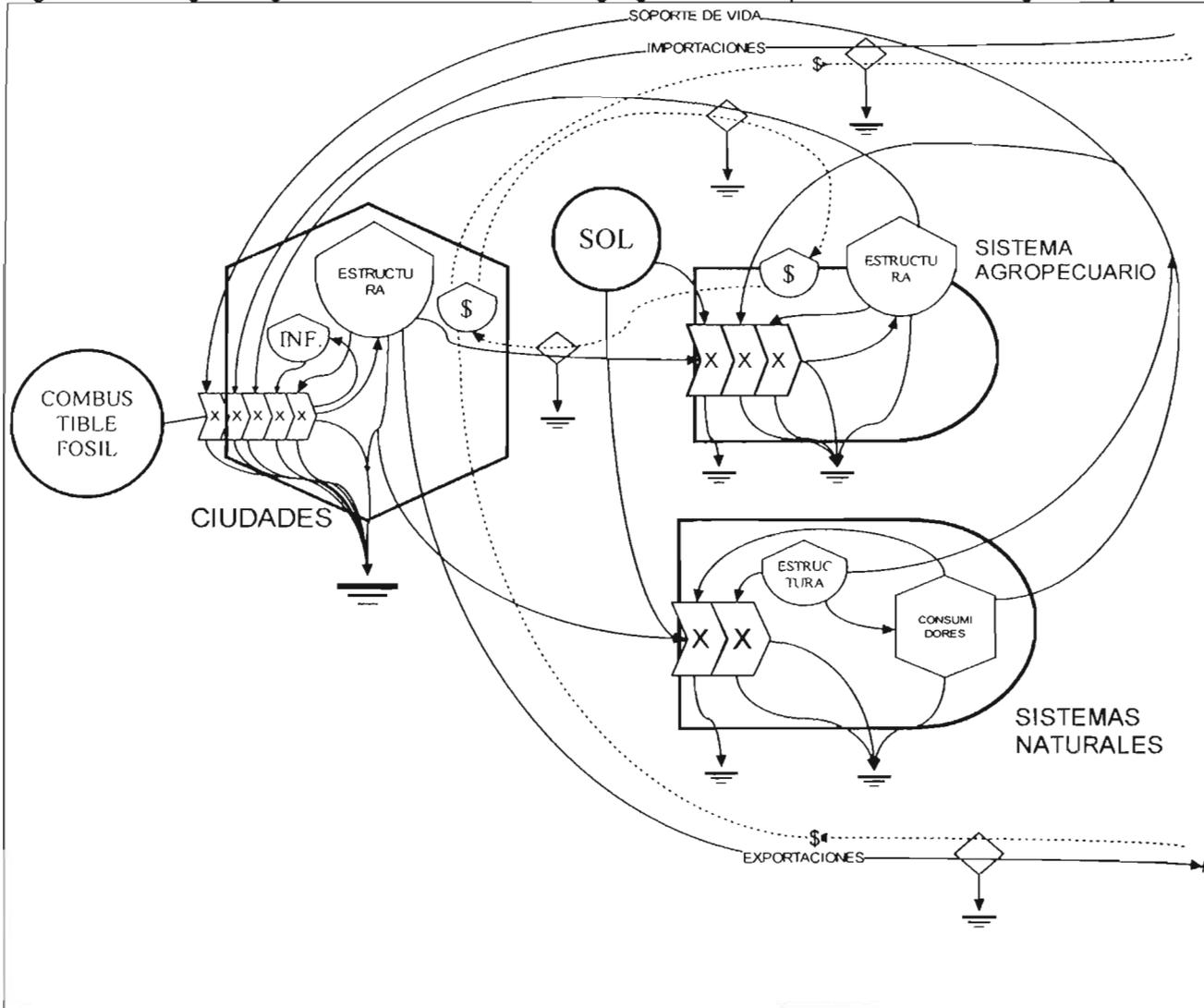
Fuente: Elaboración propia con información de Hall, Day y Odum (1977).

Figura 2.18 Modelo diagramático simple utilizando los módulos del lenguaje simbólico para la representación gráfica de modelos ecosistémicos.



Fuente: Reproducido de Hall, Day y Odum (1977).

Figura 2.19 Diagrama general de un ecosistema agregado en componentes urbano, agrícola y ambiental.



Fuente: Reproducido de Hall, Day y Odum (1977).

2.3.3 La estrategia para construir modelos ecosistémicos

Overton (1977) plantea los aspectos generales de una estrategia apropiada para guiar la construcción de un modelo ecosistémico. Enfatiza que los modelos son conocimiento estructurado y que el proceso de modelado es el de imponer estructura al conocimiento. La tarea del analista encargado de construir un modelo específico es extraer del almacén del conocimiento científico sólo la información relevante para los objetivos del modelo. La tarea de construir un modelo no requiere solo de técnicas sino también de intuición para extraer del cúmulo de conocimientos científicos la esencia del sistema que se pretende modelar. La intuición puede ser desarrollada mediante la práctica y el esfuerzo consciente de construir modelos de acuerdo con criterios apropiados. La estrategia básica que propone Overton es:

- a) Definir los objetivos del modelo en forma de un listado de especificaciones del mismo.
- b) Identificar submodelos y subobjetivos.
- c) Construir y validar los submodelos.
- d) Ensamblar los submodelos para formar el modelo completo y validarlo.
- e) Indagar la respuesta a la pregunta objetivo.
- f) Examinar el comportamiento general del modelo e identificar relaciones de interés.
- g) Validar estos parámetros y estructuras causales.

El enunciado que establece un objetivo consiste en la declaración de una meta y en la especificación de un propósito. Es indispensable definir con exactitud cuáles son las metas que debe alcanzar un modelo y los propósitos para construirlo. De otra manera no existe una guía que permita navegar dentro de la complejidad e identificar una estructura clara y parsimoniosa, ya que objetivos distintos conducen a estructuras diferentes. El objetivo de un modelo debe expresarse como un conjunto de especificaciones que debe cumplir. Los mínimos elementos que deben incluir las especificaciones del modelo son:

- a) La pregunta objetivo que la operación del modelo debe responder.
- b) Las perturbaciones o estímulos al sistema que deban ser considerados.
- c) El establecimiento preciso del sistema objetivo al cual aplica la pregunta.
- d) El establecimiento preciso del sistema de nivel superior del cual el sistema objeto es parte.
- e) El preciso establecimiento del ambiente en el cual la pregunta aplica.
- f) El comportamiento esperado del modelo.
- g) La región de comportamiento extrapolado o previsto.
- h) Fundamentos empíricos e hipotéticos (datos, supuestos, fuentes de conocimiento).

- i) Criterios de validación empírica (congruencia con curvas de comportamiento y pruebas de predicción)
- j) Criterios de validación teórica (realismo, concordancia con teorías aceptadas).

La pregunta objetivo se plantea en términos de una perturbación o estímulo que obra sobre un subsistema específico del ecosistema: *¿cuál será el efecto de determinado estímulo o perturbación sobre el comportamiento del ecosistema?* La razón práctica para identificar subsistemas es la de reducir el problema del modelado a proporciones manejables, pero la teoría sugiere que los sistemas reales son modulares y jerárquicos, lo que respalda la estrategia práctica. La teoría ecológica restringe a la práctica del modelado a ser compatible con los conocimientos aceptados. El sistema objetivo se ubica en el contexto de un sistema ecológico de mayor nivel relevante para los objetivos del modelo. El mecanismo del sistema objetivo se define mediante la identificación de subsistemas de menor nivel. La estrategia para identificar y modelar los subsistemas componentes del sistema objetivo es similar a la que aplica a este último: a partir de los objetivos del modelo integral se plantean los subobjetivos pertinentes que conducen a la construcción de submodelos. Si estos aprueban sus propios criterios de validación, se integran para conformar el modelo completo, el cual a su vez debe ser validado en su comportamiento global.

Costanza, Wainger y Bockstael (1996) comentan algunos aspectos a considerar al definir el propósito de un modelo de sistemas ecológico-económicos integrados, *los propósitos pueden variar desde simplemente desarrollar modelos conceptuales, a fin de proporcionar un entendimiento general del comportamiento del sistema, hasta detalladas aplicaciones realistas conducentes a evaluar propuestas de políticas específicas. Es inapropiado juzgar la totalidad de variantes de los modelos bajo el mismo criterio* (Costanza, Wainger y Bockstael, 1996:254). Al menos tres criterios deben ser considerados:

- a) Realismo: es una característica de los modelos cuando los procesos del sistema modelado son representados en una manera altamente precisa.
- b) Precisión: es el criterio base cuando el objetivo del modelo es lograr una elevada concordancia entre los datos reales y los resultados de la simulación del modelo.
- c) Generalidad: es la característica del modelo que le permite representar y ser aplicable a una amplia variedad de casos de sistemas similares.

Los tres criterios no pueden ser maximizados simultáneamente por lo que es necesario tener claro cual es el propósito perseguido cuando se modela un sistema. Se pueden agrupar cuatro grandes clasificaciones de modelos según su propósito visto desde los tres principales criterios:

- a) Modelos conceptuales de alta generalidad: estos modelos deben ceder en precisión y realismo a fin de permitir una mayor generalidad en su aplicación. Suelen estar constituidos por pocas variables y relaciones

lineales y no lineales relativamente simples que están dirigidas a responder preguntas generales sobre los límites de los sistemas económicos en el contexto de su dependencia con la base ecológica del soporte de vida.

- b) Modelos analíticos de alta precisión: para alcanzar un alto nivel de precisión se requiere sacrificar realismo y generalidad, manteniendo una resolución espacial y temporal del modelo elevada, simplificando las relaciones y analizando periodos de tiempo cortos. Los modelos econométricos grandes, utilizados para predecir el comportamiento a corto plazo del sistema económico, caen dentro de esta clasificación.
- c) Modelos de análisis de impacto de alto realismo: si el objetivo es evaluar el comportamiento de sistemas complejos específicos, la generalidad y la precisión deben relajarse. Los modelos dinámicos, no lineales y los modelos de sistemas evolutivos en un rango de mediana a alta resolución generalmente caen en esta clasificación.
- d) Modelos indicativos de moderadas generalidad y precisión. En algunos casos la modelación de sistemas busca lograr con precisión la magnitud general y la dirección de un cambio, sacrificando realismo por una moderada generalidad y precisión.

CAPITULO 3 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO ILIATENCO-BARRANCA DEL ÁGUILA

La construcción de un modelo sistémico consiste en asignar al conocimiento disponible de un objeto de estudio una estructura hipotética susceptible de validarse en lo teórico como en lo empírico. En este capítulo se presenta a grandes rasgos el conocimiento disponible de la zona de estudio²⁵, el cual servirá de base tanto para inspirar la estructura del modelo económico-ecológico que se desea construir, como para ubicar al lector en el entorno objetivo motivo de este trabajo de investigación. La localización de la zona de interés nos indica en qué lugar de la República se encuentra, en relación con la división política estatal y municipal. Las coordenadas geográficas nos permiten localizar el lugar de interés sobre la superficie del planeta. La utilidad indirecta de estos datos es que permite acceder a documentación con mayor información de aplicación directa a los objetivos de este trabajo. La descripción fisiográfica es importante pues esta determina en gran medida el tipo de actividades agropecuarias que se pueden practicar. La descripción de la vegetación y la fauna da cuenta de la riqueza biológica de la región y de los recursos naturales susceptibles de explotar. La investigación de las particularidades demográficas y socioeconómicas proporciona la información necesaria para modelar el crecimiento de la población y su forma de aplicación a la actividad económica. La indagación en las características de las principales actividades económicas, las cuales son la agricultura (maíz y café), la ganadería de solar, la explotación forestal (extracción de leña y venta de madera) y la producción artesanal (sombreros de palma), nos aporta las principales claves de la interacción económico-ecológica de las comunidades que se ubican en el lugar de estudio.

3.1 Condiciones fisiográficas de la zona de estudio

3.1.1 Localización

La zona de estudio está comprendida dentro de la región del estado de Guerrero denominada Montaña Alta. Geográficamente abarca la fracción de la Sierra Madre del Sur conocida como Sierra de Malinaltepec. La denominación particular de la zona de estudio se debe a que ésta se extiende aproximadamente desde la población cuyo nombre es Iliatenco hasta la formación orográfica conocida como Barranca del Águila. Engloba parte de cuatro municipios, correspondiendo la mayor parte al municipio de Malinaltepec y el resto a los municipios de Atlamajalcingo del Monte, Metlatónoc y San Luis Acatlán en orden de importancia, (ver Figura A 1).

²⁵ Las principales fuentes son la información censal de INEGI (1991), INEGI (2000) y los estudios realizados por PAIR (1998).

La ubicación de la zona de estudio corresponde a un bloque de cubierta forestal compuesta por bosque de pino, encino y bosque mesófilo de montaña. La extensión, la continuidad de la comunidad vegetal y el grado de conservación ecológica que actualmente presenta esta zona son los elementos que justifican los esfuerzos de organismos como el PNUD por lograr que en ella se lleven a cabo procesos de desarrollo económico y social ecológicamente sustentables. La localización geográfica de la zona está comprendida aproximadamente entre los 17°00' y 17°15' de latitud norte y los 98°30' y 98°45' de longitud oeste. Las altitudes varían ampliamente, con una escarpada topografía desde los 1000 hasta los 2600 metros sobre el nivel del mar en las elevaciones más altas. La superficie núcleo a conservar alcanza las 29 987 Ha.

Dispersas dentro de la región en cuestión, se encuentran asentadas numerosas comunidades indígenas tlapanecas principalmente, cuya distribución geográfica se ilustra en la Figura A 2. Dentro del conjunto de comunidades destacan, por el tamaño de su población, Iliatenco con 2389 habitantes, Malinaltepec (cabecera del municipio del mismo nombre) con 1138 habitantes, Paraje Montero con 1084, Colombia de Guadalupe con 947 habitantes, Cruztomahuac con 617 habitantes, San Miguel el Progreso con 614 habitantes, Chilixtlahuaca, con 537 habitantes, San José Vista Hermosa con 887 habitantes, Cerro Cuate con 576 habitantes, Colonia Aserradero con 558 habitantes (INEGI, 2000). El resto de las 64 comunidades registradas en la zona pueden consultarse en la Tabla A 2.1.

3.1.2 Orografía

El relieve de la zona de estudio corresponde a una escarpada topografía cuya conformación puede apreciarse en la Figura A 2 que muestra las curvas de nivel con separación vertical de 200 metros, en la Figura A 3, que exhibe el mapa hipsométrico de la región y en la Figura A 4, que contiene el mapa de pendientes correspondiente. La mayor parte de la superficie de referencia consiste de sierra metamórfica, con laderas de pendientes fuertes y cumbres agudas muy irregulares y sin una alineación superficial, abarcando todos los rangos de altitudes desde los 1000 hasta los 2600 m.s.n.m. Destaca la presencia de drenajes muy profundos y con muy pocas zonas planas intermedias. Los suelos son principalmente litosoles y luvisoles, con poca fertilidad y gran inestabilidad por sus pendientes. Estas características orográficas dan cuenta ya de unas condiciones altamente limitantes para una explotación agrícola convencional eficiente.

Se distinguen también en el relieve crestas y macizos metamórficos que unen algunas elevaciones principales entre Malinaltepec y Paraje Montero, conformadas por cimas o crestas convexas muy intemperizadas. Terrazas Metamórficas y un pequeño valle intermontano donde se encuentra la población de Iliatenco. Las planicies aluviales se reducen a unas cuantas franjas a lo largo de los fondos de los ríos Omitlán y Chilixtlahuaca, son muy estrechas y de una longitud no mayor a

2km. La parte superior del municipio de Metlatónoc es una meseta de 2400 m.s.n.m. que está bordeada por escarpas y laderas de fuerte pendiente.

3.1.3 Hidrografía

Los principales drenajes que abarca la zona en cuestión corresponden a las cuencas de Omitlán, Iliatenco, Mixtecapa, Chilixtlahuaca, Metlatónoc, Ixtliacabaza. La estructura hidrográfica puede apreciarse en la Figura A 5. Se trata de una red de drenajes bastante densa compuesta por corrientes tanto perennes como intermitentes que alimentadas por la abundante captación de lluvia de los bosques de pino y encino que cubren la región aportan un volumen de agua vital para el consumo tanto regional como de las cuencas aguas abajo, (ver Fotografía 15 y Fotografía 16).

3.1.4 Clima

El mapa climático de la Figura A 6 indica la predominancia de los climas cálido, semicálido y templado subhúmedos con una proporción de precipitación pluvial invernal inferior al 5% del total anual y una relación de precipitación total anual en mm sobre la temperatura media anual en °C superior a 53.3. El régimen pluviométrico de la zona se ilustra en el mapa de la Figura A 7, en éste se indica que las lluvias anuales alcanzan los 2000mm. Las temperaturas promedio anuales se exhiben en el mapa de isotermas de la Figura A 8 en la que se aprecia una variación de temperaturas desde los 18°C hasta los 24°C. Las características de evotranspiración y humedad del suelo se muestran en la Figura A 9 y en la Figura A 10 respectivamente las cuales indican que la altura de evotranspiración anual promedio se encuentra entre 700 y 800 mm y la humedad del suelo dura aproximadamente 7 meses del año.

3.1.5 Vegetación

La cubierta forestal de la zona de estudio está compuesta por bosque de pino-encino en asociación con bosque mesófilo de montaña (ver Fotografía 4, Fotografía 5 y Fotografía 6). Se calcula que en extensión hay aproximadamente 29,987 Ha de bosques bien conservados en donde prevalecen los climas de cálidos a templados subhúmedos. El suelo en el que crece este tipo de vegetación es profundo de más de 1.5 m, de origen metamórfico con gran contenido mineral y orgánico en descomposición, con buen drenaje y mínimo afloramiento rocoso. Fisonómicamente la vegetación de la zona está constituida por árboles con tallas de 30 a 40 m de altura, fustes bien desarrollados y vigorosos con diámetros de 40 a 75 cm para los pinos y de 1.2 a 2.0 m para los encinos. Aparentemente el bosque de referencia no alberga plagas y tiene una buena regeneración natural en cuanto a pino se refiere. Las principales especies son de *Pinus Pseudostrobus* y

Pinus Herrerae, y en asociación se encuentran *Quercus laurina*, *Quercus acutifolia* y *Arbutus sp.* Otros elementos presentes son las epífitas tales como: orquídeas (*Lemboglossum sp.*, *Oncidium sp.* y *Encyclia sp.*); Helechos (*Polipodium sp.*, *Asplenium spp.*); bromelias (*Tillandsia sp*) y musgos (PAIR, 1999).

El bosque mesófilo de montaña se desarrolla entre mezclado con el bosque de pino, en laderas y cañadas protegidas principalmente de los vientos y la luz intensa del sol. Se constituye por especies tales como *Cysthea fulva*, *Pinus Pseudostrobus* y *Pinus Herrerae*, y en asociación se encuentran *Quercus laurina*, *Quercus acutifolia* y *Arbutus sp.* Otros elementos presentes son las epífitas tales como: orquídeas (*Lemboglossum sp.*, *Oncidium sp.* y *Encyclia sp.*); Helechos (*Polipodium sp.*, *Asplenium spp.*); bromelias (*Tillandsia sp*) y musgos. A diferencia del bosque de pino, este es fisonómicamente cerrado con dos y tres estratos; uno arbóreo alto de 20 m un arbóreo bajo de 6 a 8 m y un arbustivo de 1 a 4 m desarrollados sobre suelos profundos y de buen drenaje, con gran cantidad de material mineral y orgánico en descomposición y un afloramiento rocoso entre el 15 y el 30% (PAIR, 1999).

Un dato significativo es que, de las 1500 especies vegetales que hay en la montaña, 600 son útiles, es decir, el 40%. Esto significa que tan solo en el 0.5% de la superficie del país, que es aproximadamente la superficie que ocupa la región, se encuentra representada alrededor del 10% de la flora útil de México.

3.1.6 Fauna

Las características del bosque bien conservado, tanto en grado de perturbación como en extensión, así como la dificultad de acceso a la zona han ofrecido un excelente refugio a gran cantidad de especies²⁶. De las 402 especies que se tienen sistemáticamente registradas 42 corresponden a anfibios, 187 a aves, 62 de mamíferos, 106 de reptiles, 6 de peces y 2 de crustáceos. La Tabla 3.1 muestra una clasificación de las especies según su estatus de protección.

Dentro de los mamíferos destacan el armadillo de nueve bandas, distintas clases de liebres y conejos, ardillas, ratas y ratones, tejones, mapaches, zorras, coyotes y algunos felinos. Zorrillos, comadreas y murciélagos, pecaríes, venados. Las poblaciones de aves incluyen zopilotes, aguilillas, halcones, gavilanes entre otros muchos. Los anfibios están representados por salamandras, distintas especies de ranas y sapos, cecilias. Reptiles tales como Tortugas, dragoncitos, falsos

²⁶ Aunque no existe confirmación científica al respecto, por referencia de los pobladores se sabe que aun existe el jaguar (*Felis onca*) en esta región. No es descabellado creer esta afirmación si se considera que la especie requiere de al menos 30 individuos para reproducirse y que cada uno requiere de 400 Ha. Es decir se requerirían solo 12 mil de las 29 mil Has. de la zona boscosa que aún se conservan en la región para permitir la reproducción de la especie. De hecho en el poblado de Paraje Montero existe un comité de protección al jaguar (PAIR, 1999).

escorpiones, cuijas, iguana negra, falso camaleón, lagartijas espinosas, anolis, skincos, quijes, lagartijas de noche, escorpiones, entre otros muchos (PAIR, 1999).

Las poblaciones de insectos están relativamente poco estudiadas. De igual manera se considera que las especies registradas son la minoría de las que pueden encontrarse en la región.

Tabla 3.1 .- Clasificación de la fauna registrada en la zona de estudio según su estatus de protección..

Nombre	No. Especies	Familias	Géneros	Amenazadas	Bajo protección	En peligro de extinción	Raras	Endémicas
Anfibios	402	6	8	6	1	1	16	36
Aves	187	37	122	21	4	9	9	27
Mamíferos	62	21	43	12		1	1	7
Reptiles	106	16	50	11	4	1	49	84

Fuente: PAIR (1999)

3.2 Características demográficas y socioeconómicas

3.2.1 Demografía

Como lo muestra la Figura A 2 la población que habita la zona de estudio se distribuye ocupando un gran número de asentamientos (64 considerados, entre comunidades y anexos), formando una especie de anillo alrededor de las cúspides que albergan la masa arbórea que interesa conservar, habiendo una mayor concentración en la zona que corresponde al municipio de Malinaltepec.

