



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**METODOS MULTICRITERIO EN LA
EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD
DE SISTEMAS DE MANEJO DE
RECURSOS NATURALES: EL CASO DE
LAS ESTUFAS EFICIENTES DE LEÑA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A

YANKUIC MASATZUGO GALVAN MIYOSHI



DIRECTOR DE TESIS
DR. Omar Raúl Masera Cerutti

2004





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA 11
MEXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: **Métodos Multicriterio en la Evaluación de Sustentabilidad de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales: El caso de las Estufas Eficientes de Leña**

realizado por **Yankuic Masatzugo Galván Miyoshi**

con número de cuenta **9653262-1**, quien cubrió los créditos de la carrera de: **Biología**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

A t e n t a m e n t e

Director de Tesis

Propietario

Dr. Omar Raúl Masera Cerutti

Propietario

M. en C. Julia Carabias Lilo

Propietario

M. en C. María Fernanda Figueroa Díaz Escobar

Suplente

M. en I. Rodolfo Díaz Jiménez

Suplente

Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders

Consejo Departamental de Biología

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez.

PACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGIA

*A mi madre, mi hermano y, por supuesto,
a Paloma*

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
RESUMEN	IX
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2 ASPECTOS OPERATIVOS PARA LA INTEGRACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD	5
2.1 INTRODUCCIÓN.....	5
2.2 LA EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD.....	6
2.3 ASPECTOS OPERATIVOS DEL CONCEPTO DE SUSTENTABILIDAD	7
2.4 EL ENFOQUE CREMATISTA DE LA SUSTENTABILIDAD.....	10
2.5 MARCO PARA LA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE MANEJO INCORPORANDO INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD (MESMIS)	12
2.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MÉTODOS MULTICRITERIO (MMC).....	18
2.7 DOS MMC PARA LA INTEGRACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD: AHP Y NAIADE.	26
2.7.1 AHP (<i>Proceso Analítico Jerárquico</i>).....	26
2.7.2 NAIADE (<i>nuevo enfoque para la evaluación imprecisa y ambientes de decisión</i>).....	29
2.8 PROPIEDADES DESEABLES DE LOS MÉTODOS PARA LA INTEGRACIÓN DE INDICADORES EN EL CONTEXTO DEL MARCO MESMIS	34
3 EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE LAS ESTUFAS EFICIENTES DE LEÑA EN LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO	37
3.1 INTRODUCCIÓN.....	37
3.2 ANTECEDENTES.....	37
3.3 METODOLOGÍA	39
3.4 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	42
3.5 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA TECNOLÓGICO PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS (STCA) EN LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO (PASO I)	43
3.6 DERIVACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS E INDICADORES DE EVALUACIÓN (PASO II Y III).	51
3.7 MEDICIÓN DE INDICADORES (PASO IV)	55
3.8 INTEGRACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS (PASO V)	69
3.8.1 <i>Integración y discusión de resultados de AHP</i>	69
3.8.2 <i>Integración y discusión de resultados de NAIADE</i>	79
3.8.3 <i>Discusión sobre la integración con métodos multicriterio</i>	86

3.9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (PASO VI).....	87
4 CONCLUSIONES GENERALES	90
5 LITERATURA CITADA.....	92
ANEXO I. CONJUNTOS DIFUSOS	98
ANEXO II. VARIABLES DIFUSAS Y UMBRALES DE PREFERENCIA PARA LA INTEGRACIÓN CON NIAIDE.....	102
ANEXO III. RESULTADOS DE NIAIDE.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

2

<i>Figura 2.1. Dimensión social, económica y ambiental de la sustentabilidad</i>	8
<i>Figura 2.2. Estructura general de un sistema de manejo</i>	14
<i>Figura 2.3. Relación jerárquica entre atributos, criterios e indicadores</i>	15
<i>Figura 2.4. Diagrama tipo AMIBA</i>	17
<i>Figura 2.5. El ciclo de evaluación en el MESMIS</i>	18
<i>Figura 2.6. Estructura de un método multicriterio</i>	20
<i>Figura 2.7. Estructura jerárquica de AHP</i>	29
<i>Figura 2.8. Funciones para las relaciones de preferencia en NAIADE</i>	31
<i>Figura 2.9. Dendrograma de coaliciones para diferentes grupos de interés</i>	33

3

<i>Figura 3.1. Estructura jerárquica del problema de evaluación de sustentabilidad de las estufas eficientes de leña</i>	40
<i>Figura 3.2. Localización del área de estudio</i>	43
<i>Figura 3.3. Sistema tecnológico para la cocción de alimentos</i>	44
<i>Figura 3.4. Fogones tradicionales</i>	48
<i>Figura 3.5. Estufa mejorada tipo Patsari</i>	50
<i>Figura 3.6. Consumo específico de combustible por tipo de alimento y dispositivo</i>	55
<i>Figura 3.7. Comparación por indicador de las alternativas de cocción</i>	70
<i>Figura 3.8. Resultados por nivel jerárquico</i>	71
<i>Figura 3.9. Índice agregado para las alternativas de cocción y su contribución por atributo</i>	73
<i>Figura 3.10. Priorización de alternativas de cocción por grupo social</i>	76
<i>Figura 3.11. Análisis de sensibilidad por atributo para diferentes escenarios de peso</i>	78
<i>Figura 3.12. Comparación entre FTS, estufa Patsari y estufa de gas LP</i>	81
<i>Figura 3.13. Índices de intensidad de la preferencia para la comparación de las alternativas de cocción</i>	82
<i>Figura 3.14. Ordenación de las alternativas de cocción bajo diferentes escenarios de compensación y niveles de credibilidad</i>	85

ÍNDICE DE TABLAS

2

<i>Tabla 2.1. Clasificación de tipos de incertidumbre</i>	10
<i>Tabla 2.2. Matriz de impacto</i>	20
<i>Tabla 2.3. Matriz recíproca para la comparación pareada de un conjunto de alternativas</i>	27
<i>Tabla 2.4. Escala de Saaty</i>	28
<i>Tabla 2.5. Propiedades de AHP y NAIADE en el contexto de la evaluación de sustentabilidad con el marco MESMIS</i>	35

3

<i>Tabla 3.1. Atributos, criterios de diagnóstico e indicadores de evaluación</i>	54
<i>Tabla 3.2. Consumo energético para las tecnologías de cocción</i>	56
<i>Tabla 3.3. Consumo de combustible para las tecnologías de cocción</i>	56
<i>Tabla 3.4. Análisis de costos para las tecnologías de cocción</i>	57
<i>Tabla 3.5. Concentración de PRS para las tecnologías de cocción</i>	59
<i>Tabla 3.6 Emisiones totales anuales de CO2 equivalentes por alternativa de cocción</i>	60
<i>Tabla 3.7. Porcentaje de usuarios que prefieren cocinar diferentes tipos de alimentos por alternativa de cocción</i>	61
<i>Tabla 3.8. Valores totales de uso por alternativa de cocción</i>	62
<i>Tabla 3.9. Valores cualitativos para el indicador Limpieza del entorno</i>	62
<i>Tabla 3.10. Valores cualitativos para el indicador facilidad de operación y mantenimiento</i>	64
<i>Tabla 3.11. Costo inicial para las tecnologías de cocción</i>	65
<i>Tabla 3.12. Costo de operación mensual por alternativa de cocción</i>	65
<i>Tabla 3.13. Escala para la evaluación de la dependencia de insumos externos</i>	66
<i>Tabla 3.14. Evaluación de las alternativas de cocción para dependencia de insumos externos</i>	67
<i>Tabla 3.15. Resumen de los resultados de la medición de indicadores por atributo y criterio de diagnóstico</i>	68
<i>Tabla 3.16. Objetivos de los grupos considerados</i>	74
<i>Tabla 3.17. Valores de ponderación por nivel jerárquico y grupo social</i>	75

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es resultado de la colaboración de muchas personas e instituciones, tanto a nivel profesional como emocional. En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA) por el apoyo y la confianza que me ha dado a lo largo de más de tres años de trabajo, a su gente, Jaime, Minerva, Florentino, Armando, Marcela, ... de manera especial a mi asesor Omar Masera, por su claridad y paciencia durante su dirección, al grupo de bioenergía: Rodolfo, Odilia, Santiago, Rubén, Víctor y Adriana, y a Tamara Ortiz, Marta Astier y Santiago López- Ridaura del equipo MESMIS. Todos ellos contribuyeron de manera importante en la realización de este trabajo.

También quiero agradecer a Fernanda Figueroa, Julia Carabias, Consuelo Bonfil, Rodolfo Díaz y al Dr. Giuseppe Munda por sus valiosas y atinadas recomendaciones y comentarios.

A mi familia, por todo su apoyo y cariño; a mi madre que nos sacó adelante y Julián, mi hermano a quien le debo el gusto por los números, a Flor, Lalo y a mi único tocayo en el mundo,...a Paloma, por toda su paciencia y amor durante este largo proceso. A Terry, Alejandra, Rodrigo, Nacho y Carlos, amigos y familia desde siempre. A mi nueva familia Sara, Humberto y Nuria, a la familia patzcuareense Andrés, Tamara y Carlos por estar ahí en momentos difíciles,... al dominó y a Claudia y Laura por su amistad en todos estos años.

Finalmente al Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO- UNAM) y a los Fondos Sectoriales SEMARNAT- CONACYT, por el apoyo económico que me otorgaron para la consolidación de este trabajo a través del proyecto SEMARNAT-2002-C01-0800.

RESUMEN

El concepto de desarrollo sustentable se ha convertido en uno de los temas más importantes de nuestra época. Impulsar estrategias de desarrollo, basadas en este paradigma, impone retos importantes, pues se requiere de nuevos enfoques metodológicos que permitan la obtención, la sistematización y el análisis de información relevante para comprender los cambios en la base de recursos y los procesos ecológicos, sociales y económicos que resultan de las actividades humanas. Esto implica nuevas formas de analizar los problemas, que permitan la incorporación de múltiples aspectos de la realidad que determinan la situación de los sistemas socioambientales. Los marcos para la evaluación de sustentabilidad son metodologías que ayudan en la diferenciación de información para la sustentabilidad de sistemas de manejo. Uno de los retos que aún enfrentan es la falta de métodos adecuados para la integración y análisis simultáneo de la información derivada de problemas multidimensionales. Los métodos de análisis multicriterio son herramientas diseñadas para la toma de decisiones bajo criterios múltiples y dimensiones de valor en conflicto, pueden ser útiles para la integración de datos no conmensurables y para la integración de las diferentes perspectivas involucradas en la toma de decisiones sobre los sistemas de manejo. En éste trabajo se proponen estas metodologías para la integración de indicadores de sustentabilidad en el contexto del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). En el segundo capítulo de la tesis se introducen los aspectos operativos del concepto de sustentabilidad y su evaluación con el marco MESMIS, se exponen los aspectos generales de los marcos multicriterio y se derivan propiedades importantes para los métodos de integración. Con base en lo anterior, se revisan dos métodos multicriterio: el proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) y el nuevo enfoque para la evaluación imprecisa y ambientes de decisión (NAIADE, por sus siglas en inglés). En un tercer capítulo se lleva a cabo un estudio de caso de evaluación de sustentabilidad de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos en la cuenca del Lago de Pátzcuaro. Se derivan criterios e indicadores para la evaluación de las tecnologías y, posteriormente, se integran a través de los métodos multicriterio revisados. El ejercicio indica que las metodologías empleadas son adecuadas para abordar los problemas en la integración que impone el concepto de sustentabilidad. En el caso estudiado fue posible integrar información de tipo muy variado, así como el uso de variables cuantitativas y cualitativas. También fue posible utilizar, en el caso de NAI ADE, información con alta incertidumbre. Sin embargo, su aplicación en el sector rural aún enfrenta dificultades, dado su grado de complicación y la necesidad de equipo y software especializado difícil de aplicar en las comunidades rurales del país.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Ante la creciente crisis ambiental que actualmente se vive, es necesaria y urgente la búsqueda de alternativas tecnológicas y de desarrollo que permitan la continuidad de la base de recursos y los procesos ecológicos que sustentan las actividades humanas. La civilización moderna vive una era de cambios vertiginosos e innovación tecnológica que ha incrementado la capacidad de la humanidad para la transformación de su entorno y de destrucción del mismo. El impresionante avance tecnológico y el crecimiento de la economía mundial, alcanzado durante el siglo XX, contrastan con el incremento de problemas como la pobreza masiva, el crecimiento poblacional, la pauperización del entorno ecológico y el calentamiento global y cambio climático. El modelo de desarrollo actual, acelerado e indiscriminado, simplemente ha resultado insensible a estos problemas.

Una propuesta alternativa es el concepto de desarrollo sustentable, que se define como las vías o mecanismos de progreso que permiten satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes sin comprometer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras (WCED, 1987). La continuidad de la base de recursos y los procesos ecológicos, así como la noción de equidad intra e intergeneracional son parte esencial del concepto (Masera *et al.*, 1999). El desarrollo sustentable es un proceso de cambio dirigido, en el que las decisiones son plurales, responsables, comprometidas e informadas. En éste sentido, es un proceso de innovación, planeación y evaluación constante en la búsqueda de alternativas que generen un balance entre el desarrollo de las actividades humanas y la conservación de su entorno físico-biótico. Éste balance o equilibrio entre los sistemas¹ ecológicos y socioeconómicos es lo que representa el concepto de sustentabilidad. A grandes rasgos, los principios u objetivos generales del desarrollo sustentable, después de la comisión Brundtland, se pueden resumir de la siguiente manera (Munn, 1990 y Masera *et al.*, 1999):

- *Asegurar la satisfacción de las necesidades humanas esenciales, comenzando por las necesidades de los más pobres*
- *Promover la diversidad cultural y el pluralismo*
- *Conservar e incrementar la base de recursos existente*
- *Reducir la desigualdad entre individuos, regiones y naciones*

¹ Un sistema es una colección o conjunto de entidades que poseen propiedades emergentes resultado de sus propias interacciones.

- *Visión de largo plazo (décadas a siglos) en la planeación y toma de decisiones, pero con acciones inmediatas*
- *Pensar globalmente, pero actuar localmente*
- *Enfoque integrativo (holístico), que considere diferentes dimensiones al mismo tiempo*
- *Generar sistemas socioeconómicos y ambientales más resilientes, dejando abiertas más posibilidades de desarrollo*
- *Desarrollar tecnologías eficientes y de bajo consumo de recursos, adaptadas a las condiciones sociales y culturales locales*

Una nueva visión del desarrollo requiere de nuevos enfoques metodológicos, que permitan la obtención, la sistematización y el análisis de información relevante para la comprensión (y de ser necesario la prevención) de los cambios en la base de recursos y los procesos ecológicos, sociales y económicos que resultan de las actividades humanas (Archibugi *et al.*, 1990). En los últimos años se ha desarrollado una base teórica y metodológica importante. También se han generado contribuciones importantes en áreas como la ecología y agroecología, diseño de ecotécnicas, manejo integrado de recursos y otras disciplinas que buscan generar alternativas de manejo de bajo impacto ambiental. Sin embargo, han sido relativamente pocos los esfuerzos por desarrollar marcos consistentes para la evaluación (de estas nuevas alternativas) basados en el paradigma de la sustentabilidad (Maser *et al.*, 1999). Las diferentes acciones o estrategias de manejo generan costos y beneficios que se distribuyen diferencialmente entre los distintos grupos humanos. En éste sentido, la planeación y toma de decisiones sobre las nuevas direcciones de cambio, requiere de herramientas que permitan entender cómo son afectadas cada una de las dimensiones de los sistemas y cómo son distribuidos los costos y beneficios de las diferentes opciones de desarrollo.

En esta misma línea se han desarrollado los marcos para la evaluación de sustentabilidad. Estas metodologías están diseñadas para aplicarse principalmente en sistemas rurales, en la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales² alternativos, proyectos o tecnologías para el manejo sustentable. Parten de un concepto de sustentabilidad definido en función de principios generales o

² En éste trabajo se utiliza manejo en su acepción más amplia, que incluye cualquier forma de intervención humana que modifica la estructura, la función o el comportamiento de los sistemas (ecológicos, sociales o económicos) con el fin de satisfacer una necesidad. Un sistema de manejo de recursos naturales son todos los elementos y relaciones que determinan una estructura, función o comportamiento encaminado al aprovechamiento, conservación o restauración de una parte o de todo un ecosistema.

atributos que deben cumplir los sistemas de manejo para que sean sustentables. Con base en estos se pueden atender diferentes dimensiones de los sistemas y derivar criterios e indicadores para evaluarlos. Permiten además articular las bases conceptuales de la sustentabilidad con diferentes métodos, procedimientos y herramientas que ayudan en la sistematización, análisis y toma de decisiones sobre las diferentes alternativas de manejo. Algunas de las aproximaciones metodológicas más notables son el marco para la evaluación del manejo sustentable de tierras (FESLM por sus siglas en inglés; FAO, 1994), el marco desarrollado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA; De Camino y Muller, 1993), el mapeo analítico, reflexivo y participativo de la sostenibilidad (MARPS; Imbach *et al.*, 1997), el marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS; Masera *et al.*, 1999) y algunas propuestas académicas aisladas (Lelé, 1991; Bossel, 1999).

Aunque los marcos de evaluación de sustentabilidad son un avance importante para la puesta en práctica del concepto, todavía se deben enfrentar algunos problemas conceptuales y metodológicos. Masera, *et al.* (1999) identifican 6 aspectos críticos: 1) la identificación de las propiedades sistémicas o atributos fundamentales, principalmente aquellos relacionadas con aspectos sociales como la cultura y la política, 2) la falta de técnicas adecuadas para la integración de los diferentes indicadores, 3) la dificultad para identificar las relaciones entre los indicadores, 4) la articulación entre las diferentes escalas de evaluación (local- regional, global), 5) la incorporación del proceso de toma de decisiones a la evaluación y 6) la evaluación de sustentabilidad como ejercicio de participación.

Como parte del proceso de desarrollo de los marcos de evaluación, en particular del marco MESMIS (Masera *et al.*, 1999), el presente trabajo pretende contribuir en la exploración de métodos que ayuden en la integración de indicadores de sustentabilidad. En efecto, uno de los principales retos que todavía se presentan es que la información no es fácil de agregar, dado que los datos utilizados representan diferentes dimensiones, no conmensurables, de los sistemas de manejo. El uso de datos mixtos y variables cualitativas y cuantitativas es ineludible en la evaluación de sustentabilidad. El procedimiento de integración es fundamental para el análisis simultáneo de las diferentes dimensiones de los sistemas bajo estudio y para su comparación en términos de su sustentabilidad.

Las metodologías exploradas en éste contexto son los llamados métodos multicriterio (MMC). Estos consisten en procedimientos analíticos diseñados para la comparación de entidades (en nuestro caso alternativas o sistemas de manejo) en términos de múltiples criterios. Permiten además integrar información subjetiva a través de técnicas para la ponderación de variables. Sus bases teóricas y metodológicas pueden contribuir en: 1) la construcción de índices de sustentabilidad que permitan evaluar el comportamiento de los sistemas bajo estudio, 2) la agregación de los diferentes indicadores de sustentabilidad y 3) la exploración de los posibles conflictos que conllevan las decisiones sobre el manejo de los sistemas ecológicos y socioeconómicos.

Con base en lo anterior se plantean los siguientes objetivos generales:

1. Revisar las bases teóricas y metodológicas más importantes de los métodos multicriterio que ayuden en la integración de indicadores de sustentabilidad en el contexto del marco MESMIS, en particular:
 - La construcción de índices de sustentabilidad
 - La agregación de indicadores
 - El análisis de conflictos en la evaluación de sustentabilidad
2. Poner en la práctica el procedimiento de integración de indicadores mediante el análisis multicriterio, con el fin de explorar la utilidad de estos métodos en la evaluación de sustentabilidad. en un caso concreto.

El primer objetivo se desarrolla en el capítulo dos, en donde se describen las características principales del concepto de sustentabilidad, del marco de evaluación MESMIS y de los métodos multicriterio. Se derivan las propiedades más importantes que deben cumplir los métodos para la integración de indicadores en el contexto del MESMIS y se evalúan dos métodos multicriterio en función de estas. Los métodos estudiados se aplican, en el tercer capítulo, en un estudio de caso de evaluación de sustentabilidad de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos en el sector rural. Éste capítulo está estructurado de acuerdo a los pasos metodológicos propuestos en el marco MESMIS.

2 ASPECTOS OPERATIVOS PARA LA INTEGRACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD

2.1 Introducción

La principal herramienta utilizada para la evaluación de sustentabilidad son los indicadores (Farren y Hart, 1998; Bell y Morse, 1999; Briassoulis, 2001). A grandes rasgos, los indicadores son medidas normativas de distancias entre estados actuales y una situación de referencia (Opschoor y Rijnders, 1991 en Briassoulis, 2001). Son utilizados para describir el estado de un sistema, para detectar sus cambios o describir relaciones de causa- efecto. En éste sentido se encuentran al centro de la toma de decisiones. Su principal función es la comunicación y pueden utilizarse de manera individual, como parte de un conjunto o en forma de índices³ compuestos (Farren y Hart, 1998). Un enfoque muy utilizado en evaluación de sustentabilidad es, precisamente, en la forma de índices agregados (*e.g.* Taylor *et al.*, 1993; Harrington *et al.*, 1994; Wackernagel y Ress, 1996 en van den Bergh y Verbruggen, 1999).

La principal ventaja de tener medidas agregadas es que facilita la comunicación y el manejo de información, sin embargo puede oscurecer el proceso de toma de decisiones al sobre- simplificar la naturaleza multidimensional de la sustentabilidad en un sólo número (Masera *et al.*, 1999). Por otro lado, los métodos de agregación pueden ser muy controversiales y no existe una fórmula completamente aceptada (Farren y Hart, 1998, Masera *et al.*, 1999).

La integración o la combinación de indicadores de sustentabilidad requiere que estos sean transformados en una medida común, bajo la cual se puedan comparar de manera simultánea. La manera más común de hacer esto es transformarlos a unidades de medida monetaria. El principal problema de esto, en evaluaciones de sustentabilidad, es que las dimensiones social y ambiental no siempre pueden ser valoradas en términos monetarios, por lo que es necesario hacer muchos supuestos sobre factores, que en sí no tienen un valor dentro del sistema económico, y reducir el análisis a una sola dimensión de valor. Alternativamente, varios autores han propuesto los métodos multicriterio como herramientas adecuadas para abordar la naturaleza multidimensional de la sustentabilidad (Stirling, 1997; Farren y Hart, 1998; Munda *et al.*, 1994; Masera *et al.*, 1999;

³ Un índice es una medida estandarizada que permite combinar piezas individuales de información (indicadores) (Farren y Hart, 1998).

Munda, 2003). Sin embargo, estos no se han revisado en el contexto de marcos metodológicos para la evaluación de sustentabilidad en el contexto campesino.

La intención de éste capítulo es derivar los aspectos operativos necesarios para la integración de indicadores de sustentabilidad en el contexto del marco MESMIS (Masera *et al.*, 1999). Se delimitan los aspectos más importantes del concepto de sustentabilidad, del marco de evaluación MESMIS y de los métodos multicriterio. Los primeros dos temas servirán para derivar lineamientos conceptuales y operativos para la integración de indicadores. En el tercer tema se exponen los MMC como una alternativa viable para cumplir con dichos lineamientos. En una última sección se exploran dos MMC: el *nuevo enfoque para la evaluación imprecisa y ambientes de decisión* (NAIADE, por sus siglas en inglés; Munda, 1995) y el *proceso analítico jerárquico* (AHP, por sus siglas en inglés; Saaty, 1980).

2.2 La evaluación de sustentabilidad

El desarrollo sustentable, como proceso de cambio dirigido, requiere de la evaluación de las diferentes alternativas propuestas para el manejo de los sistemas. El concepto de sustentabilidad es el paradigma bajo el cual son evaluadas las diferentes estrategias para el desarrollo. Dado que es un concepto plural, éste paradigma representa diferentes objetivos. De manera general estos pueden incluir la minimización de los costos, la conservación de ciertas propiedades y la maximización de los beneficios de los sistemas. De manera muy simple, la sustentabilidad se puede representar de la siguiente manera (Gallopín, 1996):

considerando el estado de un sistema de la forma

$$\begin{aligned}S_{t+1} &= F(S_t, I_t) \\ O_{t+1} &= G(S_t, I_t)\end{aligned}$$

donde F y G son dos funciones desconocidas que describen a S, el estado del sistema, en función de I, el vector de entrada (flujos de materia, energía e información). O es un vector de salida, un modelo del sistema, que representa el conjunto de variables consideradas importantes para la sustentabilidad del sistema. La sustentabilidad es entonces una función V(O) de las salidas del sistema, de manera que:

$$V(O_{t+1}) \geq V(O_t)$$

En éste sentido, la búsqueda de alternativas sustentables, es la búsqueda de alternativas que permitan el mantenimiento o la mejora de las propiedades importantes de los sistemas socioambientales a lo largo del tiempo. La evaluación consiste entonces, en la jerarquización de las alternativas en una escala que permita discernir cual es mejor en términos de su sustentabilidad. Dos aspectos metodológicos importantes son la derivación de O (el conjunto de objetivos) y la función V, que permite evaluarlo. Para el primer aspecto se deben responder preguntas como ¿qué se va a sostener?, ¿en qué escala espacial?, ¿durante cuanto tiempo?, ¿para quién y por quién? y ¿cómo se va a sostener? (Masera *et al.*, 1999). En el caso del segundo, más que sólo un cálculo matemático, debe ser un proceso que permita responder ¿cual es el sistema más sustentable?, ¿qué objetivos permanecen igual?, ¿cuáles mejoran?, ¿cuáles empeoran?, ¿qué costos y qué beneficios conllevan las nuevas estrategias de manejo y cómo se distribuyen estos? Debe ser también un proceso que facilite la planeación y la toma de decisiones sobre las nuevas direcciones de cambio a seguir para los sistemas de manejo.

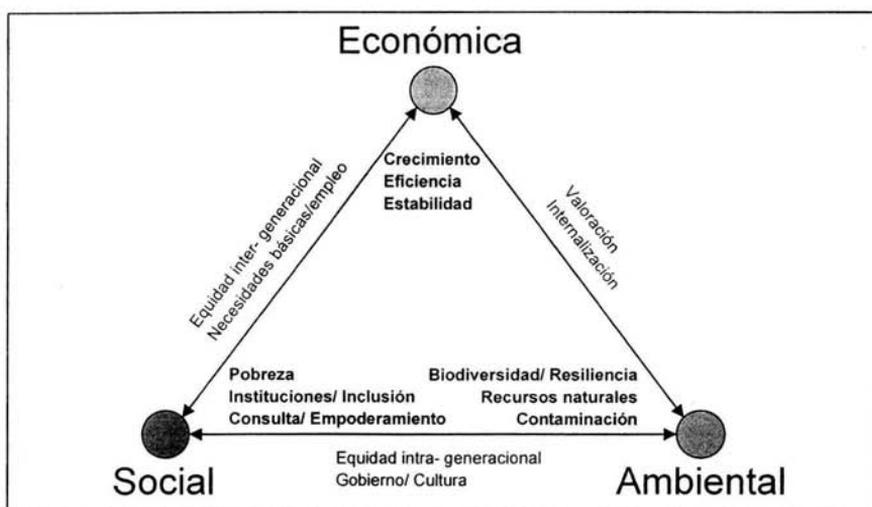
2.3 Aspectos operativos del concepto de sustentabilidad

Desde sus orígenes, el concepto de sustentabilidad ha adoptado diferentes connotaciones. La discusión sobre su significado y las formas de alcanzarlo ha sido abordada desde múltiples perspectivas; desde el concepto de máxima cosecha sostenida hasta el concepto de sustentabilidad económica (para una revisión ver Dixon y Fallon, 1989 y Brown *et al.*, 1987). Las aproximaciones más recientes plantean la necesidad de generar enfoques holísticos, que permitan integrar aspectos tanto de los sistemas ecológicos como de los sistemas socioeconómicos, dado que estos están inherentemente asociados. Estos enfoques plantean que el objeto de estudio deben ser los sistemas socio- ambientales (Gallopin, 2001), entendidos como sistemas integrados en los que existen relaciones fundamentales entre el componente humano y su entorno biofísico. Estos sistemas se caracterizan por la pluralidad de perspectivas, derivada de la existencia de múltiples actores sociales y la alta e irreducible incertidumbre, derivado del la comportamiento de estos sistemas (Funtowicz y Ravetz, 1994). Estas propiedades imponen retos importantes para la evaluación de sustentabilidad.

Pluralidad

Para alcanzar los objetivos que se plantean, en el paradigma del desarrollo sustentable, se deben integrar tres formas interdependientes de perspectivas éticas u objetivos de los sistemas socio-ambientales: justicia social, viabilidad económica y protección ambiental (Figura 2.1) (Lawrence, 1997; Lelé, 1993).

Figura 2.1. Dimensión social, económica y ambiental de la sustentabilidad



El concepto multidimensional de la sustentabilidad considera tres grandes objetivos: desde el punto de vista social la disminución de la pobreza y la democratización de la toma de decisiones; desde el punto de vista económico la viabilidad (crecimiento, eficiencia) y la estabilidad financiera; en cuanto a los objetivos ambientales se incluye la protección de la biodiversidad y los procesos ecológicos, el aprovechamiento racional y eficiente de los recursos naturales y la disminución de la contaminación. Fuente: Munasinghe (2002).

La integración de estas tres perspectivas o dimensiones impone un reto importante. Munda (2003) distingue dos formas principales de inconmensurabilidad que dificultan la integración: la inconmensurabilidad técnica, derivada de la dificultad de comparar múltiples formas de representación de identidades en los modelos descriptivos (análisis multidimensional). Por ejemplo un análisis integrado puede incorporar el análisis de factores ecológicos como la biodiversidad, deforestación, contaminación, entre otros; factores económicos como rendimientos, eficiencia

económica, ingresos monetarios, entre otros; y, desde el punto de vista social, incorporar aspectos éticos, estéticos, culturales y de organización. Éste tipo de inconmensurabilidad puede manejarse a través de un proceso de estandarización de las diferentes entidades evaluadas o bien evaluando todas en una misma dimensión. Sin embargo, también se requiere la consideración de niveles críticos, bajo los cuales, una dimensión no pueda sustituir a otra y niveles de aceptabilidad, en los cuales una dimensión puede compensar a otra.

La segunda forma, la inconmensurabilidad social, se deriva de la aceptación del principio de pluralidad en el concepto de sustentabilidad (Funtowicz y Ravetz, 1994), esto es, que existen múltiples y legítimas formas de valor e intereses en la sociedad y estos están en constante conflicto. Estos conflictos surgen debido a que existen diferentes valoraciones y disputas por la división de recursos y la distribución de los diferentes costos y beneficios que implican diferentes políticas y estrategias de manejo. Éste tipo de inconmensurabilidad es irreductible y requiere la búsqueda de alternativas que permitan un balance entre las diferentes dimensiones de la sustentabilidad, así como de procesos de toma de decisiones transparentes, democráticos, responsables y comprometidos (Munda, 2003).