La población agregada del conjunto de comunidades consideradas asciende a 20229 habitantes (INEGI, 2000); de los cuales el 78.1% corresponden a Malinaltepec, 9.6% a Atlamajalcingo del Monte, el 7.9% a Metlatónoc y el 4.4% a San Luis Acatlán. Del Archivo Histórico de Localidades elaborado por el INEGI se obtienen los datos de población de las comunidades desde principios del siglo pasado. Dichos datos se concentran en la Tabla A 2.2 en la que se observa que las localidades con registros censales más antiguos corresponden a Colombia de Guadalupe, Iliatenco, Chinameca, Malinaltepec, Paraje Montero, San Miguel el Progreso, Chilixtlahuaca, Ojo de Pescado y San José Vista Hermosa. También se detecta que es en la década de los noventa cuando se incrementa la dispersión de la población en un gran número de asentamientos²⁷. La Gráfica 3.1 muestra el

²⁷ Se presume que la dispersión de la población en una mayor área se debe al interés por acercarse a los recursos naturales ya sea para explotación o vigilancia de los mismos; aunque también es probable que se trate de una estrategia para el cultivo de enervantes; hecho que no se puede verificar por razones obvias (PAIR, 1999).

crecimiento de la población agregada; se observa que ésta sigue un patrón típico de crecimiento con tendencia exponencial a excepción del dato correspondiente al conteo poblacional de 1995 en el que aparente mente hubo una disminución significativa de la población, aunque probablemente se trata de un dato atípico.

En lo que se refiere al fenómeno de la migración, actualmente puede considerarse inexistente ya que solo tres de cada mil personas habitantes originales de la región han sido declaradas fuera de ella permanentemente. Aparentemente las actividades agrícolas de subsistencia, el cultivo de café y el aún abundante recurso forestal han dado a los habitantes los medios mínimos indispensables para satisfacer sus necesidades mas apremiantes, lo que ha sido suficiente para inhibir el deseo por emprender la aventura incierta que plantea la opción migratoria. Es posible también que las actividades propias del narcotráfico, favorecidas por las condiciones geográficas de difícil acceso de la región, colaboren en la retención de mano de obra (PAIR, 1999).

3.2.2 Datos socioeconómicos

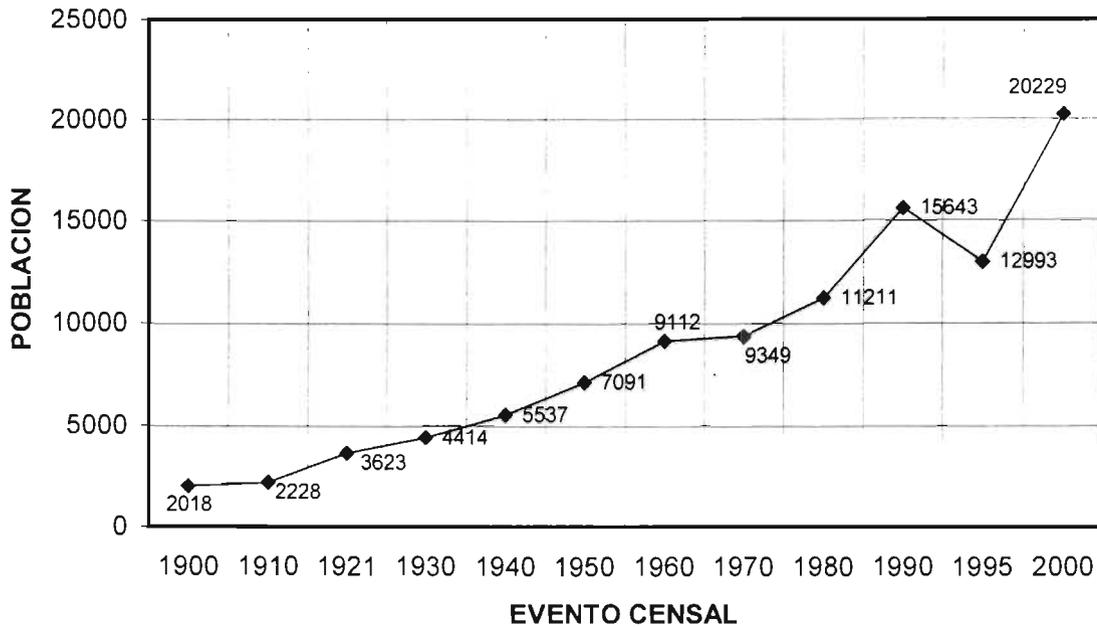
De acuerdo con el censo poblacional (INEGI, 2000) existen 3553 viviendas habitadas lo que da un promedio de 5.7 habitantes por vivienda. La población económicamente activa corresponde al 28% del total de la población y un 32% a la población económicamente inactiva (ver Tabla A 2.1).

Por estar la población de la zona en cuestión mayormente concentrada en Malinaltepec, se consideran los datos censales de este municipio como representativos. En el anexo de tablas y figuras se incluyen diversos cuadros con los datos socioeconómicos correspondientes.

Según la Tabla A 2.3 a la Tabla A 2.6 prácticamente toda la población económicamente activa se clasifica como ocupada; el 80% de la población económicamente inactiva corresponde a amas de casa y estudiantes. Del total de la población ocupada el 56% corresponde a trabajadores por su cuenta, 19% son familiares sin pago, 10% son jornaleros y peones y otro 10% son empleados y obreros. El 80% de la población ocupada se dedica a actividades agropecuarias y forestales, 7% a servicios educativos, un 4% a actividades manufactureras, el resto se reparte en los demás sectores económicos.

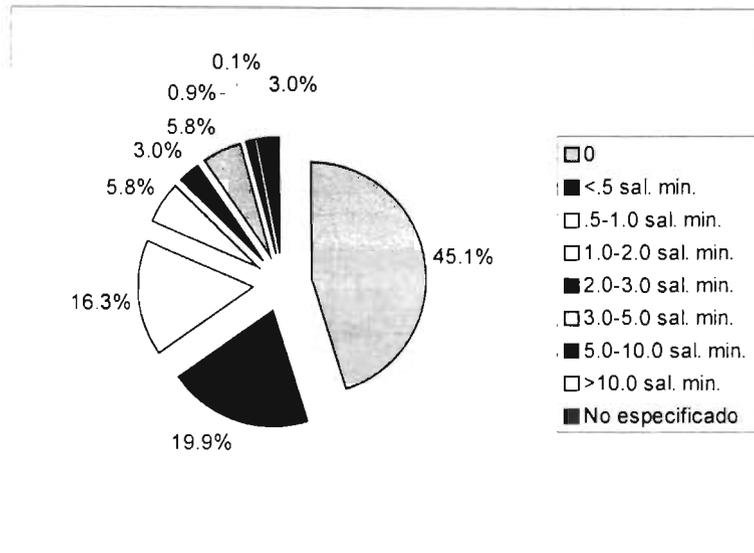
Del total de la población ocupada en actividades agropecuarias y forestales solamente el 8% es remunerada y de ellos solo 2.4% son trabajadores permanentes, el resto son eventuales. Según los tabulados básicos por municipio elaborados por el INEGI con datos del Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE) 1992-1999, la distribución de ingresos de la población económicamente activa ocupada de Malinaltepec es como se indica en la Gráfica 3.2

Gráfica 3.1.- Crecimiento de la población agregada de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia con datos del archivo histórico de localidades del INEGI www.inegi.gob.mx consultado el 2 de noviembre de 2004.

Gráfica 3.2 Distribución porcentual del rango de ingresos de la población económicamente activa desocupada del municipio de Malinaltepec



Fuente: Elaboración propia con datos del Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE) 1992-1999.

3.3 Actividades económicas

3.3.1 Agricultura y ganadería

Según los datos del censo agrícola y ganadero (INEGI,1991), el 96% de las unidades productivas de Malinaltepec realizan actividades agropecuarias, por lo que son éstas las que interesa investigar. El 46% de las unidades de producción cultivan café en una superficie de 6370 has. Sigue en importancia el cultivo del plátano con el 31% de las unidades productivas sobre una superficie de 3231 has. En menor medida se cultiva la caña de azúcar y la naranja. También existe el cultivo de maíz, en asociación con frijol y calabaza con fines de autoconsumo, siendo un 62% de las unidades productivas las que llevan a cabo este cultivo en una superficie de 4610 has. La técnica empleada para el cultivo de maíz es conocida como tlacolole (roza, tumba y quema), (ver Fotografía 10 y Fotografía 11). Esta técnica sólo en algunas partes de la zona de estudio produce rendimientos mayores a 1 ton/ha pero en general no llega a los 600 kilogramos por ha. por lo que cada unidad doméstica requiere de al menos 2.5 ha para su subsistencia. Además las parcelas solo soportan entre dos o tres ciclos de cultivo, por lo que se requiere una apertura de tierras casi permanente, ampliándose la frontera agrícola a un ritmo muy acelerado PAIR (1999).

Del total de las unidades productivas agrícolas el 28% no utiliza ningún tipo de tecnología, 43% utiliza fertilizantes químicos, 35% fertilizantes orgánicos, 25 % usan pesticidas y un 6 % semilla mejorada. La utilización de equipos tales como tractores para el cultivo de las tierras es prácticamente inexistente.

La actividad económica principal de la región es el cultivo del café, cuya ganancia después de su venta es utilizada para la compra de maíz principalmente y de los demás satisfactores económicos consumidos por la población que no son producidos por ellos mismos, (ver Fotografía 7, Fotografía 8 y Fotografía 9). El café se comercializa a través de organizaciones de productores. Las ventas se realizan principalmente a la compañía trasnacional "Nestle" comercializando entre 3000 y 4000 toneladas anuales de café tipo oro que se vende hasta en \$6 el kilogramo o en capulín, el cual alcanza un precio de \$3 por kilogramo. Se calculan 800 plantas de café por hectárea. Una buena cosecha es de hasta 2 toneladas y una mala hasta de 0.5 toneladas por hectárea de capulín seco. Un cafetal produce durante 10 años y luego hay que renovarlo (PAIR, 1999).

El mecanismo de vinculación, café-ingreso-maíz, es de vital importancia ya que amortigua la presión sobre los recursos naturales, disminuyendo el ritmo de ampliación de la frontera agrícola en la región que interesa conservar y el ritmo de explotación forestal con fines comerciales.

La actividad pecuaria es básicamente de solar, pues el 98 % de la producción es para el autoconsumo. Es llevada a cabo principalmente por las mujeres y los

niños. La existencia de instalaciones y equipos asociados a la producción pecuaria no es significativa. Del total de las unidades productivas agropecuarias, solo el 10% poseen ganado vacuno con un promedio de 4 cabezas de producción por unidad. El 30% tienen ganado equino (caballos, mulas y asnos) con un promedio de 1.6 cabezas por unidad. El 27% poseen ganado porcino con un promedio de 2.6 cabezas de producción por unidad. El 71% de las unidades de producción cuentan con aves de corral con un promedio de 12 cabezas conformadas por gallos gallinas y pollos, 2 guajolotes, 0.2 patos y gansos (INEGI, 1991).

También se practica la ganadería de libre pastoreo de ganado caprino por 20 de cada 1000 personas con hatos de 10 a 20 cabezas, con destino de autoconsumo.

3.3.2 Explotación forestal

Según el Censo Agrícola y Ganadero (INEGI, 1991) en Malinaltepec el 97% de las unidades productivas de Malinaltepec tienen algún tipo de actividad forestal; prácticamente todas ellas tienen como objetivo la recolección de leña para autoconsumo. La existencia de equipo o instalaciones para la explotación forestal es prácticamente inexistente y la única tecnología que se aplica es la selección de árboles para corte. En 1991 la extracción de leña fue de 11 mil metros cúbicos y el 99% corresponden a madera de encino.

La explotación comercial de los recursos forestales reviste características muy especiales ya que se realiza mediante concesiones a empresas privadas (legales o ilegales) que las comunidades negocian a cambio de recursos monetarios o en especie (construcción de infraestructura de servicios). Las autoridades de las comunidades gestionan los permisos de explotación de los recursos forestales y “venden” el derecho de explotación a las empresas privadas a un precio de alrededor de \$3 el metro cúbico de madera. Este es el mecanismo básico mediante el cual las comunidades han logrado la construcción de brechas de acceso, infraestructura educativa, religiosa, deportiva y de servicios como el entubado de agua (ver Fotografía 12, Fotografía 13 y Fotografía 14). La Gráfica 3.3 ilustra el crecimiento que ha tenido la explotación comercial de madera en el municipio de Malinaltepec durante la última década. La Gráfica 3.4 indica que existe una aparente correlación entre el precio de la madera y la extracción de la misma.

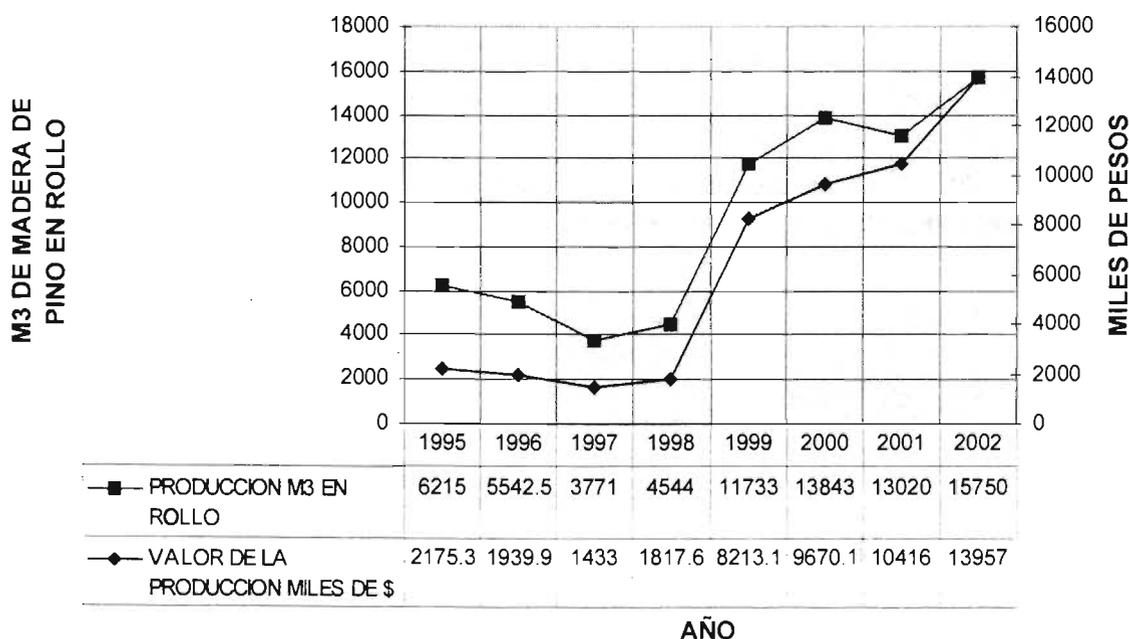
3.3.3 Producción artesanal

Los tlapanecos de Malinaltepec elaboran con su familia gabanes de lana de borrego, cuya producción está determinada por el número de cabezas ovinas y por el tiempo que el tejedor pueda dedicar después de las labores agrícolas. Casi todo el trabajo artesanal se realiza en el ámbito doméstico en tiempos muertos para la agricultura, constituyendo un complemento para la economía familiar. Los meses

de mayor actividad corresponden al periodo en el que la tierra está en descanso, es decir, entre noviembre y marzo. Las artesanías que elaboran en cualquier época del año son las textiles y la que usa palma como materia prima. Los mercados locales constituyen el medio para intercambiar los productos artesanales, casi en su totalidad dirigidos al mercado regional. Las ventas las realizan los productores de manera directa y los precios se establecen conforme a los costos de producción.

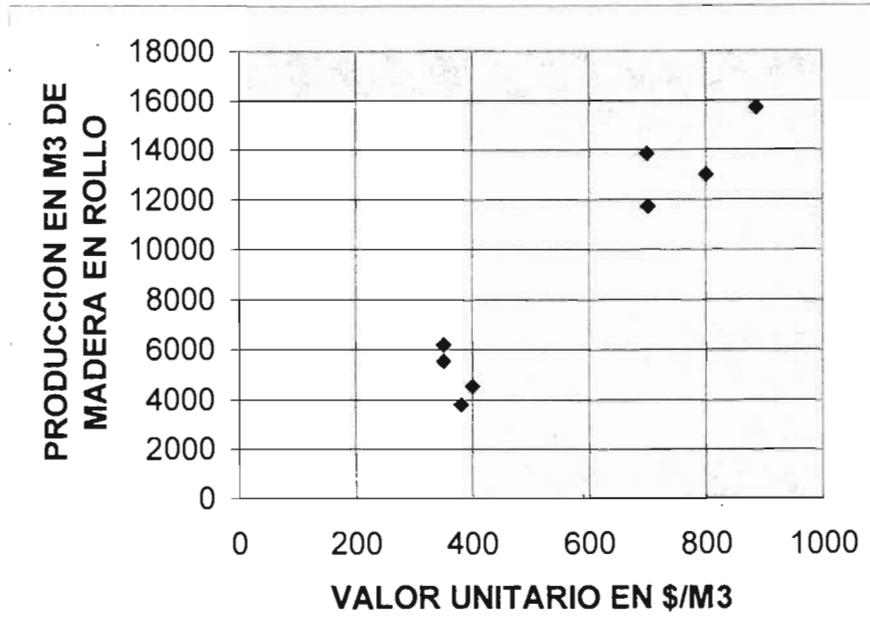
Los productores de sombrero de palma elaboran tres o cuatro al día, o sea que si una familia logra producir una docena, obtiene \$14. La palma se trae de Oaxaca y se les vende a \$24 el ciento de manojitos, lo que alcanza para hacer unos 30 sombreros. Así, por la inversión de \$0.80 por sombrero y varias horas de tejido recuperan aproximadamente \$1.2. Los sombreros son llevados a Tlapa y a Puebla para ser terminados y vendidos a 150 o 200% más de lo que costaron.

Gráfica 3.3.- Crecimiento de la explotación forestal en el municipio de Malinaltepec durante la última década



Fuente: Elaboración propia con datos tomados de los anuarios estadísticos del estado de Guerrero publicados por el INEGI a partir de información generada por el Departamento de Servicios Forestales y Suelo de la Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales de la delegación estatal de la SEMARNAT en Guerrero.

Gráfica 3.4.- Dispersión de la producción forestal contra el precio de la madera



Fuente: Elaboración propia con datos tomados de los anuarios estadísticos del estado de Guerrero publicados por el INEGI a partir de información generada por el Departamento de Servicios Forestales y Suelo de la Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales de la delegación estatal de la SEMARNAT en Guerrero.

3.4 Consecuencias de la actividad antropogénica sobre el medio ambiente local de la zona de estudio.

El resultado patente de la actividad agropecuaria y de la explotación forestal en la zona de estudio es la deforestación, que aunada a las fuertes pendientes y las lluvias de alta intensidad y corta duración, producen la erosión hídrica. El exceso de sedimentos en suspensión y las rocas arrastradas por los escurrimientos superficiales se depositan en los cauces de los ríos, provocando el deterioro de los ecosistemas acuáticos. La erosión hídrica es uno de los problemas más devastadores de la región dando como resultado perturbaciones irreversibles en el ecosistema, así como la imposibilidad de la regeneración natural del bosque y la consecuente reducción en los servicios ambientales que este proporciona, tales como la captación de carbono, la regulación del clima local, el espacio de reserva para la biodiversidad, la captación de agua para la recarga de acuíferos y la alimentación de corrientes superficiales cuyo caudal es indispensable aguas abajo, (ver Fotografía 17, Fotografía 18, Fotografía 19, Fotografía 20, Fotografía 21, Fotografía 22).

CAPITULO 4 EL MODELO, CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS DE SIMULACIÓN

La aplicación del enfoque sistémico para la construcción de un modelo del mundo real requiere que se defina el objetivo del mismo, según el interés del analista que lo desea construir. Es decir, se requiere plantear su utilidad específica, o bien la pregunta concreta, respecto al sistema en análisis, que desea responderse con la formulación y procesamiento del modelo. Dicha pregunta se plantea cuantitativamente en términos de las variables cuya evolución interesa investigar. Ello es necesario para contar con un punto de vista desde el cual extraer de la complejidad la estructura relevante para el modelo. La definición del objetivo sirve también para establecer, en torno a él, el criterio con el cual se evaluará la validez del modelo formulado. El apartado 4.1.1 desarrolla la definición de los objetivos concretos que se pretenden cumplir con la construcción y procesamiento del modelo, así como los criterios para su validación.

El paso siguiente a la definición de objetivos es la formulación hipotética, conforme a los conocimientos disponibles, las simplificaciones y los supuestos que sean necesarios, de la estructura cuyo funcionamiento genera la evolución de las variables de interés. Dicha estructura se describe cualitativa y simbólicamente en el apartado 4.1.2.1. Los datos cuantitativos específicos empleados en la formulación de la estructura, ya sean documentados o estimados, así como la estimación de las relaciones funcionales entre variables, se puntualizan en la sección 4.1.2.2.

Finalmente, en el apartado 4.2 se presentan, se analizan y se discuten los resultados de la simulación del modelo económico-ecológico formulado. La presentación de los resultados es mediante gráficas de la evolución temporal de las variables de interés, durante el periodo de análisis que se especifica. Se verifica el cumplimiento de los criterios de validación. Se analiza el grado sensibilidad de las variables de interés ante cambios cuantitativos en los parámetros estructurales del modelo. Ello se realiza mediante gráficas y tablas comparativas. Los resultados de este análisis dan pie a la discusión respecto a lo revelado por la simulación del modelo.

4.1 Especificaciones del modelo

4.1.1 Definición de objetivos y criterios de validación

La información que se pretende obtener con la construcción y simulación del modelo es una estimación de la variación en la cubierta forestal en la región denominada Iliatenco-Barranca del Águila ubicada en la territorio de la Montaña Alta de Guerrero, en función de una estructura sistémica que integre los mecanismos de regeneración natural del bosque de pino-encino con los procesos de explotación de los recursos forestales y los niveles de consumo de una población en crecimiento. En particular interesa investigar el efecto de la variación

en el precio de venta del café producido en la región y el del precio de compra del maíz importado para el consumo de la población local. No existen series históricas específicas que permitan construir un modelo de tipo econométrico para asociar dichas variables de una manera estadística, por lo que conviene proponer una estructura más elaborada con base en la información cualitativa y cuantitativa disponible. En congruencia con los propósitos del proyecto "Manejo Integral de Ecosistemas en Tres Regiones Prioritarias" auspiciado por el PNUD, los periodos de ensayo del modelo serán de año 2000 al 2010.

De acuerdo con la SEMARNAT (2000), el valor de la tasa de deforestación en el sur del país durante la última década, estadísticamente determinado mediante procedimientos de percepción remota, es de 0.7% anual. Por lo que se espera que los resultados de simulación del modelo indiquen una reducción de la cubierta forestal con un valor promedio alrededor de este valor. Como actualmente no existe un análisis específico local sobre la evolución de la cubierta forestal en la región de estudio, no hay datos contra los cuales hacer una comparación de los resultados de simulación del modelo, la cual se pueda probar estadísticamente; por lo que el criterio básico de validación del modelo es que el comportamiento de los resultados sea sensiblemente similar a los obtenidos por parte de la SEMARNAT, y que el comportamiento de las demás variables involucradas sea razonablemente lógico.