Incertidumbre

La incertidumbre asociada a los sistemas socio- ambientales es un problema en evaluación de sustentabilidad. Aunque idealmente la información debe ser exhaustiva y precisa, en la realidad es muy difícil cumplir con estos requisitos. La incertidumbre es una condición inherente de los sistemas complejos, dada por la no linealidad de los procesos, la auto- organización y el aprendizaje (ver Kay, *et al.*, 1999; Gallopin, 2001; Holling, 2001). En problemas ambientales se distinguen dos fuentes principales de incertidumbre (Rotmans y van Asselt, 2001): 1) variabilidad, dada por el comportamiento azaroso de los procesos naturales, diversidad de valores, comportamiento humano (social e individual) e innovación tecnológica, y 2) falta de conocimiento (inexactitud, falta de mediciones, evidencia contradictoria, ignorancia e indeterminación).

Cuando se trabaja con sistemas socioambientales la presencia de incertidumbre es la regla, más que la excepción. En algunos casos es posible reducirla a través del estudio de los procesos e interacciones de los sistemas. Sin embargo, esta puede ser irreducible debido a que no existen condiciones para realizar estudios o se trata de procesos e interacciones que simplemente no pueden

conocerse con exactitud, dada la naturaleza de los sistemas complejos. Esta característica hace necesario integrar métodos que permitan manejar incertidumbre, más que excluirla. En la Tabla 2.1 se muestra una clasificación de tipos de incertidumbre y algunas formas para su manejo.

Tabla 2.1. Clasificación de tipos de incertidumbre

Tipos de incertidumbre		Aplicar	
Variabilidad	<i>Riesgo</i>	Se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un evento	Probabilidad
	<i>Ambigüedad</i>	Es resultado de la propiedad reflexiva de los sistemas complejos y se caracteriza por la subjetividad y la existencia de múltiples representaciones de los sistemas	Lógica difusa, Análisis de sensibilidad
Falta de conocimiento	<i>Indeterminación</i>	Se refiere a la multiplicidad de escenarios posibles en un sistema complejo. No existen bases probabilísticas.	Análisis de escenarios
	<i>Falta de mediciones, información inmensurable</i>	Falta de conocimiento sobre procesos e interacciones que pueden ser medidos, pero que aún no se han hecho o no existen condiciones para hacerlo (e.g. falta de recursos, falta de métodos adecuados)	Análisis cualitativo
	<i>Ignorancia irreducible</i>	Falta de conocimiento sobre procesos e interacciones de los sistemas que no pueden ser determinados por las capacidades humanas actuales	Principio precautorio

Modificado de Munda (2000) y Rotmans y van Asselt (2001).

2.4 El enfoque crematista de la sustentabilidad

Tradicionalmente, se ha propuesto integrar el análisis de las dimensiones social y ambiental bajo el mismo esquema de la economía neoclásica, en el cual se consideran los costos sociales y ambientales como imperfecciones o externalidades del sistema de mercado tradicional. Para su inclusión, sólo se requieren medidas correctivas que permitan analizarlos bajo el mismo esquema; esto es evaluar los costos y los beneficios en términos monetarios. Métodos como el análisis de

beneficio costo y la valoración contingente⁴, se utilizan ampliamente en disciplinas como la economía ambiental, que buscan incorporar al mercado factores ecológicos tradicionalmente excluidos de la contabilidad económica tradicional (Groot *et al.*, 2002; Farber *et al.*, 2002). Estos enfoques se han criticado por varias razones:

- 1) *La reducción del análisis a una sola dimensión de valor.* Éste tipo de análisis contradice el principio de pluralidad del concepto de sustentabilidad, pues asume que las diferentes entidades con que representamos a los sistemas socio- ambientales pueden evaluarse desde una sola perspectiva y bajo un sólo significado y excluye la posibilidad de integrar otras formas de valor, por ejemplo el valor intrínseco⁵ (Roxbee, 1997). Supone que el comportamiento racional e individualista⁶ es universal y no permite incorporar aspectos determinados por valores definidos en un contexto social, como la cultura, la ética, las normas y leyes sociales o el contexto socioeconómico (Van den Bergh *et al.*, 2000; Masera, 1990).

- 2) *Asume que las diferentes dimensiones de los sistemas son completamente comparables.* Bajo éste supuesto, las dimensiones social, ambiental y económica son mutuamente sustituibles (Martínez- Alier *et al.*, 1998), es decir que, siempre y cuando se cumpla con el principio de eficiencia económica, no importa lo que se pierda en el proceso. Esto rechaza la existencia de límites de tolerancia para ciertos procesos ecológicos o de niveles de aceptabilidad para ciertas condiciones sociales y económicas (Stern, 1997 en Van den Bergh *et al.*, 2000).

⁴ En el análisis de beneficio costo, la evaluación depende de una proporción estimada a partir de la suma de todas las entradas (ganancias monetarias o ahorros) al sistema entre la suma de todas las salidas (costos). Entre mayor sea la proporción mejor será la alternativa evaluada. El problema es traducir todos los beneficios y costos del sistema a un valor monetario. Para ello se utilizan métodos como la valoración contingente, que consiste en obtener un estimado del precio de factores ambientales o sociales, que no tienen un valor real en el mercado, a partir de la disposición de la gente para pagar por ellos (*willingness to pay*). Por ejemplo, a través de estas técnicas es posible estimar el valor económico de los servicios ambientales de los ecosistemas (Constanza *et al.*, 1997; Groot *et al.*, 2002).

⁵ El valor intrínseco se refiere al valor que tienen las cosas o la naturaleza en general, independientemente del valor instrumental que puedan tener.

⁶ El comportamiento racional es el axioma principal de la economía neoclásica y asume que todos los individuos (*homo economicus*), en un problema de decisión, eligen o tratan de elegir la opción más eficiente (económicamente hablando), esto es que siempre tratan de maximizar su ganancia o su utilidad.

- 3) *Tratamiento de bienes y costos públicos como bienes y costos privados.* La incorporación de los beneficios y costos, como los servicios o impactos ambientales con repercusiones a nivel social, son tratados como beneficios y costos marginales agregados, definidos a nivel individual. Esto representa un problema de perspectiva para la toma de decisiones en procesos que involucran bienes y costos del colectivo (Masera, 1990; Bilsborough, 1997).
- 4) *Dificultades para la integración de externalidades y en la definición de límites al análisis.* La traducción de aspectos sociales y ecológicos a costos y beneficios en términos económicos no siempre es posible. Por ejemplo, ¿cuál es el valor económico del fortalecimiento de los procesos organizativos en las comunidades rurales? Por otro lado, la definición de límites al análisis es también problemática, pues los costos y beneficios pueden tener componentes secundarios o terciarios (Masera, 1990).
- 5) *La necesidad de utilizar parámetros artificiales,* es decir, sin valor empírico, como la tasa de descuento⁷ o el precio hipotético, basado en la valoración contingente, asignado a externalidades. Estas medidas son asignadas bajo el supuesto de que los individuos actúan en un mercado perfecto, en condiciones de certidumbre e información completa. Por otro lado, dan más énfasis a las ganancias a corto plazo (pues el dinero vale más ahora que en el futuro), lo que contradice la visión de largo plazo que se requiere para la toma de decisiones fundada en el paradigma de la sustentabilidad (Masera, 1990).

2.5 Marco para la evaluación de sistemas de manejo incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS)

El MESMIS (Masera *et al.*, 1999) es una herramienta para la evaluación de sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales (SMRN), con énfasis en el contexto campesino de países del tercer mundo. Integra los aspectos más importantes de otros marcos de evaluación como el marco desarrollado por el IICA (de Camino y Muller, 1993), basado en un enfoque sistémico y el marco de evaluación del manejo sustentable de tierras elaborado por la FAO (FAO, 1994). Se ha aplicado en diferentes estudios de caso a nivel nacional (Masera y López-Ridaura, 2000) e

⁷ La tasa de descuento se utiliza para estimar el valor del dinero en el futuro. No existen parámetros objetivos para su estimación, por lo que debe ser asignada arbitrariamente.

internacional (Ortiz y Astier, 2003; Artier y Hollands, *en prensa*), principalmente en sistemas agrícolas a escala de parcela.

El marco se basa en cinco premisas principales:

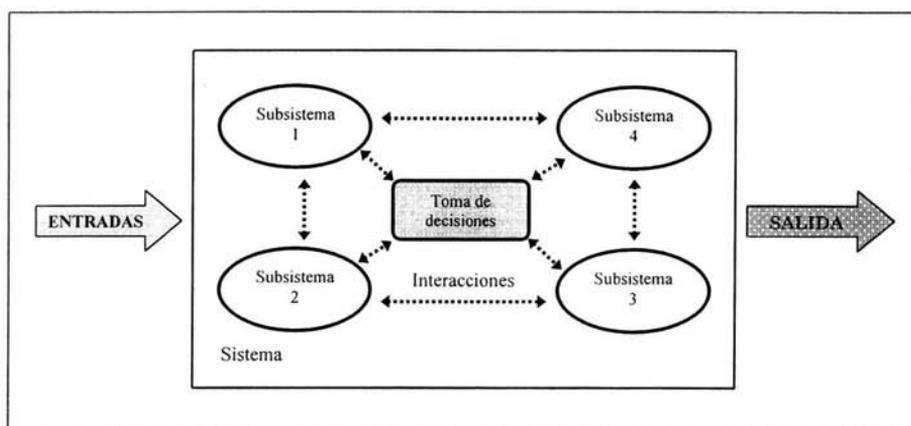
- 1) La sustentabilidad se define a partir de cinco atributos principales que deben cumplir los sistemas de manejo:
 - (a) **productividad**, es la capacidad del sistema para brindar bienes y servicios
 - (b) **estabilidad, confiabilidad y resiliencia**⁸, estos tres atributos se refieren, respectivamente, a la capacidad del sistema para mantenerse en un estado de equilibrio, regresar a su estado normal después de una perturbación y mantener los beneficios deseados en niveles cercanos al equilibrio.
 - (c) **adaptabilidad**, se refiere a la capacidad del sistema para continuar su productividad y brindar bienes y servicios ante cambios de largo plazo en el sistema.
 - (d) **equidad**, se refiere a la capacidad del sistema de distribuir, de manera justa, los beneficios y costos relacionados con el manejo de recursos naturales.
 - (e) **autodependencia o autogestión**, es la capacidad del sistema de autoregularse o controlar sus interacciones con el exterior.
- 2) La evaluación de sustentabilidad sólo es válida para sistemas de manejo definidos en la misma escala espacial y bajo un mismo contexto biofísico, social y político. Se debe definir también una escala temporal para la evaluación.
- 3) La evaluación es una actividad participativa, que requiere una perspectiva y un equipo de trabajo transdisciplinario.
- 4) La sustentabilidad se define de manera relativa, comparando un mismo sistema a lo largo del tiempo (longitudinal) o un sistema de referencia con dos o más sistemas alternativos (transversal).
- 5) La evaluación es un proceso cíclico (adaptativo), en el que se mejora tanto al sistema de manejo como los métodos para evaluarlo.

La estructura operativa completa consiste en un ciclo de evaluación en seis pasos:

⁸ Por su alta interdependencia, estos tres atributos se integran en uno solo (Masera *et al.*, 1999).

Caracterización del o los sistemas de manejo a evaluar. Éste es el punto de partida del proceso de evaluación y tiene el objetivo de definir y caracterizar el objeto de estudio. Con base en un enfoque sistémico (ver García, 1992; Checkland y Scholes, 1993; Clayton y Radcliffe, 1996) se delimita espacial y temporalmente el sistema a evaluar, se identifican sus componentes principales o subsistemas y las interacciones que existen entre estos. Aunque es un proceso complicado, también es importante conocer la dinámica o el comportamiento de los sistemas evaluados. La Figura 2.2 muestra, a grandes rasgos, un sistema de manejo de recursos naturales y sus componentes principales.

Figura 2.2. Estructura general de un sistema de manejo

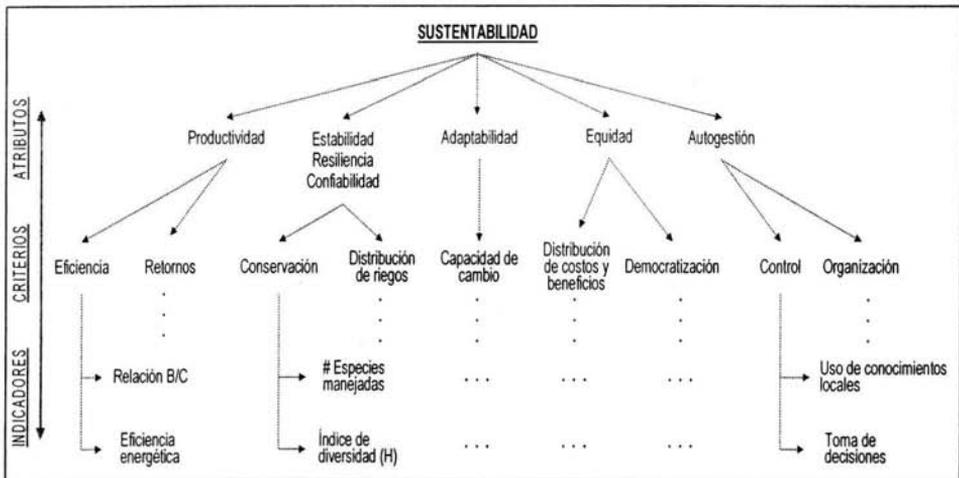


Se muestra, a grandes rasgos, la estructura de un sistema de manejo: sus límites o fronteras, los subsistemas y las interacciones entre sus componentes. Los sistemas de manejo de recursos naturales son sistemas abiertos, por lo que intercambian materia, energía e información con elementos externos. Modificado de Masera *et al.*, 1999.

Identificación de los puntos críticos. Una vez que se conoce el sistema de manejo se procede a identificar sus problemas, es decir, los factores que ponen en riesgo su sustentabilidad, y sus fortalezas, aquellos factores que hacen robusto al sistema. Estos deben estar relacionados con los atributos generales de sustentabilidad y pueden referirse a tres áreas de evaluación: social, ambiental y económica.

Selección de criterios de diagnóstico e indicadores estratégicos. Los puntos críticos constituyen los elementos que se deben atender de los sistemas de manejo, ya sea para cambiarlos, conservarlos o fortalecerlos. En éste sentido, los criterios⁹ de diagnóstico y los indicadores constituyen las herramientas de análisis de estos factores. La derivación de indicadores, para la evaluación de sustentabilidad, parte de un proceso jerárquico (Figura 2.3). Los atributos de sustentabilidad proveen un marco conceptual del cual partir. Con base en estos es posible identificar puntos críticos que fortalecen o debilitan la sustentabilidad de los sistemas de manejo (por ejemplo baja productividad, alta resiliencia, baja equidad, etc.). Una vez identificados se definen criterios de diagnóstico que permitan evaluar dichas fortalezas y debilidades. Finalmente se definen indicadores por criterio de diagnóstico, que son las unidades de información más específica y se refieren, concretamente, a la forma en que se mide un proceso y los métodos de medición utilizados. Cada nivel de la jerarquía debe dar información sobre el nivel inferior o superior inmediato.

Figura 2.3. Relación jerárquica entre atributos, criterios e indicadores



Se muestran los diferentes niveles de agregación de información en el marco MESMIS. Los atributos son utilizados como principios generales, para la derivación de criterios e indicadores contexto- específicos en la evaluación de sistemas de manejo.

⁹ Un criterio puede definirse, literalmente, como una regla o prueba para discernir, bajo la cual se puede basar una decisión (*American Heritage Dictionary, 3ª edición, 1994*).

Medición y monitoreo de indicadores. Consiste en la obtención de los datos necesarios para evaluar los indicadores. La información puede provenir de revisiones bibliográficas, mediciones directas, aparatos de monitoreo, modelos de simulación, etc.

Presentación e integración de resultados. Esta es una fase de síntesis y consiste en la recapitulación y presentación de los resultados de la evaluación de manera conjunta. Es también una fase de análisis, en la que se comparan los resultados de los sistemas analizados en términos de su sustentabilidad. Para ello es necesario utilizar métodos que permitan comparar, de manera simultánea, indicadores que condensan información de tipo muy variado.

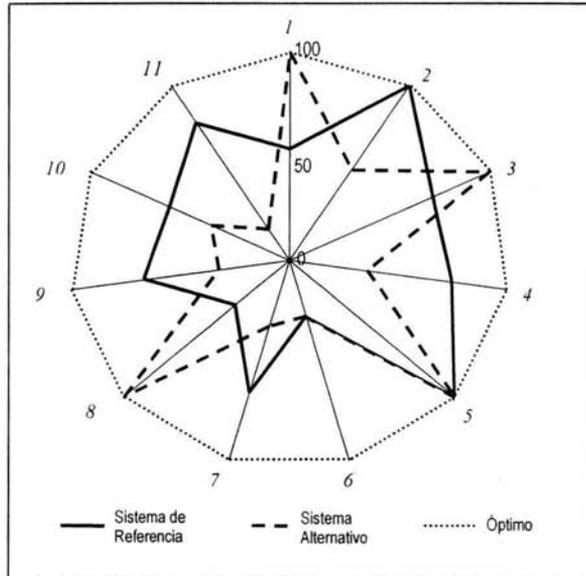
Uno de los procedimientos de integración, propuesto en el MESMIS, consiste en la presentación de los resultados en una gráfica radial, denominada AMIBA (Figura 2.4). En esta cada indicador es representado en un eje. Los valores deben estar estandarizados para poder mostrarlos en una misma escala. Para cada indicador se establecen niveles óptimos y, para cada sistema de manejo evaluado, se calcula el porcentaje del valor óptimo que satisface en cada uno de los indicadores, de acuerdo con

$$Is_i = \left(\frac{V_i}{V_{i\text{optimo}}} \right) * 100$$

en donde Is es el valor estandarizado del indicador i ó índice de sustentabilidad, V_i es el valor real obtenido para el indicador i y $V_{i\text{optimo}}$ es el valor óptimo definido para el indicador i . Para el caso de indicadores de costos, cuyo objetivo es minimizar, se sigue el procedimiento inverso, es decir

$$Is_i = \left(\frac{V_{i\text{optimo}}}{V_i} \right) * 100$$

Figura 2.4. Diagrama tipo AMIBA



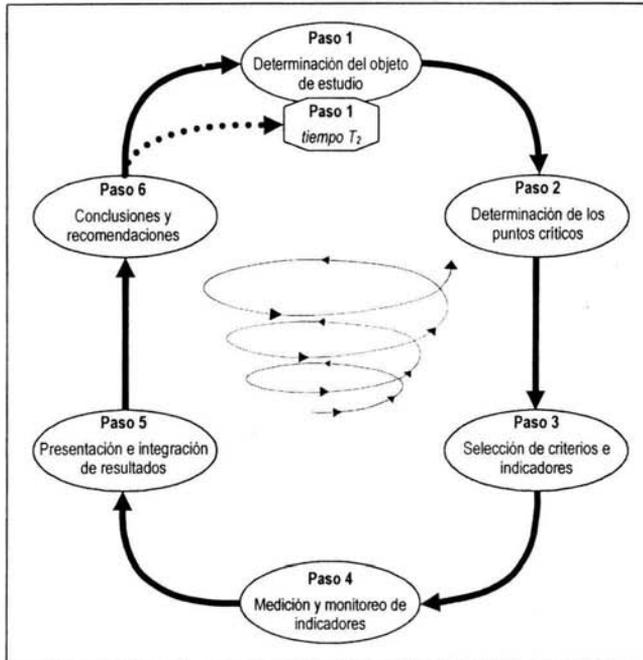
Se muestra un análisis hipotético de un sistema de referencia y un sistema alternativo, comparados con un óptimo. Cada eje representa un indicador ($1, 2, 3, \dots, n$), estandarizado en función de un valor óptimo o umbral de referencia. Modificado de Masera *et al.*, 1999.

Por su sencillez, éste es uno de los métodos más utilizados en evaluaciones de sustentabilidad realizadas con el marco MESMIS, sin embargo, la determinación de valores óptimos puede resultar un proceso complicado (Masera y López-Ridaura, 2000; Astier y Hollands, *en prensa*).

Conclusiones y recomendaciones sobre los sistemas de manejo. En éste último paso se cierra el primer ciclo de evaluación. Es conveniente desarrollar: (a) una valoración sobre cómo se comparan los sistemas de manejo en cuanto a su sustentabilidad, en términos de cada indicador, criterio de diagnóstico y por atributo; (b) una discusión sobre los puntos críticos que impiden mejorar la sustentabilidad del sistema alternativo; (c) una discusión sobre aspectos logísticos, técnicos y metodológicos de la evaluación; y (d) recomendaciones para mejorar, en el futuro, tanto los sistemas de manejo como el proceso mismo de evaluación, así como priorizar acciones inmediatas.

La Figura 2.5 se muestra el ciclo de evaluación completo propuesto en el MESMIS.

Figura 2.5. El ciclo de evaluación en el MESMIS



Se muestran los seis pasos metodológicos del MESMIS, en un proceso cíclico de evaluación y mejoramiento constante de los sistemas de manejo. Tomado de Maserá *et al.* (1999)

2.6 Características generales de los métodos multicriterio (MMC)

Como análisis multicriterio se incluye un amplio espectro de metodologías encaminadas a estructurar, modelar y resolver problemas de decisión en términos de múltiples criterios¹⁰. La principal ventaja de los MMC es que permiten manejar grandes cantidades de datos, relaciones y objetivos, generalmente en conflicto (Munda, 1994) y permiten combinar los aspectos formales de un problema (criterios y alternativas) con aspectos informales representados por las percepciones e intereses de diferentes actores sociales (Munda, *manuscrito no publicado*). Un problema

¹⁰ En la literatura sobre análisis multicriterio se utiliza criterio en un contexto más general y se refiere a cualquier tipo de variable utilizada en un problema de decisión, pueden ser, como en nuestro caso, muy generales como los atributos de sustentabilidad o muy específicos como los indicadores.

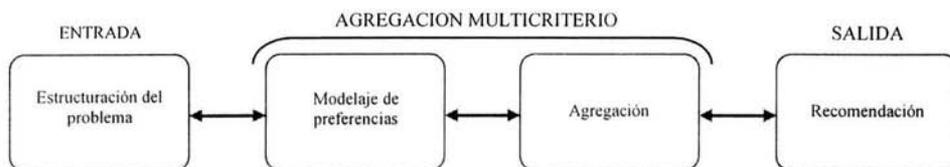
multicriterio puede involucrar la clasificación, la descripción, la selección o la jerarquización de un conjunto de alternativas con base en un conjunto de variables, no necesariamente conmensurables, que describen sus propiedades (Roy, 1996). Los métodos revisados en éste trabajo se refieren a aquellos diseñados para problemas de ordenación o jerarquización de alternativas, evaluadas en términos de un conjunto de variables discretas¹¹.

En los últimos 20 años se ha desarrollado una oferta muy amplia de métodos multicriterio (MMC). Esta variedad, permite tener diversas opciones para elegir un modelo para un problema específico, pero por otro, la elección se dificulta debido a que ningún modelo es completamente adecuado para todas las situaciones. Uno de los problemas para seleccionar un MMC es que cada uno puede proveer resultados diferentes con los mismos datos y no hay forma de identificar el mejor método de manera objetiva (Lahdelma *et al.*, 2000). Cada modelo posee propiedades diferentes en la forma de evaluar los criterios de decisión, la interpretación de los pesos, el algoritmo utilizado en la agregación, el modelo de preferencias, el nivel de incertidumbre inmersa en los datos y la capacidad de participación de los actores sociales en el proceso (De Montis *et al.*, 2000). De acuerdo con Guitouni y Martel, (1998) la utilidad de un método en una aplicación real está limitada por los supuestos e hipótesis en los que se basan sus propiedades teóricas y axiomáticas. La elección de un método debe hacerse considerando las diferentes características de los MMC y las necesidades de cada problema en particular.

A grandes rasgos, un MMC se caracteriza por cuatro fases principales (Guitouni y Martel, 1998): i) estructuración del problema de decisión; ii) articulación y modelaje de preferencias, iii) agregación y iv) recomendaciones (Figura 2.6).

¹¹ La técnicas multicriterio incluyen otros métodos, como la optimización multiobjetivo, que utilizan variables continuas. Sin embargo se requiere conocer la relación exacta entre las diferentes variables de decisión para resolver el modelo, lo que resulta muy difícil en evaluaciones de sustentabilidad. Por otro lado es necesario que todas las variables sean cuantitativas (algunos ejemplos de estos, aplicados en manejo de recursos naturales se pueden consultar en Lakshminarayan *et al.*, 1995; El Swaify y Yakowitz, 1998; Zander y Kächele, 1999).

Figura 2.6. Estructura de un método multicriterio



Fuente: Modificado de Guitouni y Martel (1998).

Estructuración del problema

Esta es una fase en la que se caracteriza el problema de evaluación e incluye la determinación de los actores sociales, la descripción de las diferentes alternativas, las consecuencias, los criterios y la calidad y cantidad de información. Una vez que se tiene toda la información relevante sobre el problema se organiza en una matriz de impacto, en la que un conjunto finito A de n alternativas se evalúa en términos de un conjunto finito F de m criterios, que contienen los valores o impactos (conocidos *a priori*) para diferentes alternativas (Tabla 2.2). El elemento típico $g_j(a_i)$ ($j = 1, 2, 3, \dots, m; i = 1, 2, 3, \dots, n$) representa el impacto de la alternativa i en términos del criterio j . Una acción a es evaluada mejor que una acción b ($a, b \in A$) de acuerdo al punto de vista j si $g_j(a) > g_j(b)$ (Munda, 2000). La mayoría de los MMC utilizan un vector de pesos $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ o ponderación que describe el orden de las preferencias del tomador de decisiones sobre el conjunto de criterios. El significado de estos depende del tipo de método que se utilice.

Tabla 2.2. Matriz de impacto

w	Criterios	Alternativas				
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
w_1	g_1	$g_1(a_1)$	.	.	.	$g_1(a_5)$
w_2	g_2	.	.	.	.	.
w_3	g_3	.	.	.	.	.
w_4	g_4	.	.	.	.	.
w_5	g_5	$g_5(a_1)$	.	.	.	$g_5(a_4)$

Fuente: Munda, 2000

Debido a que no todos los MMC pueden manipular el mismo tipo de información, es importante considerar éste aspecto. La información que puede manejar un método puede variar en tres aspectos

principales: el tipo de criterios utilizados, la información inter- criterio y la cantidad y tipo de variables.

Tipo de criterios utilizados (ver articulación y modelaje de preferencias)

Información inter-criterio

La mayoría de los MMC utilizan pesos para ponderar los criterios de evaluación. En general, los pesos indican la importancia que tiene cada criterio para cumplir con un objetivo, esta importancia puede ser interpretada de dos manera principales, como votos o como factores de sustitución (*trade-offs*) (para una revisión amplia ver Choo *et al.*, 1999). Esta interpretación es importante debido a que la calidad del análisis depende en gran medida de cómo se ponderen los criterios. El primer caso es la forma más sencilla de integrar pesos en un análisis, sin embargo tiene poca aceptación. El segundo se ha criticado debido a que asume que los valores de los criterios son mutuamente sustituibles.

Calidad y tipo de variables utilizadas

Dependiendo del método utilizado es posible manipular variables de dos tipos: cuantitativas, que pueden ser expresadas como números exactos, difusos y estocásticos, y cualitativas expresadas como variables lingüísticas (De Montis *et al.*, 2000). Generalmente en problemas de evaluación de sustentabilidad el tipo de información que se maneja es de tipo mixto, por lo que es recomendable el uso de MMC que puedan manipular ambos tipos de variables. La capacidad de manejar información difusa y estocástica es también una característica importante cuando se estudia la sustentabilidad de sistemas socio- ambientales, en los que la incertidumbre es alta e irreducible (Munda, 2000).

Articulación y modelaje de preferencias

Una vez que se obtiene toda la información del problema de evaluación en cuestión, es necesario establecer relaciones de preferencia (*i.e.* una jerarquización) entre las alternativas evaluadas, para ello se requiere evaluar, en cada criterio, como se comparan (en nuestro caso) en términos de su sustentabilidad. De acuerdo con Roy (1996), cuando se comparan dos alternativas, *a* y *b* en un criterio, se puede reaccionar de las siguientes maneras:

1. aPb , a es mejor que b , que implica preferencia estricta de a sobre b
2. aIb , a es igual a b , que implica indiferencia de a sobre b
3. aQb , que implica preferencia débil de a sobre b
4. aRb , que implica incomparabilidad de a sobre b

Dependiendo del modelo utilizado, P, I, Q y R pueden modelarse. En la mayoría de los modelos sólo se consideran las relaciones P e I, y funcionalmente se representan por

$\forall a, b \in A$:

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b)$$

$$aIb \Leftrightarrow g(a) = g(b)$$

Donde g es una función de optimización definida en A (el conjunto de alternativas) que representa la preferencia de una alternativa a con respecto a una alternativa b (PUI). La relación de incomparabilidad no se utiliza ($R = \emptyset$) y la preferencia débil se considera equivalente a la preferencia estricta ($Q = P$). En éste modelo la secuencia de preferencias es completa si todos los elementos de A pueden ser jerarquizados de mejor a peor (e.g. $g(a) > g(b) > g(c)$) o parcial si no todos los elementos están subordinados (e.g. $g(a) = g(b) > g(c)$) (Vincke, 1992). El primer caso es llamado un orden total y el segundo un preorden total, $g(a)$ y $g(b)$ son llamados criterios verdaderos (*true criteria*).

Otros modelos asumen que existe un valor por debajo del cual no existe una clara preferencia de a sobre b , entonces un umbral de indiferencia q es introducido. Funcionalmente se representa por

$\forall a, b \in A$:

$$aPb \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b))$$

$$aIb \Leftrightarrow \begin{cases} g(b) \leq g(a) + q(g(a)) \\ g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \end{cases}$$

El mismo razonamiento utilizado para introducir el umbral de indiferencia se extiende para introducir un umbral de preferencia estricta p , de manera que las preferencias (PUQUI) son representadas funcionalmente por

$$\begin{aligned} aPb &\Leftrightarrow g(a) > g(b) + p(g(b)) \\ aQb &\Leftrightarrow g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(b)) \\ alb &\Leftrightarrow \begin{cases} g(b) + q(g(b)) \geq g(a) \\ g(a) + q(g(a)) \geq g(b) \end{cases} \end{aligned}$$

En donde g es una función definida en A (el conjunto de alternativas), $p(g(b))$ es una función y umbral de preferencia arriba del cual existe una clara preferencia y $q(g(b))$ es una función y umbral de indiferencia bajo el cual no se muestra una clara indiferencia. Éste tipo de estructuras son llamados *pseudo- criterios*.

La relación de incomparabilidad R es útil cuando en los procesos de toma de decisiones no hay deseos o información necesaria para la elección entre dos o más alternativas. La incomparabilidad es frecuente, por ejemplo, cuando se agregan opiniones contradictorias (Vincke, 1992). Un problema de considerar R es que no tiene representación funcional (Roy, 1996). Sin embargo, se usa en algunos modelos utilizando diferentes procedimientos.