4.1.2 Fundamentos empíricos y supuestos para la formulación del modelo

4.1.2.1 Estructura²⁸

Se propone que la estructura del modelo se componga de tres submodelos correspondientes a los subsistemas bosque, población y el económico que los relaciona entre sí. Se identifican básicamente tres tipos de acciones antropogénicas que se traducen en una reducción significativa de la cubierta forestal en la región de estudio, las cuales son la extracción de madera con fines comerciales, la extracción de leña como fuente de energía para el consumo de la población (ambas prácticas reducen la densidad arbórea del bosque), así como la práctica de la agricultura de tlacolole que implica la ocupación temporal del bosque en áreas dispersas y relativamente pequeñas. Investigaciones como la de Díaz (1999) indican que cuando la agricultura de tlacolole es llevada a cabo conforme a las técnicas tradicionales, el bosque es capaz de regenerar su cubierta y sus demás características ecológicas, sobre las áreas tlacololeras cedidas para su recuperación, en un periodo aproximado de siete años. Se asume que en el caso de la extracción de leña y madera comercial, tiene efecto un proceso de

²⁸ Se invita al lector a explorar el CD adjunto en el que se incluyen, además de la versión electrónica de este documento, el software para instalar el demo de Stella 8, así como el archivo que contiene la versión informacional del modelo construido, la cual permite, además de su simulación con una interfase amigable, la exploración de su lógica tanto al nivel formal como al cualitativo.

regeneración natural semejante, ya que las técnicas aplicadas en la región no arrasan con extensiones de bosque sino que extraen los árboles de manera selectiva y consecuentemente el bosque debiera ser capaz de recuperar los elementos perdidos en un periodo similar. Con base en estos argumentos se propone una estructura para el modelo del sistema bosque que consista en los reservorios de terreno con diferentes usos, a saber: cubierta forestal natural, área dedicada al tlacolole, áreas perturbadas por la extracción de leña y madera y en proceso de recuperación natural, que eventualmente se trasladan a la reserva de cubierta forestal. Los procesos físicos y biológicos que involucra la regeneración del bosque son agregados y solo se consideran los tiempos necesarios para el desarrollo de dicho fenómeno. Para el caso de la transferencia de área con cubierta forestal a área de tlacolole, se considera una relación dependiente de las necesidades de consumo de maíz, por parte de la población, que no alcanzan a ser satisfechas por la adquisición de este alimento en las regiones circunvecinas con mejor aptitud para su producción. La perturbación por extracción de leña se asume dependiente del tamaño de la población y del consumo per cápita del combustible. La explotación maderera se considera regida por las condiciones de demanda externa. La traducción de los volúmenes de madera extraídos, para venta o como combustible, se propone sea calculada en función de un parámetro de densidad por unidad de área.

Para la formulación del modelo que simule el crecimiento de la población se supone un reservorio alimentado por los nacimientos y drenado por las defunciones, conforme a las tasas estimadas con base a los datos censales disponibles. De acuerdo con el INEGI (2000) la expulsión de población por condiciones económicas no es significativa, por lo que no se considera relevante para el modelo. Aunque los índices de marginación y pobreza califican parcamente a la región de estudio, en apariencia existen las condiciones de subsistencia mínimas para retener a la población e incluso para comprar fuerza de trabajo externa para las actividades agrícolas sustantivas.

El subsistema económico, se considera conformado de manera agregada como una sola gran unidad de producción, compuesta principalmente por dos tipos de reservorios: la reserva de fuerza de trabajo disponible, determinada internamente por el tamaño y composición de la población, por la importación del mismo concepto del exterior, drenada por los flujos aplicados a la producción agropecuaria de subsistencia y en menor medida por la producción de sombreros de palma; por otra parte las reservas monetarias, una de ellas de carácter privado que es alimentada por los ingresos producto de la venta de café y de sombreros de palma y que es utilizada para la compra principalmente de maíz, de insumos para la producción agropecuaria, de materia prima para el tejido de sombreros y para la adquisición de bienes de consumo y servicios que no son producidos en la región; una segunda reserva monetaria que es de carácter común, debido al régimen de propiedad de los recursos forestales, cuya venta es el alimentador de esta reserva y que es utilizada para la construcción de infraestructura de propiedad común tales como vías de comunicación, sistemas de abastecimiento de agua, instalaciones educativas, deportivas e incluso religiosas.

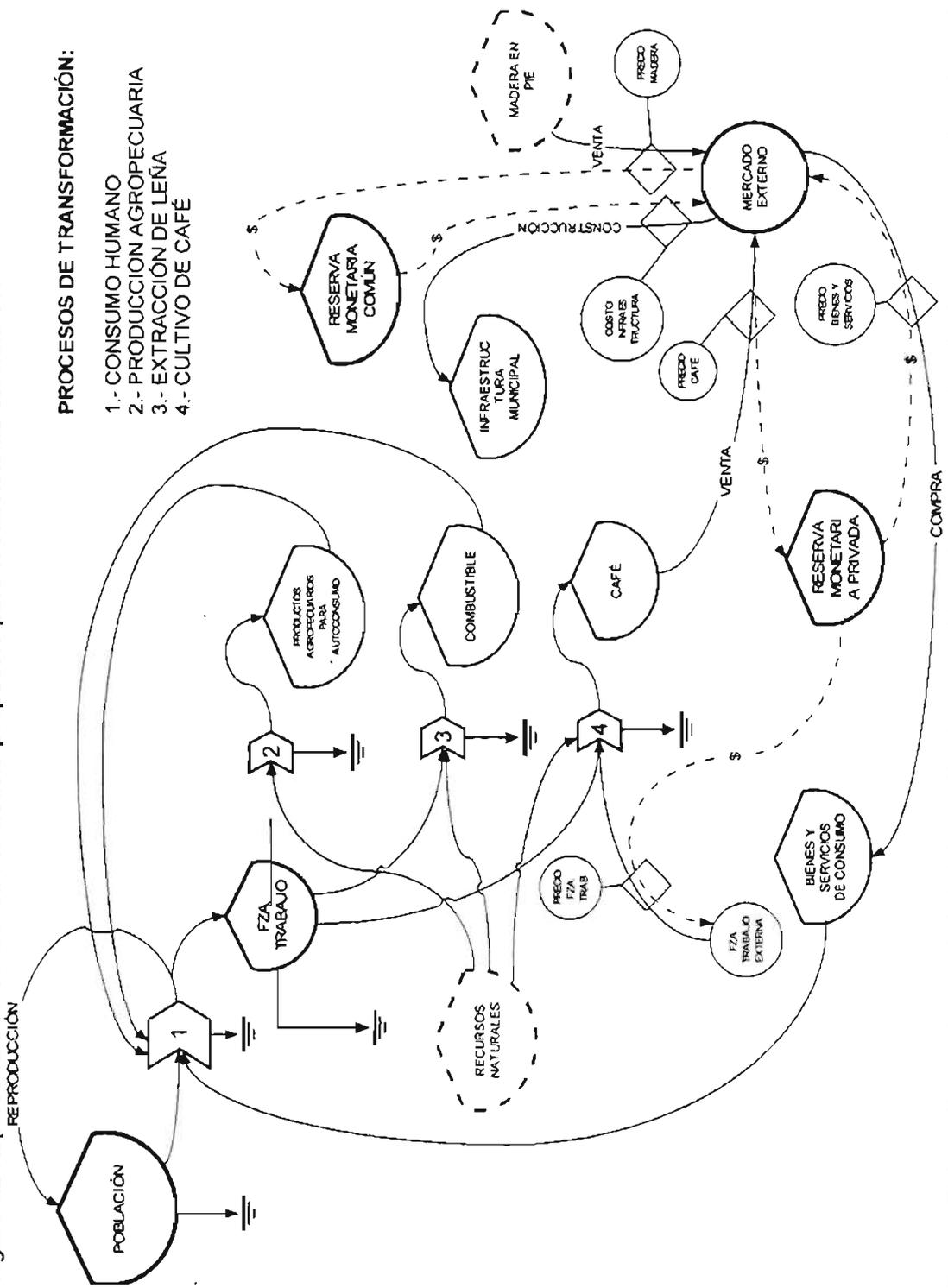
Los procesos productivos del subsistema económico se agregan y solo se consideran factores de productividad de la fuerza de trabajo y de tierra cultivada. Para el caso de la producción de café se considera una extensión cultivada estimada a partir de los datos del INEGI (1991) y de la SAGAR (1999). como el desarrollo de cafetales para producción lleva aproximadamente 10 años (PAIR, 1998) no se considera una variación de la extensión cultivada, en función de las necesidades de producción, dentro del periodo de ensayo del modelo. En cuanto a la producción de maíz, esta se determina en función de las necesidades de consumo de la población, de la reserva acumulada del grano y de su importación. La magnitud de la necesaria producción interna de maíz define la variación de los terrenos tlacololeros, en función de su capacidad productiva. La cantidad de maíz importado del exterior del sistema se asume igual a la que se puede comprar con una fracción de los ingresos monetarios obtenidos por la venta de café; dicha fracción se estima igual a 0.5.

Adicionalmente a la producción de maíz se considera el cultivo de frijol y calabaza que va en asociación con el maíz. La magnitud de estos cultivos, así como sus requerimientos de fuerza de trabajo, se suponen determinados por la extensión tlacololera y su productividad; se asume que toda la producción de frijol y calabaza es consumida por la población. La extracción de leña es también una actividad consumidora de fuerza de trabajo, para cuyo cálculo se adoptan los factores de productividad correspondientes.

En la región se practica la ganadería de solar y en menor medida de pastoreo. Por ello, dentro del subsistema económico se considera la presencia de una población pecuaria en la que se agregan las diferentes especies. Dicha reserva pecuaria es alimentada por los nacimientos en función de una tasa de reproducción y es vaciada por el consumo humano, determinado por el tamaño de la población y una tasa de consumo per cápita. La producción de sombreros de palma para la venta se considera una actividad no dependiente de las condiciones de demanda externa, sino de la cantidad de fuerza de trabajo disponible después de las labores agropecuarias. Se estima una fracción del 25% de la reserva disponible. Así la importación de materia prima, está definida por la productividad de los artesanos y se supone que toda la producción se vende al exterior.

Los precios que determinan la magnitud de los ingresos y los egresos de las reservas monetarias se suponen afectados por una variación inflacionaria. En el caso del café y de los sombreros de palma se asume un incremento periódico fijo que puede variarse por el usuario del modelo para explorar sus efectos sobre las demás variables de interés. Para el caso del precio del maíz, el de los productos agropecuarios empleados en los procesos productivos y el de los bienes y servicios para el consumo de la población, se considera una inflación estimada con base en los datos disponibles de la variación del índice de precios al consumidor en el sector correspondiente. La representación simbólica de la estructura del modelo propuesto se exhibe en la Figura 4.1 y la Figura 4.2

Figura 4.2 Representación simbólica del modelo propuesto para el subsistema económico.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información documental investigada y con la simbología propuesta por Hall, Day y Odum (1977)

4.1.2.2 Estimaciones y datos específicos utilizados en la estructuración del modelo.

- Crecimiento de la población

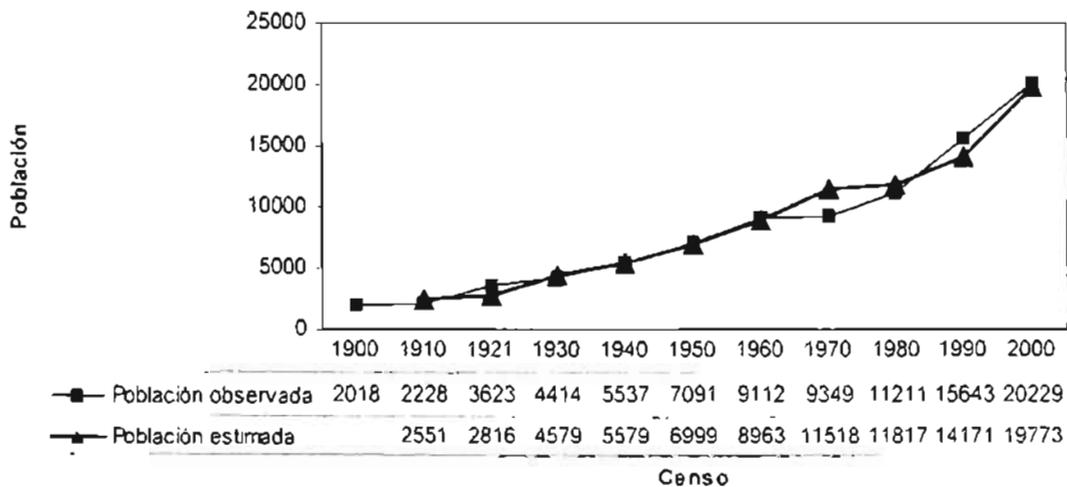
Con los datos de crecimiento demográfico de la región de estudio, proporcionados por los censos del siglo pasado (Tabla A 2.2), se ajustó un modelo autorregresivo de primer orden:

$$P_t = 1.26 P_{(t-1)} \\ (0.037) \\ R^2=0.97 \quad DW=1.86 \\ MCO \ 10 \ obs. \ incluidas$$

Donde P es la población y t es el año al que corresponde P. La Gráfica 4.1 muestra los resultados del ajuste en comparación con las observaciones censales.

Las defunciones registradas en el municipio de Malinaltepec en el año 2002 indican una tasa de mortalidad del orden del 0.3% de la población, por lo que se asume una tasa de natalidad igual al 2.9% anual y una tasa de mortalidad del 0.3% para emplear en el modelo.

Gráfica 4.1.- Comparativa de datos observados y ajustados del crecimiento de la población



Fuente. Elaboración propia con datos del INEGI (2000) y resultados de modelo autorregresivo

- Productividad cafetalera
 - Rendimiento por hectárea de cafetal: 1.5 ton/ha (PAIR, 1999).
 - Intensidad de fuerza de trabajo requerida: 50.5 jor/ha /año Oviedo (1992).
 - Proporción de fuerza de trabajo contratada, supuesta externa: 63% Oviedo (1992).
- Productividad del tlacolole Obregón (1989).
 - Tiempo de explotación de un terreno de tlacolole: 2 años en promedio.
 - Los rendimientos por hectárea de tlacolole según condiciones de altitud y clima, con el empleo de fertilizantes, son:
 - Para el maíz: 2000 kg/ha el primer año de explotación y 1200 kg/ha el segundo; por lo que se considera un promedio de 1600 kg/ha.
 - Para el frijol y calabaza 400 kg/ha.
 - Para el zacate 2000 manojos de 10 kg por hectárea.
 - Fuerza de trabajo invertida en los procesos de:
 - Roza, tumba y quema: 55 jornadas por ha.
 - Siembra, limpia, fertilización y cosecha del maíz: 155 jor/ha.
 - Obtención del zacate: 24 jor/ha.
 - Cosecha de la calabaza y el frijol: 6 y 32 jor/ha respectivamente.
- Tasa de crecimiento anual de la extensión del área cultivada con cafetales: 0.4% anual, que es la que corresponde al estado de Guerrero según la SAGAR (1999).
- Consumo y productividad en la extracción de leña según Arias (1993).
 - El consumo promedio de leña por una unidad familiar de 7 integrantes sería aproximadamente 17.5 kg diarios. Por lo que el consumo per cápita de leña se considera de 912.5 kg/año.
 - El tiempo dedicado mensualmente a la extracción de leña por unidad familiar es en promedio aproximadamente 20 hrs. lo que es equivalente a 4.3 jornadas de 8 horas al año por habitante, considerando una unidad familiar de 7 integrantes.
- Población pecuaria estimada a partir de los datos de INEGI (1991)
 - Ganado vacuno: 1348 cabezas
 - Ganado equino: 2366 cabezas
 - Ganado porcino: 1618 cabezas.
 - Ganado avícola: 33 976 cabezas.
 - Reserva de masa pecuaria agregada estimada: 1100 ton.
 - Tasa de reproducción pecuaria agregada estimada: 30%
 - Se supone que el consumo de insumos para la producción pecuaria se calcula como una fracción de la reserva pecuaria igual al 5% de esta.
 - Se suponen del orden de 4000 unidades de producción a las que les corresponden en promedio 0.275 ton de masa pecuaria y

considerando 0.25 jornadas de trabajo por tonelada necesarias de invertir diariamente, son un total de 25 jornadas al año para la actividad pecuaria.

- Productividad de la fabricación artesanal de sombreros de palma según PAIR (1999).
 - Precio de la materia prima: \$24 el ciento de manojos de palma.
 - Rendimiento de la materia prima: 30 sombreros por cada 100 manojos de palma.
 - Rendimiento en el tejido de los sombreros: 4 piezas por jornada.
 - Precio de venta por sombrero: \$1.2
- Estimación sobre la población económicamente activa.
 - Considerando aplicables las proporciones de población ocupada del municipio de Malinaltepec según INEGI (2000), el 63% de la población son hombres cuya jornada de trabajo se dedica por completo a la actividad productiva y el 29% de la población son mujeres que aportan el 60% de su jornada al trabajo productivo.
- Datos relativos al consumo humano:
 - Se considera un consumo de maíz de 214 kg/hab./año (PAIR, 1999).
 - El consumo de masa pecuaria se asume en 12 kg per cápita al año.
 - Se define como unidad de cuantificación de bienes y servicios el mes/hab., por lo que el consumo per cápita al año es igual a 12 mes/hab.
- Datos relativos al bosque
 - Tiempo de recuperación de áreas perturbadas: 7 años (Díaz, 1999).
 - Parámetro de densidad: Según SARH (1994), las extensiones de bosque de pino y encino en el estado de Guerrero son de 682,131 ha y las reservas de madera en el mismo tipo de bosque son de 92,963,618 m³ cuya relación arroja una densidad aproximada de 136 m³/ha de madera en estos bosques.
 - Condiciones iniciales:
 - Cubierta forestal no perturbada de 29, 987 ha (PAIR, 1999).
 - Cafetales en producción 6 600 ha (INEGI, 1991)
 - Extensión de áreas tlacololeras: 5960 ha (INEGI, 1998).
 - Área de explotación tlacololera en recuperación: 3500 ha (estimado).
 - Área perturbada por extracción de leña y tala comercial igual a cero, considerando que el área que se desea conservar no está significativamente perturbada.
- Precios
 - Precio inicial del café: \$6 000.00 por tonelada de café tipo oro (PAIR, 1999), se considera un incremento fijo de \$100.00 al año.
 - A menos que se indique otra cosa la variación del precio se considera en función de la tasa inflacionaria.
 - Precio inicial de compra del maíz: entre \$177.00 y \$240.00 el bulto de 40kg (PAIR, 1999).

- Precio inicial de venta de la madera en pié \$300 el metro cúbico (investigación de campo).
- Precio inicial de compra de insumos para la producción pecuaria: \$300/ton (estimado).
- Fertilización del tlacolole: aproximadamente 2000 pesos por hectárea a precios actualizados (Obregón, 1989).
- Estimación de la tasa inflacionaria:

Con los datos generados por el Banco de México de la variación porcentual mensual del promedio anual del índice de precios al consumidor para los últimos 22 años, respecto a productos agropecuarios, se ajustó un modelo autorregresivo con el siguiente formato:

$$\Delta ipc_t = -0.41 \Delta ipc_{t-12}$$

(0.056)

$$R^2 = 0.17 \quad DW = 1.64$$

Las pruebas estadísticas de los residuos de este ajuste no permiten rechazar la posible autocorrelación entre ellos mismos, pero para los fines del modelo que se pretende construir la ecuación ajustada se considera suficiente aproximación para estimar la tasa de variación del índice de precios al consumidor para el periodo 2005 al 2010, resultando los datos mostrados en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1.- Variación porcentual promedio del IPC de productos agrícolas

AÑO	Dato
2000	-2.59
2001	5.91
2002	6.5
2003	10.65
2004	6.70
2005	9.10
2006	8.12
2007	8.52
2008	8.35
2009	8.42
2010	8.39

Fuente: Estimación propia con base en datos del INEGI

El mismo procedimiento se siguió para ajustar un modelo a los datos correspondientes para el caso en el que el objeto del gasto es ropa calzado y accesorios, obteniéndose los siguientes resultados:

$$\Delta ipc_t = -0.353 \Delta ipc_{t-12}$$

(0.049)

$$R^2 = 0.125 \quad DW = 1.563$$

La variación estimada para el IPC de ropa calzado y accesorios para el periodo de interés se muestran en la Tabla 4.3:

Tabla 4.2.- Variación porcentual promedio del IPC de ropa, calzado y enseres

AÑO	Dato
2000	11.78
2001	6.71
2002	3.20
2003	1.43
2004	0.69
2005	1.17
2006	0.94
2007	0.99
2008	0.97
2009	0.98
2010	0.97

Fuente: Estimación propia con base en datos del INEGI

- Estimación del volumen de explotación comercial de madera en función del precio unitario en el mercado del producto:

Con los datos disponibles en los anuarios estadísticos producidos por el INEGI para el municipio de Malinaltepec Gro., correspondientes a los últimos ocho años, se ajustó una ecuación con el siguiente formato:

$$V = -2434 + 20.57p$$

(1430) (2.35)

$$R^2=0.92 \quad DW=1.84$$

MCO 8 Observaciones 1995-2002

Donde V es el volumen de extracción de madera y p es el precio de mercado de este producto. La representación del ajuste se muestra en la Gráfica 4.2

- Estimación de la variación del precio comercial de la madera.

Con los mismos datos de precio de la madera empleados para el ajuste de la explotación maderera se ajustó un modelo autorregresivo de primer orden para estimar su variación en el periodo de interés. El modelo ajustado es el siguiente:

$$Pm_t = 87.53 + 0.98 Pm_{(t-1)}$$

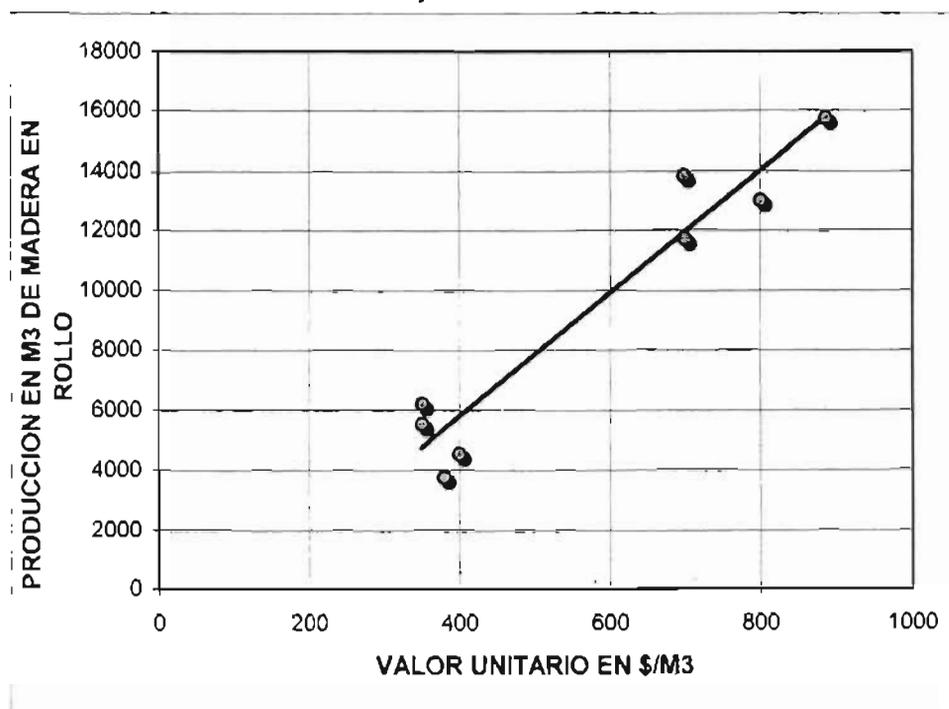
(134) (0.24)

$$R^2=0.77 \quad DW=2.61$$

MCO 7 Obs. 1996-2002

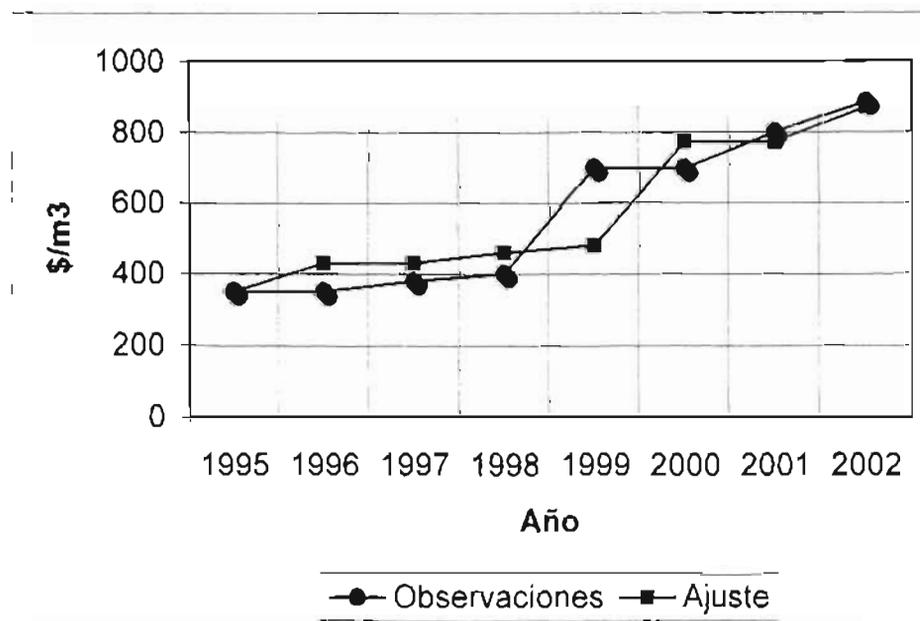
Donde Pm es el precio por metro cúbico de la madera en rollo y t es el año de la observación. La Gráfica 4.3 representa el ajuste realizado contra las observaciones correspondientes.

Gráfica 4.2.- Diagrama de dispersión del volumen de extracción de madera en rollo contra precio unitario de mercado con línea de ajuste.



Fuente: Elaboración propia con datos de los anuarios estadísticos del INEGI correspondientes al municipio de Malinaltepec Gro. (1995, 2002).

Gráfica 4.3 Comparativa entre precio estimado y observado correspondientes al metro cúbico de madera en rollo.



Fuente: Elaboración propia con datos de los anuarios estadísticos del INEGI correspondientes al municipio de Malinaltepec Gro. (1995, 2002).

4.2 Presentación y análisis de resultados de la simulación

La estructura descrita en el capítulo anterior fue programada mediante la aplicación del programa *Stella Research 6.0*²⁹. Se efectuaron varias simulaciones para depuración de errores de captura y para el ajuste de parámetros, siendo el principal de ellos la fracción de los ingresos por venta de café dedicada a la compra de maíz. Finalmente se obtuvieron una serie de gráficas que dan respuesta a los objetivos planteados para el modelo.

La Gráfica 4.4 exhibe la variación estimada de los conceptos identificados como (1) extensión de la reserva de cubierta forestal, (2) extensión de las áreas en recuperación después de la explotación tlacololera, (3) extensión de la superficie perturbada por los procesos de extracción de leña y tala comercial y (4) extensión de la superficie de tlacolole. En el eje vertical se indican las diferentes escalas aplicables a cada concepto. La principal variable a observar es la reserva forestal, la cual presenta una recuperación inicial durante los primeros dos años del periodo de análisis, debida a la integración gradual de la superficie en recuperación definida como condición inicial, para después declinar gradualmente, con oscilaciones debidas a ligeras reducciones en la frontera agrícola, hasta alcanzar las 27 mil hectáreas al final del periodo de estudio. Hacia el séptimo año del periodo de estudio se aprecia un quiebre drástico en la gráfica de la reserva forestal, ello se debe a que la programación del modelo especifica un periodo de siete años para la regeneración natural del bosque, es decir que a partir del séptimo año, del experimento de simulación, se libera el flujo de área en recuperación, acumulado hasta siete años atrás, hacia la reserva forestal recuperada³⁰. La reducción total de la reserva forestal se traduce en una tasa de deforestación promedio anual igual al 1.0% que es razonablemente parecida al 0.7% definido como criterio de validación. Continuando con el análisis de la Gráfica 4.4, la superficie dedicada al tlacolole presenta una reducción inicial debida a que el valor inicial definido para esta variable resultó ser superior al necesario para complementar las necesidades de consumo de maíz de la población, por ello la proporción no necesaria se transfiere a la reserva de área en recuperación como lo indica la línea identificada con el número 2. A partir del 2002 el incremento de la superficie es constante debido al continuo aumento de la población y con oscilaciones debidas al crecimiento en los ingresos por venta de café por el aumento gradual del precio definido como especificación del modelo (a mayores ingresos por venta de café, más dinero para comprar maíz). La variación de la superficie en recuperación, identificada con el número 2 es reflejo contrario de la variación del tlacolole, tal como se definió, exceptuando el final del periodo

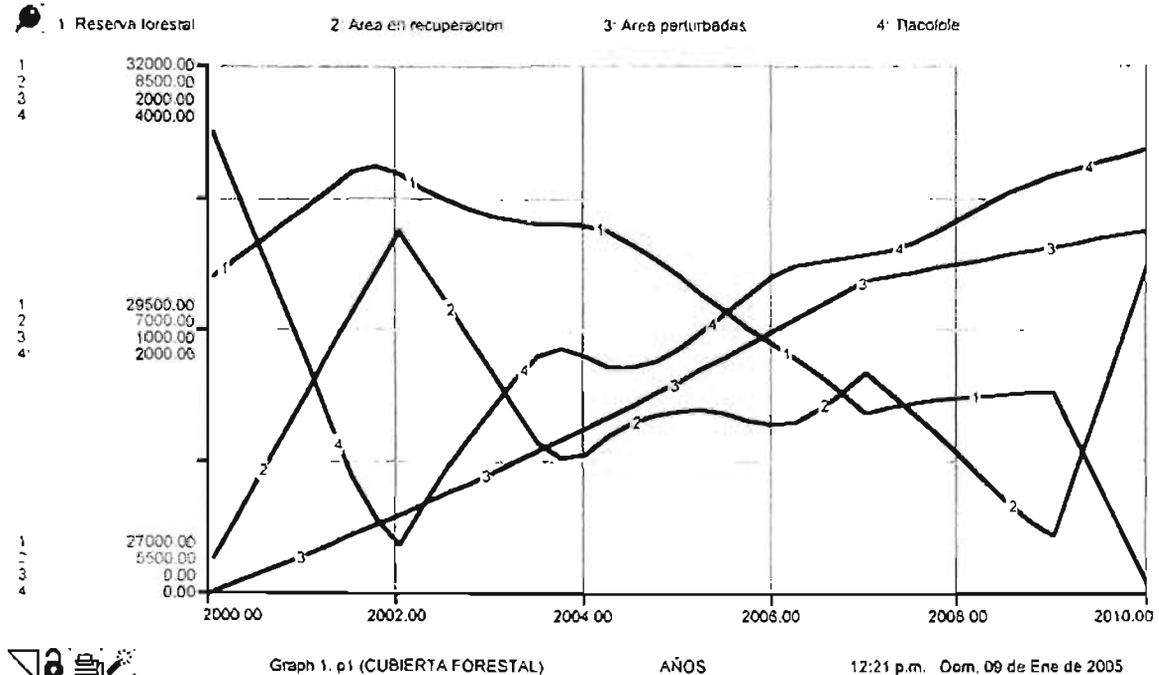
²⁹ La autoría intelectual del software corresponde a ISEE SYSTEMS www.iseesystems.com

³⁰ Cabe insistir que el comportamiento resultado de la simulación no es necesariamente sinónimo del comportamiento real, es mas bien un medio para verificar si la estructura del modelo es correcta en los términos del criterio de validación definido. También es una demostración de que al organizar coherentemente la información cualitativa y cuantitativa disponible, se pueden obtener resultados muy parecidos a los que la intuición, la experiencia y el razonamiento señalan como más probables.

de análisis en el que una proporción del área en recuperación cumple su término de regeneración y es reintegrada a la reserva forestal. Por último la línea que representa el crecimiento de las áreas perturbadas tiene un formato lineal en virtud de que fue definido básicamente en función de las condiciones de demanda externa de madera; hacia el año 2007 presenta un cambio en la pendiente debido a que se inicia la transferencia de área perturbada regenerada hacia la reserva forestal.

La Gráfica 4.5 muestra, identificada con el número (1), la variación de la reserva monetaria privada per cápita, con el número (2) la variación de los ingresos per cápita obtenidos por la venta de café y con el (3) la variación de los ingresos per cápita obtenidos con la venta de las artesanías producidas. La variación de la reserva monetaria presenta una forma cóncava hacia abajo; esto es señal de que gradualmente los ingresos son superados por los egresos; ello se explica por que la producción cafetalera, según se definió en el modelo, no aumenta con el tiempo, solo el precio del producto; por el contrario la población aumenta junto con sus consumos y el precio de bienes importados del exterior, principalmente el del maíz. Una forma parecida tiene la variación de los ingresos per cápita por venta de artesanías, esto se explica debido a que el incremento general de los precios requiere que cada vez se dedique una mayor parte del trabajo de la población hacia la producción agropecuaria de subsistencia. Por último la variación de los ingresos per cápita por venta de café son linealmente decrecientes: la forma se debe a la definición del modelo y la pendiente al crecimiento de la población.

Gráfica 4.4 Variación de las superficies que conforman el territorio en estudio según su tipo de uso.



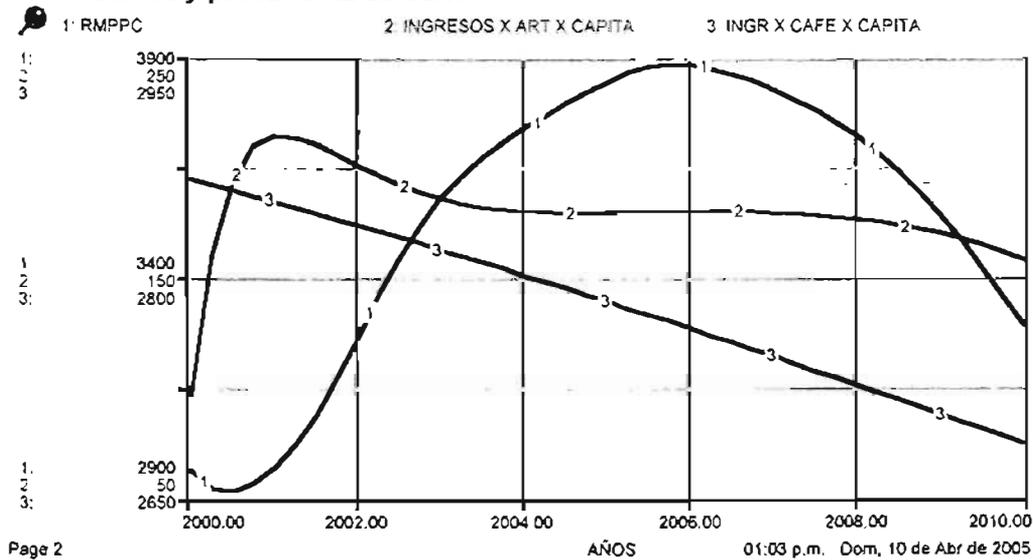
Graph 1. pl (CUBIERTA FORESTAL)

AÑOS

12:21 p.m. Dom, 09 de Ene de 2005

Fuente: resultado de simulación del modelo

Gráfica 4.5.- Variación per cápita de la reserva monetaria privada, de los ingresos por venta de artesanías y por la venta de café.



Page 2

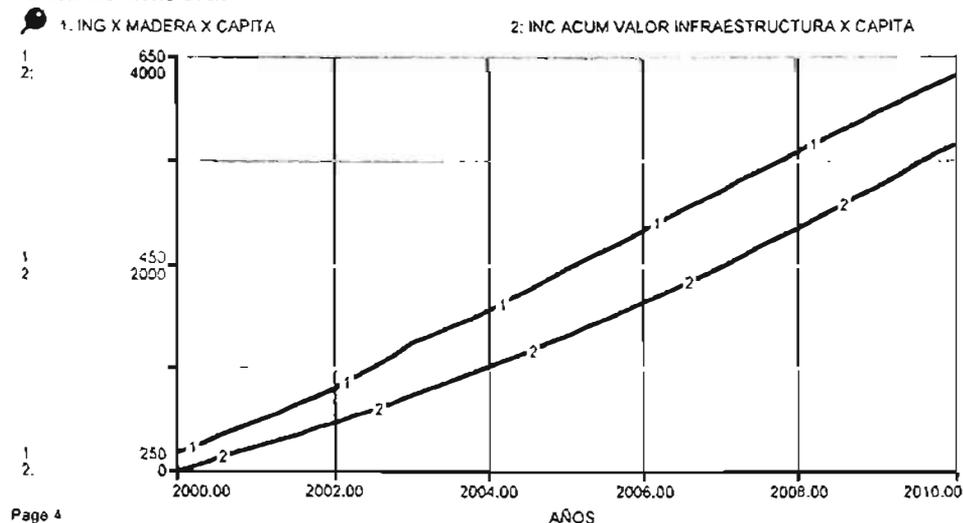


INGRESOS Y RESERVA MONETARIA PER CAPITA

Fuente: resultado de simulación del modelo

La Gráfica 4.6 despliega, identificada con el número (1), la variación de los ingresos per cápita por la venta de madera los cuales se transforman en acumulación de infraestructura de propiedad común, la cual está representada por la línea identificada con el número (2). Este caso funciona como un ejemplo del intercambio de capital natural por capital hecho por el hombre. A pesar de la extracción maderera está en aumento, el crecimiento de la población mantiene un ingreso per cápita constante, por lo que la forma de la gráfica parece consistente.

Gráfica 4.6 Variación del valor acumulado de infraestructura generada con los ingresos por venta de madera.



Page 4

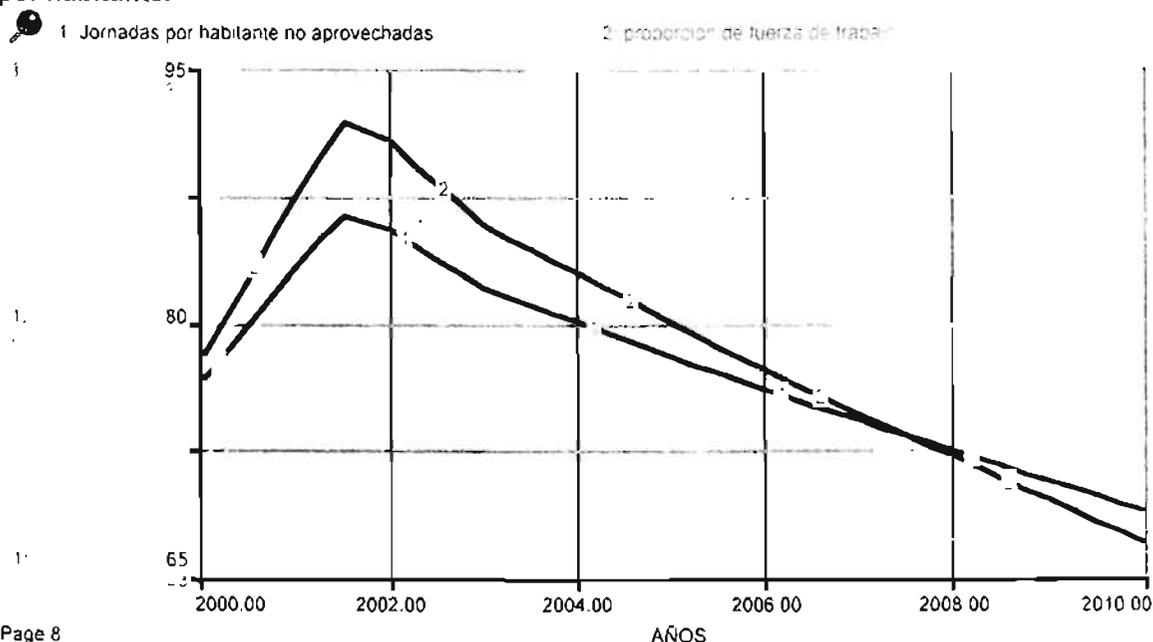


ACUMULACION POR VENTA DE MADERA

Fuente: resultado de la simulación del modelo.

La Gráfica 4.7 expone la variación de la fuerza de trabajo aprovechada en las actividades productivas, por habitante. La línea (1) indica dicha variación en jornadas de trabajo al año y la (2) el mismo dato expresado en porcentaje. La tendencia descendente de esta variable se explica por el crecimiento en los precios de los bienes y servicios que se importan y que cada vez más trabajo debe aplicarse a la explotación de los recursos naturales locales. Es aparentemente contradictorio que exista un desaprovechamiento de fuerza de trabajo cuando se importa este recurso, principalmente para el cultivo del café. A reserva de ser investigado directamente, lo más probable es que el ejercicio laboral de la población económicamente activa sea ineficiente³¹, es decir, que se emplea más tiempo del realmente necesario para producir los bienes de autoconsumo. Situación que se revierte cuando se necesita aumentar la productividad por la reducción en el acceso a los bienes importados y el aumento de la población.

Gráfica 4.7 Variación de la fuerza de trabajo no aprovechada en la producción económica por habitante.



Page 8



?

FUERZA DE TRABAJO NO APROVECHADA

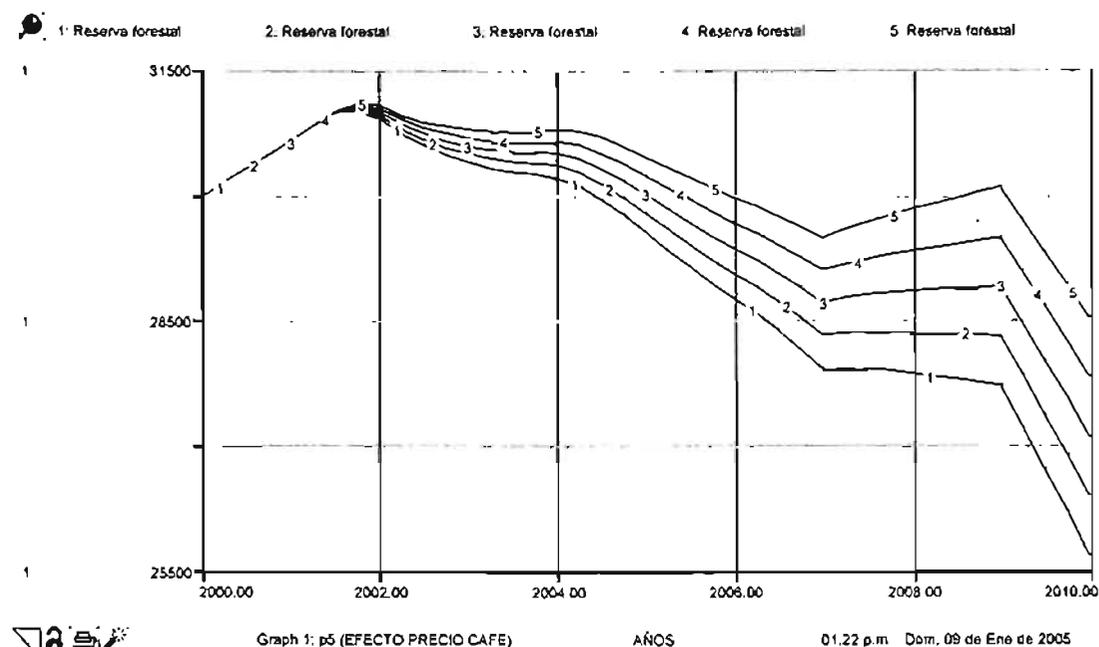
Fuente: resultado de la simulación del modelo

La Gráfica 4.8 representa el efecto de la variación en la extensión de la cubierta forestal en función de la magnitud del incremento constante en el precio de venta del café. La Tabla 4.3 contiene la relación de valores de tasas de deforestación promedio anual calculadas mediante la simulación del modelo, correspondientes a

³¹ La palabra *ineficiente* no es utilizada en un sentido peyorativo, ya que se refiere a una simple relación cuantitativa de las jornadas de trabajo disponibles por el tamaño de la población económicamente activa con respecto a las necesarias para realizar la actividad económica, según los parámetros que especifican al modelo.

cada valor de incremento constante en el precio del café. Como es lógico de prever, al aumentar la tasa de crecimiento del precio de la principal fuente de ingresos monetarios de la población, disminuye la presión sobre los recursos naturales locales. El análisis de elasticidades indica que incrementos en el precio del café mayores a 150 pesos por tonelada al año empiezan a tener un impacto significativo en la reducción de la tasa de deforestación. La explicación del porqué incrementos pequeños en el precio de venta del café no tienen un efecto elástico en la tasa de deforestación tiene que ver con el crecimiento de la población, pues como se ilustró en la Gráfica 4.5 el ingreso monetario per cápita disminuye al paso del tiempo. Por lo tanto una estrategia para controlar el proceso de deforestación basada en mejorar las condiciones de venta del café producido en la región no tendría un impacto relevante a mediano plazo.

Gráfica 4.8 Variación de la extensión de la cubierta forestal en función de la magnitud del incremento constante en el precio de venta del café.



Fuente: resultado de la simulación del modelo

Tabla 4.3 Análisis de la Gráfica 4.8

Línea	Incremento anual en precio de venta del café (\$)	Tasa de deforestación promedio anual obtenida (%)	Elasticidad
1	0	1.5	
2	50	1.2	0
3	100	1.0	-0.17
4	150	0.8	-0.40
5	200	0.5	-1.13

Fuente: análisis de resultados de la simulación del modelo.

La Gráfica 4.9 ilustra la dependencia de la variación en la extensión de la cubierta forestal con respecto a la tasa de crecimiento de los precios de compra de bienes y servicios. La Tabla 4.4 analiza cuantitativamente esta relación de dependencia. Lógicamente la tasa de deforestación es directamente proporcional a la tasa de crecimiento de los precios de bienes y servicios que consume la población, ya que a un menor rendimiento de los recursos monetarios, se recurre a una mayor explotación de los recursos naturales locales. El análisis de elasticidades indica que variaciones en la tasa de inflación anual menores a un 10% tienen un impacto significativo en la variación de la tasa de deforestación. Por consiguiente una inflación moderada tendría un efecto positivo en la conservación del bosque pues ello permite la posibilidad de diversificar el consumo de la población en el mercado exterior. Sin embargo, la inflación es una variable exógena, por lo que su control no sería viable desde la perspectiva regional.

Gráfica 4.9 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función de la tasa de crecimiento de los precios de bienes y servicios.