Agregación de criterios

En esta fase se introduce un algoritmo matemático que agrega, para cada alternativa, todos los valores de los criterios, con el fin de obtener un valor agregado que indique la preferencia de una alternativa con respecto a otra. Una forma en que se han dividido estos procedimientos es por el tipo de algoritmo utilizado, que puede ser compensatorio y no compensatorio o parcialmente compensatorio. Un método de agregación se considera compensatorio si un valor muy bueno en un criterio compensa un valor pobre en otro criterio, *i.e.* los valores de los diferentes criterios considerados son totalmente intercambiables o sustituibles, esto implica que en la agregación no importa el valor de un criterio dado (*e.g. calidad ambiental*) siempre y cuando exista otro valor (*e.g. rentabilidad*) lo suficientemente bueno para compensarlo. Los métodos no compensatorios o parcialmente compensatorios, tratan de limitar este efecto durante la agregación de los criterios. Esto es de particular importancia cuando se requiere agregar las diferentes dimensiones de la sustentabilidad. De acuerdo con Munda (1997) en Martínez- Alier *et al.* (1998) el concepto multidimensional de la sustentabilidad se debe operativizar utilizando un enfoque no-compensatorio o parcialmente compensatorio.

Métodos compensatorios

Estos modelos se basan en las relaciones de preferencia estricta e indiferencia (P, I) y tratan de maximizar una función $U = U(g_1, g_2, \dots, g_n)$ considerando todos los puntos de vista (criterios) que son tomados en cuenta (Vincke, 1992).

Una de las formas más comunes de representar esta función es el modelo aditivo

$$U(a) = \sum_{j=1}^n U_j(g_j(a)),$$

en donde U_j es una función que transforma los valores de los criterios a una misma escala para asegurar la sumatoria y $g_j(a)$ es la función de evaluación del criterio j . Para la relación de preferencia P, el modelo aditivo cumple con:

$$aPb \Leftrightarrow U(a) - U(b) > 0$$

y de indiferencia (I) con

$$aIb \Leftrightarrow U(a) - U(b) = 0$$

El modelo aditivo puede transformarse en uno multiplicativo (para un revisión más amplia ver Triantaphyllou, 2000; Vincke, 1992; Keeney y Raiffa, 1976). El método de suma ponderada es uno de los más utilizados. Considerando m alternativas y n criterios, la mejor alternativa es la que satisface:

$$U = \max_i \sum_{j=1}^n g_j(a_i)w_j, \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, m,$$

donde $g_j(a_i)$ es una función que representa el valor del criterio j para la alternativa i y w_j es el valor de importancia del criterio j . Cuando el conjunto de criterios es evaluado en una sola unidad de medida (e.g. monetaria) el procedimiento es directo, cuando los criterios son mixtos es necesaria la estandarización de sus valores.

Los métodos basados en la función de utilidad o de valor (MAUT y MAVT, por sus siglas en inglés) son representativos de la suma ponderada. Estos se basan en el modelo de comportamiento racional de la teoría económica neoclásica. En general, se considera una extensión del análisis de costo beneficio (Martínez- Alier *et al*, 1998).

Otro MMC basado en el criterio de síntesis único es el proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés; Saaty, 1980). Sin embargo, éste se basa en el concepto de prioridad y la estandarización se realiza por medio de escalas de proporción y no a través de funciones de utilidad (Bana e Costa, 1997). Éste método se describirá más adelante.

Métodos no compensatorios

En estos métodos se utiliza una relación S llamada relación de superación (Roy, 1996). Se dice que una acción *a* supera a una acción *b* si *a* es al menos tan buena como *b*, de tal manera que:

$$aSb \text{ si } \begin{cases} aIb \\ \text{ó} \\ aPb \\ \text{ó} \\ aQb \end{cases}$$

Los métodos de superación integran las relaciones de preferencia débil Q e incomparabilidad R. La idea de introducir la relación Q es evitar darle demasiado peso a diferencias que casi no tienen importancia cuando se comparan dos alternativas (Roy, 1996). En este sentido son introducidos los umbrales de preferencia estricta e indiferencia. En estos métodos una función de agregación se utiliza para determinar S en una relación binaria (*aSb*), en particular los índices de concordancia y discordancia son utilizados para ello. Un índice de concordancia puede verse como los argumentos en favor de que una acción *a* es mejor que una acción *b*, mientras que el índice de discordancia indica que tan mala puede ser *a* con respecto a *b*. La forma en que se obtienen los índices de concordancia y discordancia varía entre los diferentes métodos, dependiendo del tipo de criterios utilizados.

Los métodos no compensatorios se han criticado principalmente por la falta de bases axiomáticas, en el sentido de que no son congruentes con la teoría de decisión racional (Guitouni y Martel, 1998; Triantaphyllou, 2000). Por otro lado es necesario el establecimiento de parámetros arbitrarios y muy complicados y no permiten confrontar los conflictos en un problema de decisión. Más adelante se explora a detalle el método NAIADE (Munda, 1995).

Recomendación

La recomendación de alternativas en un MMC es el resultado de un proceso recursivo de exploración del modelo. En esta fase es importante hacer la distinción entre los métodos de ayuda a la decisión y los métodos de toma de decisiones. De acuerdo con Roy (1996) un MMC debe aportar elementos que ayuden en las decisiones, mas no que la determinen. En éste sentido es importante responder porqué es mejor una alternativa que otra, cuáles son los diferentes costos y beneficios de cada una y cómo afectan los diferentes parámetros en la evaluación global. La posibilidad de visualizar los diferentes resultados y los análisis de sensibilidad son necesarios para responder estas preguntas.

2.7 Dos MMC para la integración de indicadores de sustentabilidad: AHP y NAIADE.

2.7.1 AHP (Proceso Analítico Jerárquico)

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), desarrollado por Saaty (1980), es uno de los métodos multicriterio más utilizados y más ampliamente aceptados por la comunidad científica (Triantaphyllou, 2000). Éste método ha mostrado ser efectivo en problemas de evaluación que involucran múltiples criterios, objetivos en conflictos y datos limitados (Banai, 1989).

AHP se basa en el concepto de prioridad para capturar la preferencia de una alternativa con respecto a otra. La idea es obtener un vector de prioridades o pesos (*eigenvector*) que representa el orden y la intensidad de la preferencia para cada una de las alternativas (Saaty, 2003). Éste enfoque está teórica y prácticamente probado para la estimación de las ponderaciones entre criterios y alternativas (Munda, *manuscrito no publicado*).

Para la obtención de prioridades de un conjunto dado de alternativas es necesario resolver una matriz $n \times n$, donde n es el conjunto de alternativas evaluadas en términos de un sólo criterio (Tabla 2.4). Los valores de la matriz corresponden al cociente de $n \times n$ alternativas, de manera que dicho valor representa la importancia relativa de una alternativa con respecto a otra y no un valor absoluto. La matriz de impacto $n \times m$, donde m es el número de criterios considerados, se construye utilizando la prioridad de cada alternativa en términos de cada criterio (Triantaphyllou, 2000).

Tabla 2.3. Matriz recíproca para la comparación pareada de un conjunto de alternativas

n/n	a_1	a_2	a_3
a_1	a_1/a_1	a_1/a_2	a_1/a_3
a_2	a_2/a_1	a_2/a_2	a_2/a_3
a_3	a_3/a_1	a_3/a_2	a_3/a_3

Si se asume que en un problema de evaluación, el conjunto de criterios tienen diferente importancia, con AHP se puede asignar a cada criterio un peso o valor de importancia. Una matriz $m \times m$ es construida, en la cual el tomador de decisión debe proveer su juicio sobre la importancia de un criterio con respecto al otro. Para introducir la intensidad de preferencia en forma de pesos, Saaty (1980) desarrolló una escala de valoración de la importancia relativa entre pares de elementos (Tabla 2.5). Con base en esta escala, se puede establecer qué tan importante es un criterio A comparado con un criterio B. En teoría, se realiza un total de m^2 comparaciones pareadas, sin embargo debido a que las comparaciones son recíprocas, sólo se necesita resolver $n(n-1)/2$ de las comparaciones. Aún así, éste número puede ser demasiado alto cuando el número de entidades a comparar es grande, por ejemplo, si el número de criterios es igual a 15, se deben realizar un total de 105 comparaciones pareadas.

Tabla 2.4. Escala de Saaty

1	Igual importancia. Dos entidades contribuyen de manera similar a los objetivos.
3	Importancia moderada. La experiencia y el juicio favorecen moderadamente una actividad sobre otra
5	Importancia esencial o fuerte. La experiencia y el juicio favorecen consistentemente una actividad sobre otra.
7	Importancia demostrada. Una actividad es fuertemente favorecida sobre otra y se demuestra en la práctica.
9	Importancia extrema. La evidencia favorece una actividad sobre otra. Es el nivel más alto de afirmación.
2, 4, 6, 8	Son valores intermedios entre los dos juicios adyacentes.
1/3, 1/5, 1/7, 1/9	Son valores de importancia recíprocos e indican en qué medida un criterio es menos importante que otro.

Fuente: Banai (1989).

Una de las ventajas de AHP es que brinda una medida de inconsistencia para la estimación de las ponderaciones. Un juicio inconsistente, en el sentido matemático, resulta cuando a una entidad m_1 le fue asignado un valor de importancia mayor que a otra entidad m_2 y, a ésta, mayor que a m_3 , pero m_1 fue evaluada menos importante que m_3 .

Una vez obtenidos los pesos para cada alternativa y cada criterio se realiza la agregación de la información por medio de una función lineal y aditiva. La mejor alternativa, de acuerdo con AHP, es la que cumple con:

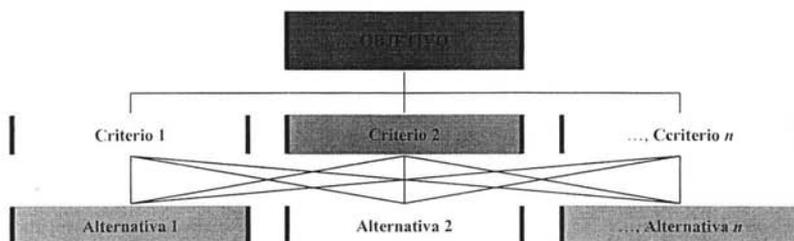
$$U = \max_i \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j, \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

donde a_{ij} es el valor de prioridad normalizado ($a_{i1} + a_{i2} + a_{i3} \dots + a_{im} = 1$) para la alternativa i en el criterio j evaluado en una escala de proporción y w_j es el valor de ponderación normalizado ($w_1 + w_2 + w_3 \dots + w_n = 1$) para el criterio j .

Otra de las grandes ventajas de AHP, que de hecho le da el nombre, es la posibilidad de estructurar un problema de manera jerárquica. En éste sentido, se propone como un método de análisis por jerarquías en tres niveles principales (Figura 2.7), (Banai, 1989): 1) un objetivo, que es el nivel de información más general y está definido por 2) los criterios de decisión, que son variables que

identifican metas u objetivos más particulares (un criterio puede a su vez estar formado por subcriterios, sub subcriterios, etc.) y 3) las alternativas, que corresponden a los objetos o entidades sujetas a evaluar de acuerdo a todos los criterios de evaluación.

Figura 2.7. Estructura jerárquica de AHP



2.7.2 NAIADE (nuevo enfoque para la evaluación imprecisa y ambientes de decisión)

NAIADE (Munda, 1995) es un método de evaluación multicriterio discreto, diseñado para la ordenación de alternativas mediante el manejo de información afectada por diferentes niveles de incertidumbre. Éste modelo, basado en la teoría de conjuntos difusos (ver Anexo I para una descripción breve), permite expresar los valores de los criterios en forma de números exactos, estocásticos, difusos o expresiones lingüísticas. A diferencia de otros métodos, en NAIADE no se utilizan pesos para ponderar los criterios de evaluación. El método consiste en dos tipos de análisis: el primero es una evaluación "técnica" multicriterio basada en la comparación de los valores de los criterios para cada alternativa utilizando una *matriz de impacto*. En el segundo se construye una *matriz de equidad* que evalúa las posibles coaliciones entre los grupos de interés de acuerdo a sus preferencias sobre las alternativas propuestas (JRC, 1996). A partir de ellos, NAIADE puede proveer la siguiente información (Munda, *manuscrito no publicado*):

1. Ordenación de las alternativas de acuerdo al conjunto de criterios de evaluación (evaluación técnica).
2. Formación de coaliciones entre los diferentes grupos de interés.
3. Ordenación de las alternativas de acuerdo a las preferencias de los grupos de interés.

El procedimiento completo puede dividirse en cuatro pasos principales:

1. Comparación pareada de las alternativas de acuerdo con cada criterio de evaluación
2. Agregación de los criterios para cada alternativa
3. Jerarquización de alternativas
4. Análisis de conflicto social

Comparaciones pareadas

La comparación entre las diferentes alternativas se lleva a cabo calculando la distancia semántica¹² (S_d) entre dos conjuntos difusos y considerando seis relaciones de preferencia (JRC, 1996), de manera que, considerando un par de alternativas a , b a una distancia S_d en un criterio, se puede decir que a es con respecto a b :

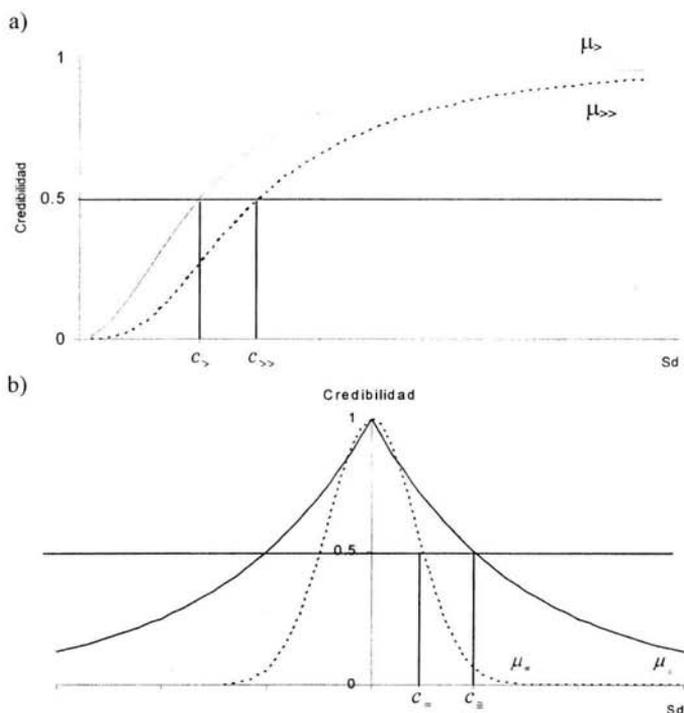
1. Mucho mejor (\gg).
2. Mejor ($>$)
3. Aproximadamente igual (\cong)
4. Igual ($=$)
5. Peor ($<$)
6. Mucho peor (\ll)

NAIADE utiliza la distancia semántica entre dos alternativas, en un criterio dado, para calcular un índice de credibilidad ($\mu(d)$) para cada relación de preferencia. Entre mayor sea la distancia mayor será la posibilidad de que a y b sean evaluadas diferentes, es decir el índice (la credibilidad) será mayor para $a \gg b$ y $a > b$ (ó $b \gg a$ y $b > a$, pues son relaciones simétricas). Por el contrario, si la distancia es pequeña entonces a y b saldrán más parecidas en la evaluación, es decir el índice (o credibilidad) será mayor para $a \cong b$ y $a = b$. El índice va de 0, cuando la relación es definitivamente falsa, a 1, cuando la relación es definitivamente creíble. Para controlar la importancia de la distancia entre dos alternativas (*i.e.* el poder discriminatorio entre estas), NAIADDE incorpora un umbral de preferencia ($c_{=}, c_{\cong}, c_{>}, c_{\gg}, c_{<}, c_{\ll}$) para cada relación de

¹² La distancia semántica mide el grado de similitud entre dos conjuntos difusos (o distancia entre dos funciones), entre mayor sea S_d menor es el grado de igualdad.

preferencia. Éste parámetro corresponde a la distancia en la que cada una de las funciones vale 0.5 en el índice de credibilidad. La forma de las funciones para calcular los índices de credibilidad para las relaciones *mucho mejor*, *mejor*, *aproximadamente igual* e *igual* se muestran en la Figura 2.8.

Figura 2.8. Funciones para las relaciones de preferencia en NAIADE



Se muestran las funciones que describen las relaciones de preferencia utilizadas en NAIADE. (a) Conforme aumenta la distancia (Sd) entre dos alternativas la credibilidad de las relaciones de preferencia *mucho mejor* ($\mu_{>>}$) y *mejor* ($\mu_{>}$) es mayor. Estas dos funciones son completamente simétricas para las relaciones *mucho peor* ($\mu_{<<}$) y *peor* ($\mu_{<}$). (b) Cuando la distancia entre las alternativas evaluadas es pequeña la credibilidad de las relaciones *aproximadamente igual* (μ_{\approx}) e *igual* ($\mu_{=}$) incrementa. Los umbrales de preferencia ($c_{>}$, $c_{>>}$, $c_{=}$ y c_{\approx}) son utilizados para limitar la importancia de la diferencia entre las alternativas evaluadas e indica el valor en el que el índice de credibilidad vale 0.5. Fuente: JRC (1996).

Agregación de criterios

Para la evaluación global de cada alternativa, es decir, considerando todos los criterios de evaluación, se obtienen dos parámetros diferentes (JRC, 1996): un *índice de intensidad de la preferencia* ($\mu(a,b)$), que expresa la preferencia de una alternativa con respecto a otra, y el grado de *entropía* ($H(a,b)$) de la evaluación. Para el cálculo de $\mu(a,b)$ se determina el nivel de credibilidad (α ; sólo los criterios cuyos índices se encuentren arriba de α son tomados en cuenta en la agregación). α incrementa los niveles de exigencia para las relaciones de preferencia, es decir, a medida que éste umbral aumenta se requieren valores más altos en los índices de credibilidad, para ser tomados en cuenta en la agregación. $\mu(a,b)$ tiene las siguientes características:

1. $0 \leq \mu(a,b) \leq 1$,
2. $\mu(a,b) = 0$ si para todos los criterios $\mu < \alpha$,
3. $\mu(a,b) = 1$ si para todos los criterios $\mu \geq \alpha$ y $\mu > \alpha$ para al menos un criterio

La entropía indica la varianza de los índices de credibilidad con respecto a α y los umbrales de preferencia. Se calcula a través de un índice con valores en el intervalo (0,1); 0 significa que todos los criterios dan una indicación exacta de la preferencia de una alternativa con respecto a otra (definitivamente creíble o definitivamente no creíble) y 1 significa que todos los criterios están influenciados por el máximo valor de "borrosidad" (fuzziness), *i.e.* se encuentran en o muy cercanos a c y a α .

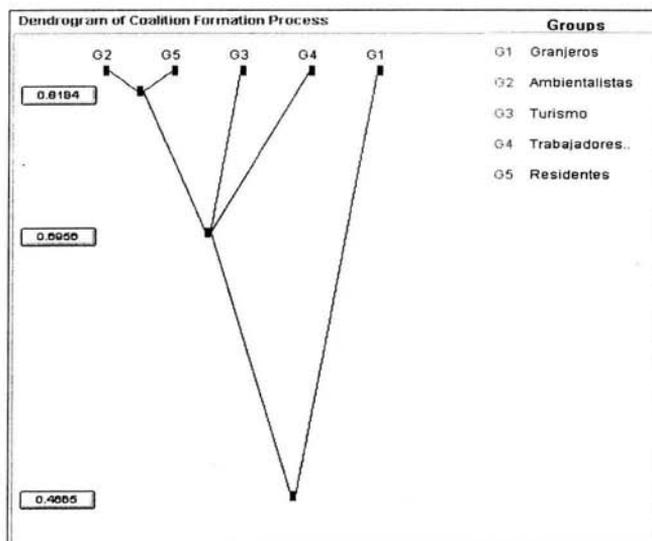
Jerarquización de alternativas

Con base en el índice de intensidad de la preferencia y su correspondiente entropía, NAIADE calcula dos funciones para generar la ordenación final de las alternativas. La primera (ϕ^+) se basa en $\mu_{>>}(a,n)$ y $\mu_{>}(a,n)$, con valores en el intervalo (0,1) e indica qué tan buena es una alternativa con respecto a todas las demás. La segunda (ϕ^-) se basa en $\mu_{<<}(a,n)$ y $\mu_{<}(a,n)$ con valores en el intervalo (0,1) e indica qué tan mala es una alternativa con respecto a todas la demás (JRC, 1996). La ordenación final se obtiene a través de la intersección de estas dos funciones.

Análisis de equidad

NAIADE elimina el uso de pesos para capturar las preferencias de los actores sociales, en vez de esto, propone el uso de un análisis que indica las coaliciones que podrían formarse entre diferentes grupos involucrados en un problema de decisión social (Munda, 2003). Éste análisis de conflictos o análisis de equidad comienza con la construcción de una matriz, en la cual los diferentes actores o grupos de interés indican su preferencia (en términos cualitativos) para todas las alternativas propuestas. Por medio de un índice de similitud (s_{ij}), calcula para cada par de actores, la cercanía entre los juicios sobre las alternativas propuestas. Con éste índice se construye un *dendrograma de coaliciones* (Figura 2.9), que muestra la formación de posibles consensos para diferentes valores de similitud (s_{ij}) y mide el grado de conflicto entre los actores sociales.

Figura 2.9. Dendrograma de coaliciones para diferentes grupos de interés



Se muestra un dendrograma de coaliciones para cinco actores sociales. Cada nodo representa una coalición, formada con diferentes valores de similitud (iconos de la izquierda). Entre más bajo sea el valor del índice son menores las exigencias para la similitud de los juicios de los grupos y por lo tanto es más fácil que se forme una coalición. Conforme incrementa el índice se requerirán juicios más parecidos para la formación de coaliciones. Fuente: JRC (1996).

El análisis de equidad permite una jerarquización de alternativas considerando la formación de coaliciones y la evaluación multicriterio. Éste análisis permite valorar las diferentes alternativas en base al nivel de conflictos que contiene.

2.8 Propiedades deseables de los métodos para la integración de indicadores en el contexto del marco MESMIS

En las secciones anteriores se mostró que la integración de indicadores requiere de métodos que respondan de manera adecuada a las necesidades que impone el mismo proceso de evaluación de sustentabilidad, el concepto de sustentabilidad y el marco MESMIS. Estos métodos requieren de propiedades particulares que vayan más allá de la simple homologación y agregación de variables como se propone en métodos como el análisis de costo beneficio. Los MMC se muestran como una herramienta adecuada para abordar el problema de integración de resultados dentro del contexto del marco MESMIS. Estos proveen una base teórica para la comparación de alternativas de manejo. El modelaje de preferencias provee una base teoría sólida, que permite comparar de diferente manera las entidades consideradas en un problema de evaluación, como pueden ser sistemas de manejo de recursos naturales, tecnologías o proyectos encaminados al mejoramiento de las propiedades de los sistemas socioambientales. Por otro lado, el procedimiento de agregación permite articular el problema desde los aspectos más específicos, como son los indicadores, hasta la generación de índices agregados. Una parte importante de esto son los procedimientos de estandarización y la base conceptual sobre los supuestos utilizados por diferentes enfoques de agregación. Un concepto importante en éste sentido es el de compensación. También proveen de procedimientos para integrar las perspectivas de los actores sociales a la evaluación y toma de decisiones y, más importante aún, proveen de un marco conceptual para la discusión y análisis de los diferentes conflictos que conllevan las decisiones sobre el manejo de recursos naturales. Aunque tienen sus limitaciones, los MMC, proveen de bases teóricas y metodológicas que son consistentes con el problema de evaluación de sustentabilidad. Esto es importante, ya que, comúnmente se utilizan métodos para la generación de índices y la agregación de variables sin una discusión previa de los supuestos que involucran.

A modo de síntesis, en la Tabla 2.5, se presentan las propiedades que deben poseer los métodos para la integración de indicadores de sustentabilidad. Los dos MMC, AHP y NAIADE, expuestos con anterioridad, son evaluados con base en estas propiedades.

Tabla 2.5. Propiedades de AHP y NAIADe en el contexto de la evaluación de sustentabilidad con el marco MESMIS

Propiedades deseables de los métodos para la integración de indicadores		AMIBA en el MESMIS	AHP	NAIADE
Manejo de incommensurabilidad técnica	Se refiere a la capacidad de manejar datos de naturaleza distinta y múltiples dimensiones no commensurables	Estandariza con base en la proporción de un óptimo	Estandariza por medio de escalas de proporción recíprocas El esquema de estandarización permite la compensación completa entre los indicadores	Estandariza por medio de índices de credibilidad Utiliza umbrales de preferencia para limitar la compensación entre indicadores
Manejo de incommensurabilidad social	Manejo de múltiples dimensiones de valor, manejo de conflictos	No considerada	Captura las preferencias de los actores sociales a través de pesos	Analiza conflictos y consensos entre actores sociales a través de dendrogramas de coaliciones
Manejo de incertidumbre		No considerada	No considerada	Se basa en un ambiente de lógica difusa, permite el uso de datos afectados con diferentes niveles de incertidumbre
Riesgo	Manejo de datos sobre eventos estocásticos	Sólo números exactos	Sólo números exactos	Permite integrar números estocásticos
Ambigüedad	Se refiere a la posibilidad de incluir en la evaluación la subjetividad presente en el manejo de recursos naturales y las múltiples representaciones de estos. Se relaciona también con la incommensurabilidad social	No considerada	Permite realizar análisis de sensibilidad para todas las combinaciones posibles de pesos	Permite integrar números difusos Permite realizar análisis de sensibilidad para diferentes esquemas de compensación
Falta de mediciones, información inmensurables	Capacidad de utilizar información de baja calidad	Variables cualitativas	Variables cualitativas	Variables cualitativas
Capacidad de analizar los problemas de manera jerárquica	Se refiere a la posibilidad de articular el problema en diferentes niveles de agregación de información y bajo un enfoque agregativo y disgregativo.	No considerada	Permite articular los atributos de sustentabilidad, criterios e indicadores en un análisis jerárquico; de atributos a indicadores (top down) y de indicadores a atributos (bottom up)	No considerada

Tabla 2.5. Continuación

Propiedades deseables de los métodos para la integración de indicadores		AMIBA en el MESMIS	AHP	NAIADE
Evaluación relativa de la sustentabilidad	Significa que la evaluación de los sistemas de manejo se basa en una comparación entre un sistema de referencia o sistema base y uno o más sistemas alternativos. Esto implica que un sistema no puede juzgarse como sustentable o no sustentable, sino en un orden o jerarquía en una escala relativa de sustentabilidad, es decir, un sistema se juzga como "más sustentable" o "menos sustentable" que otro sistema que sirve de referencia.	La comparación toma como punto de referencia un punto ideal u óptimo	Relativa. Todos los sistemas evaluados se comparan entre si en escalas de proporción. No es necesario definir valores óptimos.	Relativa. Todos los sistemas se comparan entre si en escalas de intervalo. No es necesario definir valores óptimos.
La evaluación como actividad participativa	La sencillez, transparencia y la facilidad para comunicar los resultados de la evaluación es muy importante para facilitar la participación en la evaluación de sustentabilidad en el ámbito campesino			
Sencillez y Transparencia	Se refiere a la facilidad para realizar los procedimientos necesarios para la aplicación del método, un aspecto necesario para su comprensión bajo diferentes capacidades técnicas	Muy sencillo No requiere de procedimientos matemáticos sofisticados	Moderado. Utiliza procedimientos sencillos, aunque es necesario realizar varias operaciones. Para facilitar el proceso es necesario el uso de software especializado	Muy complicado. Requiere de procedimientos matemáticos sofisticados y conceptos complicados. El uso de software especializado es necesario. Corre el riesgo de volverse "caja negra"
Comunicación	Está relacionado con el anterior, pero en éste caso se trata de la capacidad del método para comunicar los resultados de la evaluación y la flexibilidad de los datos para presentarlos de diferentes maneras.	Permite una visualización muy clara de los resultados de la evaluación a nivel de indicadores	Permite una visualización muy clara de los resultados de la evaluación a nivel de indicadores, criterios y atributos, aunque implica entender procedimientos matemáticos complicados Los datos son muy flexibles	Los resultados son claros, aunque se requiere del manejo de algunos conceptos para su comprensión Los datos son rígidos y difíciles de presentar

3 EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD DE LAS ESTUFAS EFICIENTES DE LEÑA EN LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO

3.1 Introducción

Este capítulo explora la aplicación de los dos MMC, analizados en el capítulo anterior, en un estudio de caso. El estudio consiste en la evaluación de sustentabilidad de estufas de leña mejoradas. Se aplica el marco MESMIS para la derivación de indicadores de sustentabilidad relacionados con las tecnologías y se dan elementos para la evaluación de alternativas de cocción de alimentos en el sector rural de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. AHP y NAIADÉ son utilizados para la fase de integración de resultados y para la evaluación de las perspectivas, de diferentes grupos sociales, sobre las tecnologías. El capítulo se organiza en función de los pasos propuestos en el MESMIS (ver capítulo II, sección 2.5).

3.2 Antecedentes

El uso de leña en el sector doméstico ha sido tema de preocupación a nivel nacional e internacional y su importancia se ha enfatizado desde diferentes puntos de vista, particularmente desde las perspectivas ambientales, energéticas y de salud. En México la leña constituye el recurso forestal más utilizado en las comunidades rurales y es la fuente principal de energía de uso doméstico para el 80% de la población rural (aproximadamente 25 millones de usuarios; Masera *et al.* 1997).

La leña es un recurso energético potencialmente renovable y limpio, sin embargo, su uso excesivo tiene impactos ambientales importantes por degradación forestal, erosión y cambios en los ciclos de nutrientes, entre otros, a escalas locales y regionales, y a nivel global por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se calcula que entre el 1 y el 3% del calentamiento global es producido por gases liberados durante la combustión de biomasa en los hogares (Smith, 1992).

El uso de leña para la cocción, en fogones abiertos, también está correlacionado con impactos significativos a la salud. El humo y otros compuestos producidos durante la combustión son los principales factores causantes de infecciones respiratorias agudas, que cada año a nivel mundial, causan más de 4 millones de muertes (Smith, 1993 en Saatkamp *et al.*, 2000). A nivel nacional es la principal causa de mortalidad infantil (SSA, 2001).

La sustitución de la leña, por combustibles más eficientes, no es una alternativa viable en el corto plazo. Las tecnologías tradicionales satisfacen necesidades culturales, económicas, técnicas y ambientales muy particulares de las comunidades rurales, para las cuales las tecnologías modernas no son completamente adecuadas (Masera, 1990).

En el ámbito rural, se ha tratado de introducir tecnologías más eficientes, que buscan disminuir los problemas asociados al uso de leña. La sustitución de las estufas tradicionales de baja eficiencia, por estufas mejoradas, se ha tratado de impulsar como un mecanismo para avanzar hacia los objetivos del desarrollo sustentable. A nivel nacional se ha enfatizado por diferentes programas gubernamentales, como una estrategia para la reducción de impactos ambientales e incrementar el nivel de vida de las familias (CONAFOR, 2001; SSA, 2001; IMTA, 2004). En el plano internacional se enfatiza su importancia como mecanismo para la reducción de gases de efecto invernadero y para avanzar hacia la transición a energías renovables.