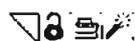
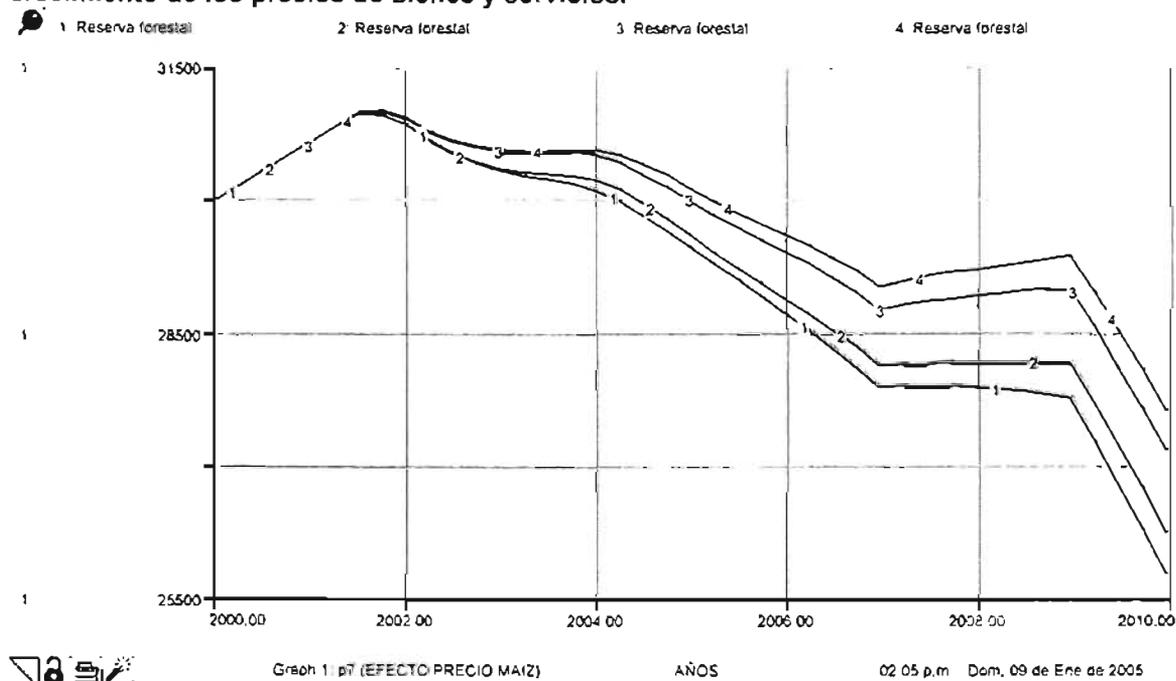


Gráfico 1: p7 (EFECTO PRECIO MAIZ)

AÑOS

02 05 p.m Dom, 09 de Ene de 2005

Fuente: resultado de la simulación del modelo.

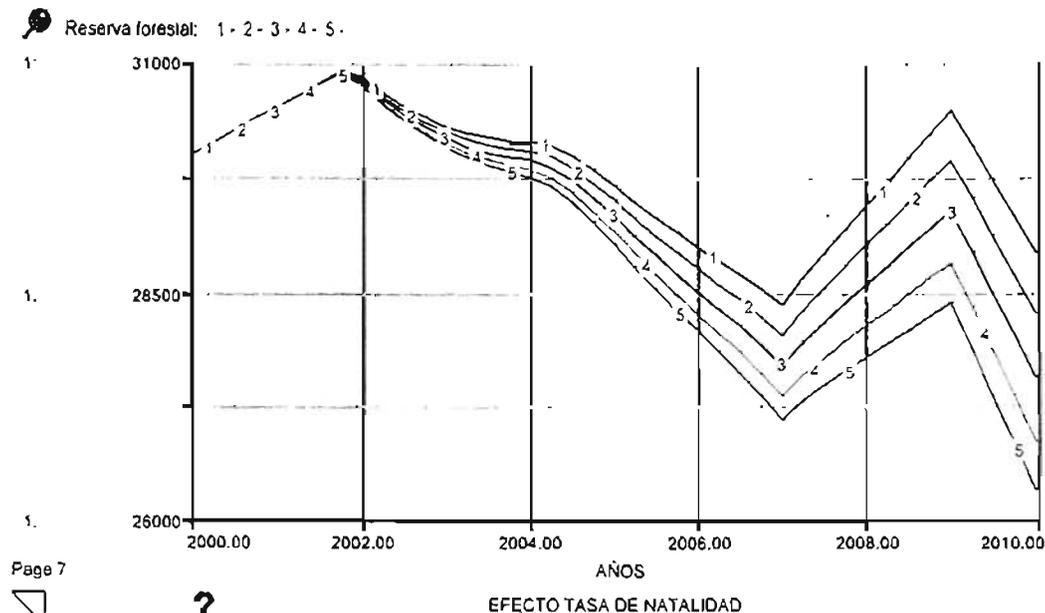
Tabla 4.4.- Análisis de la Gráfica 4.9

Línea	Tasa de incremento anual en los precios (%)	Tasa de deforestación promedio anual obtenida (%)	Elasticidad
4	7.2	0.8	
3	8.1	1.0	2.0
2	9.2	1.3	2.21
1	10.25	1.4	0.67

Fuente: análisis de resultados de la simulación del modelo.

La Gráfica 4.10 pone a la vista la relación entre de la variación en la extensión de la cubierta forestal con respecto a la tasa de natalidad de la población. La Tabla 4.5 analiza cuantitativamente dicha relación. Naturalmente, la tasa de deforestación es directamente proporcional a la tasa de natalidad, ya que una mayor población ejerce una mayor presión sobre los recursos naturales locales, cuando su aprovechamiento no es planeado. El análisis de elasticidades indica que la tasa de natalidad es una variable cuya variación tiene un impacto muy significativo, aunque decreciente, en la tasa de deforestación. Evidentemente el control de la natalidad, con resultados de corto plazo, sería muy efectivo contra de la deforestación, ya que del tamaño de la población dependen todos sus consumos agregados. No obstante, el crecimiento poblacional es una variable de tendencia pesada, es decir, que difícilmente se logra inducir un cambio en ella en el corto y mediano plazo. Esto se debe a que la intensidad de reproducción humana es un fenómeno complejo que abarca el nivel educacional, convicciones culturales y sociales, así como la posibilidad de acceder a medios de control natal, por mencionar algunas variables. Por ello, procurar el control natal, por sí mismo no es una opción efectiva para reducir la tasa de deforestación.

Gráfica 4.10 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función de la tasa de natalidad.



Fuente: resultado de la simulación del modelo.

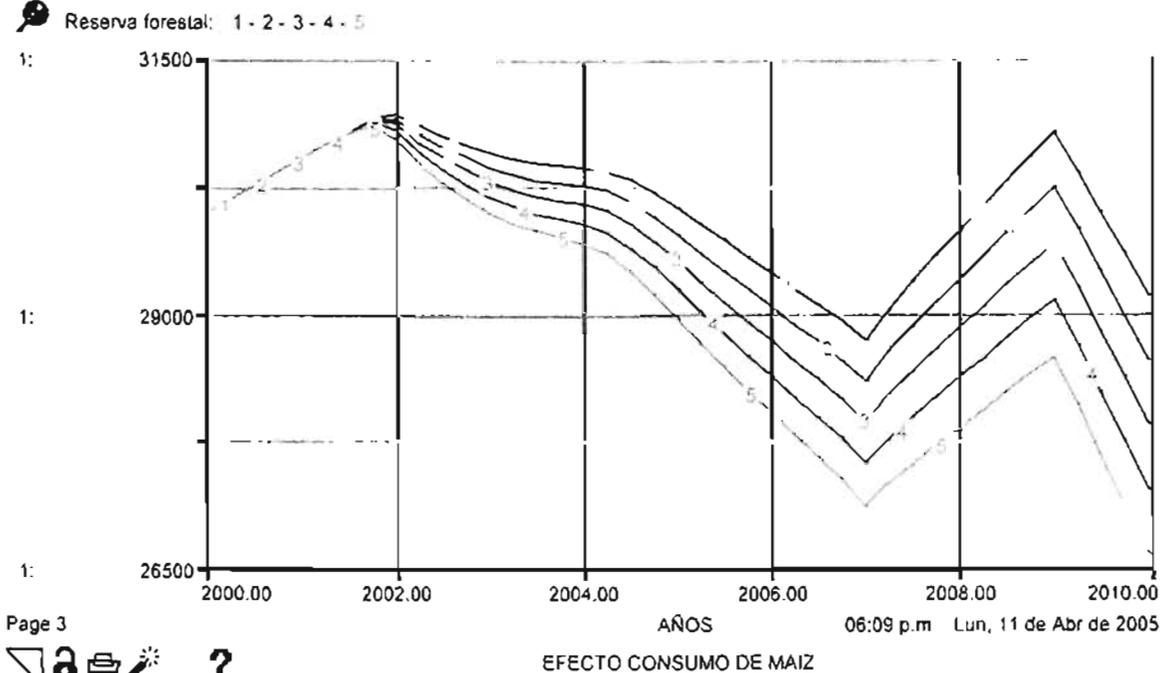
Tabla 4.5.- Análisis de la Gráfica 4.10

Línea	Tasa anual de natalidad (%)	Tasa de deforestación promedio anual obtenida (%)	Elasticidad
1	2	0.36	
2	2.4	0.59	3.19
3	2.8	0.82	2.34
4	3.2	1.05	1.96
5	3.5	1.23	1.83

Fuente: análisis de resultados de la simulación del modelo.

En la Gráfica 4.11 se visualiza la dependencia que existe entre la variación en la extensión de la cubierta forestal con respecto consumo anual de maíz por habitante. La Tabla 4.6 analiza cuantitativamente esta relación de dependencia. La tasa de deforestación es directamente proporcional al consumo de maíz, lo cual es congruente con el razonamiento lógico, pues su incremento, sin un crecimiento paralelo en los ingresos monetarios, requeriría una ampliación en la frontera agrícola. El análisis de elasticidades indica que la variación en el consumo anual de maíz por habitante tiene un impacto extraordinariamente significativo en la variación de la tasa de deforestación. Pero la reducción en el consumo de maíz de la población sería una solución indeseable. Las alternativas de solución al problema de la deforestación deben procurar, por lo menos, mantener los niveles de consumo actuales de la población.

Gráfica 4.11 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función del consumo de maíz.



Page 3



Fuente: resultado de la simulación del modelo

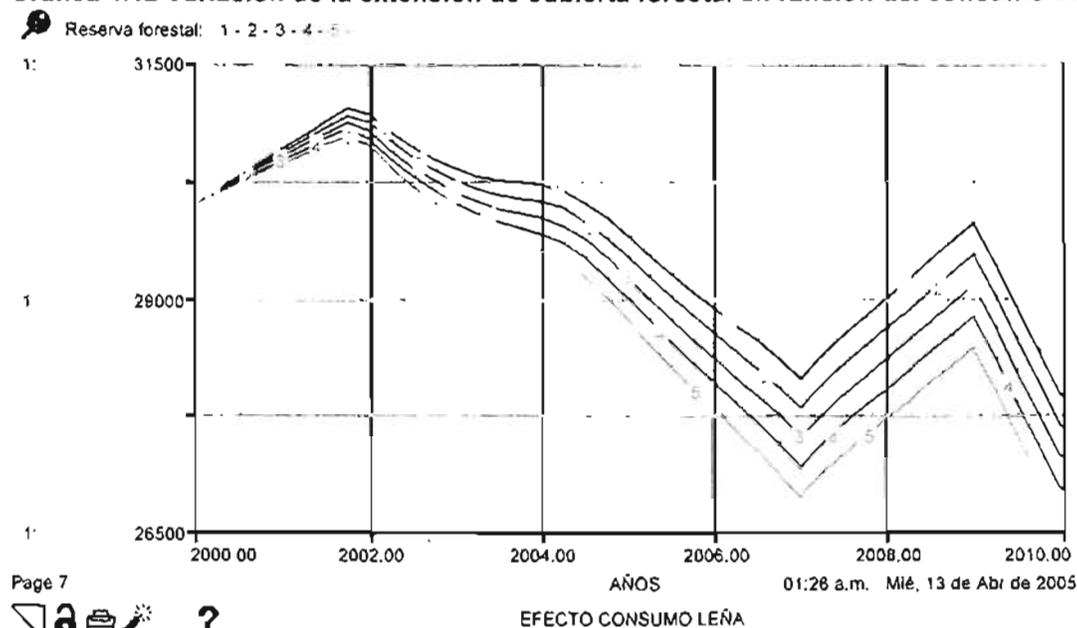
Tabla 4.6.- Análisis de la Gráfica 4.11

Línea	Consumo anual de maíz por habitante (ton)	Tasa de deforestación promedio anual obtenida (%)	Elasticidad
1	0.20	0.29	
2	0.205	0.5	28.9
3	0.21	0.70	16.4
4	0.215	0.92	13.2
5	0.22	1.13	9.82

Fuente. análisis de resultados de la simulación del modelo.

La dependencia entre de la variación en la extensión de la cubierta forestal con respecto al consumo anual de leña por habitante se despliega visualmente en la Gráfica 4.12 y la Tabla 4.7 analiza cuantitativamente dicha relación. Indiscutiblemente, la tasa de deforestación es directamente proporcional al consumo de leña, ya que el aumento de la última necesita una mayor extracción y por ende el incremento de áreas perturbadas. El análisis de elasticidades indica que la variación en el consumo per cápita de leña para combustible no tiene un impacto especialmente significativo en la variación de la tasa de deforestación. Una estrategia para reducir el consumo de leña³² sería relativamente fácil de llevar cabo por lo que valdría la pena su aplicación aún cuando la magnitud de la deforestación no se redujera sensiblemente. En este caso conviene un análisis de costo-beneficio.

Gráfica 4.12 Variación de la extensión de cubierta forestal en función del consumo de leña.



Fuente: resultado de la simulación del modelo.

Tabla 4.7.- Análisis de la Gráfica 4.12

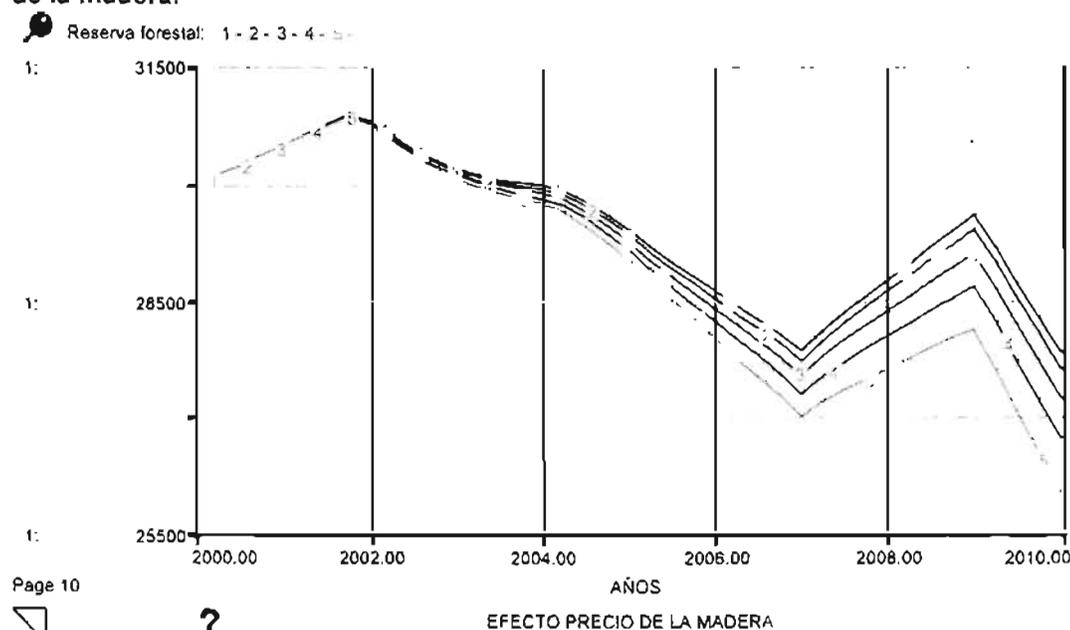
Línea	Consumo anual de leña por habitante (ton)	Tasa de deforestación promedio anual obtenida (%)	Elasticidad
1	0.50	0.687	
2	0.75	0.80	0.33
3	1.00	0.91	0.43
4	1.25	1.03	0.50
5	1.5	1.14	0.55

Fuente: análisis de resultados de la simulación del modelo.

³² Por ejemplo promoviendo la creación de plantaciones específicas para la extracción de leña y/o instalando fogones para combustión eficiente de leña.

La Gráfica 4.13 sensibiliza la correspondencia entre la variación en la extensión de la cubierta forestal con respecto al precio comercial de la madera. La Tabla 4.8 analiza cuantitativamente esta relación. La tasa de deforestación es directamente proporcional al aumento en el precio comercial de la madera, resultado que es congruente con el razonamiento lógico, pues a un mayor precio en el mercado corresponde una mayor demanda de la materia prima, una mayor extracción y consecuentemente una disminución en la densidad arbórea de los bosques. El análisis de elasticidades indica que la variación en la pendiente del incremento anual en el precio de mercado de la madera no tiene un impacto relevante en la variación de la tasa de deforestación. Considerando que la venta de madera en pie ha sido una fuente de ingresos inteligentemente aprovechada por la población de la región de estudio y que la demanda de madera no influye sensiblemente en el proceso de deforestación, según los resultados de la simulación, probablemente valdría la pena conservar este tipo de explotación lucrativa y procurar controlarla con mejores condiciones comerciales para las comunidades propietarias de los bosques.

Gráfica 4.13 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función del precio comercial de la madera.



Fuente: resultado de la simulación del modelo.

Tabla 4.8.- Análisis de la Gráfica 4.13

Línea	Pendiente del incremento anual al precio de la madera	Tasa de deforestación promedio anual obtenida (%)	Elasticidad
1	-0.1	0.73	
2	-0.05	0.80	-0.19
3	0	0.93	-0.16
4	0.05	1.10	
5	0.1	1.34	0.22

Fuente: análisis de resultados de la simulación del modelo.

CONCLUSIONES

Como objetivo general de este trabajo de investigación se planteó aplicar el enfoque de la *Economía Ecológica* mediante la construcción de un modelo económico-ecológico integrado que simulase las actividades económicas realizadas en la región de estudio y el impacto que estas tienen sobre los recursos naturales objeto de aprovechamiento. Dicho modelo fue construido en versión simbólica e informacional, validado y simulado con el objetivo específico de estimar la variación en la extensión de la cubierta forestal de la zona de estudio y con ello la tasa de deforestación anual promedio, en función de una estructura sistémica que vinculara el crecimiento poblacional de las comunidades y los procesos productivos que estas realizan, con el sistema ecológico que proporciona los recursos naturales necesarios para la producción, para identificar los factores clave que contribuyen al proceso de deforestación en la región de estudio. En este sentido la simulación del modelo reveló que el consumo de leña y la tala comercial son actividades cuya variación en intensidad tiene un impacto relativamente bajo en la tasa de deforestación, aun cuando en principio se pensaría lo contrario. Por otra parte la tasa de variación de precios tiene un impacto medio y condicional en la tasa de deforestación: en el caso del café el impacto es inversamente proporcional, es decir, si el café encarece se reduce la tasa de deforestación, pero este efecto es significativo cuando el precio crece a más de 150 pesos la tonelada al año; en cuanto al crecimiento de precios de bienes y servicios, el impacto es adverso y significativo cuando la variación es menor al 10% anual. Resultan ser la tasa de natalidad y el consumo de maíz por habitante las variables que potencialmente tienen un mayor impacto en la tasa de deforestación. Esto último evidentemente está vinculado con la técnica del tiacolole, ya que cuando las necesidades de consumo rebasan la capacidad de compra, se detona la expansión de terrenos cultivados y con ello la perturbación del bosque.

Es difícil prever como se manifestarán al nivel de la región de estudio fenómenos cuyo campo de acción va más allá de los límites del modelo construido, tales como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Otros como la crisis mundial del café ya se han dejado sentir entre los productores del aromático de la Montaña de Guerrero mediante drásticas reducciones en los precios. No obstante podemos plantear algunos escenarios posibles.

El crecimiento de la población es una condición que difícilmente cambiará en el mediano plazo, por lo que los consumos agregados seguirán también en aumento. El fenómeno globalizante de la economía seguirá también su curso, por lo que prevalecerán las políticas de organismos como el Banco Mundial para promover la liberación comercial de los países en vías de desarrollo para que pongan a disposición de las grandes empresas transnacionales sus materias primas a menores precios, situación por la cual, en el caso del café, existe hoy en día una sobreoferta del producto, con una menor calidad y con la consecuente baja en el precio de compra. Es por ello que millones de personas en el mundo, quienes dependen de la producción y venta del aromático, no recuperan ni siquiera sus

costos de producción. En México este fenómeno se resiente, sobre todo desde la desaparición del Instituto Mexicano del Café, quien apoyaba con financiamiento y con la compra del producto a los cafecultores mexicanos, ahora estos están a expensas del libre mercado. Por lo anterior no se prevé que los precios del café mejoren significativamente en el corto ni mediano plazo.

Por otra parte, los efectos del TLCAN pueden manifestarse de diferente forma. Se espera que a partir de 2008 el 100% del maíz importado no cause aranceles, ello sin duda beneficiará a las grandes empresas importadoras quienes abatirán sus costos de producción de alimentos procesados y aumentarán su margen de ganancia, debido a los enormes subsidios que los productores norteamericanos reciben de su gobierno para vender el maíz más barato. Pero miles de campesinos mexicanos no podrán competir y tendrán que abandonar el cultivo del grano originario de Oaxaca para optar por otros cultivos, en el mejor de los casos, o por abandonar el país en busca de mejores oportunidades. Es posible que el gobierno cubra la demanda con maíz mas barato, pero posiblemente los únicos que se beneficien sean los intermediarios y el consumidor siga pagando los mismos precios. También es probable que en algunos lugares se dé un desabastecimiento por una falta de oferta interna y el producto se encarezca paradójicamente. Quizás en algunos mercados regionales, que no dependan de la venta de maíz en los mercados que opten por la importación, el aumento del precio del grano siga su curso normal.

Por lo tanto, dependiendo de cómo el TLCAN modifique la estructura de precios del maíz en la región de estudio, se modificará su tasa de deforestación: con ingresos por venta de café decrecientes y si el precio del maíz sube, la tasa de deforestación crecerá por vía del cultivo en tlacolole para suplir la diferencia; si la tendencia del aumento en el precio del maíz se mantiene sin cambios significativos, la tasa de deforestación se mantendrá constante; si el precio del maíz baja para el consumidor, podría esperarse incluso una aforestación. También hay que considerar que la extensión de la frontera agrícola tiene límites y que la liberación de importaciones puede terminar por impulsar la expulsión de la mano de obra hacia fuera de la región, a otras partes del país o al extranjero, fenómeno que hasta ahora no ha sido significativo en la zona de estudio. También podría ocasionarse que la población opte por emplearse en los cultivos ilegales.