A pesar de su importancia, los programas tradicionales de difusión de estufas eficientes, han fallado en la incorporación de aspectos críticos, tales como el seguimiento, monitoreo y evaluación de los dispositivos, el diseño y diversificación de dispositivos apropiados y la consideración de aspectos técnicos, sociales, culturales y económicos en el proceso de adopción (Díaz y Masera, 2001). Esto ha generado un impacto muy reducido de los programas.

Para el desarrollo de sistemas tecnológicos, enmarcados dentro de los objetivos del desarrollo sustentable, se requiere de estrategias que permitan el uso eficiente y sinérgico de los recursos naturales, que proporcionen servicios energéticos estables y que aseguren el acceso y la disponibilidad de los recursos productivos a lo largo del tiempo. Se requieren también sistemas flexibles, que puedan adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno, pero también a las necesidades socioculturales de las comunidades rurales, que sean accesibles para todos los sectores sociales, incluyendo a los más pobres y que estimulen los procesos autogestivos (Masera, 1997). La evaluación de estas estrategias, bajo la óptica de la sustentabilidad, es fundamental. En este contexto, se evalúa la sustentabilidad de las estufas mejoradas tipo Patsari, introducidas en la cuenca del lago de Pátzcuaro desde el año 2003.

3.3 Metodología

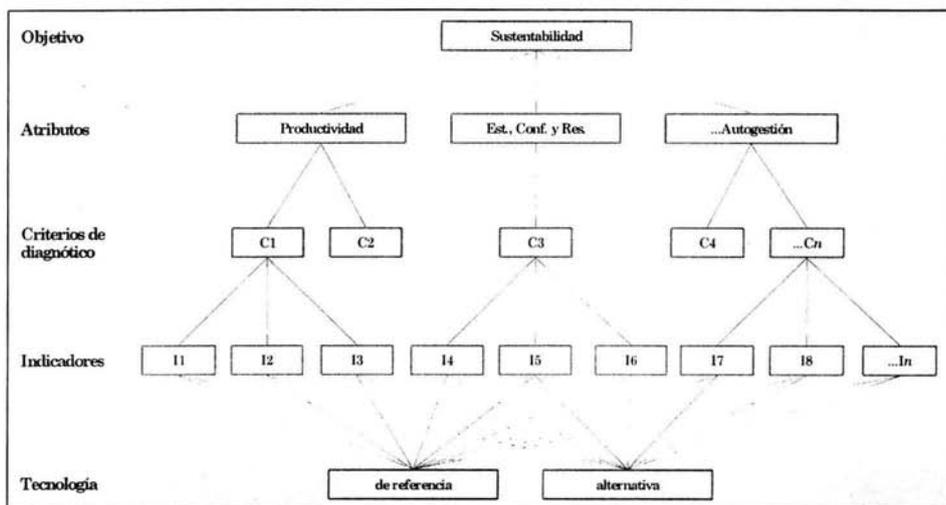
Para la evaluación de las estufas Patsari se derivaron criterios e indicadores de acuerdo a la metodología propuesta en el MESMIS (Masera et al., 1999). La identificación de los criterios e indicadores, así como su medición, consistió en una revisión bibliográfica, revisión e integración de bases de datos, trabajo de campo y consulta a expertos. La información obtenida se derivó de los diferentes estudios y encuestas realizadas en GIRA, A.C. y diferentes trabajos de investigación en el tema. En algunos casos la información se completó con información obtenida a través de consultas con el grupo de bioenergía de GIRA, A.C. Los métodos específicos para la obtención de datos por indicador y sus resultados se describen en la sección 3.7.

Para la evaluación se comparan las estufas Patsari (sistema alternativo) con las tecnologías tradicionales (sistema de referencia) que se utilizan en la cuenca del Lago de Pátzcuaro. Dado que el uso de gas es común en la región, la evaluación también incluye a las estufas de este combustible como alternativa para la cocción de alimentos.

Para la integración se exploraron los dos MMC mencionados con anterioridad. Para la aplicación de AHP se utilizó Expert Choice™ 2ª edición para windows. El análisis consiste en dos fases:

La estandarización de los indicadores. Para ello primero se estructuró el problema de evaluación de manera jerárquica, siguiendo la estructura del marco MESMIS, de manera que cada atributo es evaluado por diferentes criterios de diagnóstico y éstos a su vez por diferentes indicadores (Figura 3.1). Una vez estructurado el problema, los indicadores se integraron en una matriz recíproca, para la estandarización por medio de comparaciones pareadas. Dado que AHP no permite integrar valores difusos, los indicadores con rangos de valores se transformaron en datos precisos a través de promedios.

Figura 3.1. Estructura jerárquica del problema de evaluación de sustentabilidad de las estufas eficientes de leña



Se muestra el análisis por jerarquías para las estufas eficientes de leña. Los atributos se utilizan para evaluar un objetivo general, el de sustentabilidad, y estos a su vez, por diferentes criterios de diagnóstico (C1, C2, ..., Cn) evaluados por los indicadores (I1, I2, ..., In). Las tecnologías, de referencia y alternativas se evalúan desde el nivel desagregado más específico (los indicadores) hasta el nivel agregado más general (la sustentabilidad).

La segunda fase consistió en la *ponderación* de cada indicador, criterio de diagnóstico y atributos, de acuerdo a las perspectivas de los actores sociales definidos. Dado que no se cuenta con información directa, los pesos se derivaron con el método del valor esperado (Rietveld, 1989). De acuerdo con éste método, sólo es necesario obtener un orden cualitativo del conjunto de los diferentes elementos (atributos, criterios e indicadores), de manera que

$$W = \left\{ (g_1, \dots, g_j) \mid 0 \leq g_1 \leq g_2 \leq \dots \leq g_j; \sum_j g_j = 1 \right\},$$

después, el valor esperado es obtenido a partir del conjunto de pesos posibles. Asumiendo que las funciones de probabilidad son uniformes y a través de una serie de integraciones (ver Nijkamp *et al.*, 1990) se puede probar que el valor esperado para cada g_j se calcula de acuerdo con

$$E_w(g_1) = \frac{1}{J^2}$$

$$E_w(g_2) = \frac{1}{J^2} + \frac{1}{J(J-1)}$$

M

$$E_w(g_{J-1}) = \frac{1}{J^2} + \frac{1}{J(J-1)} + \dots + \frac{1}{2J}$$

$$E_w(g_J) = \frac{1}{J^2} + \frac{1}{J(J-1)} + \dots + \frac{1}{2J} + \frac{1}{J}$$

en donde J es el conjunto de elementos ordenados. El orden de preferencias se obtuvo para cuatro grupos de actores. Los usuarios, quienes son los beneficiarios directos de las tecnologías; el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA), que desde hace varios años trabaja en el mejoramiento de las estufas eficientes de leña, e instituciones gubernamentales y agencias internacionales que han expresado su interés, por diferentes razones, en el mejoramiento y difusión de estufas eficientes.

Finalmente se realizó un análisis de sensibilidad, que evalúa las alternativas tecnológicas, bajo diferentes escenarios de ponderación para los criterios. El objetivo de este análisis es identificar aquellas alternativas que sean estables, es decir, que su preferencia no cambie bajo las diferentes perspectivas involucradas en la evaluación de sustentabilidad.

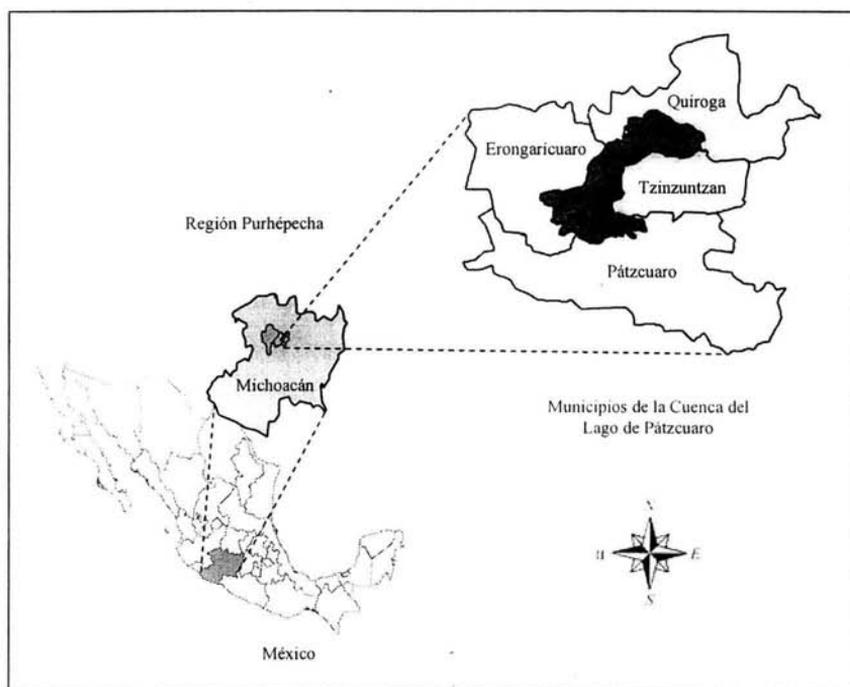
Para la aplicación de NAIADDE sólo se realizó la evaluación técnica multicriterio, basada en la integración de los indicadores de evaluación. Para ello se definieron umbrales de preferencia para cada indicador y, dado que para varios de los indicadores no se tienen datos precisos, se definieron variables difusas. Los métodos para la derivación de los umbrales y números difusos se describen en el anexo II. El resultado principal de este análisis es la jerarquización de tecnologías alternativas en función de una o más tecnologías de referencia. Para evaluar qué tan robusta resulta la ordenación, se realizó un análisis de sensibilidad bajo diferentes niveles de credibilidad y compensación (ver sección 2.7.2), de acuerdo con el enfoque utilizado en Jiménez (2003). Se utilizó un software de evaluación diseñado especialmente para este método y que lleva el mismo nombre (JRC, 1996):

3.4 Localización y descripción de la zona de estudio

La Cuenca del Lago de Pátzcuaro se localiza en la región centro del estado de Michoacán de Ocampo, forma parte de la Región Purépecha que abarca aproximadamente 6000 km² y delimita el área de influencia de éste grupo étnico. Está situada dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal entre los 19°27' y 19°44' de latitud norte y los 101°26' y 101°53' de longitud oeste. Es una cuenca pequeña, con una extensión que apenas alcanza las 100, 000 ha, de las cuales el 10% corresponde al espejo de agua del lago. La topografía es abrupta y compleja. La zona presenta seis unidades geomorfológicas principales que se sitúan en un gradiente altitudinal que va de los 2035 msnm sobre la superficie del lago, hasta 3300 msnm en los picos más altos. Las pendientes varían entre 3 y 7 grados en las zonas planas, hasta 25 o más en las zonas más escarpadas (Barrera, 1992). Los suelos son de origen volcánico, principalmente andosoles, con baja disponibilidad de fósforo y nitrógeno. La precipitación promedio es de 1000 mm/año, el 95% de la caída durante los meses de mayo a octubre. El tipo de vegetación predominante es el bosque de pino (*Pinus spp.*) y el bosque de encino (*Quercus sp.*) en diferentes asociaciones vegetales, que en total cubren el 60% de la superficie de la cuenca (Caballero *et al.*, 1992). Otros tipos de vegetación importantes en superficie son los matorrales de *Baccharis spp.*, diferentes tipos de matorral xerófilo y pastizales inducidos. En las partes más altas se encuentran pequeñas porciones de bosque de oyamel (*Abies spp.*).

La mayor parte de la cuenca se encuentra dentro de cuatro municipios: Pátzcuaro, Tzintzunzan, Quiroga y Erongarícuaro (Figura 3.2). Actualmente la población alcanza los 127, 340 habitantes, con una densidad poblacional de 127 hab./ km² (INEGI, 2000). El ritmo de crecimiento anual, entre 1990- 2000, fue de 1.075%. La zona está en un franco proceso de urbanización, con el 76% de la población total agregada en localidades de más de 2500 habitantes. La influencia mestiza es marcada y la lengua original se está perdiendo con rapidez; actualmente sólo 13% de la población total de la cuenca es hablante de lengua Purhépecha (INEGI, 2000).

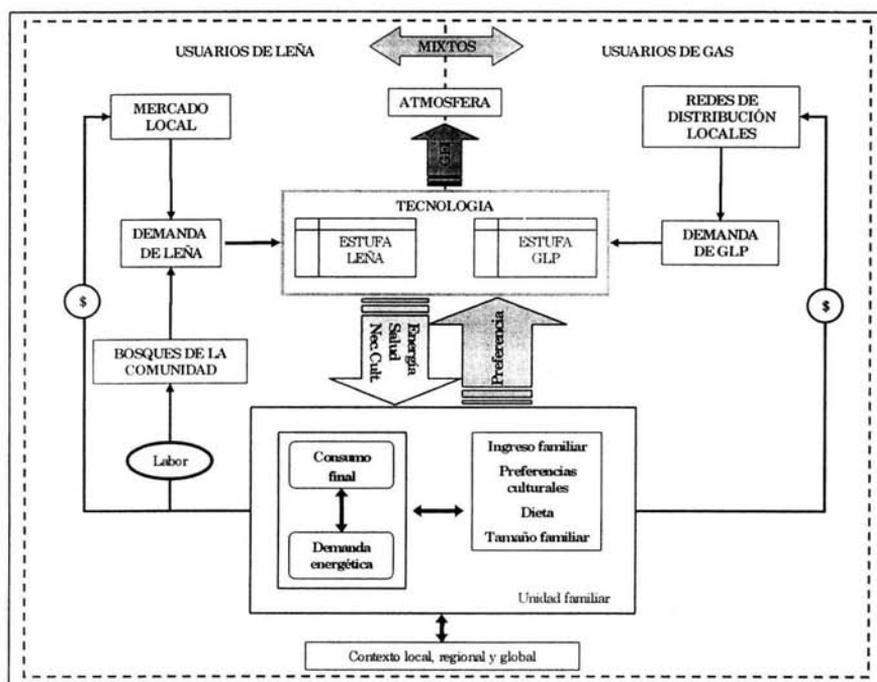
Figura 3.2. Localización del área de estudio



3.5 Caracterización del Sistema Tecnológico para la Cocción de Alimentos (STCA) en la cuenca del Lago de Pátzcuaro (Paso I)

Las tecnologías para la cocción de alimentos no pueden evaluarse de manera aislada, estas deben entenderse en un contexto más general, que permita comprender las relaciones que tienen con su entorno. En este trabajo se analizan dentro del contexto de lo que comprendería el sistema tecnológico para la cocción de alimentos, que integra la tecnología, la base de recursos combustibles, los efectos de las emisiones de contaminantes y las características socioeconómicas y culturales de la unidad familiar (Figura 3.3).

Figura 3.3. Sistema tecnológico para la cocción de alimentos



Se muestra, a grandes rasgos, el sistema tecnológico para la cocción de alimentos presente en la cuenca del lago de Pátzcuaro. La tecnología juega un papel central en el control de diferentes flujos. A nivel global tienen un efecto dado por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). A nivel regional y local determinan la demanda de leña y gas y a nivel familiar pueden o no cubrir las necesidades energéticas, culturales (Nec. Cult.) y económicas de la familia, así como representar un riesgo importante para su salud. La familia, a su vez, dependiendo de su contexto socioeconómico y cultural responde con una preferencia. En la región se presentan tres tipos de usuarios: los que utilizan de manera exclusiva la leña, los que usan de manera exclusiva el gas y los usuarios mixtos, que utilizan ambos tipos de tecnología.

El principal objetivo del sistema es la obtención de energía de uso final para la cocción de alimentos en los hogares. Los patrones de consumo energético están influenciados por factores como las características socioeconómicas de las familias, las preferencias culturales, la disponibilidad y acceso a los recursos, las características de la tecnología y factores medioambientales como el clima. En la región, los combustibles principales para la cocción son la leña y el gas licuado de petróleo (GLP). En las zonas rurales y semi-urbanas más del 90% de las familias utilizan leña para cocinar, 42% de estas utilizan de manera combinada la leña y el gas (usuarios mixtos) y menos del 10% cocinan exclusivamente con gas (Mäsera *et al.*, 1997a).

Características de la unidad familiar

El tamaño promedio de la unidad familiar es de cinco personas (INEGI, 2000). La estructura familiar es de patriarcado, aunque las decisiones sobre la tecnología de cocción se centran en la mujer, quién es la responsable de las actividades domésticas (Díaz y Masera, 2001). Las actividades principales son las primarias; agricultura, ganadería y pesca, en su mayoría de subsistencia, aunque varían por grupo social. Masera (1995) distingue cuatro categorías de acuerdo con el nivel socioeconómico: alto (I), que corresponde a familias con actividades comerciales, poseen vehículos, ganado y superficies de tierra mayores a 5 ha; medio (II), asalariados y profesionistas (*e.g.* maestros, ingenieros), poseen ganado y superficies de tierra entre 3- 5 ha; medio- bajo (III), artesanos y trabajadores especializados (carpinteros, plomeros, etc.), poseen entre 1 y 2 ha y algunos animales; y bajo (IV), subempleados y actividades de subsistencia, con superficies menores a la hectárea. Las remesas de los familiares migrantes en el extranjero también contribuyen de manera importante al ingreso familiar.

Las preferencias sobre el uso de leña son independientes del nivel socioeconómico de la familia, pues los grupos sociales con mayores ingresos siguen utilizando este combustible. Sin embargo, la mayoría de los usuarios mixtos y exclusivos de gas corresponden a grupos con niveles socioeconómicos medios y altos. Esto significa que, aunque exista la disponibilidad y el acceso al combustible, el gas no sustituye de manera completa a la leña, sino que, la tendencia es más bien la de adoptar estrategias de uso múltiple de combustible (Masera *et al.*, 2000). Incluso, bajo el uso mixto, el gas sólo es utilizado para tareas menores y la leña se utiliza para la cocción de los platillos más demandantes de energía (Díaz y Masera, 2001). La resistencia al cambio tecnológico está determinada en gran medida por aspectos culturales, tales como la dieta y las prácticas de cocinado. La demanda familiar de leña en la región se estima en 10.8 kg/día, lo que equivale a un consumo energético de 60 GJ/año (Masera *et al.* 1997), para cubrir una dieta que se compone principalmente de maíz, frijol y chile. Los platillos más demandantes de energía son los frijoles y las tortillas, sólo la cocción de éste último (incluyendo la cocción de nixtamal) representa de 40-50 % del consumo energético total (Masera, 1995).

Obtención de combustible

Las especies preferidas para cocinar, en orden de importancia, son: el encino (*Quercus sp*; 4 especies), el pino (*Pinus sp*; 5 especies) y en menor medida el madroño (*Arbutus xalapensis*) y otras especies de hojosas y arbustos. La forma de obtención de la leña se relaciona con la disponibilidad del recurso y en nivel socioeconómico de las familias; los grupos con niveles económicos más bajos tienden a la recolección, mientras que los de mayores ingresos tienden más a la compra. 53% de los usuarios obtienen el combustible por recolección directa del bosque (Masera *et al.*, 1997a). Las familias invierten en promedio 2.1 hrs diarias para esta labor; el trabajo lo realizan los hombres y en menor medida mujeres y niños (Masera *et al.*, 1997b). En comunidades que no poseen bosque o en las que escasea el recurso forestal, acceden a la leña a través de mercados locales más o menos desarrollados. 41% de las familias que usan leña la obtienen por este medio y solo el 6% recolectan y compran (Masera *et al.*, 1997). En promedio el precio de la leña alcanza \$1.00/kg, aunque puede variar entre comunidades.

Actualmente, la cuenca se encuentra en un franco proceso de deforestación. En poco menos de 30 años se perdió casi la mitad de su superficie forestal (Álvarez- Icaza y Garibay, 1992). Éste proceso está provocando la escasez de leña en la región; para 1993, 50% de usuarios de leña reportaban que presentaban problemas para conseguir leña (Masera y Navia, 1993). A nivel regional, la demanda de leña para uso doméstico se estima en más de 80, 000 m³ por año, y representa 24% de la demanda total agregada para todos los usos de madera y leña de la cuenca (Masera *et al.* 1998). La intensidad del uso y la creciente escasez del combustible están favoreciendo el desarrollo de los mercados. Es probable que en el futuro cada vez más familias tengan que acceder al combustible a través de los mercados de leña. Esta tendencia también intensifica los impactos sobre los recursos forestales, ya que la leña que se utiliza para vender está sujeta a ciertas características de calidad y uniformidad que exigen los compradores, lo que fomenta la obtención mediante el derribo directo de los árboles. En algunas comunidades de la región, más del 70% de la leña se obtiene de la corta de árboles vivos, principalmente encinos (Masera, 1995, 1997).

El gas LP no presenta problemas de disponibilidad y acceso en la región. Las redes de distribución están bien desarrolladas y existe un abasto periódico en prácticamente todas las comunidades. El precio por cilindro de 30 kg es de alrededor de \$210 o \$7 pesos por kilogramo, con variaciones entre comunidades. Éste precio lo hace inaccesible para ciertos sectores de la población y desalienta

su uso más generalizado. Los consumos se calculan en 0.27 kg/día/por persona (Masera et al., 1997a). Los usuarios que sólo usan gas deben comprar las tortillas, lo que implica un gasto adicional.

Emisiones de contaminantes

Los efectos a la salud por el uso de la leña son importantes en la región. Aunque no se ha realizado una evaluación detallada, Saatkamp *et al.* (2000) encontraron, en un estudio piloto, enfermedades respiratorias e intestinales asociadas a la contaminación de interiores, generada por el uso de leña. Los padecimientos encontrados no son exclusivos de los sectores pobres de la población, estos también se presentan en grupos con niveles socioeconómicos altos. Curiosamente, estos sectores tienden a modernizar las cocinas con ladrillo y concreto, lo que reduce la ventilación y, en consecuencia, se presentan concentraciones mayores de contaminantes. Las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero también son importantes, cada hogar de la cuenca que usa leña, emite casi dos toneladas de CO₂ equivalentes por año.

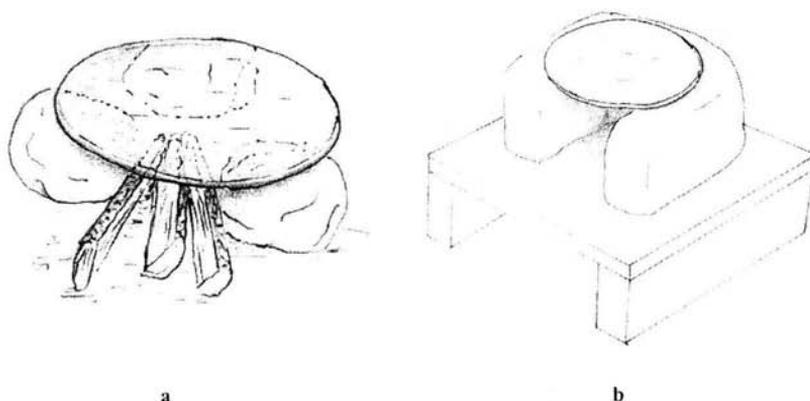
Tecnología empleada

Fogones tradicionales

La mayoría de los hogares que usan leña para cocinar utilizan los fogones tradicionales (FTS), que incluyen el fogón tradicional tipo U y los fogones tres piedras¹³. El fogón tipo U se construye de piedra o ladrillo dispuestos en forma de U o W (doble), con un repello de barro en sus paredes. En formas más elaboradas esta puede estar cubierta de cemento y construida sobre una base de concreto o madera (Figura 3.4b). El fogón de tres piedras consiste simplemente en la colocación de tres piedras o ladrillos formando un triángulo (Figura 3.4a), que sirve de base para el comal y los demás utensilios de cocina. Los FTS son alternativas muy baratas y de fácil construcción. Satisfacen necesidades muy específicas de la cocina tradicional y son utilizadas para calefacción, repelente de insectos, iluminación, entre otros. Sin embargo, su eficiencia estimada apenas alcanza el 17% (Dutt y Navia, 1989). Este tipo de tecnologías son responsables, en gran medida, en las consecuencias negativas del uso de leña doméstica.

¹³ En algunas comunidades también se utiliza un tipo de fogón, llamado chimenea. Sin embargo hay poca información sobre estas, por lo que no se incluyeron en el análisis.

Figura 3.4. Fogones tradicionales



a. Fogón de tres piedras. b. Fogón tradicional tipo U.

Las familias que pueden acceder a las estufas de gas optan por la estrategia de uso combinado, esto les permite obtener los diferentes beneficios de ambas tecnologías. El consumo de leña bajo el uso combinado se estima en 9 kg por familia y se alcanzan ahorros máximos del 15% sobre los usuarios exclusivos. El consumo de gas es bajo, pues los platillos más demandantes de energía se cocinan con leña. Masera *et al.* (1997) estimaron el consumo de gas, en usuarios mixtos, en 0.11 kg diarios por persona. Por lo general hay una cocina para los FTS, relegada y colocada en lugares poco visibles, y una para la estufa de gas, generalmente cerca de la vivienda y vistosa, que se relaciona con una noción de estatus social.

Estufa de gas LP

El tipo de estufa de gas más utilizado es de cuatro quemadores con mueble y horno (Masera *et al.*, 1997a). Generalmente, éste último no es usado para cocinar. Esta tecnología es completamente importada y el gasto que representa obtener la estufa, los contenedores y el combustible es considerable, por lo que generalmente las deja fuera del alcance de los sectores con menores ingresos. Para la obtención del equipo completo se requieren inversiones de más de \$2000 pesos, aunque en muchas ocasiones las estufas de gas son financiadas por familiares migrantes que radican en el extranjero. El gas es preferido por la facilidad para usar esta tecnología y debido a que es más rápido cocinar ciertos alimentos. La limpieza de éste combustible es otro factor que les interesa a

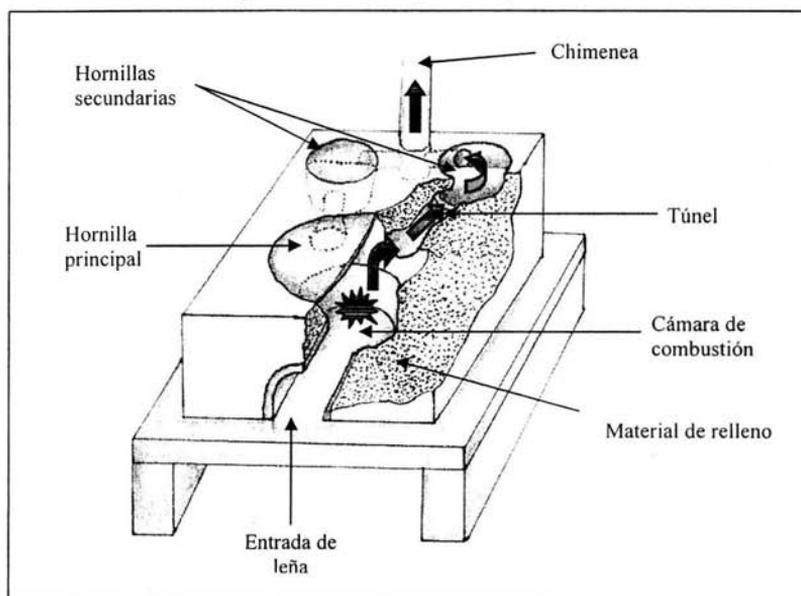
los usuarios y que aprovechan para adornar los espacios de la cocina. En general el gas es utilizado para la cocción de alimentos como sopas, carnes y guisados. El uso exclusivo de gas está relacionado con las actividades económicas y el nivel educativo de los usuarios. Comúnmente, las personas que se dedican a actividades profesionales son quienes hacen el cambio completo a gas. Son quienes están más dispuestos y tienen mayor posibilidad de pagar un poco más a cambio de un ahorro en tiempo.

Estufas de leña mejoradas

En algunas comunidades se utilizan las estufas Lorena (por lodo y arena), un modelo de estufa mejorada que se ha promovido en la región desde hace aproximadamente veinte años, por diferentes organizaciones no gubernamentales. Actualmente se está introduciendo un nuevo modelo, las Patsari (GIRA, 2003), basado en los principios de la estufa Lorena. En éste tipo de estufas, la combustión de la leña se realiza en una cámara cerrada, que permite concentrar el calor y distribuirlo de manera más eficiente hacia los alimentos. También tienen una chimenea para la eliminación del humo del interior de la cocina. El modelo más común consta de un comal grande y dos comales pequeños traseros, que aprovechan el flujo de calor hacia la chimenea (Figura 3.5). En el modelo Patsari se han integrado varias mejoras con respecto a la Lorena, que incluyen la reducción de la cámara de combustión, el aumento del flujo de calor hacia los comales pequeños, la eliminación del humo, aumento en la durabilidad de la estufa y la estandarización de las medidas críticas mediante un proceso de construcción a partir de un molde. Entre los beneficios que se pueden obtener de las estufas mejoradas están (Díaz y Masera, 2001):

1. Ahorros de leña significativos que van del 30- 60% y que se traducen en la disminución de las labores de recolección, inversión en combustibles e impactos ambientales
2. Mejoras en la salud y el aspecto de la vivienda
3. Apropiación de la tecnología y promoción de procesos autogestivos mediante el aprovechamiento de materiales locales.

Figura 3.5. Estufa mejorada tipo Patsari



El uso combinado con estufas Patsari les ofrece a los usuarios una alternativa más diversa para la satisfacción de sus necesidades de cocción. Debido a que la estufa Patsari tiene varias hornillas, se pueden cocinar diferentes platillos a la vez, incluso alimentos que se preferían cocinar en estufa de gas LP. Algunas de las usuarias que han adoptado las estufas mejoradas declaran que usan menos gas. Los usuarios que optan por esta estrategia son los usuarios que ya poseen la estufa de gas.

El objeto de la evaluación

El análisis se centra en el componente tecnológico del STCA. Se evalúa la estrategia de uso de leña con estufas mejoradas tipo Patsari y su combinación con gas a través de la comparación con tres estrategias de referencia que actualmente se presentan en la región: el uso exclusivo de leña con FTS, el uso combinado de leña y gas con FTS y el uso exclusivo de gas LP. A continuación se derivan los criterios de diagnóstico e indicadores de evaluación para las tecnologías.

3.6 Derivación de puntos críticos e indicadores de evaluación (Paso II y III).

La **productividad** de las tecnologías para la cocción de alimentos puede definirse en términos de su *eficiencia* para proveer la energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de las familias. Un punto crítico en el sistema es la baja eficiencia de las tecnologías tradicionales. La eficiencia total depende tanto de las características técnicas de los dispositivos como de las prácticas de cocinado de los usuarios. La eficiencia total de un dispositivo se puede estimar a través de dos variables: *el consumo específico de combustible* y *el consumo per capita de combustible* (Dutt y Navia, 1989), que indican, respectivamente, el porcentaje de la energía final aprovechada para la cocción de un platillo y la cantidad necesaria de combustible para satisfacer las necesidades alimentarias diarias de una persona.

La eficiencia se evaluó también en términos económicos. Para ello se evaluó la *rentabilidad* de las alternativas de cocción. Tradicionalmente la rentabilidad se estima a partir de un análisis de beneficio- costo, sin embargo, debido a la dificultad de estimar los beneficios totales de una tecnología en términos monetarios, se decidió utilizar como indicador solo los *Costos Totales Relativos* de los dispositivos en relación a los FTS.