La información generada con la simulación del modelo contribuye al diagnóstico de la problemática de Iliatenco-Barranca del Águila en el contexto de los objetivos del proyecto MIE del PNUD, ya que permite identificar los factores clave en los que conviene centrar la atención para elaborar un plan para abatir la deforestación de la región con mayor eficiencia. Por ejemplo: una política efectiva para controlar el proceso de deforestación en la zona de interés debería orientarse a mantener el nivel de consumo de la población sin necesidad de recurrir a la agricultura de tlacolole, pues aún cuando esta es una tecnología ecológicamente sustentable si se respeta la técnica original que permite la recuperación del bosque, la demanda inducida por el crecimiento de la población la vuelve insustentable. Poco se podría hacer por tratar de controlar los precios que son variables exógenas al sistema.

Por lo tanto una estrategia adecuada debería incluir una diversificación en las actividades productivas con fines comerciales, que sean ecológicamente compatibles con el bosque, para no depender casi exclusivamente de la venta de café o de artesanías de palma. Esta planificación se puede lograr mediante un reordenamiento ecológico del territorio como el que ya se encuentra llevando a cabo el PNUD en la región de estudio.

Conociendo la problemática de la zona, las características planteadas para una estrategia efectiva podrían intuirse con relativa facilidad. También puede abarcarse dentro de una gama de soluciones de relativa generalidad aplicables al caso. Sin embargo, cuando se trata de invertir, dinero y/o esfuerzo, para la realización de un proyecto, es al menos indiscutiblemente sano, cuando no obligado por norma, el justificar racionalmente las alternativas. El modelo construido puede cumplir tal fin.

Con los resultados obtenidos de la simulación del modelo no se ha pretendido descubrir ningún fenómeno inesperado, ni prevenir a la humanidad de un peligro desconocido. Simplemente se ha procurado realizar un ejercicio de razonamiento consistente en organizar conocimientos ya existentes de una manera hipotética, pero coherente. Consistente también en la validación de los resultados según su comportamiento sea el esperado.

El fenómeno de la deforestación es universal y bien conocido. El esfuerzo por estudiar integralmente los aspectos ecológicos y económicos mediante la modelación de sistemas tampoco es nuevo, si bien ha tomado un nuevo aire con la creciente inquietud por avanzar hacia un desarrollo denominado sustentable. El principal mérito de este ejercicio ha sido el de sumarse a un enfoque que contempla de manera integral la actividad económica y su efecto sobre los recursos naturales.

Por otra parte se demuestra que dada una porción de territorio habitada por comunidades que explotan los recursos naturales mediante procesos agropecuarios, es posible aplicar el enfoque de sistemas para estudiar y adquirir comprensión sobre el funcionamiento de su aparato socioeconómico en interacción con su entorno ecológico. La evidencia de dicha demostración es la construcción del modelo cuyas especificaciones fueron descritas, abarcándose los tres componentes básicos: naturaleza (bosque), población humana y sistema productivo, así como la exhibición y explicación de los resultados de la simulación del modelo.

Para que un modelo dinámico aporte resultados valiosos es necesario que sea alimentado con información de alta calidad. Pero la generación de dicha información es costosa y suele optarse por métodos menos rigurosos y más intuitivos, aunque no menos científicos, para inferir el comportamiento de sistemas complejos como los que involucran la actividad humana con su entorno ecológico. En países más avanzados no son raros los proyectos que abarcan la producción de la materia prima, para la construcción de modelos dinámicos, para acelerar el

aprendizaje de los sistemas complejos. En un país como el nuestro el ejercicio de la modelación dinámica como método de investigación de los sistemas reales quizás no sea la opción más práctica por el momento pero nunca es pronto para empezar a ejercitarnos aprovechando para ello la información asequible y la disponibilidad de aplicaciones que facilitan cada vez más su procesamiento.

Sirva pues el ejercicio realizado como un ejemplo de aplicación de la modelación dinámica, con un espíritu económico-ecológico, para ayudar a comprender un problema de interés real como lo es la racionalización en la explotación de los recursos naturales, habiendo sido el caso concreto de estudio Iliatenco-Barranca del Águila en la Montaña Alta de Guerrero.

BIBLIOGRAFÍA

Arias Chalico, Teresita del Niño Jesús. 1993. *Manejo y consumo de leña en un municipio rural de subsistencia: Alcozauca, Guerrero*. Tesis profesional (Biología). UNAM, México DF.

Ayala, B. I. 1997. *La empresa y los sistemas de producción*. Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario. Págs. 43-65. Manual 9. SAGAR

Bermejo, R. 1995. Ecología versus Mercado Capitalista. En Riechmann, J. et. al. *De la economía a la ecología*. Madrid, España: Trotta.

Bustamante Álvarez, Tomás. 2003. *La tragedia de los bosques de Guerrero: historia ambiental y las políticas forestales*. México DF. Fontamara

Castells, M. 1999. *La sociedad red*. México: Siglo XXI.

Corona Rentería, Alfonso. 2000. *Economía Ecológica: Una metodología para la sustentabilidad*. México DF.: Facultad de Economía, UNAM.

Costanza, R., Wainger, L. y Bockstael, N. 1996. Integrating spatially explicit ecological and economic models. En Costanza, r., Segura O. Y Martinez- Alier, J. (eds.), *Getting down to earth: practical aplicaciones of ecological economics*. Pags. 250-283. Washington, DC: Island Press.

Costanza, Robert. 1991. What is Ecological Economics? En Costanza, Robert (ed.), *Ecological Economics: The science and management of sustainability*. Págs 11-13. Nueva York: Columbia University Press.

Costanza, Robert. 1999. *Una introducción a la Economía Ecológica*. México: Compañía Editorial Continental.

Díaz Perea, J. 1994. *Estudio de la recuperación de la vegetación y fertilidad del suelo en terrenos sujetos al sistema de producción agrícola tlacolole, en el municipio de Alcozauca, Guerrero*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, México DF.

Equihua, Z. M. Y Benítez, B. G. 1983. *Dinámica de las comunidades ecológicas*. México: Trillas.

Figuroa S., B. 1998^a. *Manual para la definición de sistemas agrícolas al nivel de localidad y municipio*. Material de apoyo para el extensionista. Cuaderno No. 1: SAGAR.

Figuroa, S. B. 1998^b. *Principales conceptos en sistemas agrícolas*. Material de apoyo para el extensionista. Cuaderno No. 2. SAGAR

Grant, W. E., Marin, S. L. y Pedersen E. K. 1997. Ecología y manejo de recursos naturales: análisis de sistemas y simulación. Texas, USA: Edición fotocopiada.

Hall, Ch. A. S. y Day, J. W. Jr. 1977. Systems and Models: Terms and Basic Principles. En Hall, Ch. A. S. y Day, John W. (eds.), *Ecosystem modeling in theory and practice: an introduction with case histories*. Págs. 6-36. Colorado USA: University Press.

Hall, Ch. A. S., Day, J. W. Jr. y Odum, H. T. 1977. A circuit language for energy and matter. En Hall, Ch. A. S. y Day, John W. (eds.), *Ecosystem modeling in theory and practice: an introduction with case histories*. Págs. 37-48. Colorado USA: University Press.

Jacobs, M. 1999. Sustainability and markets: on the neo-classical model of environmental economics. En Kenny, M. y Meadowcroft, J. (eds.). *Planning Sustainability*. Pags. 78-100. New York, NY: Routledge.

Jeffers, J. N. R. 1988. Practitioner's Handbook on the Modelling of Dynamic Change in Ecosystems. Gran Bretaña: John Wiley & Sons.

Jiménez Homero, Luis M. 1996. *Desarrollo sostenible y economía ecológica*. España: Editorial Síntesis.

Landa Ordaz, Rosalva María. 1992. *Evaluación regional del deterioro ambiental en la Montaña de Guerrero*. Tesis de Maestría en Ciencias (Ecología y Ciencias Ambientales). UNAM, México DF.

Naredo, J. M. 2001. Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva. *Polis Revista Académica Universidad Bolivariana*, Vol. 1 No. 1. Recuperado el 2 de enero de 2004 de <http://www.revistapolis.cl/2/naredo.pdf>

Obregón, V. R. 1989. *Contribución al estudio del sistema de producción agrícola "tlacolole" en el municipio de Alcozauca, Gro.* Tesis profesional (Ingeniero Agrónomo). Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.

Odum Howard T. 1981. *Hombre y Naturaleza. Bases energéticas*. Barcelona: Ediciones Omega.

Odum, E. P. y Sarmiento, F. O. 1998. *Ecología: el puente entre ciencia y sociedad*. México DF: McGraw-Hill.

Overton W. S. 1977. A strategy of model construction. En Hall, Ch. A. S. y Day, John W. (eds.), *Ecosystem modeling in theory and practice: an introduction with case histories*. Págs. 49-73. Colorado USA: University Press.

Oviedo Valdovinos, Ulises. 1992. *Sistemas de producción de café en Atoyac de Álvarez, Gro.* Tesis profesional (Ingeniero Agrónomo). Chapingo, México.

PAIR, A. C. 1999. *Conservación de la diversidad biológica y desarrollo sustentable en áreas prioritarias (Montaña de Guerrero). Evaluación de la importancia global, las amenazas y causas subyacentes y evaluación de los agentes involucrados*. Informe final escala local.

PNUD. 2004. *Manejo Integrado de Ecosistemas en 3 Eco-regiones Prioritarias. Primer Informe Bimestral de Actividades, Región: Montaña Alta*. Chilpancingo, Gro.

Prato, Tony. 2002. Nexus of Ecological Economics and Ecosystem Management. Department of Agricultural Economics, University of Missouri-Columbia, Columbia, Missouri, USA , en *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, desarrollado bajo el auspicio de la UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK. Recuperado el 2 de enero de 2004 de <http://www.eolss.net/>

Romero, C. 1994. *Economía de los recursos ambientales y naturales*. Madrid: Alianza editorial.

Rosnay, Joel de. 1979. The Macroscope. Recuperado de <http://pespmc1.vub.ac.be/macroscope/> el 18 de abril de 2005.

SARH 1994 *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México.

SEMARNAT. 2000. *Diagnóstico de la deforestación en México*. Recuperado el 25 de noviembre de 2004 de www.semarnat.gob.mx/dgeia/produccion/rec-forestales/inv4.shtml

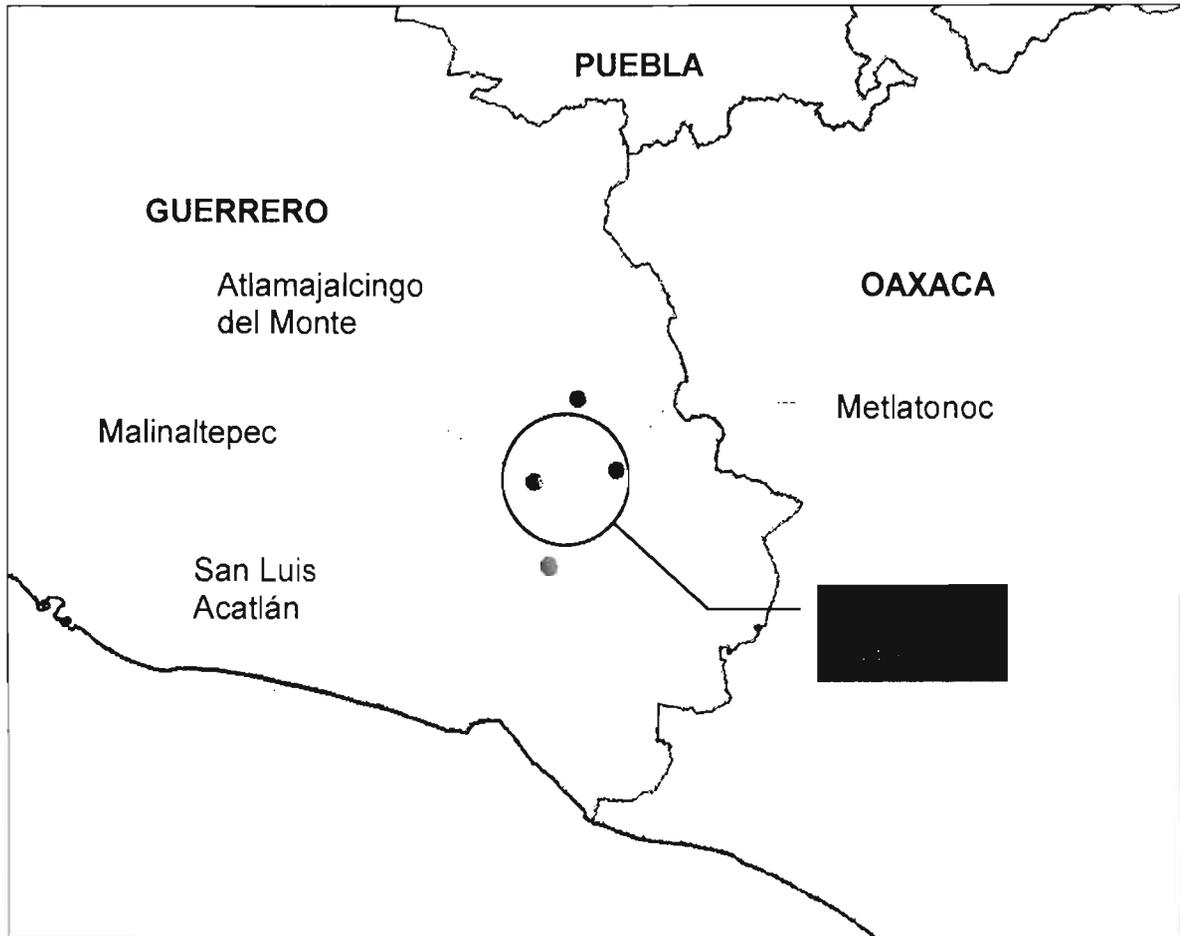
Shoemaker C. A. 1977. Mathematical construction of ecological models. En Hall, Ch. A. S. y Day, John W. (eds.), *Ecosystem modeling in theory and practice: an introduction with case histories*. Págs. 75-114. Colorado USA: University Press.

Veniamin Livchits N., Vadim N. Sadovsky y Tokarev Vladislav V. 2002. Systems Analysis and Modeling of Integrated World Systems. Institute for Systems Analysis, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. En *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, desarrollado bajo el auspicio de la UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK. Recuperado el 2 de enero de 2004 de <http://www.eolss.net/>

Viola R., A. 2000. *Antropología del desarrollo : teorías y estudios etnográficos en América Latina*. México; Barcelona: Paidós.

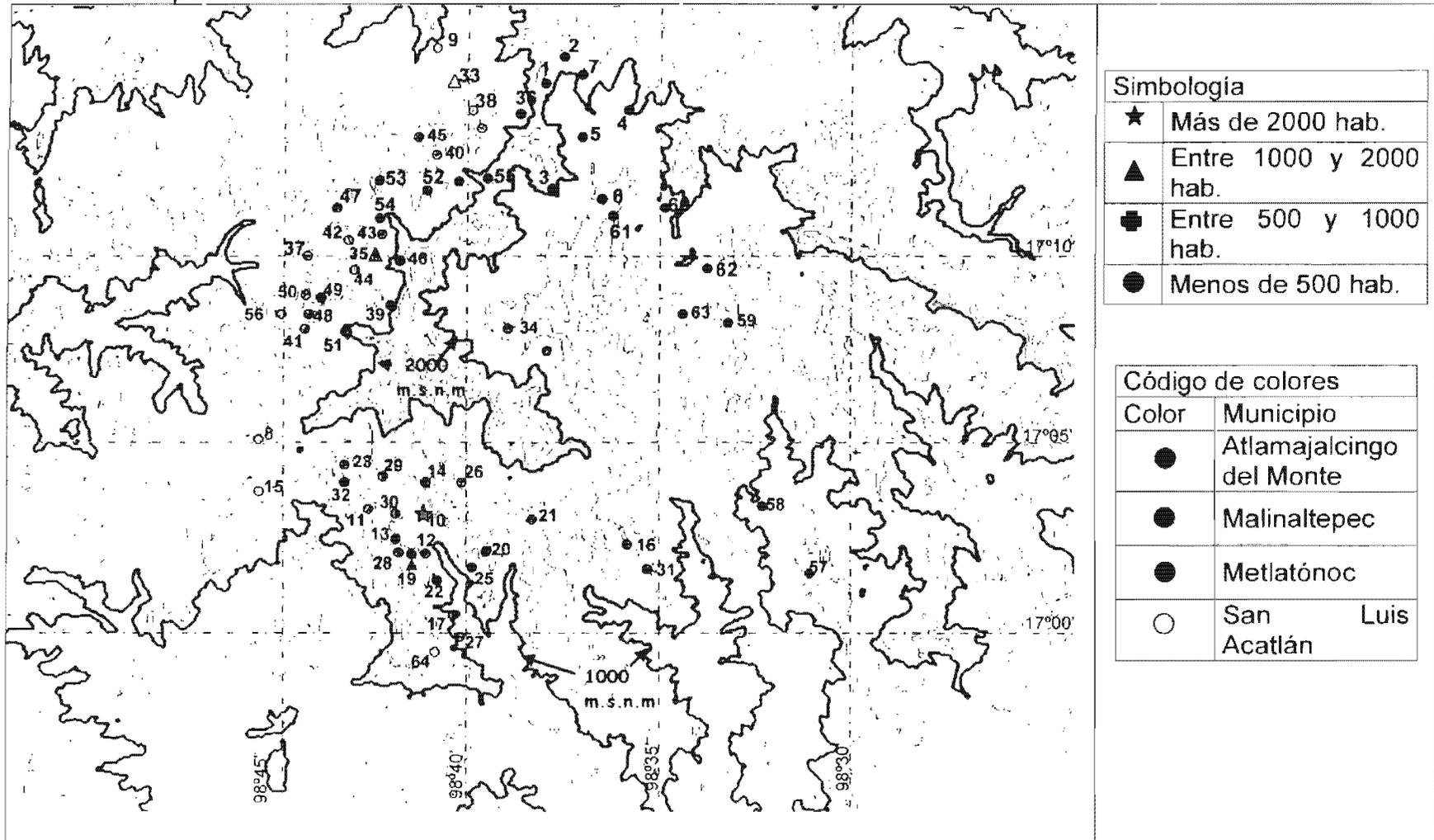
ANEXO 1 FIGURAS

Figura A 1 Localización geopolítica de la zona de estudio



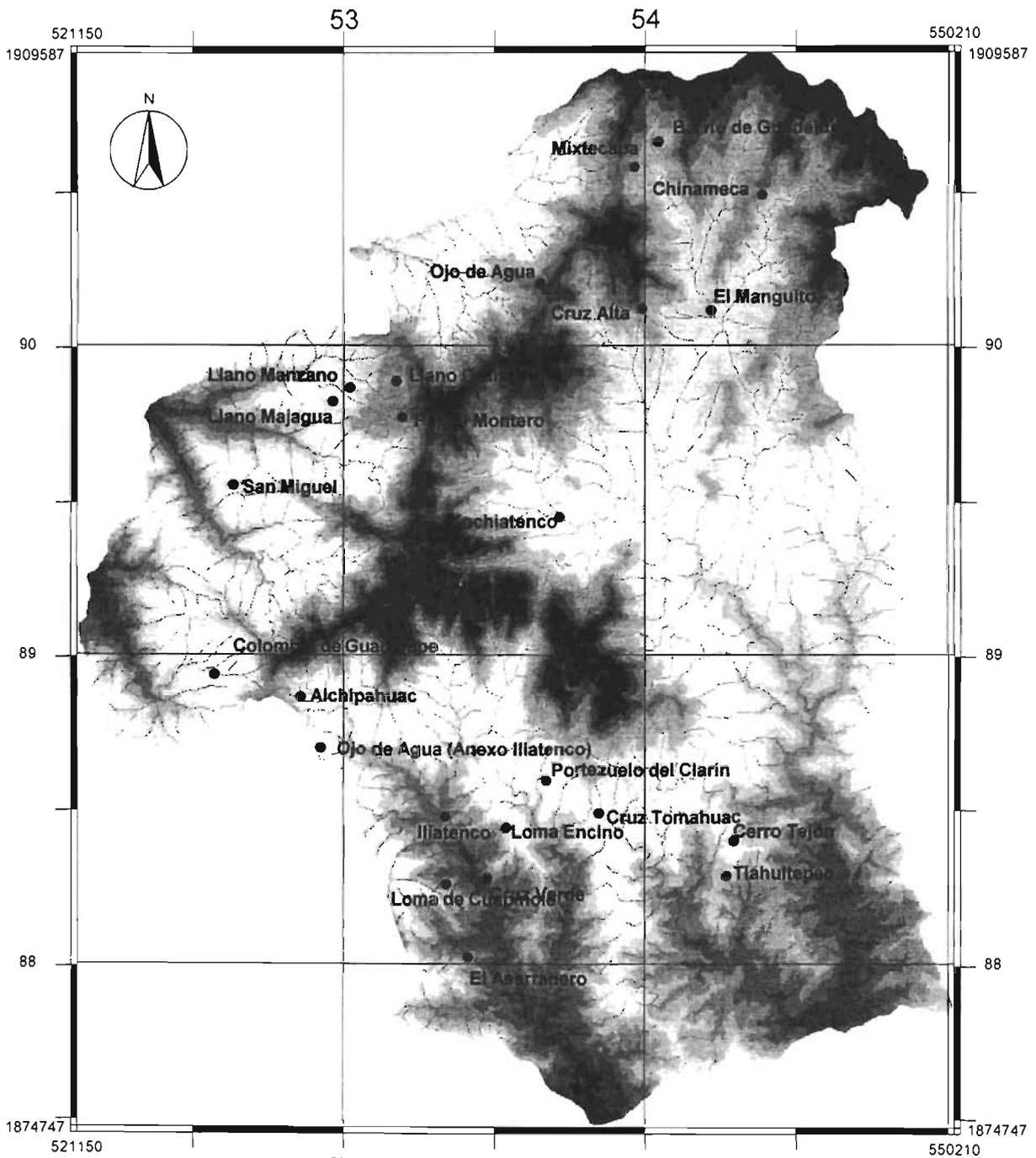
Fuente: Elaboración propia con aplicación del sistema IRIS del INEGI (2004)

Figura A 2.- Distribución geográfica de las comunidades comprendidas dentro de la zona de estudio Iliatenco- Barranca del Águila. Para revisar toponimia ver la tabla A1



Fuente: Elaboración propia con aplicación del sistema IRIS del INEGI, cartas topográficas E14D41 y E14D42 y datos del censo poblacional INEGI (2000).

Figura A 3 Mapa hipsométrico de la región Iliatenco-Barranca del Águila



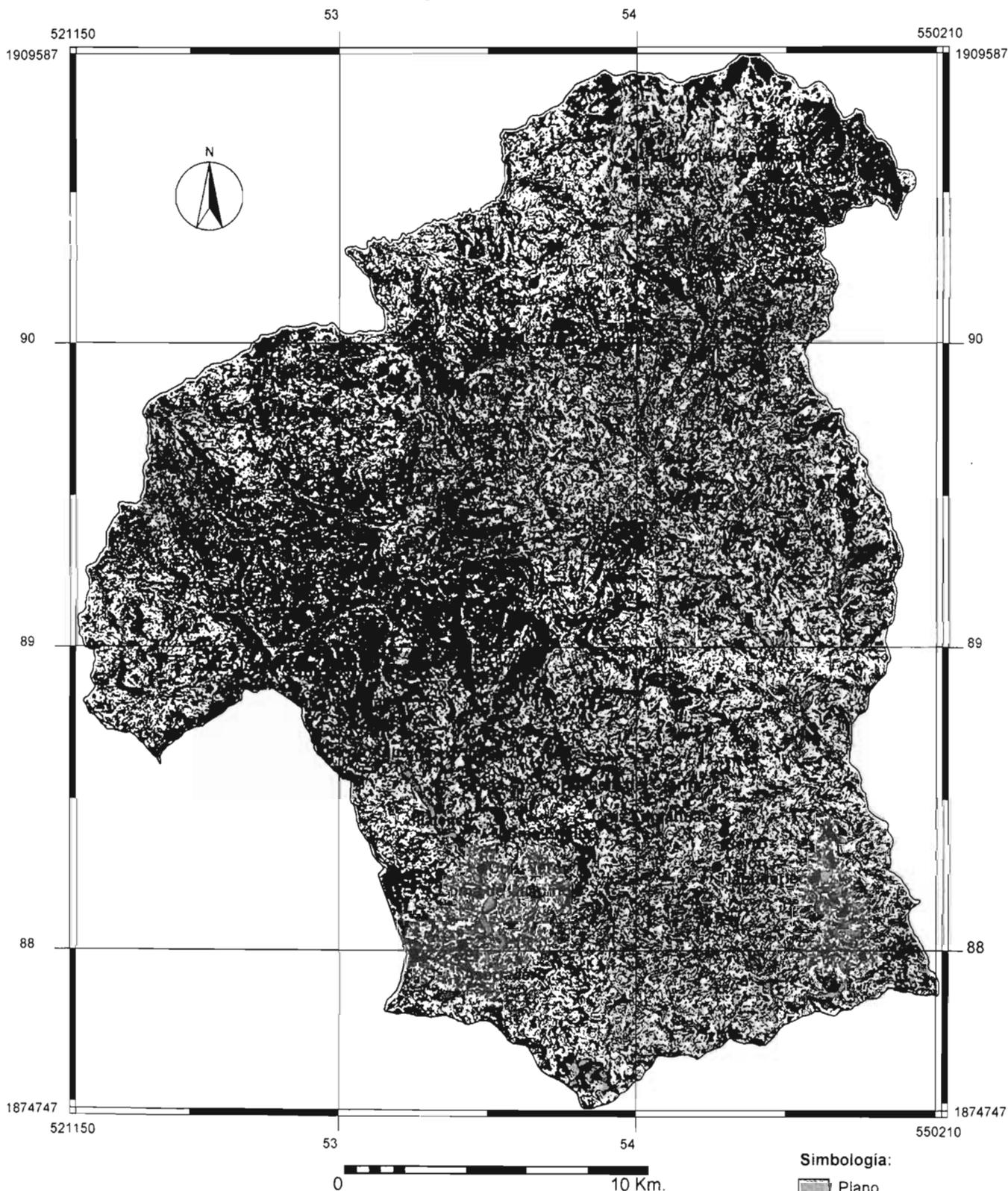
Simbología:

Altitud en m. snm		
80	1600	2400
90	1700	2500
1000	1800	2600
1100	1900	2700
1200	2000	2800
1300	2100	2900
1400	2200	3000
1500	2300	

● Pueblo ↗ Hidrología

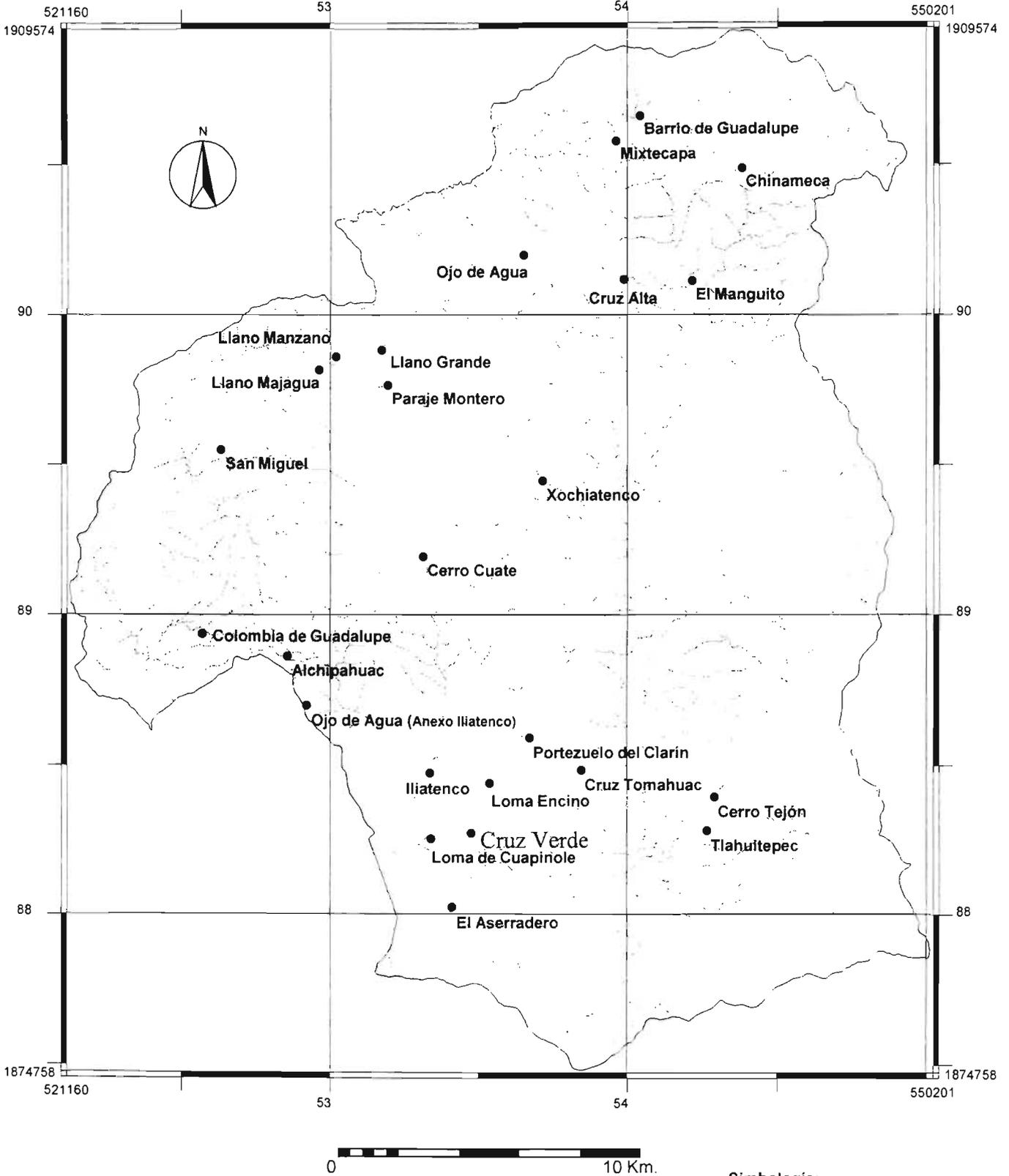
Fuente: PNUD (2004)

Figura A 4 Mapa de pendientes de la región Iltitenco-Barranca del Águila



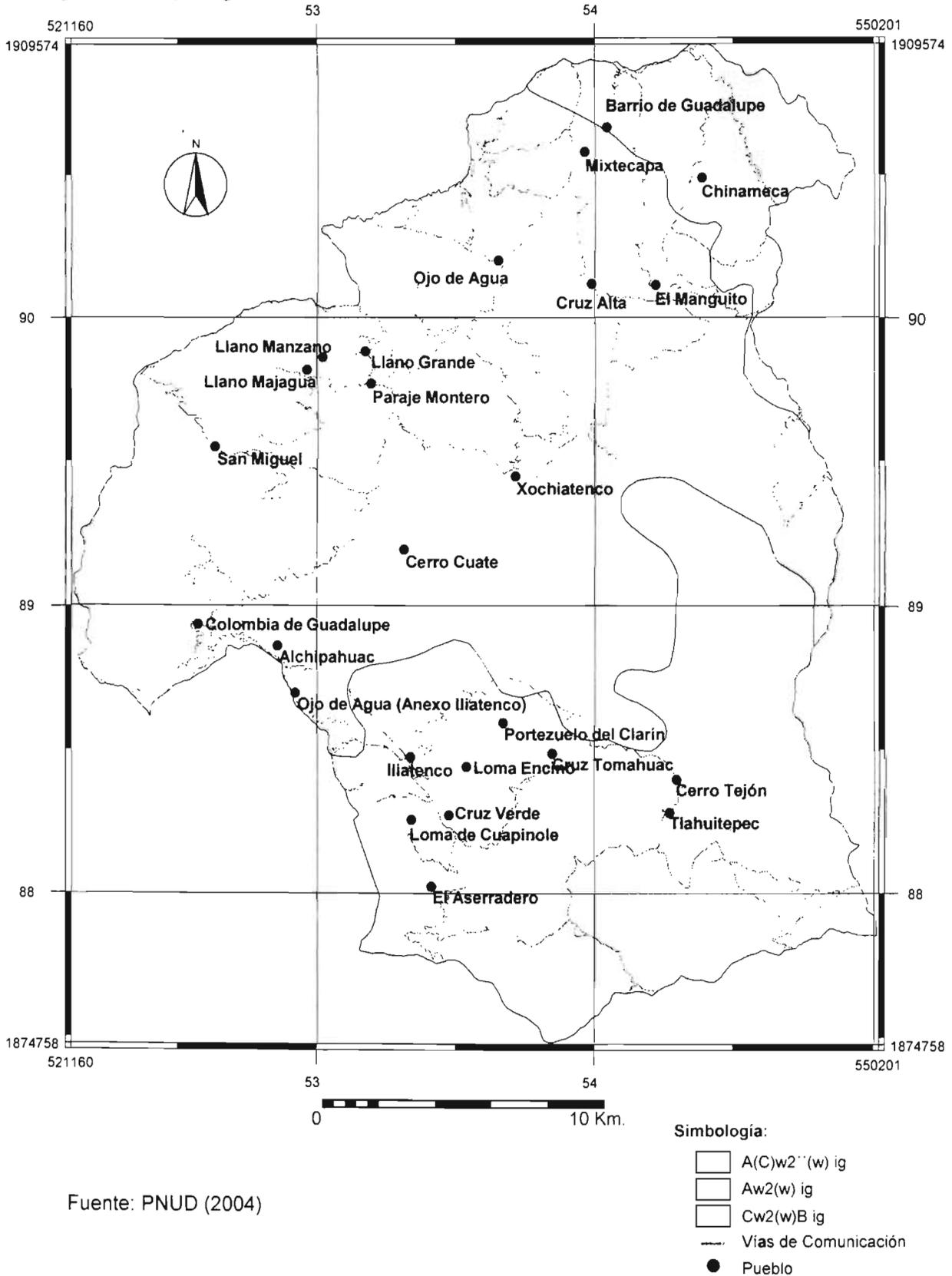
Fuente: PNUD (2004)

Figura A 5 Mapa Hidrológico de la zona de estudio Iliatenco Barranca del Águila



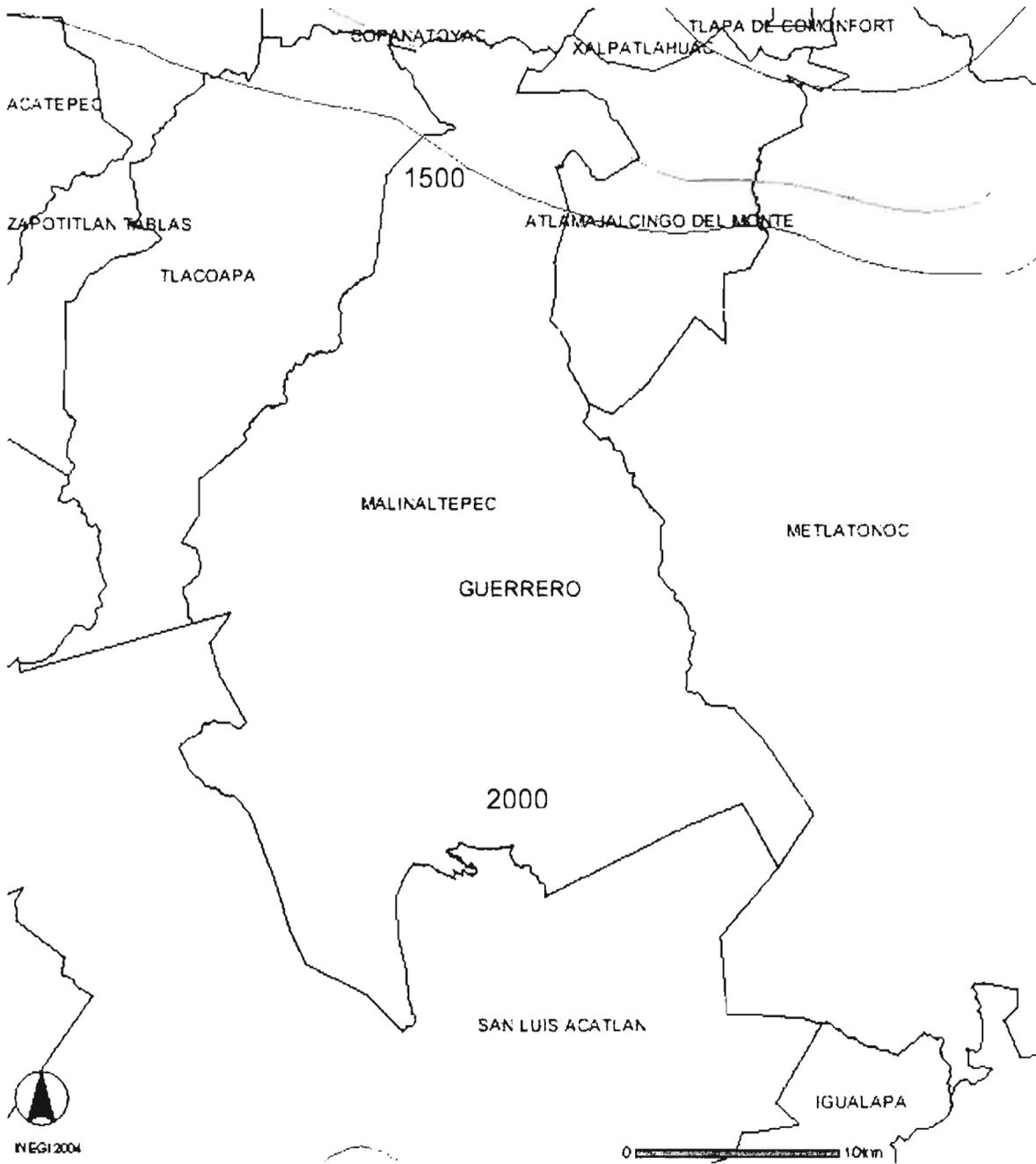
Fuente: PNUD (2004)

Figura A 6 Mapa regional climático de la zona de estudio Iliatenco-Barranca del Águila.



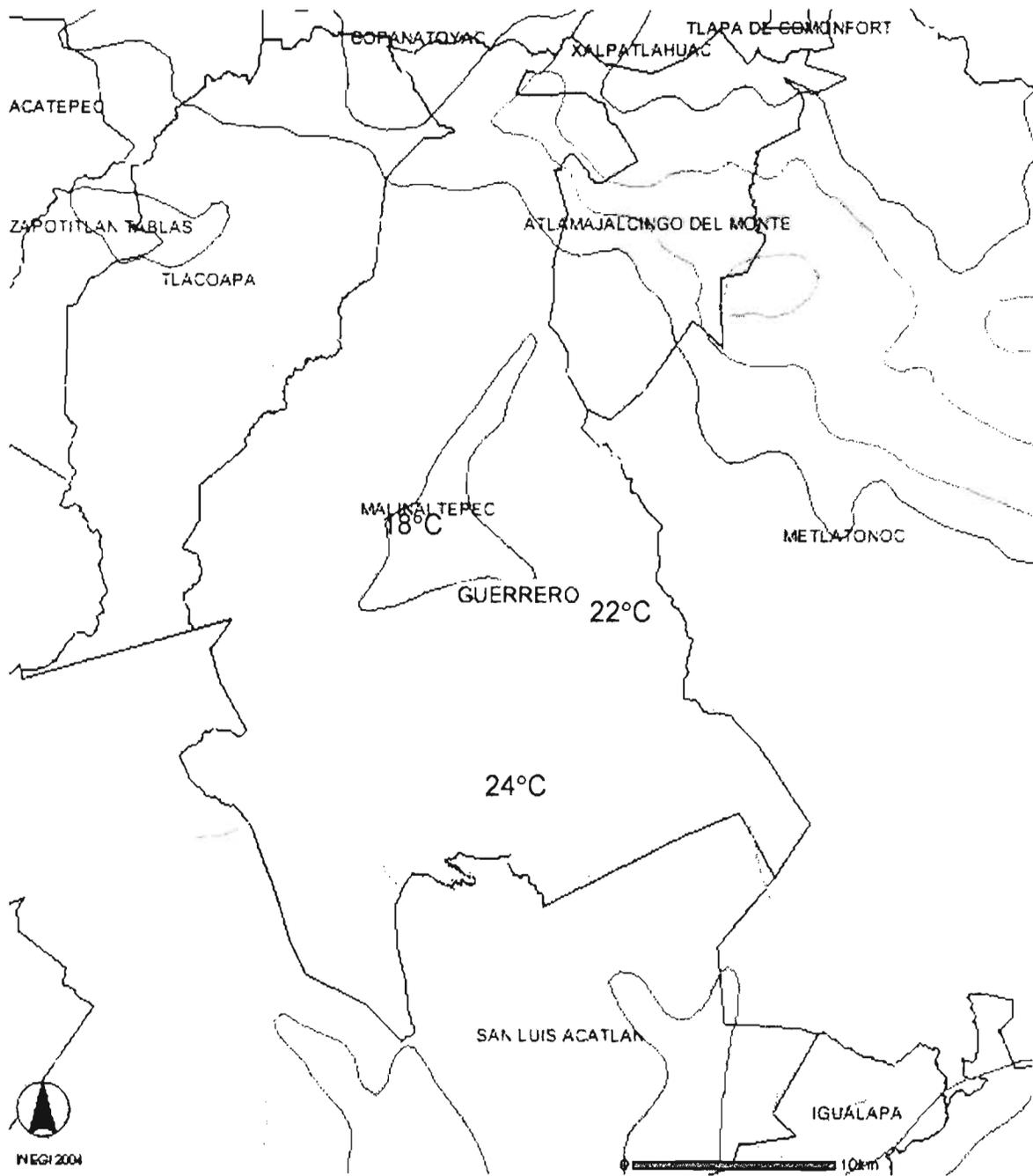
Fuente: PNUD (2004)

Figura A 7 Mapa de isoyetas de la zona de estudio Iliatenco-Barranca del Águila.



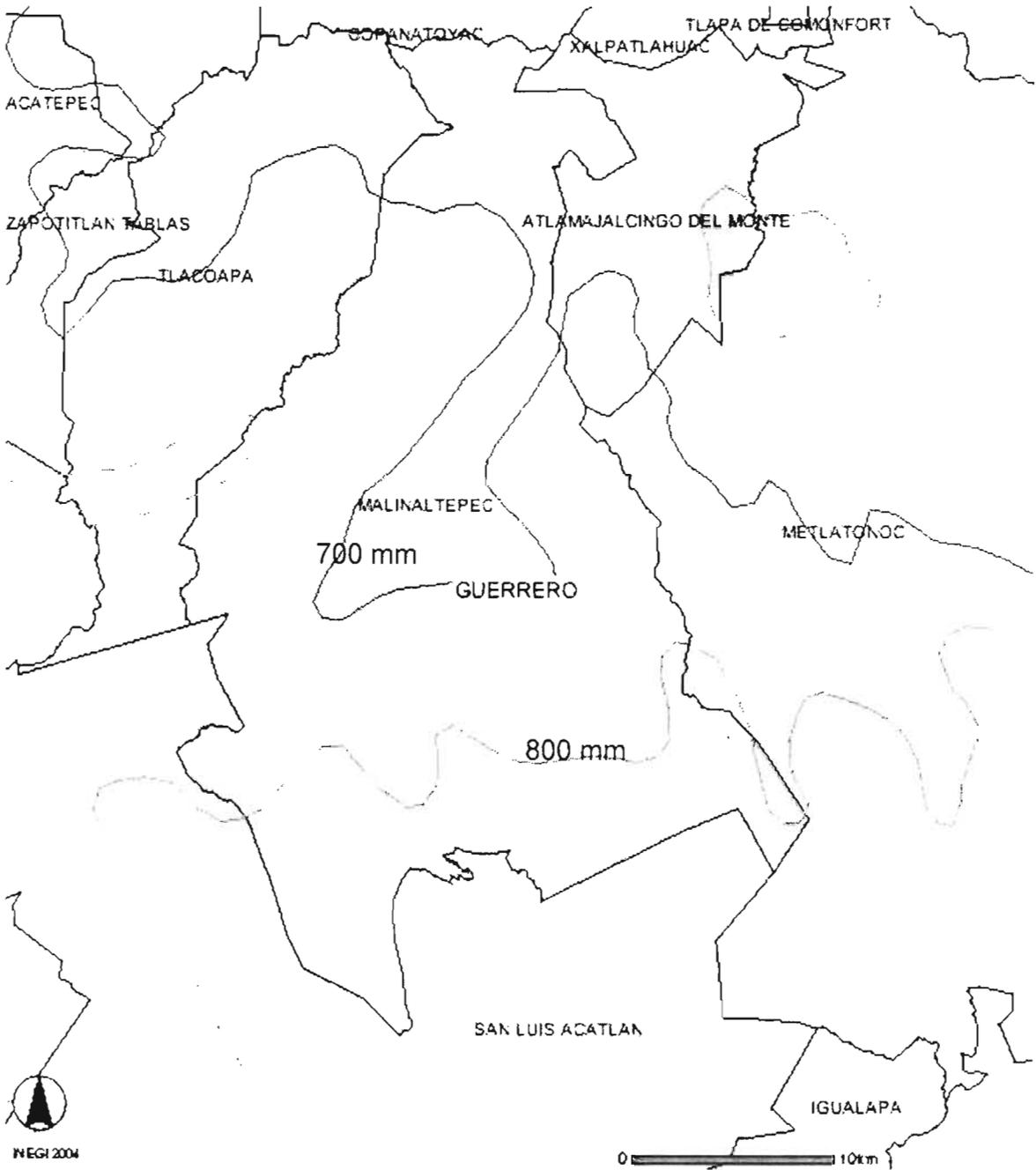
Fuente: Mapa digital de México www.inegi.gob.mx obtenido el 2 de noviembre de 2004.

Figura A 8 Mapa de isotermas de la zona de estudio Iliatenco- Barranca del Águila.