Para el atributo de **estabilidad** se identificaron como puntos críticos principales los *impactos ambientales* y *el alto riesgo ocupacional* que representa el uso de las tecnologías tradicionales. Los impactos ambientales por el uso de FTS vienen dados principalmente por la demanda de leña y las emisiones de gases de efecto invernadero. Para evaluar éste punto crítico se seleccionaron como indicadores la *contribución marginal en los procesos de deforestación* y las *emisiones anuales de CO₂ equivalentes* para cada dispositivo. Sin embargo, dado que hasta ahora no hay estudios para evaluar el primer indicador, no se incluyó en el análisis.

La contaminación de interiores en los hogares es el principal factor de riesgo para las familias que utilizan FTS. De particular importancia, por sus efectos en la salud, son las llamadas partículas respirables suspendidas (PRS). La importancia relativa de éste tipo de partículas, para la salud, es de 7400 veces más que el CO₂ (Smith, 1991). Debido a esto, para la evaluación de éste punto crítico se seleccionó como indicador la *exposición a partículas respirables suspendidas*. Otro factor con efectos importantes para la salud es el *riesgo de accidentes* como quemaduras y explosiones por

fugas de gas. Estos no fueron evaluados debido a la falta de estudios, sin embargo son aspectos importantes a considerar para futuras evaluaciones.

En éste trabajo se interpretó la **adaptabilidad** como la capacidad de la tecnología para adaptarse a las condiciones socio- culturales de la región. Las preferencias de una alternativa tecnológica dependen de aspectos culturales como la dieta y las prácticas de cocinado y determinan sus requerimientos técnicos, como el poder de cocción, la temperatura alcanzada y la versatilidad del dispositivo. Para este atributo se identificó como punto crítico *la baja sustitución de tecnologías tradicionales*. En efecto, los FTS cumplen requerimientos técnicos y culturales muy específicos de la región, como la cocción de tortillas y nixtamal, el sabor de la comida, cocción de altos volúmenes de alimentos, el calor de hogar, y otros usos como la iluminación y como repelente de insectos (de hecho se quema estiércol para este fin). Las tecnologías modernas no son del todo adecuadas para cumplir con estos requerimientos. Sin embargo, los usuarios también declaran que les importan *aspectos prácticos de las estufas de gas*, como la rapidez y la facilidad de encendido, razón por la que son preferidas para cocinar platillos como sopas, agua para té o café y guisados; principalmente para los alimentos del desayuno y la cena (Masera, 1990; Masera, 1995; Masera *et al.*, 1997b). Por otro lado, los espacios de la cocina que tiene la estufa de gas son adornados con los diferentes utensilios para cocinar y, generalmente, son aprovechados como comedor. El *tiempo que invierten en labores de mantenimiento* de los dispositivos, es otro factor importante en las preferencias.

Los factores mencionados se han observado en la difusión de estufas eficientes de leña, la adopción de éstas depende de un periodo crítico de aprendizaje, en el que las usuarias aprenden a encender la estufa, medir los tiempos de cocción, utilizar los espacios de la estufa y a mantener su buen funcionamiento. Las usuarias que no logran atravesar este periodo por lo general abandonan la tecnología (comunicación personal de técnicos de GIRA). Es por ello que, un diseño de estufas eficientes debe considerar factores como la *facilidad de operación y mantenimiento*, que incluye la velocidad y facilidad de encendido de la estufa y la facilidad para darle mantenimiento. Debe incluir también aspectos como la facilidad para aprender a operar el dispositivo; la *satisfacción de las necesidades de cocinado* que permite cumplir, esta depende de aspectos como el poder y velocidad de cocción y la versatilidad de los espacios de la estufa; y finalmente en términos de la *limpieza de la cocina*, que permite la apropiación de un espacio del hogar y una noción de estatus social mayor. Estos factores se integran como indicadores cualitativos.

Un problema para la **equidad** del sistema es el acceso a tecnologías eficientes y limpias. Las estufas de gas requieren de inversiones en infraestructura hasta 100 veces mayores sobre las tecnologías tradicionales. La inversión necesaria en combustible también desalienta a los usuarios para el uso de gas LP. El acceso a una tecnología depende de dos factores seleccionados como indicadores: el *costo inicial* requerido para la obtención de la infraestructura necesaria para utilizar una alternativa tecnológica y su *costo de operación*, que incluye la obtención del combustible y los costos por mantenimiento.

Finalmente, para el atributo de **autogestión** se identificó como punto crítico la alta autosuficiencia tecnológica. Las comunidades locales son completamente independientes de insumos externos con las tecnologías tradicionales. Para acceder a estufas más eficientes se requieren importar tanto la tecnología como el combustible, en el caso de las estufas de gas. La dependencia tecnológica hace más vulnerables a las familias a cambios externos, como el incremento en el precio del combustible. Para éste atributo se seleccionó como indicador la *dependencia de insumos externos* para la obtención de un dispositivo.

La Tabla 3.1 muestra un resumen de los indicadores de evaluación por atributo y criterio de diagnóstico. Cada indicador corresponde a un área de evaluación: social (incluye aspectos culturales), ambiental, económica y, por tratarse de tecnologías, también se incluye el área técnica. Los indicadores se enumeran para facilitar futuras referencias.

Tabla 3.1. Atributos, criterios de diagnóstico e indicadores de evaluación

Atributo	Puntos críticos	Criterio de diagnóstico	Indicador		Área de evaluación
Productividad	Baja eficiencia de las tecnologías tradicionales	Eficiencia	Consumo específico de combustible	1	Técnica
			Consumo per cápita de combustible	2	Técnica
	Baja rentabilidad de las tecnologías eficientes (GLP)	Rentabilidad	Costos totales relativos	3	Económica
Estabilidad	Alto riesgo ocupacional con el uso de las tecnologías tradicionales y riesgos de accidentes variables con las diferentes alternativas	Riesgo ocupacional	Exposición a partículas respirables suspendidas (PRS)	4	Social
			Riesgo de accidentes*	5	Social
	Altos impactos ambientales por el uso de las tecnologías tradicionales de baja eficiencia	Vulnerabilidad ambiental	Emisiones de CO ₂ equivalentes	6	Ambiental
			Contribución marginal a la deforestación*	7	Ambiental
Adaptabilidad	Reticencia a sustituir las tecnologías tradicionales	Preferencias para la adopción	Satisfacción de necesidades culturales de cocinado	8	Social
			Limpieza del entorno	9	Social
			Facilidad de operación y mantenimiento	10	Social
Equidad	Acceso restringido de las tecnologías eficientes a sectores pobres de la población	Acceso	Costo inicial	11	Económica
			Costo de operación	12	Económica
Autogestión	Alta autosuficiencia tecnológica con los fogones tradicionales	Autosuficiencia tecnológica	Dependencia de insumos externos (combustible, tecnología).	13	Social

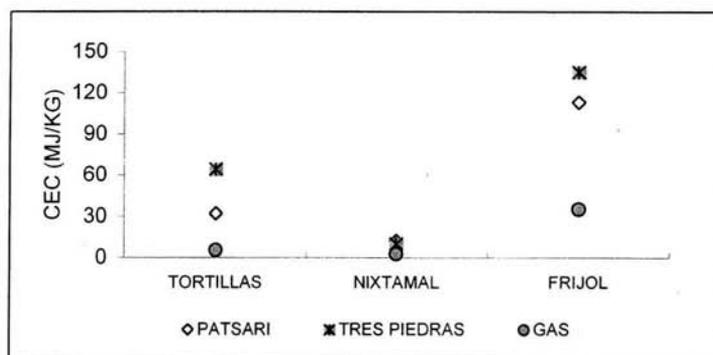
* No se incluyeron en la evaluación por falta de información.

3.7 Medición de indicadores (Paso IV)

1 Consumo específico de combustible

El consumo específico de combustible (CEC) indica la cantidad total de combustible necesaria para cocinar una cantidad específica de un platillo típico y se expresa en unidades energéticas por kilogramo de insumos. (Dutt y Navia, 1987). Los datos utilizados para éste indicador se basan en estimaciones realizadas durante 1992 y 2003 por GIRA A-C (2003, *datos no publicados*). El CEC fue estimado para la cocción de tres platillos de alta demanda energética: nixtamal, frijoles y tortillas¹⁴, y para tres tecnologías: FTS, estufa Patsari y estufa de gas LP (Figura 3.6). Tomando en consideración sólo éste indicador, las estufas de gas representan la alternativa más eficiente para la cocción de alimentos, con ahorros de energía de 12 a 9 veces sobre los FTS y de 4 a 6 veces sobre la estufa mejorada, sólo para la cocción de tortillas. El platillo más demandante de energía son lo frijoles, siendo los FTS en los que mayor consumo se presenta. Para evaluar el consumo energético de cada alternativa simplemente se sumó el CEC calculado para cada platillo. En el caso de las alternativas combinadas se partió del supuesto de que los frijoles se prefieren cocinar en estufa de gas y las tortillas y el nixtamal con leña, de manera que el CEC total es el resultado de la suma del CEC para cocinar frijoles en estufa de gas más el CEC para cocinar nixtamal y tortillas en estufa de leña. En la Tabla 3.2 se muestra los datos de consumo energético total para cada dispositivo.

Figura 3.6. Consumo específico de combustible por tipo de alimento y dispositivo



Fuente:GIRA, 2003.

¹⁴ Estos tres platillos conforman la dieta principal de las familias en la región.

Tabla 3.2. Consumo energético para las tecnologías de cocción

DISPOSITIVO	CONSUMO ENERGETICO TOTAL (MJ/KG INSUMO)
FTS	210
PATSARI	157
FTS + GAS	110
PATRSARI + GAS	80
GAS	44

Fuente:GIRA, 2003.

2 Consumo per capita de combustible

Este indicador se refiere a la cantidad de combustible consumido por persona en un hogar en un día promedio. Los datos para éste indicador se basan en un estudio regional realizado por Masera *et al.* (1997b), en el que se reporta el CPC para FTS, estufas Lorena, estufas de gas y uso combinado de leña y gas. Para poder comparar los diferentes dispositivos en unidades comunes de combustible, los datos se convirtieron a unidades energéticas (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Consumo de combustible para las tecnologías de cocción

DISPOSITIVO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE kg/día/per capita	CONSUMO DE COMBUSTIBLE MJ/día/per capita
FTS	2.1-2.7	33.8 - 43
FTS + GAS	1.9 (leña) + 0.11 (gas)	34.3
PATSARI*	1.4	22.5
PATSARI + GAS*	1.2 (leña) + 0.11 (gas)	24.8
GAS	0.27	13.8

Nota: Los datos se estimaron considerando un contenido energético de 16 y 51 MJ/kg para la leña y gas respectivamente.

*Datos que corresponden a estimaciones de consumos con estufa Lorena.

3 Costos Totales Relativos

En esta sección se integra un análisis económico de los dispositivos, modificado de Masera (1990). Este análisis evalúa la rentabilidad de las TCA en dos escenarios probables: 1) compra de leña y 2) recolecta de leña. Los costos son estimados en una base anual y, consideran para cada dispositivo, la inversión en combustible, el costo anualizado del equipo y el mantenimiento. Para el escenario de

recolección se asignó un costo de oportunidad al tiempo invertido en dicha labor. Los costos relativos son expresados tomando como base los FTS.

Como se observa en la Tabla 3.4, los resultados para éste indicador presentan mucha variación dependiendo del escenario que se maneje. Considerando un escenario en el que la leña es comprada, la estufa de gas es casi el doble de costosa que los FTS. Sin embargo, si se considera un escenario de recolección con un costo de oportunidad asignado a la labor familiar, los FTS son alternativas igual de costosas que las estufas de gas. Las estufas mejoradas tipo Patsari presentan ahorros muy parecidos (26%- 30%) en ambos escenarios.

Tabla 3.4. Análisis de costos para las tecnologías de cocción

	FTS	FTS + GAS	GAS	PATSARI + GAS	PATSARI
COMBUSTIBLE					
Precio (\$/kg)	\$1.00	n.a.	\$7.00	n.a.	\$1.00
Consumo (kg/día/per capita)	2.10	1.9	0.27	1.19	1.40
		0.11		0.11	
<i>Costo</i>					
Mensual	\$283.50	\$344.93	\$255.15	\$264.60	\$189.00
Anual	\$3,402.00	\$4,139.10	\$3,061.80	\$3,175.20	\$2,268.00
EQUIPO					
<i>Estufa</i>					
<i>Inversión</i>					
Comprada	\$56.00	\$1,924.00	\$1,868.00	\$2,218.00	\$350.00
Autoconstrucción (AC)	\$26.00	\$1,536.17	n.a.	\$2,165.58	\$200.00
Vida útil (años)	3	10	10	10	5
Anualizada	\$24.53	\$383.36	\$372.20	\$441.94	\$104.41
Anualizada (AC)	\$11.39	\$372.20	n.a.	\$431.87	\$59.66
<i>Tanques de gas</i>					
<i>Inversión</i>					
		\$430.00	\$430.00	\$430.00	
Vida útil (años)		5	5	5	
Anualizada		\$128.28	\$128.28	\$128.28	
<i>Mantenimiento</i>					
<i>Costo</i>					
	\$40.00	\$380.00	\$380.00	\$530.00	\$150.00
Vida útil (años)	1	1-10	10	1-10	1
Anualizado	\$46.00	\$75.72	\$75.72	\$248.22	\$172.50
Compra de tortillas			\$2,463.75		
<i>Costo total del equipo</i>					
AC	\$57.39	\$576.19	n.a.	\$808.36	\$232.16
Comprado	\$70.53	\$587.35	\$3,039.94	\$818.43	\$276.91

3. Evaluación de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos

Tabla 3.4. (continuación)

	FTS	FTS + GAS	GAS	PATSARI + GAS	PATSARI
RECOLECCION					
Labor (hr/fam/día)	1.71	1.45	0.00	0.97	1.14
Costo de oportunidad (\$/año)	\$6,654.38	\$5,656.22	\$0.00	\$3,770.81	\$4,436.25
COSTOS TOTALES					
<i>Costos equivalentes</i>					
Compra de combustible	\$3,426.53	\$4,726.45	\$6,101.74	\$4,560.63	\$2,544.91
Costo op. recolección	\$6,678.90	\$7,666.98	\$6,277.75	\$6,027.15	\$4,690.66
<i>Costos relativos</i>					
Compra	1.00	1.38	1.83	1.17	0.74
Recolecta	1.00	1.15	0.94	0.82	0.70

Nota: Todos los cálculos se basan en los precios regionales hasta diciembre de 2003 y a una tasa de interés fija del 15% anual. El costo de oportunidad fue calculado utilizando como referencia el precio regional de \$100 pesos por jornal. Los cálculos para el dispositivo de gas incluye un costo anual por compra de tortilla. Los consumos de combustible se basan en Masera *et al.* (1997b).

El análisis económico presenta algunos problemas. Por ejemplo, la asignación de un costo de oportunidad a la labor familiar resulta un poco artificial, pues implica que las familias tienen la opción de dedicarse a otras actividades económicas. Por otro lado, es más común que la recolección sea una labor de mujeres y niños, quienes no tienen acceso al mercado laboral de la región y por lo tanto el costo de oportunidad es menor o no existe. Si el costo de oportunidad no es considerado en el balance final las estufas de gas representan más de 200 veces el costo de los FTS. Para un análisis y discusión más detallada sobre el tema ver Masera (1990).

4 Exposición a partículas respirables suspendidas (PRS)

Saatkamt *et al.*, (2000) examinaron la interacción entre el uso de diferentes alternativas tecnológicas y los efectos a la salud en la región. En éste estudio los autores encontraron diferencias significativas entre la exposición a contaminantes (PRS y CO) y la morbilidad de las personas expuestas. Enfermedades como neumonía, bronquitis, dolor de garganta, asma severa y otros problemas respiratorios se asociaron con concentraciones promedio de PRS de 655 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que con concentraciones de 644 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se registraron infecciones en los ojos.

Los datos para éste indicador se basan en éste estudio piloto, se reportan datos de exposición para los FTS, estufa Lorena y estufa de gas. Debido a que actualmente no hay datos disponibles para la

estufa Patsari se utilizaron los datos reportados para la estufa Lorena. Sin embargo se espera que con la estufa mejorada se reduzcan aún más las emisiones de contaminantes.

Para las alternativas combinadas se asume que la exposición a PRS se encuentre entre la exposición bajo el uso de gas y la exposición bajo el uso de leña. Sin embargo, es probable que éste supuesto sobreestime la exposición de las alternativas combinadas, debido a que, bajo esta estrategia hay una participación en el uso de las estufas, es decir, se reduce la frecuencia de uso de los FTS porque algunos platillos se cocinan con la estufa de gas. Los datos utilizados para evaluar a las diferentes alternativas se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Concentración de PRS para las tecnologías de cocción

Alternativa	Concentración PRS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
FTS	600-970
FTS+GAS	45-970
PATSARI	300
PATSARI+GAS	45-300
GAS	45

Fuente: Saatkamp et al. 2000.

6 Emisiones de CO_2 equivalentes

Desde una perspectiva global, el impacto ambiental por el uso de diferentes combustibles y dispositivos para la cocción de alimentos está dado por las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI). Durante la combustión de biomasa, se liberan diferentes compuestos a la atmósfera, principalmente CO_2 y, en menor medida, metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos no metanogénicos (TNMOC por sus siglas en inglés). Las emisiones netas de carbono para un dispositivo de leña se obtiene con la suma de las emisiones para cada GEI y está dada por la fórmula (Naburus et al., 2002)

$$E = FI \sum FE_j PCG_j,$$

en donde FI es la cantidad de combustible utilizado por un dispositivo por año, FE es el factor de emisión del GEI j para el dispositivo y PCG es el potencial de calentamiento global para el GEI j.

3. Evaluación de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos

La combustión de biomasa se puede considerar neutra en términos de emisiones de CO₂ si se supone que el carbono de la leña extraída está siendo reintegrado durante la regeneración forestal, siempre y cuando la tasa de extracción sea menor o igual a la tasa de crecimiento. En el caso de los combustibles fósiles el carbono que contienen ha sido almacenado durante millones de años, por lo que su liberación se considera un incremento neto en el contenido de CO₂ atmosférico.

Bajo éste supuesto las emisiones de CO₂ fueron calculadas para cada dispositivo mediante las fórmulas mencionadas (Tabla 3.6). Los FTS se consideraron como la tecnología actual a sustituir. Los datos del PCG para cada GEI se basaron en los valores calculados por el IPCC para un horizonte de tiempo de 100 años (IPCC, 2001). Los factores de emisión para cada gas y tipo de dispositivo se basan en los valores definidos para el modelo CO2FIX (Nabuurs et al., 2002).

Tabla 3.6 Emisiones totales anuales de CO₂ equivalentes por alternativa de cocción

Alternativa	Valores (ton CO ₂ eq.*año ⁻¹)
FTS	1.67
FTS + GAS	1.98
PATSARI	0.96
PATSARI + GAS	1.38
GAS	1.38

Nota: Los cálculos están hechos considerando un consumo de leña de 3.5 ton/año para los dispositivos tradicionales. Los valores de PCG se basan en los cálculos del IPCC para un horizonte de tiempo de 100 años (IPCC, 2001): CO₂ = 1, CH₄ = 23, N₂O = 270, CO = 2, TNMOC = 12.

8 Satisfacción de las necesidades de cocinado

Para la evaluación de éste indicador se utilizó la información disponible en Masera *et al.* (1997b) y Valencia (2004) sobre preferencias culturales. La capacidad de una estufa para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos se evaluó de manera cualitativa, pero la asignación del valor lingüístico se basó en un índice ponderado. Este índice consideró cinco usos, que abarcan la dieta básica de las familias de la región: tortillas, nixtamal, frijoles, alimentos fritos, carnes y sopas. Para cada dispositivo y tipo de alimento se asignó un valor de uso, basado en el porcentaje de usuarios que declaran preferir un dispositivo para la cocción de un platillo determinado (Tabla 3.7). En el caso de las alternativas combinadas se supone que se obtienen los beneficios de ambos dispositivos

(leña y gas), de modo que se les asignaron los porcentajes máximos obtenidos por uso final por tipo de estufa.

Tabla 3.7. Porcentaje de usuarios que prefieren cocinar diferentes tipos de alimentos por alternativa de cocción

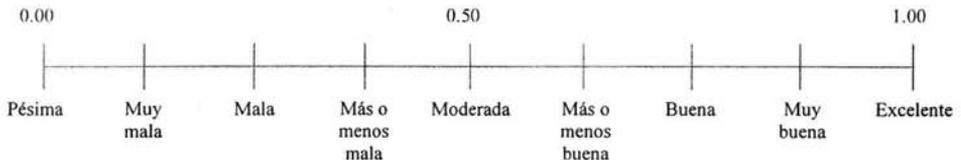
USOS	Porcentaje de usuarios que declaran preferir cocinar con:					
	PATSARI*	FTS**	GAS**	FTS+GAS	PATSARI + GAS	MAX
TORTILLA	92	89	2	89	92	92
NIXTAMAL	8	74	2	74	2	74
FRIJOLES	68	29	66	66	68	68
FREIR	68	1	68	68	68	68
CARNES	68	9	83	83	83	83
SOPAS	68	1	92	92	92	92

Fuente: *Valencia, 2004; **Maser *et al.*, 1997b. Los porcentajes no suman 100 debido a que los cuestionarios son de opción múltiple y se puede responder más de una opción.

Los datos para cada platillo se normalizaron con el valor $\max A_{ij}$, en donde A_{ij} es el porcentaje de usuarios que dicen preferir la alternativa i para cocinar el platillo j . La satisfacción de las necesidades de cocinado por alternativa i ($SNCi$) se definió mediante

$$SNCi = \sum_{j=1}^n \frac{A_{ij}}{\max A_{ij}} w_j,$$

en donde $\frac{A_{ij}}{\max A_{ij}}$ es porcentaje de uso, normalizado, de una alternativa i para cocinar el platillo j y w_j es un valor de importancia para el platillo j en la dieta regional. El índice ponderado se utilizó como referencia para asignar valores cualitativos para cada dispositivo de acuerdo con la siguiente escala.



La intención de asignar valores cualitativos es tener una evaluación menos rígida. Los valores cualitativos de la escala utilizada se basan en intervalos de valores, de manera que se considera que existe cierto nivel de incertidumbre en el juicio de los dispositivos. Los datos normalizados, valores agregados y equivalentes cualitativos por alternativa de cocción se muestran en la Tabla 3.8.

3. Evaluación de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos

Tabla 3.8. Valores totales de uso por alternativa de cocción

ALIMENTO	Valor de importancia	PATSARI	FTS	GAS	FTS + GAS	PATSARI + GAS
TORTILLA	0.43	0.43	0.41	0.00	0.41	0.43
NIXTAMAL	0.14	0.02	0.14	0.00	0.14	0.02
FRIJOLES	0.21	0.21	0.09	0.21	0.21	0.21
FREIR	0.07	0.07	0.00	0.07	0.07	0.07
CARNES	0.07	0.06	0.01	0.07	0.07	0.07
SOPAS	0.07	0.05	0.00	0.07	0.07	0.07
SNCi	Suma ponderada	0.84	0.66	0.42	0.98	0.87
	Evaluación cualitativa	BUENA	MAS O MENOS BUENA	MAS O MENOS MALA	MUY BUENA	BUENA

Los pesos para los diferentes platillos se asignaron considerando su importancia en la dieta regional. Sólo se obtuvo el orden de importancia cualitativo y los valores numéricos se obtuvieron con el método del valor esperado (ver sección 3.3).

9 Limpieza del entorno

Para éste indicador se cuenta con menos información que en el caso anterior. Su evaluación también es cualitativa, sin embargo para la obtención de los valores lingüísticos hay poca información de referencia. Los fogones tradicionales y las estufas de gas se fijaron, respectivamente como la peor y la mejor opción y corresponden a los extremos de la escala utilizada en el apartado anterior, el resto de los dispositivos se evaluaron en el intervalo entre estos dos extremos. La Tabla 3.9 muestra la evaluación para cada dispositivo, se anexa una breve justificación para cada alternativa, basada en observaciones en campo y declaraciones de los técnicos del grupo de bioenergía de GIRA.

Tabla 3.9. Valores cualitativos para el indicador Limpieza del entorno

ALTERNATIVA	VALOR	JUSTIFICACIÓN
FTS	MUY MALA	Esta es la peor opción en éste indicador. Es equivalente a tener fuego abierto dentro de la cocina. El humo de la combustión de biomasa ensucia tanto el interior de los hogares como los utensilios de cocina.

Tabla 3.9. (continuación)

FTS + GAS	MALA	Es difícil medir un punto medio entre estos dos dispositivos. Por lo general las familias que usan leña y gas tienen dos cocinas, una para cada tipo de estufa. La estufa de gas permite generar en el hogar en general un entorno más limpio. Aún así, la cocina con el FTS, aunque con un alto valor cultural, es relegada a espacios sin importancia dentro del hogar. De hecho es muy común que estas cocinas se coloquen en lugares poco visibles y son espacios que sólo usan las mujeres cuando cocinan.
PATSARI	MUY BUENA	Las estufas mejoradas reducen considerablemente el humo en el interior del hogar. La cocción de los alimentos no se realiza directamente sobre el fuego, por lo que los utensilios para cocinar no se ensucian. El hecho de poder tener un ambiente más limpio en la cocina permite que esta pueda ocupar un lugar más importante dentro de los espacios del hogar. Una tradición en la región es adornar las paredes de la cocina con ollas, platos y tazas. Las usuarias que han adoptado una estufa mejorada pueden adornar de esta manera su cocina.
PATSARI + GAS	MUY BUENA	Igual que en el caso anterior. El uso de estufas mejoradas permite incluso que estas puedan compartir el mismo espacio que la estufa de gas.
GAS	MUY BUENA	Con la estufa de gas se elimina prácticamente todo el humo del interior de la cocina.

10 *Facilidad de operación y mantenimiento*

Con éste indicador se pretende dar una estimación de la facilidad para operar un dispositivo dado. La dificultad o facilidad de encender una estufa y la frecuencia con la que se requiere darle mantenimiento (e.g. limpieza del fogón y estufa) son los atributos más importantes, considerando su operación. Una estimación cuantitativa del indicador es difícil y, como en el caso anterior, se cuenta con poca información. Los valores cualitativos y una breve justificación para cada TCA se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Valores cualitativos para el indicador facilidad de operación y mantenimiento

ALTERNATIVA	VALOR	JUSTIFICACION
FTS	MODERADA	Los usuarios no tienen dificultades para encender los FTS, sin embargo es un proceso más tardado comparado con la estufa de gas. No requiere mucho mantenimiento.
FTS + GAS	MÁS O MENOS BUENA	Se puede considerar mejor que el uso exclusivo de FTS, ya que para ciertos alimentos permite contar con una opción rápida para cocinar.
PATSARI	MÁS O MENOS MALA	Uno de los problemas que han expresado la mayoría de los usuarios de las estufas mejoradas es la dificultad que tienen para encenderlas. Además, requiere mantenimiento periódico de los túneles y chimenea para asegurar su buen funcionamiento. En algunos casos esto ha sido motivo para no adoptarlas. Sin embargo hay que notar que, por lo general, el encendido es un problema cuando empiezan a usar las estufas. Después de un periodo de aprendizaje la operación de las estufas mejoradas es más fácil.
PATSARI + GAS	MODERADA	Al igual que con el uso combinado con FTS, el uso combinado con estufas mejoradas provee las ventajas y desventajas de cada dispositivo.
GAS	EXCELENTE	Es indiscutible que éste tipo de dispositivos son los mejores en cuanto al encendido y mantenimiento. Esta facilidad es la razón principal para su adopción.

11 Costo inicial

Este indicador se refiere a la inversión necesaria para la adquisición de una alternativa de cocción. Los costos estimados para las alternativas que incluyen el uso de gas consideran los precios comerciales de la estufa, el cilindro de gas, regulador y otros materiales como mangueras, conectores, etc. Dependiendo de la marca, el modelo y el proveedor, los costos pueden variar hasta en un 30%. Los costos de los FTS se obtuvieron a partir del precio del material y la inversión en mano de obra. Dependiendo del tipo de fogón, el material y el tiempo invertido para la construcción los costos de estas alternativas pueden tener algunas variaciones. En el caso de la estufa Patsari el costo corresponde al precio que manejan los promotores y constructores capacitados por GIRA, A.C. No se incluyen los costos de la base de la estufa, ya que por lo general los usuarios ya cuentan con una. Los costos para cada alternativa tecnológica se muestran en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Costo inicial para las tecnologías de cocción

Alternativa	Costos (\$)
FTS	0- 60
FTS + GAS	2,354
PATSARI	350
PATSARI + GAS	2,648
GAS	2,298

Precios en moneda nacional hasta diciembre de 2003.

12 Costo de operación

El uso de un dispositivo de leña o de gas está restringido en gran medida por las condiciones de acceso y costo del combustible. En la región la obtención de leña se realiza a través de la recolección directa en terrenos comunales o por compra a leñadores locales. Cuando la leña es recolectada el uso de éste combustible no representa ninguna inversión monetaria, por lo que lo hace accesible a las familias de bajos recursos. Sin embargo, cuando la leña es comprada puede representar un gasto fuerte para la familia. En el caso del gas, sólo existe la opción de acceder a través de los distribuidores locales. Con base en los consumos regionales de combustible, el costo de operación por mes, para cada dispositivo se muestra en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Costo de operación mensual por alternativa de cocción

DISPOSITIVO	COSTO DE OPERACIÓN (\$)
FTS	0- 283
FTS + GAS	104- 345
PATSARI	0- 189
PATSARI + GAS	104- 264
GAS	460

Considera un precio de \$1 y \$7 pesos por kilogramo para leña y gas respectivamente. La opción de uso exclusivo de gas considera además un costo adicional por compra de tortillas (5.50 pesos/kg).