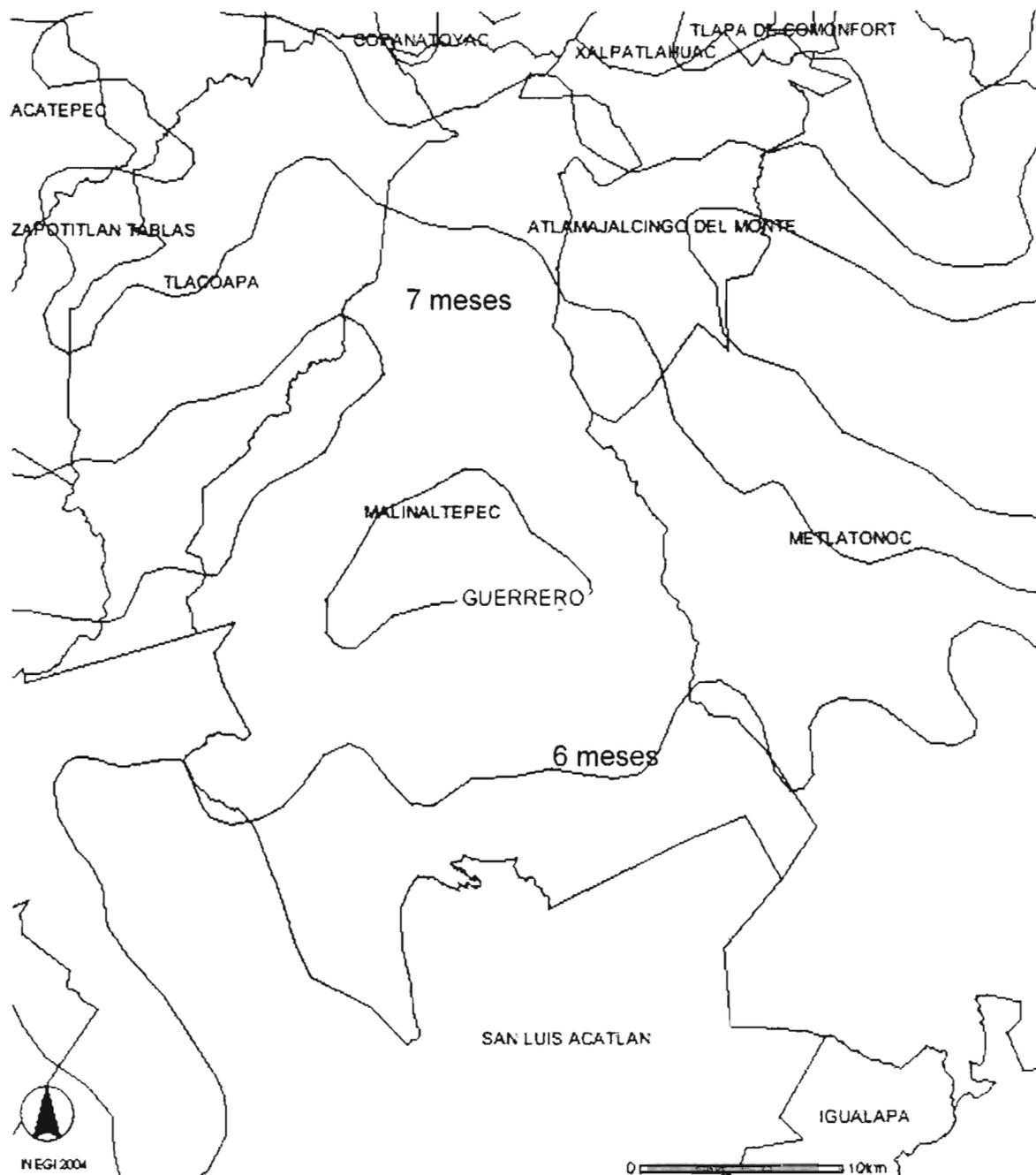
Fuente: Mapa digital de México www.inegi.gov.mx obtenido el 2 de noviembre de 2004.

Figura A 9 Mapa de evotranspiración de la zona de estudio Iliatenco- Barranca del Águila.



Fuente: Mapa digital de México www.inegi.gov.mx obtenido el 2 de noviembre de 2004.

Figura A 10 Mapa de humedad de los suelos de la zona de estudio Iiatenco-Barranca del Águila.



Fuente: Mapa digital de México www.inegi.gov.mx obtenido el 2 de noviembre de 2004.

ANEXO 2 TABLAS

Tabla A 2.1.- Listado de comunidades comprendidas dentro de la zona de estudio incluyendo datos poblacionales.

No.	Municipio	Localidad	Anexos	Población total	Viviendas	Población	Población
1	ATLAMAJALCINGO DEL MONTE	MIXTECAPA		407	66	122	117
2			BARRIO DE GUADALUPE	204	30	42	84
3			CRUZ ALTA	276	45	56	114
4			CHINAMECA	247	38	36	108
5			LLANO DE MAGUEY	312	61	55	147
6			MANGUITO. EL	124	16	25	57
7			PIE DE TIERRA BLANCA	368	56	82	143
8	MALINALTEPEC	COLOMBIA DE		947	172	169	376
9		COLONIA AVIACIÓN		122	19	38	36
10		ILIATENCO		2389	437	724	768
11			ALCHIPAHUAC	439	81	133	141
12			CAÑADA SUR	84	15	26	25
13			CERRO ARDILLA	221	43	70	63
14			CERRO CUATE	576	106	121	224
15			CERRO DEL GUAYABO	122	21	43	39
16			CERRO TEJON	340	52	170	33
17			COLONIA ASERRADERO	558	89	165	182
18			COLONIA LOMA ENCINO	183	37	50	70
19			CRUZ LA VILLA	253	43	77	89
20			CRUZ VERDE	346	66	75	148
21			CRUZTOMAHUAC	617	101	290	97
22			LOMA DE CUAPINOLE	276	49	100	80
23			OJO DE AGUA	399	78	82	176
24			ORIENTAL				
25			PLAN DE LIMÓN				
26			PORTEZUELO DEL CLARÍN	397	65	85	152
27			RENACIMIENTO				
28			SAN ANTONIO				
29		SAN ISIDRO	149	29	51	37	
30		SANTA CRUZ HERNÁNDEZ	131	22	44	38	
31		TLAHUITEPEC	362	57	152	42	
32	VISTA ALEGRE	65	13	19	24		
33	MALINALTEPEC		1138	200	331	374	
34		OJO DE AGUA		288	57	78	76

Tabla A 2.1.- Listado de comunidades comprendidas dentro de la zona de estudio incluyendo datos poblacionales.

No.	Municipio	Localidad	Anexos	Población total	Viviendas	Población	Población
35		PARAJE MONTERO		1084	200	CONTINUACIÓN 216	423
36			CIÉNEGA, LA	258	46	53	96
37			DIVINA PROVIDENCIA LA	89	17	29	27
38			LAGUNA SECA	389	65	93	140
39			LAGUNA TRES MARIAS	71	13	16	20
40			LOMA DEL FAISÁN	211	41	72	60
41			LLANO DE EPAZOTE	99	20	14	41
42			LLANO DE MANZANO	89	16	34	20
43			LLANO GRANDE	197	42	76	38
44			LLANO MAJAGUA	126	22	35	42
45			LLANO PANTANOSO	273	43	104	61
46			CRUCERO DE XOCHIATENCO	10	2	*	*
47			PORTEZUELO DE SANTA CRUZ	189	33	86	18
48			SAN ANTONIO ABAD	68	15	13	28
49			SAN CAMILO	117	22	12	53
50			SAN LORENZO	121	24	25	45
51			SANTA TERESA	94	18	13	43
52			SOLEDAD, LA	352	68	146	72
53			TABERNA, LA	235	39	104	47
54			TAPAYOLTEPEC	396	81	198	38
55			XOCHIATENCO	316	42	91	97
56		SAN MIGUEL EL		614	125	124	224
57		CHILIXTLAHUACA		537	79	83	189
58		LLANO DE LAS FLORES		235	32	69	61
59		OJO DE PESCADO		249	52	59	89
60	METLATONOC	PUEBLO VIEJO		67	12	27	23
61		RIÓ SAN MARTÍN		92	10	0	51
62		SAN MARCOS		274	50	96	64
63		SANTA CRUZ CAFETAL		150	23	52	35
64	SAN LUIS ACATIÁN	SAN JOSÉ VISTA		887	126	228	302
	TOTALES			20229	3553	5679	6507

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2000)

Tabla A 2.2.- Crecimiento demográfico de las comunidades de la zona de estudio Iliatenco- Barranca del Águila. Continuación.

Evento Censal	1900	1910	1921	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000
Fuente	CENSO	CONTEO	CENSO									
MIXTECAPA												407
CRUZ ALTA											318	276
BARRIO DE GUADALUPE												204
CHINAMECA					91	72	53	72	51	158	84	247
LLANO DE MAGUEY											329	312
MANGUITO, EL												124
TIERRA BLANCA											378	368
COLOMBIA DE GUADALUPE	223	244	403	471	541	685	938	722	979	726	785	947
COLONIA AVIACIÓN												122
ILIATENCO	367	414	918	1262	1708	2283	2892	3221	684	2147	1691	2389
ALCHIPAHUAC									766	517	215	439
CAÑADA SUR												84
CERRO ARDILLA												221
CERRO CUATE									745	539	288	576
CERRO GUAYABO										165	100	122
CERRO TEJON									180	258	211	340
ASERRADERO									454	470	377	558
COLONIA LOMA ENCINO											118	183
CRUZ LA VILLA												253
CRUZ VERDE										382	191	346
CRUZTOMAHUAC								219	662	619	470	617
LOMA CUAPINOLE										336	214	276
OJO DE AGUA ILIATENCO										524	282	399
ORIENTAL												
PLAN DE LIMÓN												
PORTEZUELO DEL CLARÍN												397
RENACIMIENTO												
SAN ANTONIO												
SAN ISIDRO											120	149
SANTA CRUZ HERNÁNDEZ											119	131
TLAHUITEPEC									185			362
VISTA ALEGRE											86	65
MALINALTEPEC	1272	1398	1585	1756	2035	2347	3211	1341	631	1465	771	1138
OJO DE AGUA								191	279	392	439	288
PARAJE MONTERO			426	550	601	795	1059	903	1224	889	696	1084
LA CIÉNEGA									202	284	179	258

Tabla A 2.2.- Crecimiento demográfico de las comunidades de la zona de estudio Iliatenco- Barranca del Águila. Continuación.

Evento Censal	1900	1910	1921	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000
Fuente	CENSO	CONTEO	CENSO									
DIVINA PROVIDENCIA										304	46	89
LAGUNA SECA											51	389
LAGUNA TRES MARIAS												71
LOMA DEL FAISÁN									211	266	111	211
LLANO EPAZOTE											75	99
LLANO DEL MANZANO											65	89
LLANO GRANDE										193	108	197
LLANO MAJAHUA											106	126
LLANO PANTANOSO									208	256	164	273
CRUCERO DE XOCHIATENCO												10
PORTEZUELO DE SANTA CRUZ									97	128	39	189
SAN ANTONIO ABAD											61	68
SAN CAMILO										87	83	117
SAN LORENZO											87	121
SANTA TERESA											59	94
LA SOLEDAD								160	271	345	286	352
TABERNA, LA												235
TAPAYOLTEPEC								471	496	576	297	396
XOCHIATENCO								217	268	354	294	316
S.M. EL PROGRESO			257	313	355	453	663	988	960	904	437	614
CHILIXTLAHUACA	77	83			48	217	219	442	599	819	602	537
LLANO DE LAS FLORES										142	247	235
OJO DE PESCADO	79	89	34	62	38	57	77	82	359	269	244	249
PUEBLO VIEJO										57	75	67
RÍO SAN MARTÍN										99	63	92
SAN MARCOS										121	226	274
SANTA CRUZ CAFETAL									255	229	111	150
SAN JOSÉ VISTA HERMOSA					120	182		320	445	623	595	887
TOTALES	2018	2228	3623	4414	5537	7091	9112	9349	11211	15643	12993	20229

Fuente: Elaboración propia con datos del archivo histórico de localidades del INEGI www.inegi.gob.mx consultado el 2 de noviembre de 2004

Tabla A 2.3.- Población económicamente activa del municipio de Malinaltepec.

Concepto	Cantidad	%
Total	20856	
Económicamente activa	9475	45.43
Económicamente activa ocupada	9432	45.22
Económicamente activa desocupada	43	0.20

Fuente: INEGI (2000)

Tabla A 2.4.- Población económicamente inactiva del municipio de Malinaltepec

Concepto	Cantidad	%
Total	11295	54.16
Estudiantes	4802	42.51
Hogar	4133	36.59
otro	2185	19.34
Incapacitados permanentemente para trabajar	151	1.34
Jubilados y Pensionados	24	0.21

Fuente: INEGI (2000)

Tabla A 2.5.- Clasificación de la población ocupada por su posición en el trabajo

Tipo	Cantidad	%	%acum.
Por su cuenta	5255	55.71	55.71
Trabajadores familiares sin pago	1793	19.00	74.72
Jornaleros y peones	965	10.23	84.95
empleados y obreros	924	9.79	94.75
No especificada	457	4.84	99.59
Patrones	38	0.40	100

Fuente: INEGI (2000)

Tabla A 2.6.- Distribución sectorial de la población ocupada del municipio de Malinaltepec.

Sector	Cantidad	%	% acum..
Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal y pesca	7553	80.08	80.08
Servicios educativos	669	7.09	87.17
Industrias manufactureras	376	3.99	91.16
Construcción	145	1.54	92.70
Otros servicios, excepto gobierno	144	1.53	94.22
Servicios de hoteles y restaurantes	140	1.48	95.71
Comercio	125	1.33	97.03
Actividades del gobierno	101	1.07	98.10
No especificado	96	1.02	99.12
Servicios de salud y asistencia social	38	0.40	99.52
	34	0.36	99.88
Transporte, correos y almacenamiento	4	0.04	99.93
Servicios profesionales	4	0.04	99.97
Servicios de apoyo a los negocios	2	0.02	99.99
electricidad y agua	1	0.01	100.00

Fuente: INEGI (2000)

Tabla A 2.7.- Cuantificación de mano de obra empleada en actividades agropecuarias o forestales del municipio de Malinaltepec.

	Sexo	En grupo	Con grupo	Individuales	Individuales con mano de obra	
Unidades de producción		4 611	4 451	263	261	
Total	Hombres	13 165	8 554	7 707	3 079	
	Mujeres	6 012	6 012	1 441	1 441	
No remunerada	Total	Hombres	11 993	7 382	79	79
		Mujeres	5 661	5 661	80	80
	Familiares	Hombres	11 948	7 337	57	57
		Mujeres	5 638	5 638	77	77
	No familiares	Hombres	45	45	22	22
		Mujeres	23	23	3	3
Remunerada	Total	Hombres	1 172	1 172	7 628	3 000
		Mujeres	351	351	1 361	1 361
	Permanente	Hombres	24	24	4 684	56
		Mujeres	13	13	36	36
	Eventual	Hombres	1 148	1 148	2 944	2 944
		Mujeres	338	338	1 325	1 325

Fuente: INEGI (2000)

Tabla a 2.8.- Superficie de cultivo del municipio de Malinaltepec.

	Unidades de producción	Cultivada	En desarrollo	En producción	Producción (ton)
Café	2326	6368.47	171.5	6196.96	7792.3
Caña de azúcar	26	62.07	28.17	33.9	140.19
Maguey	3	3	2	1	0
Naranja	26	69.5	10	59.5	12.98
Plátano	1594	3231.42	170.83	3060.59	2011.29

Fuente: Censo agrícola y ganadero (INEGI, 1990)

ANEXO 3 FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Panorámica del poblado de Iliatenco, municipio de Malinaltepec Gro.



Fuente: Visita de campo

Fotografía 2 Panorámica del poblado de Iliatenco, municipio de Malinaltepec Gro.



Fuente: visita de campo

Fotografía 3 Panorámica del poblado de Iliatenco, municipio de Malinaltepec Gro.



Fuente: Visita de campo

Fotografía 4 Bosque de pino y encino



Fuente: visita de campo

Fotografía 5 Bosque de pino y encino



Fuente: Visita de campo

Fotografía 6 Bosque de pino y encino



Fuente: visita de campo

Fotografía 7 Cafetal



Fuente: Visita de campo

Fotografía 8 Plantaciones de café y plátano



Fuente: visita de campo

Fotografía 9 Detalle de cafeto



Fuente: Visita de campo

Fotografía 10 Vista cercana de un tlacolole



Fuente: Visita de campo

Fotografía 11 Vista lejana de un tlacolole



Fuente: visita de campo

Fotografía 12 Calle empedrada en Iliatenco



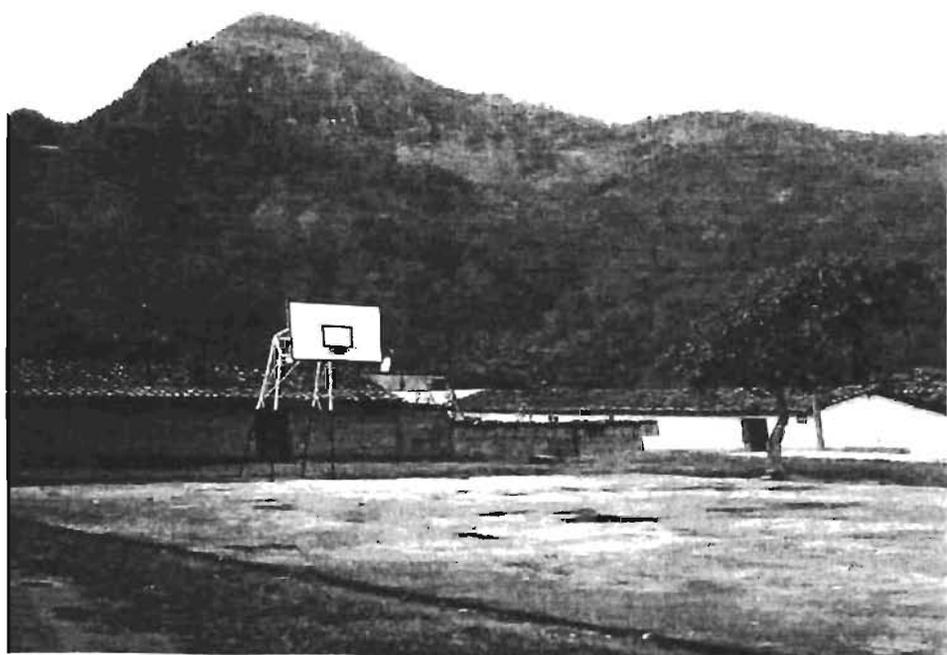
Fuente: Visita de campo

Fotografía 13 Calle empedrada y servicios municipales en Iliatenco



Fuente: visita de campo

Fotografía 14 Cancha deportiva en Iliatenco



Fuente: Visita de campo

Fotografía 15 Vista del río Iliatenco



Fuente: visita de campo

Fotografía 16 Vista del caudal del río Iliatenco



Fuente: Visita de campo

Fotografía 17 Zona perturbada por la tala y extracción de leña



Fuente: visita de campo

Fotografía 18 Efectos de la deforestación



Fuente: Visita de campo

Fotografía 19 Efectos de la deforestación



Fuente: visita de campo

Fotografía 20 Efectos de la deforestación



Fuente: Visita de campo

Fotografía 21 Efectos de la deforestación



Fuente: visita de campo

Fotografía 22 Efectos de la deforestación



Fuente: Visita de campo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Modelo que ilustra la visión de la Economía convencional.....	27
Figura 2.2 Modelo que ilustra la visión de la Economía Ecológica.....	29
Figura 2.3 Ámbito de los tres tipos de ciencia.....	31
Figura 2.4 Modelo de caja negra del sistema tierra.....	34
Figura 2.5 Espectro de la radiación solar.....	35
Figura 2.6 Metáfora de la dinámica del medio ambiente físico.....	35
Figura 2.7 Niveles jerárquicos del ecosistema.....	37
Figura 2.8 Esquema simplificado del proceso fotosintético.....	38
Figura 2.9 Esquema simplificado de una red trófica.....	39
Figura 2.10 Ciclo de la materia en el ecosistema.....	40
Figura 2.11 Ciclos biogeoquímicos.....	40
Figura 2.12 Ciclo del nitrógeno.....	41
Figura 2.13 Ciclo del carbono.....	41
Figura 2.14 Ciclo del fósforo.....	42
Figura 2.15 Ciclo del azufre.....	42
Figura 2.16 Modelos de crecimiento poblacional para organismos de un ecosistema.....	44
Figura 2.17 Diagrama de flujo del proceso para la construcción de un modelo sistémico.....	47
Figura 2.18 Modelo diagramático simple utilizando los módulos del lenguaje simbólico para la representación gráfica de modelos ecosistémicos. ...	53
Figura 2.19 Diagrama general de un ecosistema agregado en componentes urbano, agrícola y ambiental.....	54
Figura 4.1 Representación simbólica del submodelo propuesto para el flujo de áreas en el bosque.....	73
Figura 4.2 Representación simbólica del modelo propuesto para el subsistema económico.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Simbología para a representación gráfica del modelo conceptual de un ecosistema.....	50
Tabla 3.1 .- Clasificación de la fauna registrada en la zona de estudio según su estatus de protección..	62
Tabla 4.1.- Variación porcentual promedio del ipc de productos agrícolas..	78
Tabla 4.2.- Variación porcentual promedio del ipc de ropa, calzado y enseres	79
Tabla 4.3 Análisis de la Gráfica 4.8.....	85
Tabla 4.4.- Análisis de la Gráfica 4.9.....	86
Tabla 4.5.- Análisis de la Gráfica 4.10.....	87
Tabla 4.6.- Análisis de la Gráfica 4.11.....	88
Tabla 4.7.- Análisis de la Gráfica 4.12.....	89
Tabla 4.8.- Análisis de la Gráfica 4.13.....	90

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 3.1.- Crecimiento de la población agregada de la zona de estudio. .	64
Gráfica 3.2 Distribución porcentual del rango de ingresos de la población económicamente activa desocupada del municipio de Malinaltepec.....	64
Gráfica 3.3.- Crecimiento de la explotación forestal en el municipio de Malinaltepec durante la última década	67
Gráfica 3.4.- Dispersión de la producción forestal contra el precio de la madera.....	68
Gráfica 4.1.- Comparativa de datos observados y ajustados del crecimiento de la población	75
Gráfica 4.2 .- Diagrama de dispersión del volumen de extracción de madera en rollo contra precio unitario de mercado con línea de ajuste.....	80
Gráfica 4.3 Comparativa entre precio estimado y observado correspondientes al metro cúbico de madera en rollo.	80
Gráfica 4.4 Variación de las superficies que conforman el territorio en estudio según su tipo de uso.....	82
Gráfica 4.5.- Variación per cápita de la reserva monetaria privada, de los ingresos por venta de artesanías y por la venta de café.	83
Gráfica 4.6 Variación del valor acumulado de infraestructura generada con los ingresos por venta de madera.	83
Gráfica 4.7 Variación de la fuerza de trabajo no aprovechada en la producción económica por habitante.....	84
Gráfica 4.8 Variación de la extensión de la cubierta forestal en función de la magnitud del incremento constante en el precio de venta del café.	85
Gráfica 4.9 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función de la tasa de crecimiento de los precios de bienes y servicios.....	86
Gráfica 4.10 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función de la tasa de natalidad.	87
Gráfica 4.11 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función del consumo de maíz.	88
Gráfica 4.12 Variación de la extensión de cubierta forestal en función del consumo de leña.	89
Gráfica 4.13 Variación en la extensión de la cubierta forestal en función del precio comercial de la madera.	90