13 Dependencia de insumos externos

Con este indicador se pretende medir el grado de dependencia familiar para obtener su propio dispositivo completamente funcional. La dependencia de insumos depende de la escala de análisis que se esté considerando. En éste trabajo la escala utilizada es regional, sin embargo para éste indicador también se considera importante la autosuficiencia tecnológica a nivel local. En éste sentido, una tecnología ideal sería aquella que pudiera implementarse completamente con insumos

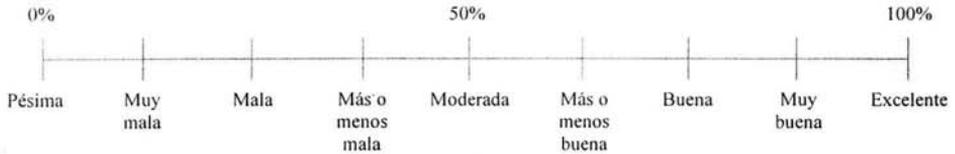
3. Evaluación de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos

locales, como en el caso de las tecnologías tradicionales. Para evaluar este indicador se consideraron cinco criterios que comprenden el desarrollo, la implementación y la operación de una TCA. Para cada criterio se asignó una escala de puntuación de 0 - 3 puntos, 0 para el valor de máxima dependencia externa y 3 para el valor de mínima dependencia. Los detalles de la escala de puntajes para cada criterio se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Escala para la evaluación de la dependencia de insumos externos

Criterio	Puntaje
DISEÑO	DS
Completamente local	+++
Institución/ taller en la comunidad	++
Institución/ talleres regionales	+
Instituciones/ industria especializada	0
CONSTRUCCIÓN	CN
Autoconstrucción	+++
Requiere de pequeños talleres locales	++
Requiere de talleres regionales	+
Requiere de industria especializada	0
REPARACIÓN	RP
No requiere materiales ni mano de obra especializada	+++
Requiere de materiales y mano de obra poco especializada disponibles en la comunidad	++
Requiere de materiales y mano de obra especializada disponibles a nivel regional	+
Requiere de materiales y mano de obra especializada (industria) no disponibles en la región	0
MATERIALES	MT
Locales no comerciales	+++
Comerciales	
Disponibles en las comunidades	++
Disponibles en la región	+
No disponibles en la región	0
COMBUSTIBLE	CM
Generación	Gn
Local	++
Regional	+
Nacional	0
	Ds
Distribución	
En las comunidades	+
Sólo a nivel regional	0

Los puntajes para los dispositivos FTS, Patsari y estufa de gas se asignaron considerando los criterios anteriores. Los puntajes totales se expresaron en porcentajes, considerando el puntaje de los FTS como el máximo valor para el indicador (100%). Para la obtención de los valores de las TCA combinadas se obtuvo un promedio de los puntajes obtenidos para las estrategias exclusivas. Después se asignaron valores cualitativos para cada alternativa de acuerdo con la siguiente escala



Los resultados finales de la evaluación se muestran en el Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Evaluación de las alternativas de cocción para dependencia de insumos externos

DISPOSITIVO	DS	CN	RP	MT	CM		TOTAL (%)	VALOR LINGÜÍSTICO
					Gn	Ds		
FTS	+++	+++	+++	+++	++	+	100	EXCELENTE
FTS + GAS							57	MODERADA
PATSARI	+	++	++	++	++	+	67	MAS O MENOS BUENA
PATSARI + GAS							40	MAS O MENOS MALA
GAS	0	0	+	0	0	+	13	MALA

La Tabla 3.15 muestra un resumen general de los indicadores por atributo y criterios de diagnóstico, con los valores de referencia, unidades y método de medición. Se incluyen 7 indicadores de costos, que buscan minimizarse y 4 indicadores de beneficios, cuyo objetivo es la maximización.

Tabla 3.15. Resumen de los resultados de la medición de indicadores por atributo y criterio de diagnóstico

Atributos	Criterios	Indicador	Unidades	Método de medición	Obj	Alternativas tecnológicas				
						FTS	FTS + GAS	PATSAR I	PATSAR I + GAS	GAS
Productividad	Eficiencia	Consumo específico de combustible	MJ/kg de insumo	Pruebas de cocinado controlado ^a	min	210	110	157	80	44
		Consumo per capita de combustible	MJ/día/pe r capita	Pruebas de funcionamiento de la cocina ^b	min	34	34	23	25	14
	Rentabilidad	Costo total relativo *	-	Revisión bibliográfica y muestreo de precios	min	1.00	~1.38	~0.74	~1.17	~1.83
Estabilidad	Riesgo ocupacional	Exposición a PRS	µg/m ³	Mediciones de concentraciones promedio en el hogar, encuestas ^c	min	600-970	45-970	300	45-300	45
	Vulnerabilidad ambiental	Emisiones de CO ₂ equivalentes	Ton CO ₂ eq./año	Ecuaciones del modelo CO2FIX ^d	min	1.67	1.98	0.96	1.38	1.38
Adaptabilidad	Preferencias para la adopción	Satisfacción de necesidades de cocinado	-	Encuestas ^e	max	MMB	MB	B	B	MMM
		Limpieza del entorno	-	Declaraciones informales de usuarios y técnicos de GIRA	max	EM	MM	MB	MB	EXC
		Facilidad de operación y mantenimiento	-	Declaraciones informales de usuarios y talleres con el grupo de bioenergía	max	MOD	MMB	MMM	MOD	EXC
Equidad	Acceso	Costo inicial	\$MN	Muestreo de precios	min	0-60	2354	350	2650	2300
		Costo de operación	\$MN/mes	Muestreo de precios	min	0-283	104-345	0-189	104-312	460
Autogestión	Autosuficiencia tecnológica	Dependencia de insumos externos	-	Asignación de puntajes	max	EXC	MOD	MMB	MMM	M

*Escenario de compra de leña. a –GIRA, 2003; b –Masera et al., 1997b; c –Saatkamp et al., 2000; d –Naburus et al., 2002; e –Masera et al., 1997b y Valencia, 2004. EXC -excelente, MB -muy buena, B -buena, MMB -mas o menos buena, MOD -moderada, MMM -mas o menos mala, M -mala, MM -muy mala, EM -extremadamente mala.

3.8 Integración y discusión de resultados (Paso V)

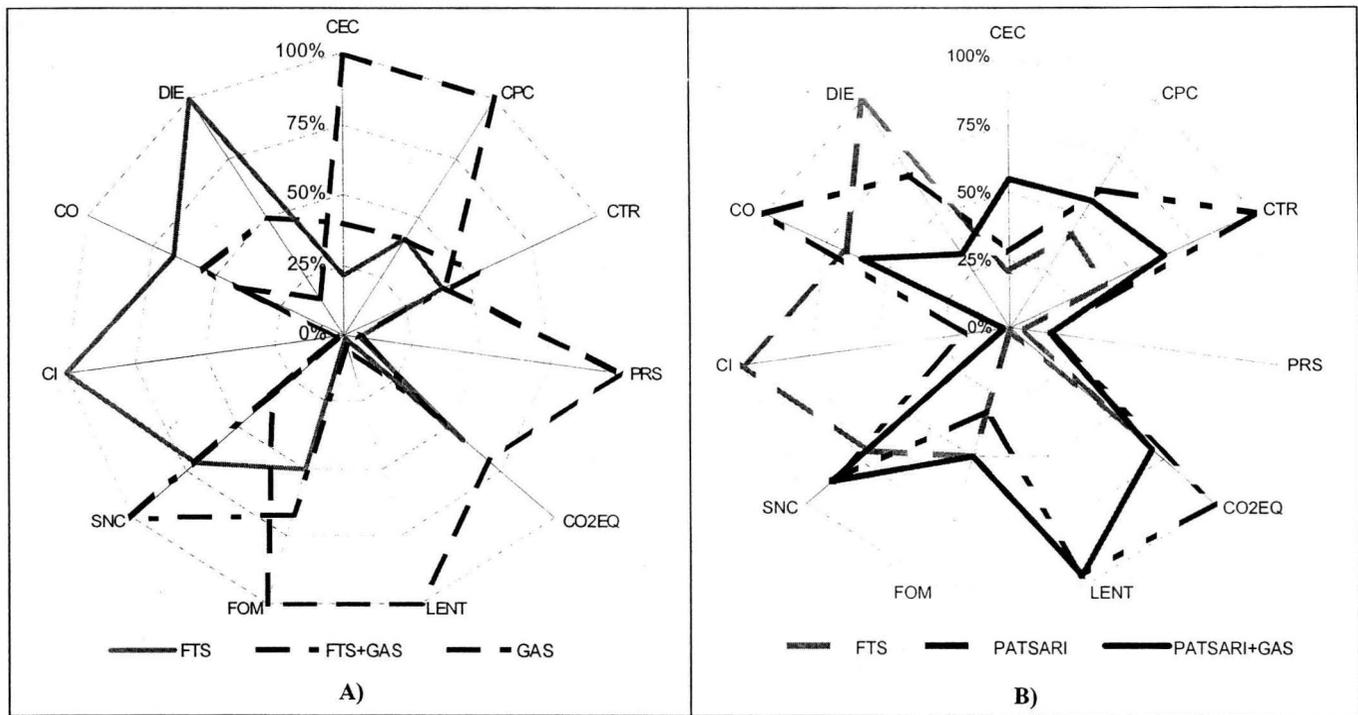
3.8.1 Integración y discusión de resultados de AHP

Los resultados de la integración con AHP, por indicador, se muestran en la Figura 3.7. Los valores de los índices de sustentabilidad, en este caso, difieren de aquellos calculados con base en un óptimo. Con AHP la estandarización consiste en la obtención de un valor de prioridad de cada alternativa, comparada en un indicador, que es relativo a todas las demás tecnologías evaluadas (ver sección 2.7.1). En este sentido, se indica sobre la distancia que existe entre las diferentes opciones tecnológicas, y no la distancia a una tecnología ideal. Los resultados muestran que la elección de cada una de las estrategias de cocción evaluadas conlleva la elección de diferentes costos y beneficios. Los fogones tradicionales son opciones mucho más accesibles y, culturalmente, más adecuadas. Sin embargo, en términos de salud y ambiente no son alternativas sustentables. Por otro lado, las estufas de gas, son muy buenas opciones para mejorar la salud de las familias y para facilitar (o al menos hacer más rápido) el proceso de cocción, pero no son adecuadas para cubrir el tipo de dieta y las prácticas de cocinado de la población de la cuenca. La persistencia de los FTS puede considerarse un indicador de la importancia de estos aspectos.

La elección de una tecnología eficiente implica hacer mayores inversiones. Las estufas de gas representan una opción más cara en el corto (costo inicia) y largo plazo (rentabilidad). Las estufas Patsari por su parte, aunque en el corto plazo resulta una opción cara, a largo plazo pueden representar una opción hasta 60% más barata. En términos ambientales representan la mejor alternativa para la mitigación de gases de efecto invernadero. En cuanto a salud se muestran como alternativas parecidas a los FTS, sin embargo, este resultado se debe al poder discriminante del método y a los datos a los que se tuvo acceso para este estudio. De hecho, resultados preliminares de los estudios piloto con estufas Patsari demuestran que con estas estufas la contaminación de interiores se reduce en un 92% con respecto a los fogones tradicionales, por lo que reducen el riesgo de enfermedades de manera muy significativa (Armendáriz, 2004).

La Figura 3.8 muestra los resultados agregados por criterio de diagnóstico, atributo e índice de sustentabilidad. La agregación del problema de evaluación de sustentabilidad, en sus diferentes niveles, permite evaluar a las diferentes alternativas de cocción en términos más generales.

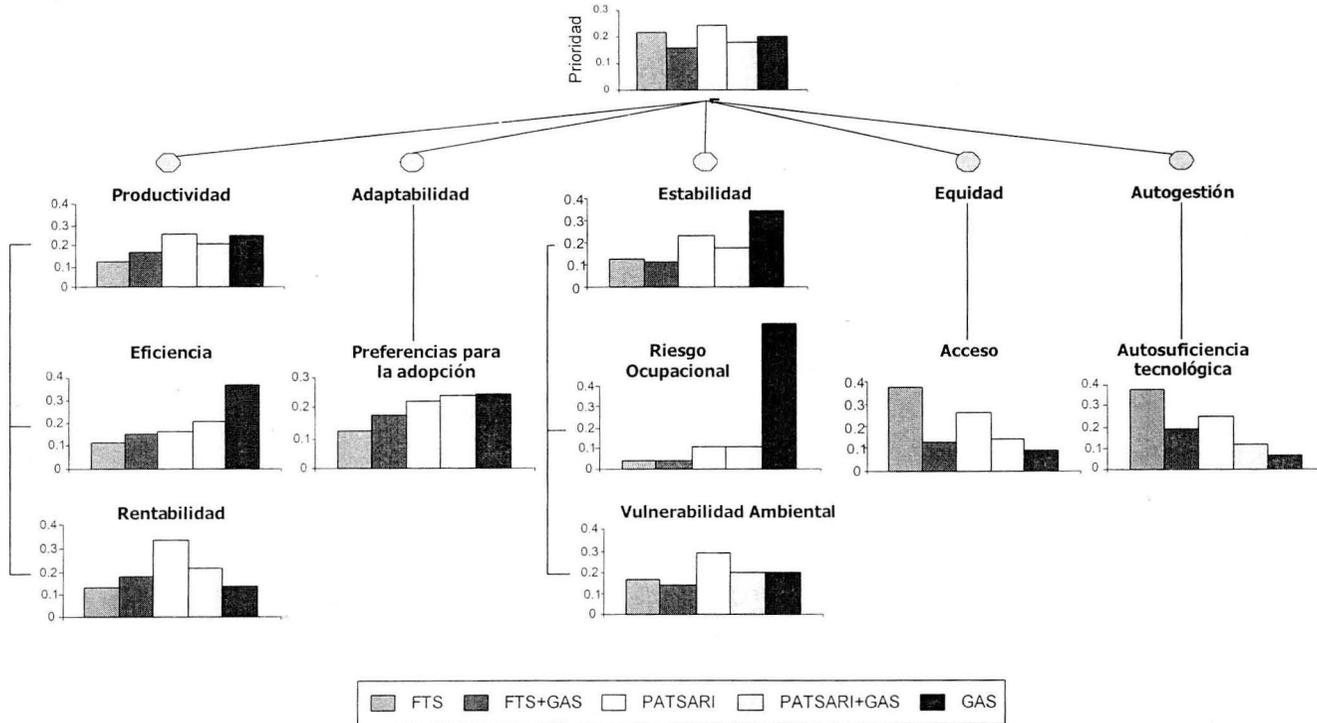
Figura 3.7. Comparación por indicador de las alternativas de cocción



Los índices calculados por indicador se muestran normalizados en una escala de 0-100. La mejor alternativa para cada indicador corresponde a 100: CEC – consumo específico de combustible; CPC – consumo per capita de combustible; CTR – costos totales relativos; PRS – partículas respirables suspendidas; CO2EQ – emisiones de CO₂ equivalentes; SNC – satisfacción de necesidades de cocinado; LENT – limpieza del entorno; FOM – facilidad de operación y mantenimiento; CI – costo inicial; CO – costo de operación; y DIE – dependencia de insumos externos.

Figura 3.8. Resultados por nivel jerárquico

Evaluación de sustentabilidad de cinco alternativas tecnológicas



3. Evaluación de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos

El objetivo productivo del sistema tecnológico es la satisfacción de las necesidades energéticas de la unidad familiar, en este caso se evaluado en términos de su eficiencia y rentabilidad para lograr dicho fin. Las estufas de gas son la alternativa más eficiente en términos energéticos, con ahorros de 2 a 4 veces más sobre las demás TCA. Sin embargo, esta eficiencia tiene un costo muy alto. La opción más productiva, en términos agregados, es la estufa Patsari, mientras que la peor opción o la menos productiva, tanto en términos energéticos como económicos, son los FTS.

En términos de adaptabilidad los resultados se muestran incoherentes en la priorización de la estufa de gas. Esto se debe a un efecto de compensación de los indicadores de *facilidad de operación y mantenimiento y limpieza del entorno* sobre el indicador *satisfacción de las necesidades de cocinado*. Aunque a nivel individual estos indicadores reflejan una situación real, los resultados agregados indican que este criterio de diagnóstico se debe redefinir e introducir factores de ponderación, pues no es consistente con las preferencias técnicas y culturales observadas en la región. Se requiere para ello, estudios detallados sobre el funcionamiento de las preferencias de los usuarios, que permitan identificar con más precisión aspectos críticos que determinan la adopción de una tecnología. Las percepciones sobre salud y riesgo de accidentes deben ser incorporadas. Para su integración en el proceso de evaluación, estos deben proponer criterios e indicadores adecuados sobre aspectos culturales del sistema tecnológico y métodos sencillos para su monitoreo.

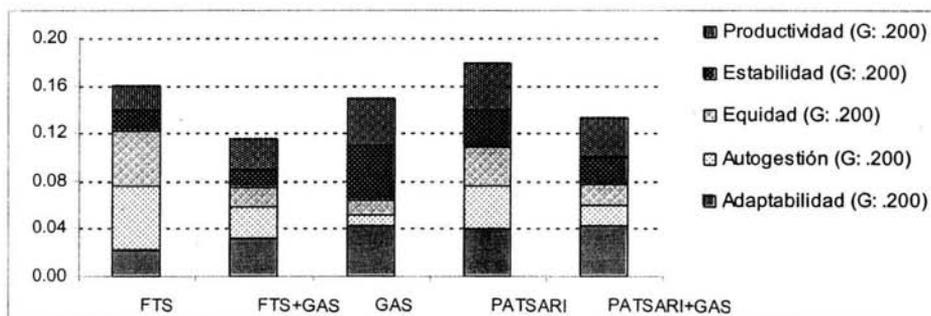
Desde el punto de vista de la estabilidad, la mejor alternativa es la estufa de gas, ya que tiene niveles de exposición a PRS muy bajos y menores emisiones de gases de efecto invernadero en relación a las tecnologías tradicionales. Sin embargo, como se mencionaba, la estufa Patsari no parece tan buena en el indicador de exposición a partículas respirables debido al poder discriminatorio del método, aún así representa la segunda opción para mejorar la estabilidad del sistema tecnológico y conlleva reducciones de más del 50% en la exposición a contaminantes sobre los FTS y de 30-40% en emisiones de CO₂ equivalentes, con respecto a las demás alternativas de cocción. Por otro lado, los datos de emisiones de gases de efecto invernadero, en el caso de la estufa de gas están subestimados, ya que no se integran las emisiones que resultan del ciclo de vida completo de la alternativa, esto es durante las fases de producción y distribución tanto de la tecnología como del combustible. Las futuras evaluaciones deben incorporar estos aspectos.

La tecnología más accesible y autosuficiente son los fogones tradicionales, seguidos de la estufa patsari. Cabe notar que, tanto el acceso como la autosuficiencia tecnológica son factores que

compiten con la eficiencia energética. En efecto, para incrementar la eficiencia de un dispositivo se requiere el desarrollo de aspectos tecnológicos como el diseño, la estandarización de las medidas críticas, el uso de mejores combustibles, mejores materiales de construcción, etc., que incrementan tanto el precio de la tecnología como de las necesidades de infraestructura y conocimiento especializado. Las estufas de gas, con más desarrollo tecnológico y más eficiente, presentan problemas de acceso para sectores pobres de la población y, en términos de autogestión, simplemente no se pueden comparar con los FTS. La autosuficiencia es un aspecto importante para que las tecnologías tomen su propia dinámica de difusión y apropiación en las comunidades rurales. En el mejoramiento de estufas tipo Patsari se debe identificar hasta qué punto se puede sustituir la autogestión y el acceso por el uso eficiente de recursos y buscar un balance entre estos factores.

Finalmente, en el nivel más general de agregación (el índice de sustentabilidad), las estufas Patsari son las mejores alternativas, seguidas de los FTS y el uso de gas LP. Las alternativas combinadas en este caso están subordinadas. Probablemente esto se deba a que los costos de estas alternativas son muy elevados en comparación de las demás opciones. Sin embargo, al menos en el caso de la opción de uso de patsari + gas, los costos pueden no tener tanta importancia. Por ejemplo, aparentemente es la estrategia menos accesible, sin embargo, los usuarios que optan por su uso son los usuarios que ya combinan el uso de gas LP con FTS. Comparando la contribución relativa de los atributos al índice agregado, se observa que hay una distribución homogénea en los resultados de la estufa Patsari y Patsari + Gas (Figura 3.). Esta es una característica deseable cuando se buscan alternativas sustentables, que más que maximicen un objetivo busquen un equilibrio entre las diferentes dimensiones del problema.

Figura 3.9. Índice agregado para las alternativas de cocción y su contribución por atributo



Ponderación de indicadores y análisis de sensibilidad

El objetivo de este análisis es identificar la sensibilidad de las alternativas de cocción bajo las perspectivas de diferentes actores sociales. Para ello se derivaron pesos para cada criterio de evaluación y se realizó un análisis de sensibilidad con diferentes escenarios de pesos mediante Expert Choice™. La información utilizada es hipotética, por lo que el análisis debe verse únicamente como un ejercicio ilustrativo.

Primero se derivó una ordenación cualitativa de los atributos, criterios e indicadores, basada en los objetivos de cada grupo considerado (Tabla 3.14). Con el método de valor esperado (ver sección 3.3) se transformaron a valores de ponderación numéricos (Tabla 3.15). Después, con los valores de ponderación se volvieron a agregar los indicadores por criterio y por atributo e índice de sustentabilidad agregado. Para limitar el peso que pueden tener las diferentes instituciones en la agregación final, primero se combinaron las evaluaciones individuales de las ONG's, Gobierno y Agencias Internacionales, incluyéndolas en un sólo grupo, referido como "Instituciones". Por último se generó una evaluación global combinando la evaluación de las Instituciones con la evaluación de los Usuarios. La Figura 3.10 muestra la priorización de cada alternativa por grupo.

Tabla 3.16. Objetivos de los grupos considerados

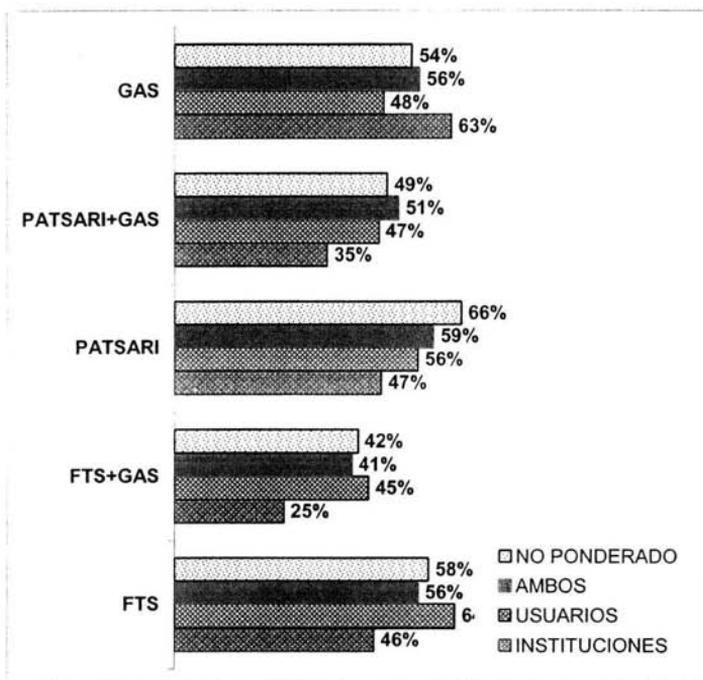
Usuarios
Satisfacción de sus necesidades energéticas y culturales con tecnologías accesibles
ONG's: GIRA
Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero,
Reducción de impactos a la salud y ambientales
Incremento en la calidad de vida de las personas
Sustitución de combustibles fósiles por energías renovables
Gobierno: CONAFOR, IMTA, SSA
Reducción de impactos a la salud e incremento de la calidad de vida de la población indígena
Reducción de impactos ambientales por deforestación
Abasto energético de las comunidades rurales a largo plazo
Agencias Internacionales: FUNDACIÓN SHELL
Reducción de impactos a la salud
Reducción de las emisiones de GEI

Con información de Conafor, 2001; SSA, 2001, IMTA 2001 y Bruce, 2003.

Tabla 3.17. Valores de ponderación por nivel jerárquico y grupo social

Atributos	Criterios de diagnóstico	Indicadores	USUARIOS	ONG'S	GOBIERNO	AG. INT.
Productividad	Eficiencia		0.16	0.04	0.36	0.16
		Consumo específico de combustible	0.75	0.75	0.25	0.75
	Rentabilidad	Consumo per capita de combustible	0.25	0.25	0.25	0.25
		Costos totales relativos	0.75	0.75	0.75	0.75
Estabilidad	Riesgo ocupacionales		0.25	0.25	0.75	0.25
		Exposición a PRS	1.00	1.00	1.00	1.00
	Vulnerabilidad ambiental		0.25	0.25	0.25	0.25
		Emissiones de CO2 equivalentes	1.00	1.00	1.00	1.00
Adaptabilidad	Preferencias para la adopción		0.36	0.09	0.09	0.04
		Satisfacción de necesidades de cocinado	1.00	1.00	1.00	1.00
	Acceso	Limpieza del entorno	0.22	0.28	0.28	0.28
		Facilidad de operación y mantenimiento	0.04	0.61	0.61	0.61
Equidad	Acceso		0.10	0.11	0.11	0.11
		Costo inicial	0.36	0.26	0.16	0.26
	Autogestión	Costo de operación	1.00	1.00	1.00	1.00
		Dependencia de insumos externos	0.75	0.75	0.75	0.75
Autogestión	Autosuficiencia tecnológica		0.25	0.25	0.25	0.25
			0.04	0.16	0.04	0.09
			1.00	1.00	1.00	1.00
			1.00	1.00	1.00	1.00

Figura 3.10. Priorización de alternativas de cocción por grupo social



Las prioridades están normalizadas utilizando como referencia (100%) una alternativa ideal (que tendría el máximo valor posible en todos los indicadores). “Ambos” se refiere a la combinación de las ponderaciones para los Usuarios y las Instituciones. Las prioridades referidas como “no ponderado” se calcularon considerando el mismo peso para todos los atributos, criterios e indicadores de evaluación.

El análisis de sensibilidad se corrió para los cinco atributos de sustentabilidad utilizados, usando la agregación que combina la ponderación de las instituciones y los usuarios. El análisis muestra cómo es afectada la ordenación de las TCA cuando cambia el peso en un atributo, desde 0, cuando no tiene importancia hasta 1, cuando es la única variable importante. Los resultados del análisis por atributo se muestran en la Figura 3.11. Los fogones tradicionales son muy sensibles a las variaciones en los valores de importancia de los atributos. Con el incremento en el peso de la productividad, estabilidad y adaptabilidad pierden rápidamente su posición y se colocan en niveles más bajos (Figura 3.11a –c). Por el contrario, con el incremento de la importancia de la autogestión y equidad ganan la primera posición (Figura 3.11d, e). Esto indica que es una alternativa adecuada solo para ciertas perspectivas. La estufa de gas por el contrario, se coloca en la primera posición

cuando se maximiza la productividad y la estabilidad (Figura 3.11a, c) y en la última cuando se maximiza la equidad y la autogestión (Figura 3.11d, e). La posición del uso combinado de FTS y estufa de gas es un poco más estable, aunque en la mayoría de los casos se coloca en la penúltima posición. Esto reflejaría que es la peor alternativa desde todos los puntos de vista. Por supuesto, estos resultados no corresponden a una situación real, ya que desde el punto de vista de adaptabilidad deberían colocarse en una mejor posición, de acuerdo a la situación que refleja la región (46% de los usuarios de leña optan por esta opción).

La alternativa más estable es la estufa Patsari, que en todos los casos se mantiene en la segunda posición. Este aspecto es importante, ya que, aunque no representa la mejor alternativa en ninguno de los casos, sí corresponde a una alternativa no tan mala para todos los puntos de vista. En este sentido, representa un balance para todas las dimensiones de la sustentabilidad consideradas (inconmensurabilidad técnica) y para todas las perspectivas de los actores sociales (inconmensurabilidad social). Esta propiedad se refleja ligeramente menor en la opción de Patsari y estufa de gas, que puede representar la mejor alternativa cuando se maximiza la adaptabilidad.

Debido a que es un ejercicio, los resultados presentados no pueden ser conclusivos, sin embargo sirvió para ilustrar cómo analizar la robustez de las opciones a cambios en las percepciones de distintos grupos sociales. Un aspecto que se debe considerar para estos análisis son los métodos para la obtención de pesos. De acuerdo con Munda (2003) en situaciones en las que existen múltiples actores sociales, como en manejo de recursos naturales, asignar pesos a los criterios puede imponer condiciones muy rígidas para llegar a acuerdos. El uso de pesos se ha criticado también debido a que supone que los actores sociales son capaces de expresar sus preferencias sin contradicción (Munda, 1994). De acuerdo con Lahelma *et al.* (2003), la información sobre las preferencias de un actor social puede ser difícil de obtener debido a que no hay tiempo para estudiar el problema detalladamente, no hay suficiente tiempo o recursos para obtener las preferencias de un grupo muy amplio de actores, dificultades para comparar los criterios o indicadores o no hay disposición o hay temor de revelar las preferencias. Estos aspectos son especialmente importantes en evaluación de sustentabilidad, pues se requieren métodos que sean adecuados a las capacidades locales y que permitan consensar los diferentes puntos de vista en un problema de decisión social. Por otro lado, los métodos que no utilizan pesos también se han criticado debido a que no proveen soluciones conclusivas y no permiten confrontar los conflictos (Lahdelma *et al.*, 2000).

Figura 3.11. Análisis de sensibilidad por atributo para diferentes escenarios de peso

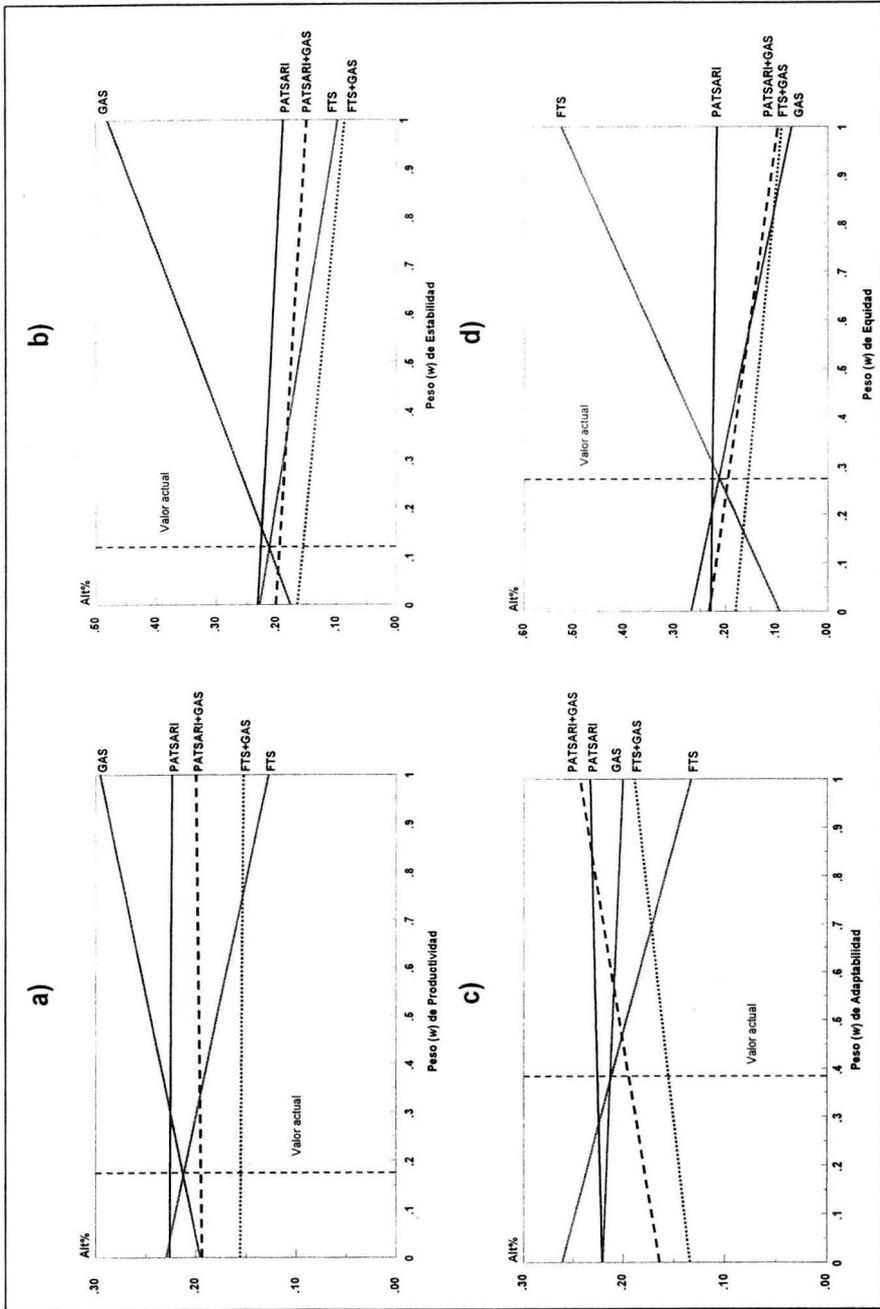
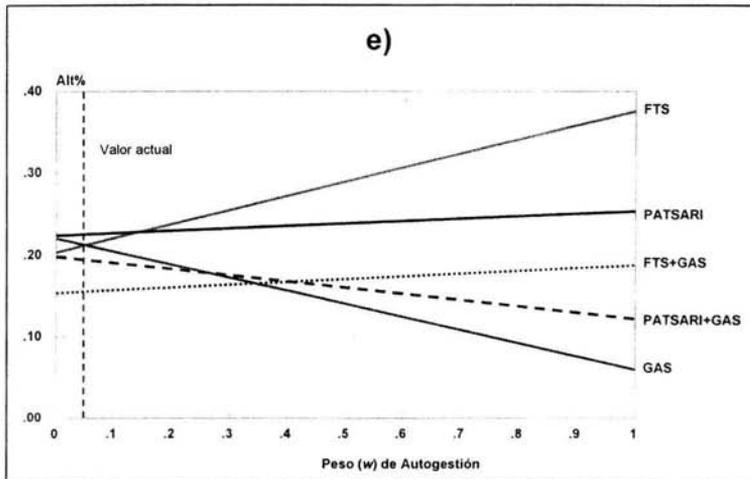


Figura 3.11. (continuación)



Se muestra el análisis de sensibilidad para las alternativas de cocción. El eje Y muestra la prioridad de las alternativas obtenida bajo diferentes escenarios de pesos (eje X), desde 0 hasta 1. La línea vertical punteada indica el valor de ponderación obtenido, para el atributo, de la agregación de los pesos de los usuarios y las instituciones.

3.8.2 Integración y discusión de resultados de NAIADE

Comparaciones pareadas

A partir de la distancia semántica, NAIADE calcula índices de credibilidad para seis relaciones de preferencia. Esto indican el grado de verdad o nivel de pertenencia (ver Anexo I) para cada relación de acuerdo a dos argumentos: la distancia semántica y los umbrales de preferencia (ver sección 2.7.2). Los umbrales de preferencia permiten controlar el poder discriminante de la distancia en la comparación, el Anexo II describe la forma en que se determinaron. La evaluación con NAIADE da como resultado un análisis cualitativo de los diferentes costos y beneficios de las alternativas evaluadas, pero también da una indicación de la intensidad con que son preferidas las alternativas.

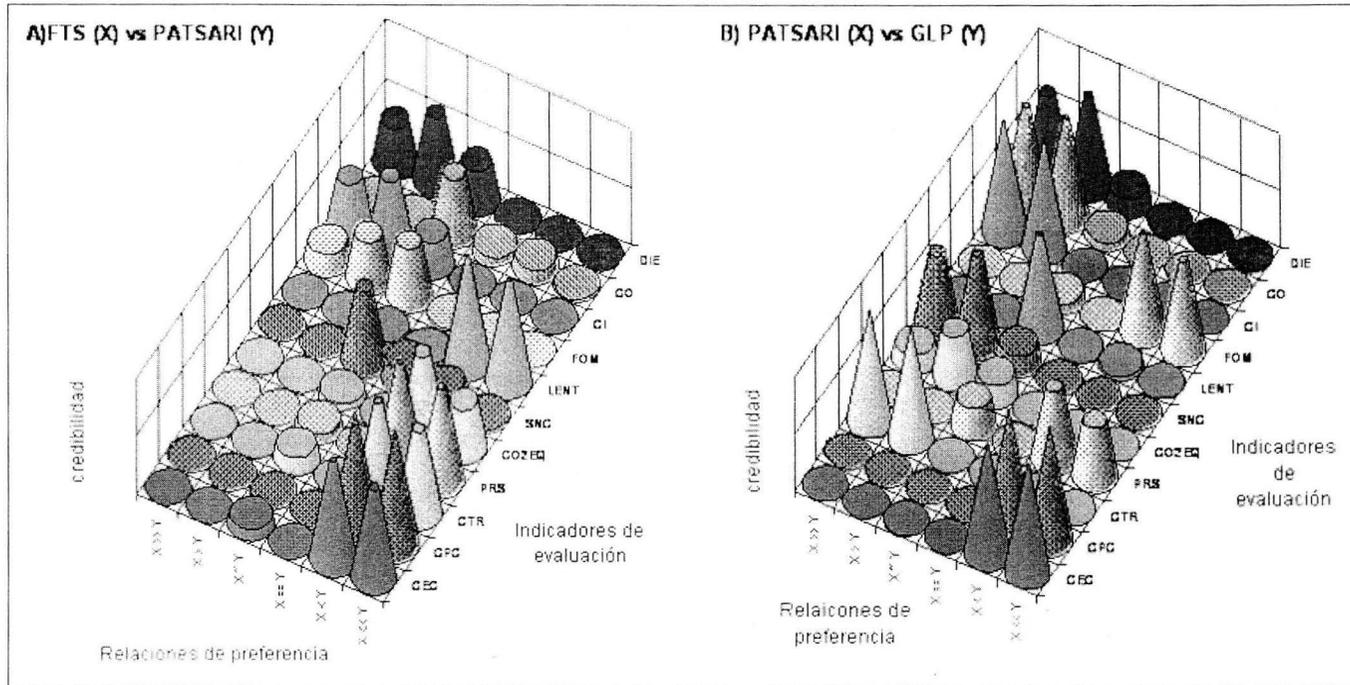
La Figura 3.12 muestra los índices de credibilidad calculados (en forma de conos), para cada indicador y para cada relación de preferencia ($x \gg y$, $x > y$, $x = y$, $x \cong y$, $x < y$, $x < y$), en la comparación pareada entre fogones tradicionales, estufa Patsari y estufa de gas LP (el Anexo III muestra la tabla completa de resultados). De acuerdo con la Figura 3.12A las estufas patsari son

3. Evaluación de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos

mejores alternativas cuando se comparan en los indicadores de consumo específico de combustible, consumo per capita de combustible, costos totales relativos, partículas respirables y limpieza del entorno. Este argumento se refleja por altos valores de credibilidad para las relaciones de preferencia que indican que X (los FTS) \ll Y (las Patsari) y $X < Y$. Para los indicadores de *satisfacción de las necesidades de cocinado y costo de operación*, ambas tecnologías son parecidas y se refleja por valores de credibilidad mayores en la relación *aproximadamente igual*. En el caso de los indicadores de facilidad de operación y mantenimiento, costo inicial y dependencia de insumos externos la relación parece más difusa, dado que existen argumentos que indican que los FTS son mejores alternativas (índices mayores en la relación de preferencia $X > Y$ y $X \gg Y$), aunque también hay argumentos a favor de que son aproximadamente iguales. Este efecto se debe, en el caso del costo inicial, a que el poder discriminante para este indicador se limitó con los umbrales de preferencia (se asumió que un costo 50% menor al de la estufa Patsari se considera *aproximadamente igual* que el costo de los FTS; ver Anexo II). La incertidumbre en los datos también afectó la discriminación de las alternativas en los indicadores. En el caso de costo de operación existe mucha variabilidad en las estrategias de obtención del combustible, por lo que conlleva costos muy diferentes. Debido a esta incertidumbre las alternativas Patsari y FTS resultaron parecidas, con una leve tendencia a favorecer a las Patsari.

Comparadas con las estufas de gas, las Patsari son alternativas mucho mejores en los indicadores costos totales relativos, satisfacción de necesidades de cocinado, costo inicial, costo de operación y dependencia de insumos externos, de acuerdo con los valores de credibilidad calculados para esta relación (Figura 3.12B). Resultan peores alternativas en los indicadores de eficiencia, exposición a partículas respirables y facilidad de operación y mantenimiento. En limpieza del entorno son opciones *aproximadamente iguales*. El indicador de emisiones de CO₂ equivalentes favorece a las Patsari, aunque también resulta difuso, al igual que el indicador de exposición a partículas respirables.

Figura 3.12. Comparación entre FTS, estufa Patsari y estufa de gas LP

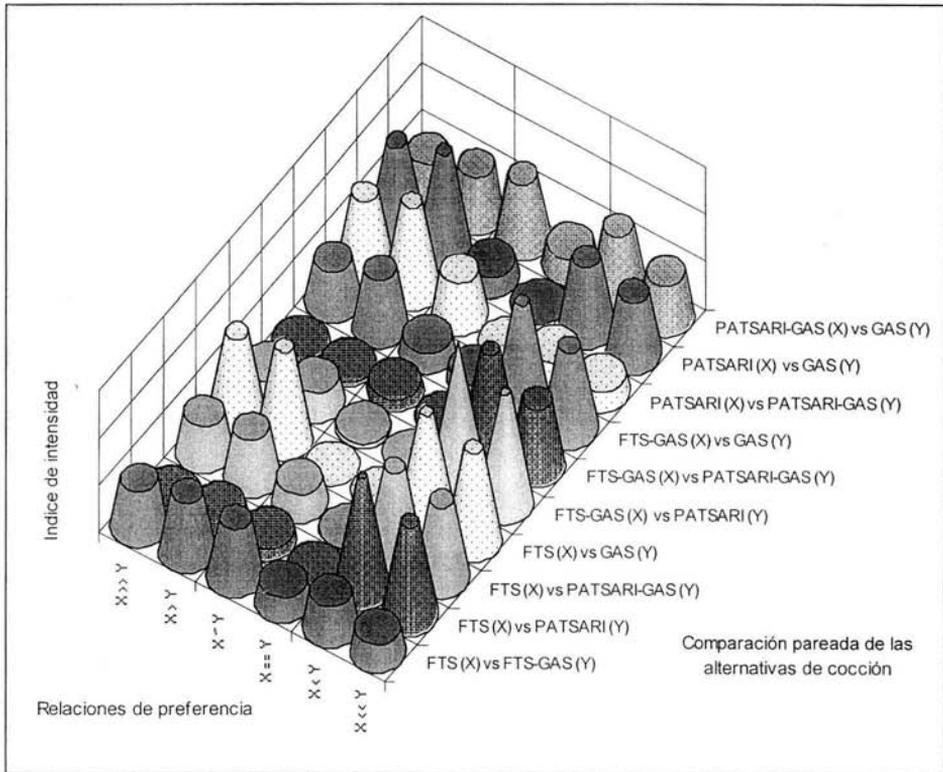


Se muestran los índices de credibilidad para las relaciones de preferencia (conos) calculados para la comparación de FTS con estufa Patsari (A) y Patsari con estufa de gas LP (B). Estos índices indican la intensidad o el grado de verdad que contiene el predicado asociado a la función difusa (*mucho mejor, mejor, aproximadamente igual,...*, etc.), de acuerdo con la distancia semántica calculada entre dos alternativas comparadas en un indicador y los umbrales de preferencia definidos para éste. CEC –consumo específico de combustible; CPC –consumo per capita de combustible; CTR –costos totales relativos; PRS –partículas respirables suspendidas; CO2EQ –emisiones de CO₂ equivalentes; SNC –satisfacción de necesidades de cocinado; LENT –limpieza del entorno; FOM –facilidad de operación y mantenimiento; CI –costo inicial; CO –costo de operación; y DIE –dependencia de insumos externos

Agregación de indicadores

NAIADE agrega los índices de credibilidad para cada relación de preferencia de todos los indicadores para calcular un índice de intensidad de la preferencia (ver sección 2.7.2). Este índice calcula la intensidad o la fuerza de las relaciones de preferencia ($x \gg y$, $x > y$, $x = y$, $x \cong y$, $x < y$, $x \ll y$) cuando se comparan dos alternativas distintas. La Figura 3.13 muestra los resultados de la comparación pareada de todas las alternativas de cocción.

Figura 3.13. Índices de intensidad de la preferencia para la comparación de las alternativas de cocción



Muestra la agregación de los índices de credibilidad para todos los indicadores en un índice de intensidad de la preferencia, que indica la fuerza de la relación (mucho, mejor, aproximadamente igual, igual, peor y mucho peor) en la comparación pareada de las alternativas de cocción.

Cuando los FTS se comparan con las Patsari, Patsari + gas LP y estufa de gas resultan menos preferidas y se indica por valores de intensidad más altos para las relaciones peor y mucho peor ($x < y$, $x \ll y$). Las estufas Patsari son mejores cuando se comparan con todas las demás alternativas, aunque la intensidad de la relación que indica que las estufas de gas son mejores también es alta (aunque menor). Esto quiere decir que existe competencia entre las ganancias y los costos con cada opción, *i.e.* la elección de una conlleva beneficios en varios indicadores, pero en otros conlleva costos. La misma lógica se aplica para la comparación pareada de las demás alternativas. En este sentido, esta forma de agregar los indicadores provee información sobre qué tan buena es una estrategia de cocción con respecto a otra, pero también qué tan parecida y qué tan mala es.

El último resultado de la evaluación multicriterio de NAIADe es la ordenación de las alternativas en cuanto a la satisfacción de los objetivos que definen la sustentabilidad. Para la agregación final se seleccionó el operador de Zimmerman- Zysno, que permite establecer el grado de compensación en la agregación, desde 0 para un enfoque no compensatorio hasta 1 para un enfoque completamente compensatorio (ver Zymmermann, 1996). Los resultados de la ordenación se muestran para diferentes grados de compensación y niveles de credibilidad (Figura 3.14). Los niveles de compensación permiten controlar el grado en que un indicador con un valor muy bueno puede compensar un valor muy malo en otro. Cambiando el parámetro α permite controlar los niveles de exigencia en la agregación, sólo los indicadores con un nivel de credibilidad mayor o igual a α serán tomados en cuenta en la agregación; en éste sentido la diferencia o distancia entre las alternativas deberá ser mayor.

De acuerdo con la agregación final, la alternativa más sustentable es la estufa Patsari, que se ubica en la primera posición en la ordenación en todos los escenarios de compensación y niveles de credibilidad. El orden de preferencias obtenido prácticamente no varió. Sólo con niveles de compensación altos la relación entre las alternativas de uso de gas y Patsari + gas LP se mostró inestable. La estufa de gas y la combinación Patsari- Gas resultaron incomparables en todos los casos¹⁵. En éste sentido, hay inconsistencia en el análisis al comparar estas dos alternativas. Esto se debe a que existen suficientes argumentos para determinar que la estufa de gas es mejor que la

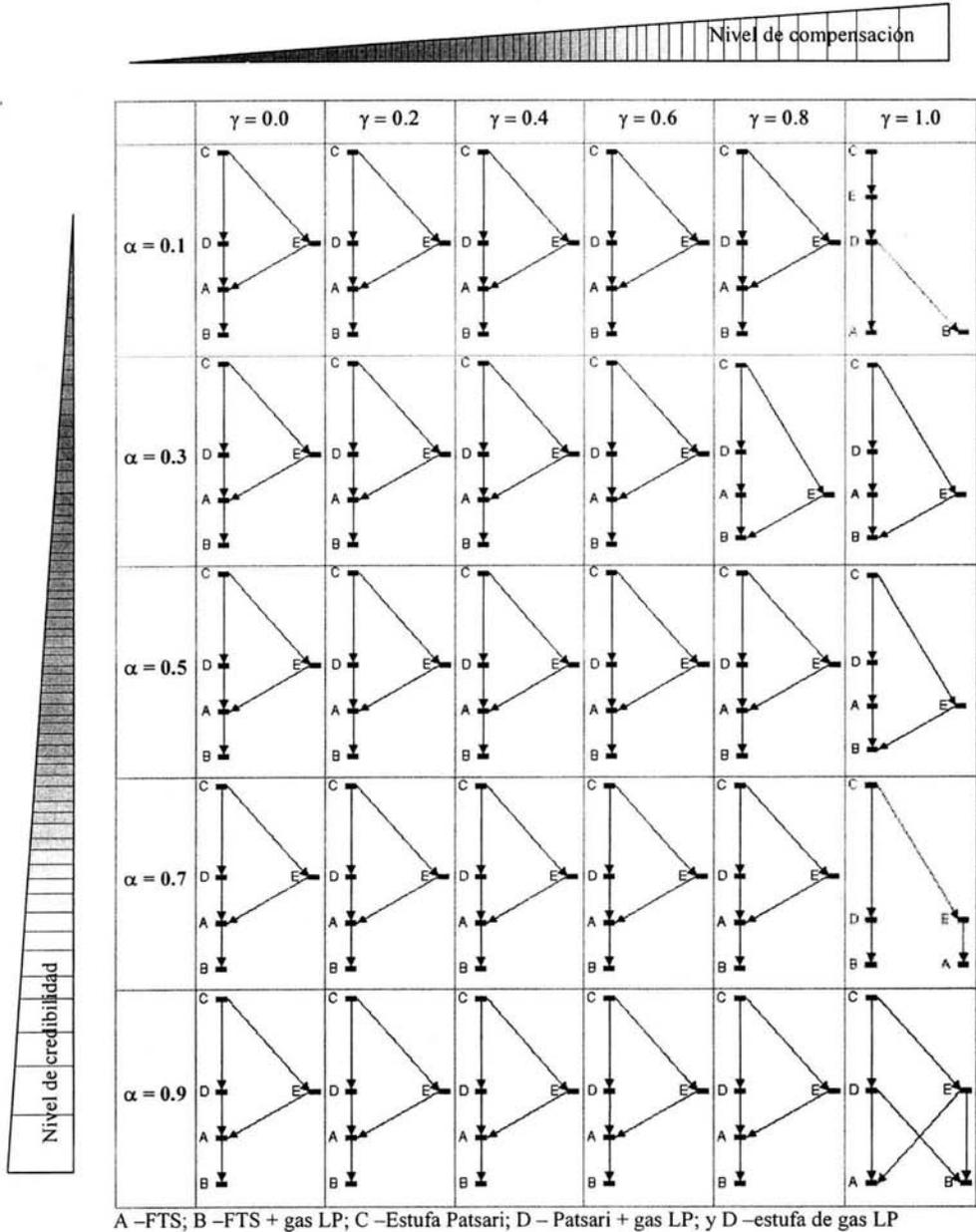
¹⁵ La relación de incomparabilidad (R) en NAIADe surge cuando existe inconsistencia en la evaluación, es decir que de acuerdo con una ordenación parcial ($\phi+$), que evalúa qué tan buena es a con respecto a b , a resulta mejor que b , pero que de acuerdo con una segunda ordenación ($\phi-$), que evalúa qué tan mala es a con respecto a b , b resulta mejor que a (ver sección 2.7.2).

3. Evaluación de cinco alternativas tecnológicas para la cocción de alimentos

combinación de Patsari + gas LP (son mejores en cuanto costo inicial, eficiencia y facilidad de operación), sin embargo también hay suficientes argumentos para lo contrario (las estufas de gas son peores en cuanto a rentabilidad, satisfacción de necesidades culturales y costos de operación). La inconsistencia radica entonces en que $a > b$, pero también $b > a$. Estos resultados indican que la información con que se están comparando estas dos alternativas es insuficiente o inadecuada, al menos para determinar su posición en la ordenación con NAIADE, y debe ser revisada. De igual manera, los valores de los umbrales de preferencia deben reevaluarse y, para futuras evaluaciones, deben establecerse a través de información directa con los usuarios e instituciones interesadas en el mejoramiento de estufas eficientes.

La peor alternativa para la sustentabilidad del STCA es la combinación FTS + gas LP, que ocupa la última posición en el orden. Esto se debe a que los costos del uso de los FTS (emisiones de contaminantes, salud, eficiencia) se suman a los costos de la estufa de gas (rentabilidad y acceso) y tienen peso mayor que los beneficios que conlleva esta opción. Para una evaluación más precisa se deberán incorporar más indicadores que indiquen sobre otros beneficios que perciban los usuarios, dado que la situación real en la cuenca indica que son las opciones más preferidas.

Figura 3.14. Ordenación de las alternativas de cocción bajo diferentes escenarios de compensación y niveles de credibilidad



3.8.3 Discusión sobre la integración con métodos multicriterio

Una diferencia en la evaluación con los MMC utilizados radica en el procedimiento de estandarización. En AHP y NAIADe este procedimiento se basó en comparaciones pareadas entre las alternativas de cocción evaluadas y no con base en un óptimo como se propone en el marco MESMIS. Esta diferencia puede tener diferentes implicaciones en los procesos de planeación. Los valores óptimos permiten establecer metas a cumplir, lo que da claridad y precisión para la generación de recomendaciones a futuro y para el establecimiento de perspectivas y acciones prioritarias para el mejoramiento de los sistemas de manejo (Masera y López- Ridaura, 2000). Sin embargo, la definición de valores óptimos puede ser complicada, especialmente a escalas pequeñas, para las que no existen estudios previos que permitan establecer valores de referencia. El diseño y mejoramiento de sistemas alternativos, por otro lado, debe considerar las limitantes y oportunidades del sistema de referencia, más que la sola optimización de los objetivos.

En ambos métodos la agregación de indicadores fue afectada por diferentes niveles de compensación, especialmente en AHP se generó una compensación completa derivada del esquema de agregación. Esta compensación favoreció la posición de los FTS y de la estufa de gas LP, y limitó la de las alternativas combinadas, que se esperaba tuvieran una posición más alta en relación a los FTS. La lógica compensatoria o parcialmente compensatoria de los métodos es relevante en la medida en que se le da importancia a la agregación como único resultado. En evaluación de sustentabilidad éste no es el caso, pues se busca un proceso que permita entender los costos y beneficios de las diferentes estrategias de manejo y cómo estos últimos son percibidos desde diferentes perspectivas. De acuerdo con Roy (1996), lo que es valioso de los MMC es el proceso de creación del análisis, que puede ayudar a los diferentes actores sociales a formar, argumentar y/o transformar sus preferencias, o tomar una decisión en función de sus objetivos.

NAIADe provee una comparación cualitativa de la relación de preferencia entre las alternativas de manejo en cada indicador, que es fácil de interpretar. La posibilidad de establecer niveles de tolerancia o umbrales de preferencia es útil para limitar el poder discriminante en la comparación de alternativas. Sin embargo el procedimiento en el que se basa, puede resultar una caja negra. AHP puede ser mejor para entender cómo se confrontan los costos y beneficios (*trade offs*) de las alternativas y para estructurar el problema de evaluación de sustentabilidad en jerarquías. El análisis de sensibilidad que provee es también importante, pues permite identificar alternativas robustas ante

diferentes perspectivas, como lo muestra la evaluación de las estufas Patsari. Este tipo de análisis puede ayudar en el manejo de la inconmensurabilidad social de las estrategias de manejo.

En cuanto a transparencia, NAIADE puede tener serias limitaciones, pues resulta un método muy complicado y demandante de información. En estos puntos, AHP resulta un método más amigable, pues su lógica es mucho más sencilla. Los datos de éste son fáciles de manejar por la naturaleza misma del método, pero también dadas las herramientas que provee el programa. Ambos métodos podrían ser útiles en la comunicación sobre la evaluación de la sustentabilidad, especialmente AHP, pues permite analizar los problemas en sus diferentes dimensiones de manera agregada y desagregada. La comunicación sobre el problema puede incrementar con los MMC al hacer explícitas, sistematizar y analizar las percepciones y objetivos de los actores sociales que influyen en la sustentabilidad de los sistemas socio-ambientales.

3.9 Conclusiones y recomendaciones (Paso VI)

Las tecnologías tradicionales representan un problema importante para la sustentabilidad del sistema tecnológico de la cuenca del lago de Pátzcuaro, no sólo con repercusiones a nivel familiar y local, sino a nivel global. Como se muestra en la presente evaluación, la sustitución de estas alternativas tecnológicas representa una alternativa viable, para mejorar tanto las condiciones de vida de la población rural, como para reducir los impactos ambientales del uso de leña en la región e incluso cumplir con compromisos nacionales como el Mecanismo de Desarrollo Limpio, en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero. La sustitución, por otro lado, no implica cambios radicales en las prácticas culturales y son más accesibles para las condiciones socioeconómicas de la región que las estufas de gas LP. Resultados preliminares indican que la gran mayoría de las usuarias que se han beneficiado con las estufas patsari declaran que están contentas con la tecnología (GIRA, 2003). Sin embargo, en la evaluación aún quedan algunos aspectos en los que se debe profundizar para entender con más precisión la sustentabilidad de las tecnologías, entre los que están:

- El marco MESMIS está diseñado para la evaluación de sistemas agrícolas, en este sentido, se deberán seguir desarrollando atributos, criterios e indicadores que sean adecuados para la evaluación de tecnologías, tanto de cocción como de otras alternativas para el aprovechamiento de energías renovables. En el caso específico de este estudio de caso

resultó difícil la incorporación de aspectos relacionados con las preferencias de los usuarios a partir de los atributos.

- Se requiere profundizar en diferentes estudios: un análisis más profundo sobre la exposición a contaminantes producto de la combustión de biomasa; sobre los beneficios e impactos ambientales resultados del uso de leña en la región y su dinámica espacio temporal, resultado de procesos socioeconómicos como el crecimiento de los mercados de leña y la disponibilidad del recurso; sobre la incorporación de criterios e indicadores relacionados al riesgo de accidentes por el uso de diferentes alternativas de cocción; y un análisis sistémico que permitan integrar las emisiones de contaminantes durante todo el ciclo de vida, tanto de las estufas de gas, como del combustible.
- Se requiere también más información sobre el funcionamiento de las preferencias de las usuarias, que permitan identificar los aspectos críticos para la adopción de una tecnología. Por ejemplo, cómo influyen las percepciones sobre riesgo de accidentes en la adopción, la demanda de trabajo para labores de mantenimiento o los cambios en las prácticas de cocinado que implican la adopción de una tecnología eficiente.

Las tecnologías tradicionales en la región muestran una alta persistencia dado el arraigo cultural que tienen. También son tecnologías muy accesibles a todos los sectores de la población y fácilmente instalables con conocimiento y materiales locales. Estos aspectos se deben considerar en los programas de mejoramiento y difusión de estufas eficientes, en especial se debería prestar atención en:

- La sustitución de una tecnología requiere de cambios culturales en las prácticas de cocinado e implica la elección entre diferentes costos. En el caso de las estufas Patsari, aunque cubren con muchos requerimientos culturales implica un cambio en aspectos como el tamaño de la leña utilizada, un nuevo espacio para cocinar, la posición en la que se cocina (parada, sentada) y la forma en que se le da mantenimiento. En este sentido, la difusión de estufas debe incorporar programas de sensibilización con las mujeres de las comunidades rurales en las que se expongan los beneficios del uso de estufas eficientes y los costos del uso de leña en fogones tradicionales, tales como el riesgo ocupacional que representan y los problemas regionales que generan, tales como la reducción de la disponibilidad del

combustible. Se debe incorporar también la participación de usuarias locales que puedan compartir experiencias exitosas con el uso de estufas mejoradas.

- La sustitución no necesariamente es completa, en general los usuarios optan por el uso múltiple tanto de combustible como de tecnología. Por ejemplo, una configuración que han adoptado algunas usuarias de estufas Patsari es la combinación con los FTS – principalmente para la cocción de nixtamal- y con estufas de gas LP.
- Desarrollar diseños más flexibles que respondan a una gama más amplia de necesidades de los usuarios. Para ello se deberán entender estas necesidades y los factores que influyen de manera determinante en las preferencias de los usuarios.
- Se debe encontrar un balance entre la eficiencia y el acceso y la autodependencia de la tecnología. Estos factores están en competencia; incrementar las capacidades técnicas de las estufas requiere de conocimiento especializado, materiales más costosos, el establecimiento de medidas estandarizadas y mayor infraestructura. Estos aspectos incrementan los costos de producción y hacen más difícil que las tecnologías encuentren su propia dinámica de apropiación en las comunidades rurales. Un enfoque interesante es el que ha adoptado el programa de mejoramiento y difusión de estufas eficientes de GIRA. En éste se están promoviendo procesos autogestivos a nivel regional, a través de la generación de una demanda local y pequeños talleres de estufas eficientes. Sin embargo, esto implica que el único medio de acceso a las Patsari es a través de la compra. Un problema a considerar será cómo consolidar estos mercados, dada a vulnerabilidad que presentan actualmente los mercados locales.

4 CONCLUSIONES GENERALES

El marco de evaluación de sustentabilidad MESMIS constituye un esfuerzo metodológico para poner en práctica el concepto de sustentabilidad, que ayuda a evaluar los sistemas de manejo desde múltiples dimensiones. Sin embargo, la evaluación de sustentabilidad aún impone retos metodológicos importantes, derivados de la necesidad de abordar los problemas de manera holística. Uno de los principales retos es la posibilidad de integrar las diferentes dimensiones consideradas a través de un proceso analítico, que permita entender al sistema de manera integral. En este trabajo se mostró que los MMC pueden ser una herramienta importante para abordar el problema de la inconmensurabilidad en los sistemas socioambientales y para cubrir aspectos metodológicos importantes de los marcos de evaluación como el MESMIS.

En particular, el uso de métodos multicriterio resultó útil para:

- La estructuración sistemática de la información derivada del proceso de evaluación de sustentabilidad y de acuerdo a la estructura del marco MESMIS, en el caso de AHP.
- La integración de las diferentes dimensiones de sustentabilidad a través de procedimientos de estandarización (manejo de inconmensurabilidad técnica) y el manejo de datos de calidad variada (precisos, imprecisos, ambiguos y cualitativos) en el caso de NAIADE.
- La generación de índices agregados en diferentes niveles de información.
- El análisis de conflictos sobre las alternativas de cocción. En este punto resultó importante la identificación de alternativas robustas ante diferentes perspectivas (manejo de inconmensurabilidad social)

El uso de MMC en análisis integrados como la evaluación de sustentabilidad es prácticamente indispensable, en este sentido, será necesario desarrollar métodos que sean más flexibles a las diferentes capacidades técnicas y de infraestructura de las comunidades rurales (por ejemplo en casos en que no es posible disponer de equipo de cómputo). En este proceso se debe poner atención en:

- La obtención de la información sobre las perspectivas de los actores sociales, tales como los métodos de ponderación, deberán buscar procedimientos sencillos y fáciles de

interpretar. La forma de obtener esta información puede ser complicada en métodos como AHP. En éste sentido será importante probar métodos alternativos, como los análisis de coaliciones que se proponen en NAIADE.

- La posibilidad de incorporar información con altos niveles de incertidumbre puede ser muy útil, como se mostró en la evaluación de las alternativas de cocción. Sin embargo, requieren procedimientos muy sofisticados, como resultó con NAIADE.
- Se debe poner especial atención en procedimientos que ayuden a comunicar los resultados de la evaluación y,
- Finalmente, para derivar conclusiones definitivas sobre la sencillez y transparencia de un método, se requiere su aplicación en procesos de participación reales con las comunidades rurales.

5 LITERATURA CITADA

- Álvarez- Icaza, P. y C. Garibay. 1992. Producción agropecuaria y forestal en el Lago de Pátzcuaro. En: Toledo V. M., P. Álvarez- Icaza y P. Ávila (eds). Plan Pátzcuaro 2000, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Archibugi F., P. Nijkamp y F. J. Soeteman. 1990. The challenge of sustainable development. En: Archibugi F. y P. Nijkamp (eds). *Economy and ecology: towards sustainable development*. Kluwer Academic Press, Londres.
- Astier M. y J. Hollands (eds). (*en prensa*). *Sustentabilidad y campesinado: seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*. Mundiprensa, México.
- Bana e Costa C. A., T. J. Stewart y J. C. Vansnick. 1997. Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion session of the ESIGMA meetings. *European Journal of Operational Research*; 99:28-37
- Banai, K. 1989. A new method for site suitability analysis: The AHP. *Environmental Management* 13: 685- 693
- Barrera N. 1992. Ecogeografía de Pátzcuaro. En: Toledo V. M., P. Álvarez- Icaza y P. Ávila (eds). Plan Pátzcuaro 2000, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Bell S. y S. Morse. 1999. Sustainability indicators: measuring the immeasurable. Earthscan, Londres.
- Bilsborough S. 1997. Pricing the countryside: the example of Tir Cymen. En: Foster J. (ed). *Valuing nature?: economics, ethics and environment*. Routledge, Londres.
- Bossel H. 1999. Indicators for sustainable development: theory, methods and applications: a report to the Balaton Group, International Institute for Sustainable Development (IISD), Canadá. 124 P.
- Briassoulis H. 2001. Sustainable development and its indicators: Through a (planner's) glass darkly. *Journal of Environmental Planning and management* 44: 409-427.
- Brown B. J., M. E. Hanson, D. M. Liverman y R. W. Merideth. 1987. Forum: Global Sustainability: Toward Definition. *Environmental Management* 11(6):713-719
- Bruce N. 2003. Household Energy and Health Program. Shell Foundation. <http://www.shellfoundation.org>, Mayo, 2004
- Caballero J., N. Barrera y C. Mapes. 1992. La Vegetación Terrestre del Lago de Pátzcuaro. En Toledo V. M., P. Álvarez- Icaza y P. Ávila (eds). Plan Pátzcuaro 2000, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Checkland P. y J. Scholes. 1993. *Soft systems methodology in action*. John Wiley & Sons, West Sussex
- Choo E.U., B. Schoner y W. C. Wedley. 1999. Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making. *Computers and Industrial Engineering* 37:527-541
- Clayton A. y N.J. Radcliffe. 1996. *Sustainability: a system approach*. Westview, EU. pp. 19- 45
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2001. Programa Nacional Forestal 2001- 2006. <http://www.conafor.gob.mx>, Mayo, 2004

- Constanza R., R. d'Arge, R.S.de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- De Camino V.R. y S. Muller. 1993. Sostenibilidad de la Agricultura y los Recursos Naturales. Bases para establecer indicadores. Serie Documentos de Programas No. 38. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)- GTZ, Costa Rica.
- De Montis A., P. De Toro, B. Droste-Franke, I. Omann y S. Stagl. (2000) Criteria for quality assessment of MCDA-methods. 3rd Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics, Vienna, 3-6 Mayo de 2000 (resumen).
- Díaz R y O. Masera. 2001. Estufas eficientes de leña: metodología para planear y ejecutar programas de difusión y monitoreo. Documento de trabajo 36. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Pátzcuaro, Michoacán
- Dixon J. A. y L. A. Fallon. 1989. The concept of sustainability: origins, extensions and usefulness for policy. *Society and Natural Resources* 2: 73- 84
- Dutt G. S., y J. Navia, 1987. La combustión de Biomasa y la estufa mejorada. Documento de trabajo D6, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Pátzcuaro, Michoacán, México.
- El-Swaify S.A. y D. S. Yakowitz (eds). 1998. Multiple objective decision making for land, water and environmental management. Proceeding of the first international conference on multiple objective decision support systems (MODSS) for land, water and environmental management: concepts, approaches and applications. Lewis Publishers, NY.
- Farber S. C., R. Constanza y M. A. Wilson. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystems. *Ecological Economics* 41: 375- 392.
- Farrel A. y M. Hart. 1998. Sustainability really mean?: the search for useful indicators. *Environment* 40: 6- 31.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1994. FESLM: an International framework for evaluating sustainable land management. FAO, World Soil Resources Report, Roma.
- Funtowicz S. O. y J.R. Ravetz. 1994. The worth of a song bird: ecological economics as a post-normal science, *Ecological economics* 10: 197- 207.
- Gallopín G. 2001. Science and technology, sustainability and sustainable development. Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), LC/R.2081, p33.
- García R. 1992. Interdiscipliniedad y sistemas complejos. En: Leff E. (ed). Ciencias sociales y formación ambiental. Gedisa-UNAM-UNESCO, pp 85-123.
- Groot R. S., M. A. Wilson y R. M. J. Boumans. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystems functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393-408.
- Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA). 2003 (datos no publicados). Proyecto "Mejoramiento del nivel de vida de los hogares de la Región Purhépecha". GIRA-Fundación Shell.
- Guitouni A. y J-M. Martel. 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research* 109: 501-521

- Harrington L., P. Jones y M. Winograd, 1994. Operationalizing sustainability: a total productivity approach. En: Land Quality Indicators Conference, CIAT., 1-34. Cali, Colombia: CIAT.
- Holling C. S., 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4(4):390-405.
- Imbach A., E. Dudley, N. Ortiz y H. Sánchez, 1997. Mapeo analítico, reflexivo y participativo de la sostenibilidad MARPS. En: UICN, 1997. Una Aproximación Integral a la Evaluación del Progreso hacia la Sostenibilidad- Serie Herramientas y Capacitación. Preparado por el Equipo Internacional de Evaluación de UICN/CIID y los equipos pilotos en Colombia, India y Zimbabwe.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Tecnología apropiada para comunidades marginadas; aplicación a la cuenca del lago de Pátzcuaro. <http://www.imta.mx/>, Mayo, 2004
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Michoacán, Resultados definitivos. XII Censo General de Población y Vivienda, INEGI, México.
- IPCC, 2001. Climate Change: The scientific Basis. IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm, Mayo, 2004
- Jiménez G. G. 2003. Evaluación multicriterio social de escenarios de futuro en la XIª región de Aysén, Chile. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Joint Research Centre of the European Commission (JRC), 1996. NAIADe, Manual and Tutorial. JRC- Ispra site, Italy.
- Kay J. J., H. A. Regier, M. Boyle y G. Francis. 1999. An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. *Futures*, 31: 721- 724
- Lahdelma R., Miettinen K. y Salminen P. 2003. Ordinal criteria in stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA). *European Journal of Operational Research* 147:117-127
- Lahdelma R., P. Salminen y J. Hokkanen. 2000. Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environmental Management* 26: 595-605.
- Lakshminarayan P. G., S. R. Jonson y A. Bouzاهر. 1995. A multi- objective approach to integrating agricultural economic and environmental policies. *Journal of environmental management* 45: 365-378.
- Lawrence, D. P. 1997. Integrating Sustainability and Environmental Impact Assessment. *Environmental Management* 21(1):23-42
- Lelé S.C. 1991. A Framework for sustainability and its application in visualizing a peaceful and sustainable society. Energy and Resource Group. University of California Berkeley, CA. Manuscrito no publicado
- Lelé S.C. 1993. Sustainability: A plural, multi- dimensional approach. Pacific Institute Working Paper. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Oakland, CA
- Martinez-Alier J., G. Munda y J. O'Neill. 1998. Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics* 26: 277- 286.
- Masera O. 1990. Sustainable energy scenarios for rural México: An integrated evaluation framework for cooking stoves. Tesis de Maestría, Universidad de California, Berkeley.

- Masera O. 1993. Sustainable fuelwood use in rural México. Vol I. Current Patterns of Resource Use. International Energy Studies, Energy and Environmental Division, Lawrence Berkeley Laboratory.
- Masera O. y J. Navia. 1993. Uso múltiple de combustibles para cocinar en el sector rural: el caso de la región Purhépecha. Documento de trabajo D-10. Programa de Bioenergía, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Masera O. 1995. Socioeconomic and Environmental Implications of Fuelwood Use Dynamics and Fuel Switching in Rural Mexico. Tesis Doctoral, Universidad de California, Berkeley.
- Masera O. 1997. Uso y conservación de energía en el sector rural. Documento de trabajo D-21. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Pátzcuaro, Michoacán.
- Masera O., D. Masera y J. Navia. 1998. Dinámica de uso de los recursos forestales de la Región Purhépecha: el papel de las pequeñas empresas artesanales. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. Pátzcuaro, Michoacán.
- Masera O., J. Navia, T.A. Chalico y E. Riegelhaupt. 1997a. Patrones de consumo de leña en tres micro- regiones de México: Síntesis de resultados. Documento de trabajo FAO-2, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Pátzcuaro, Michoacán.
- Masera O., J. Navia, S. Ochoa y J. C. Cedeño. 1997b. Proyecto FAO/MEX/TCP/4553(A) "Dendroenergía para el desarrollo rural": compendio metodológico y de resultados. Documento de trabajo D-10. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, Pátzcuaro, Michoacán.
- Masera O., M. Astier y S. López-Ridaura. 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: El marco MESMIS. Mundiprensa, México. p 109
- Masera O. y S. López-Ridaura (eds). 2000. Sustentabilidad y sistemas campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural. Mundiprensa, México p346.
- Masera O., B. D. Saatkamp y D. M. Kammen. 2000. From linear fuel switching to multiple cooking strategies: a critique and alternative to the energy ladder model. *World Development* 28: 2083-2103.
- Matarazzo B. y G. Munda. 2001. New approaches for the comparison of L-R fuzzy numbers: a theoretical and operational analysis. *Fuzzy Sets and Systems* 118: 407-418.
- Munasinghe M. 2002. Development, equity and sustainability (DES) in the context of climate change. En: Pachauri R.; T. Taniguchi y K. Tanaka (eds). Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC: intergovernmental panel on climate change, Viena.
- Munda G. (*manuscrito no publicado*). Métodos y procesos multicriterio para la evaluación ambiental integrada.
- Munda G., P. Nijkamp y P. Rietveld. (1994). Qualitative multicriteria evaluation for environmental management. *Ecological Economics* 10:97-112.
- Munda G., 1995. Multicriteria evaluation in a fuzzy environment. Theory and Applications in Ecological Economics. Physica- Verlag, Heidelberg.
- Munda G. 2000. Conceptualizing and responding to complexity. Serie: Policy Research Brief. Cambridge Research for the Environment, Cambridge.

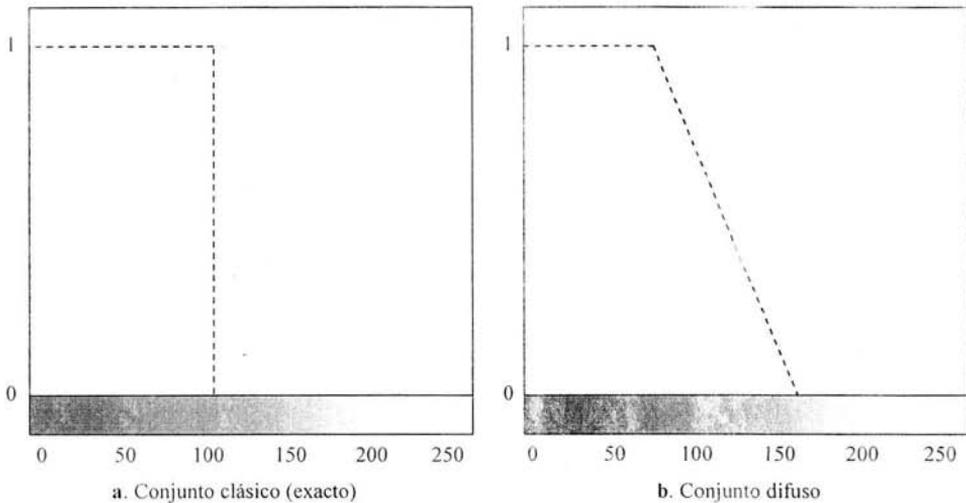
- Munda G. 2003. Social Multicriteria Evaluation (SMCE): Methodological Foundations and Operational Consequences. Versión aceptada en *European Journal of Operational Research*
- Munn E. R. 1990. Towards sustainable development: an environmental perspective. En: Achibugi F. y P. Nijkamp (eds.). *Economy and ecology*. Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Nabuurs G. J., J. F. Garza-Caligaris, M. Kanninen, T. Karjalainen, T. Lapveteläinen, J. Liski, O. Masera, G. M. J. Mohren, A. Pussinen y M. J. Schelhaas. 2002. CO2Fix V2.0. Manual of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. Reporte Alterra 445, Holanda, 44 p.
- Nijkamp P., P. Rietveld y H. Voogd. 1990. *Multicriteria evaluation in physical planning*. Elsevier, Amsterdam.
- Ortiz A. T. y M. Astier (eds). 2003. Ocho Estudios de Caso. *Leisa, Revista de Agroecología*, Edición Especial.
- Rietveld P. 1989. Using ordinal information in decision making under uncertainty. *Systems Analysis, Modeling, Simulation* 6: 659-672.
- Rotmans J. y M.B.A. van Asselt. 2001. Uncertainty management in integrated assessment modeling: towards a pluralistic approach. *Environmental Monitoring and Assessment* 69: 101-130.
- Roxbee C. J. 1997. The relations between preservation value and existence value. En: Foster J. (ed). *Valuing nature?: economics, ethics and environment*. Routledge, Londres.
- Roy B. 1996. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Saatkamp B. D., O. Masera y D. M. Kammen. 2000. Energy and health transitions in development: fuel use, stove technology, and morbidity in Jarácuaro, México. *Energy for Sustainable Development* 4: 7-16
- Saaty T.L. 1980. *The analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, NY.
- Salminen P., J. Hokkanen y R. Lahdelma. 1998. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. *European Journal of Operational Research* 104:485-496
- Secretaría de Salud (SSA). 2001. Programa Nacional de Salud 2001- 2006. www.ssa.gob.mx, Mayo, 2004
- Smith K. R. 1991. The health effects of biomass smoke: A brief survey of current knowledge. Risk and Development Program, Environment and Policy Institute, East- West Center. Hawaii.
- Smith K.R 1992. Biomass cookstoves in global perspectives: energy, health, and global warming, en: Organización Mundial de la Salud (OMC). *Indoor air pollution from biomass fuel*. Documento de trabajo, Ginebra.
- Smith K. R. 1993. Fuel combustion, air pollution exposure and health in developing countries, *Annual Review of Energy Environment* 18:529- 566.
- Stirling A. 1997. Multicriteria mapping: mitigating the problems of environmental valuation? En: Foster J. (ed). *Valuing nature? Economics, ethics and environment*. Routledge, Londres.
- Taylor C. D., Z. A. Mohamed, M. N. Shamsudin, M. G. Mohayidin y E. F. C. Chiew, 1993. Creating a farmer sustainability index: A Malaysian case study. *American Journal of Alternative Agriculture* 8: 175-184.

- Triantaphyllou E. 2000. Multicriteria decision making methods: a comparative study. Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Valencia M. A. 2004. Improved cookstoves in Michoacán, México: A search for an integrated perspective that promotes local culture, health, and sustainability. Tesis de Maestría por la Universidad de California, Berkeley.
- Van den Bergh J.C.J.M. y H. Verbruggen. 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics* 29: 61-72
- Van den Bergh J.C.J.M., A. Ferre-i-Carbonell y G. Munda. 2000. Alternative models of individual behaviour and implications for environmental policy. *Ecological Economics* 32: 43-61.
- Vincke P. 1992. Decision aid. John Wiley & Sons, NY.
- World Commission for Environment and Development (WCED). 1987. Our common future. Report of the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, NY.
- Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets, *Information and Control* 8: 338-353.
- Zander P. y H. Kächele. 1999. Modelling multiple objectives for land use for sustainable development. *Agricultural Systems* 59: 311-325.
- Zimmermann J. H. 1996. Fuzzy set theory and its applications. 3a. Ed., Kluwer Academic Publishers, Londres.

ANEXO I. CONJUNTOS DIFUSOS

La teoría de conjuntos difusos (Zadeh, 1965) es una extensión de la teoría clásica de conjuntos, basada en una lógica binaria. El concepto de conjuntos difusos se basa en la noción de que entre las proposiciones “verdadero” y “falso” existe un intervalo de valores que no son ni completamente “ciertos” ni completamente “falsos”. La teoría fue desarrollada para modelar la ambigüedad en sistemas complejos y se refiere al significado semántico de los eventos, fenómenos o proposiciones (Zimmermann, 1996). Un ejemplo para mostrar un concepto difuso es el que se muestra en la Figura I.1. En esta la proposición “gris oscuro” es modelada. De acuerdo a la teoría clásica de conjuntos se debe definir una frontera exacta entre los grises definidos como oscuros y los que no lo son. Cuando el concepto se modela de acuerdo a la teoría de conjuntos difusos pueden definirse diferentes grados de oscuridad y representarse por un intervalo de valores entre los grises que pertenecen completamente a la proposición “gris oscuro” (1) y los que definitivamente no pertenecen (0). Esto permite modelar cierta variabilidad en la percepción humana del color.

Figura I.1. Modelo para definir grados de oscuridad para el color gris de acuerdo a conjuntos clásicos y difusos.



Una definición formal para un conjunto difuso es la siguiente (Zimmermann, 1996).

Sea X una colección de objetos denotada por x , entonces un conjunto difuso A en X es un par ordenado

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\},$$

$\mu_A(x)$ es llamada función de pertenencia o grado de verdad de x en A en el espacio de pertenencia M . μ generalmente está normalizado en el intervalo $(0, 1)$.

Los conjuntos difusos se utilizan para describir predicados como alto, bajo, bueno, malo, aproximado, etc., que presentan mucha ambigüedad en su definición. Por ejemplo, el adjetivo alto, como en el ejemplo del color, se puede asociar a un intervalo muy amplio de estaturas, cada una de las cuales, posee un nivel de pertenencia al predicado asociado. La pertenencia incrementa con valores de estatura más altos y disminuye con estaturas más bajas. Estrictamente hablando la definición de números difusos se restringe a conjuntos difusos convexos y normales, con funciones de pertenencia continuas (Matarazzo y Munda, 2001). Un ejemplo son los números difusos trapezoidales (Figura I.2), que se caracterizan por un cuádruple (a, b, l, u) , donde $[a, b]$ corresponde al intervalo en el que la función de pertenencia es igual a 1, l corresponde al extremo izquierdo de la variación y u al extremo derecho. Si sólo existe un punto en el que la función de pertenencia es igual a 1 entonces se trata de un número difuso triangular (Figura I.3).

Figura I.2. Número difuso trapezoidal

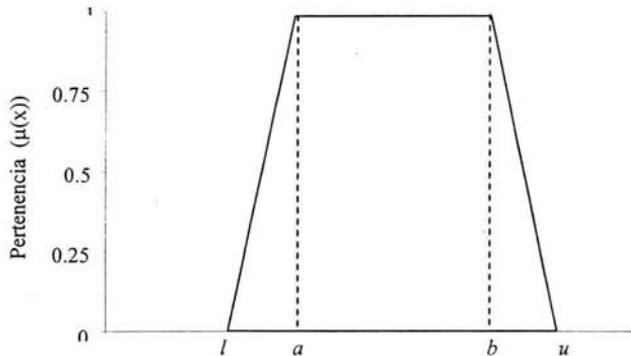
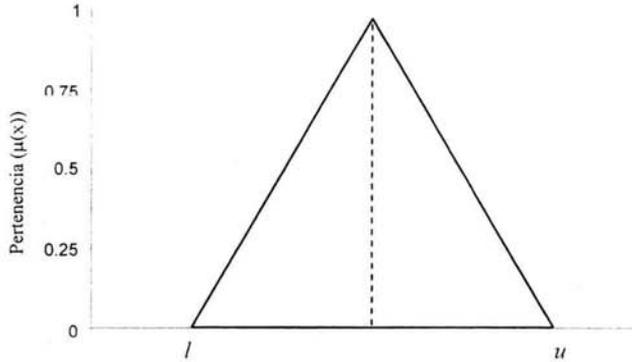


Figura I.3. Número difuso triangular

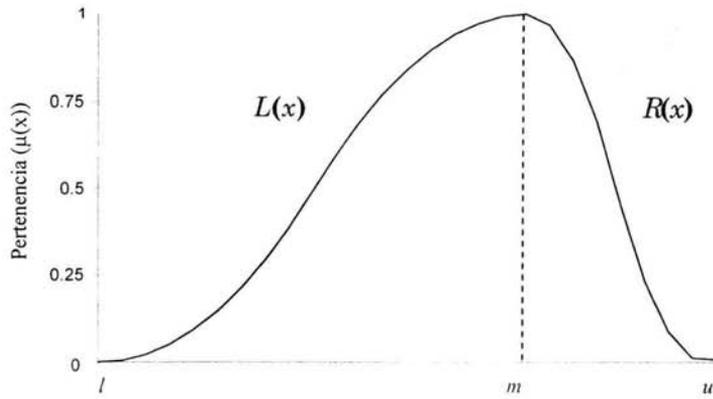


Otro tipo de números difusos más generales son los *números difusos LR* (por *left & right*) propuestos por Dubois y Prade (1979 en Zimmermann, 1996). Un número difuso LR se define por

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m-x}{l}\right) & \text{para } x \leq m \\ R\left(\frac{x-m}{u}\right) & \text{para } x \geq m \end{cases}$$

en donde m es el valor “medio” y el punto en el que la función de pertenencia vale 1, l y u son respectivamente los extremos izquierdo y derecho del intervalo. $L(x)$ y $R(x)$ son funciones monótonas que describen el lado izquierdo y derecho del número difuso, no son necesariamente simétricas (Figura I.4). Si m no es un punto, sino un intervalo de valores $[m_1, m_2]$, entonces se le llama *número difuso plano*.

Figura I.4. Número difuso LR



ANEXO II. VARIABLES DIFUSAS Y UMBRALES DE PREFERENCIA PARA LA INTEGRACIÓN CON NAIADÉ

Variables difusas

Costo Total Relativo (CTR)

Los costos totales relativos calculados son muy variables y el análisis realizado es muy sensible a cambios en los diferentes parámetros. Debido a esto, éste indicador se integró como variable difusa. Para la derivación de los parámetros de los números difusos se llevó a cabo un análisis de sensibilidad bajo diferentes escenarios de consumo de combustible, precio del combustible y ahorros de las estufas eficientes (Tablas II. 1 y II. 2).

Tabla II. 1 Costo Total Relativo para las tecnologías de cocción de alimentos bajo diferentes escenarios de precio y consumo de combustible.

ESCENARIOS	FTS	FTS+GAS	GAS	PATSARI+GAS	PATSARI
PRECIO LEÑA					
\$0.50	1.00	1.90	3.54	1.76	0.82
\$1.00	1.00	1.38	1.78	1.17	0.74
\$1.50	1.00	1.20	1.19	0.97	0.72
\$2.00	1.00	1.12	0.89	0.87	0.70
PRECIO GAS					
\$7.00	1.00	1.38	1.78	1.17	0.74
\$9.00	1.00	1.48	2.04	1.27	0.74
\$11.00	1.00	1.59	2.29	1.37	0.74
\$13.00	1.00	1.69	2.55	1.48	0.74
CONSUMO LEÑA					
-40%	1.00	1.73	2.95	1.56	0.79
-20%	1.00	1.51	2.22	1.31	0.76
+20%	1.00	1.29	1.49	1.07	0.73
+40%	1.00	1.23	1.27	1.00	0.72
CONSUMO GAS					
-40%	1.00	1.23	1.42	1.02	0.74
-20%	1.00	1.31	1.60	1.09	0.74
+20%	1.00	1.45	1.96	1.24	0.74
+40%	1.00	1.52	2.14	1.31	0.74

Tabla II. 2. Escenarios para precio de leña y ahorros de combustible de las estrategias con estufas mejoradas

ESCENARIOS DE AHORRO (%)	PRECIO DE LEÑA			
	\$0.50	\$1.00	\$1.50	\$2.00
PATSARI				
30	0.85	0.78	0.75	0.74
40	0.75	0.68	0.65	0.64
50	0.65	0.58	0.55	0.54
60	0.55	0.48	0.45	0.44
PATSARI + GAS				
30	1.78	1.19	1.00	0.90
40	1.70	1.11	0.91	0.81
50	1.62	1.02	0.83	0.73
60	1.53	0.94	0.74	0.64

Este indicador se describió con números difusos LR e integra la variabilidad del CTR bajo diferentes escenarios de consumo de combustible. Los valores de los parámetros l y u (ver Anexo I) corresponden al CTR para un escenario de consumo mínimo y un escenario de consumo máximo. En el caso de las alternativas con estufas mejoradas se combinaron escenarios de precio actual de leña bajo diferentes porcentajes de ahorro y escenarios de consumo de leña (Tabla II. 3).

Tabla II. 3. Parámetros para los números difusos LR para la descripción del Costo Total Relativo (CTR) de las tecnologías de cocción

	l	m	u
FTS + GAS	1.23	1.38	1.73
PATSARI	0.48	0.74	0.79
PATSARI + GAS	0.94	1.17	1.56
GAS	1.27	1.83	2.95

El CTR se calculó en relación a los FTS, por lo que en éste indicador su valor siempre es igual a 1, debido a esto no se incluyó en la tabla.

Exposición a PRS

Para integrar los datos de exposición a PRS para los FTP ($600 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y FU ($970 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en una sola alternativa (FTS) se modelaron los valores como un número difuso. Dado que no se tiene información detallada para asignar diferentes niveles de pertenencia al intervalo se seleccionó un número difuso plano (ver Anexo I). Las alternativas combinadas también se modelaron de esta

manera, con sus valores en el intervalo de exposición reportados para el uso de gas LP y leña. Los valores de los parámetros se resumen en la Tabla II. 4.

Tabla II. 4. Parámetros para los números difusos LR para la descripción de los valores de exposición a PRS

	Intervalo($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	<i>l</i>	<i>u</i>
FTS	600	970
FTS + GAS	45	970
PATSARI + GAS	45	300

Costo de operación

El costo de operación para las tecnologías de leña depende de la estrategia para la obtención del combustible. Si la leña se recolecta y no se le asigna un costo de oportunidad a la labor esta estrategia no representa ningún costo monetario. Sin embargo también existe la opción de obtener leña por medio de la compra, en cuyo caso puede representar fuertes inversiones monetarias para los usuarios. Los valores asignados a las tecnologías de leña incluyen un escenario por recolección de leña, sin costo de oportunidad y un escenario de compra de leña. Estos dos escenarios se integran en números difusos planos y describen la gama de opciones de inversión para la obtención de combustible. Los parámetros se establecieron como se muestra en la Tabla II. 5.

Tabla II. 5 Parámetros de los números difusos para la descripción de los valores indicador costo de operación

	\$/MES			
	<i>l</i>	<i>m1</i>	<i>m2</i>	<i>u</i>
FTS	0	0	283	283
FTS + GAS	104	104	345	345
PATSARI	0	0	189	189
PATSARI + GAS	104	104	312	312

Determinación de umbrales de preferencia

A través de los umbrales de preferencia se limita la importancia de las diferencias entre los valores de las TCA en los indicadores y dan una indicación de la sensibilidad de las preferencias de los actores sociales. Idealmente la derivación de los umbrales debe ser un proceso participativo abierto, sin embargo en éste trabajo son definidos a partir de información indirecta. La determinación de los umbrales se basa en el enfoque adoptado en Jiménez (2003).

Eficiencia

Dado que no se cuenta con información para establecer los umbrales de preferencia para los indicadores de éste criterio de diagnóstico, se calcularon obteniendo la diferencia mínima entre los valores para las TCA (Jiménez, 2003). Esto no limita la importancia de la diferencias entre las TCA y, la diferencia mínima, tiene un poder completamente discriminatorio. De éste modo el umbral para la relación mucho peor se fijó de acuerdo con

$$C_{\ll} = \min |a_{ij} - a'_{ij}|,$$

en donde a_{ij} es el valor de la alternativa i que toma en el indicador j y a'_{ij} el valor de su complemento que toma en el mismo indicador. Para obtener los umbrales de preferencia peor (C_{\ll}), aproximadamente igual (C_{\equiv}) e igual ($C_{=}$) se consideró, respectivamente, el 75%, 50% y 25% de C_{\ll} (Tabla II.6). Los umbrales calculados para los indicadores de consumo específico de combustible y consumo per capita de combustible se muestran en la

Tabla II. 6 Umbrales de preferencia para CEC y CPC

Umbrales de preferencia	CEC (MJ/por persona/día)	CPC (MJ/kg insumo)
C_{\ll}	0.54	30
$C_{<}$	0.40	22
C_{\equiv}	0.27	15
$C_{=}$	0.13	8

Costo Total Relativo

Para la obtención de los umbrales de preferencia para el indicador de costo total relativo se procedió como en el caso anterior, definiendo un umbral de preferencia a partir de la diferencia mínima (Tabla II.7). Dado que el objetivo es minimizar el costo total de cada tecnología, se calcularon los umbrales de preferencia en términos de la relación de preferencia mucho peor ($C_{<<}$).

Tabla II. 7. Umbrales de preferencia para Costo Total Relativo (CTR)

Umbrales de preferencia	Diferencias en el CTR
$C_{<<}$	0.21
$C_{<}$	0.16
$C_{=}$	0.11
$C_{>}$	0.05

Emisiones de CO₂ equivalentes

Los umbrales de preferencia fijados para el indicador de emisiones de CO₂ equivalentes se estimaron considerando el porcentaje de mitigación, que de acuerdo con Masera (2004, *com. pers.*), se considera igual, aproximadamente igual, mejor y mucho mejor en relación a los FTS. Debido a que las relaciones de preferencia en NAIADE son simétricas estos porcentajes pueden indicar también el incremento necesario en emisiones para considerar una TCA igual, aproximadamente igual, peor o mucho peor que otra. Dado que el objetivo de éste indicador es minimizar las emisiones, esta última interpretación es utilizada. Los umbrales para el indicador de emisiones de CO₂ equivalentes se muestran en la Tabla 3.25.

Tabla II. 8. Umbrales de preferencia para Emisiones de CO₂ equivalentes

Umbrales de preferencia	Mitigación sobre los FTS (%)	Incremento en las emisiones (Ton CO ₂ eq./año)
$C_{<<}$	50	0.83
$C_{<}$	30	0.50
$C_{=}$	10	0.17
$C_{>}$	0	0.00

Exposición a PRS

En este caso los umbrales de preferencia indican el incremento en la exposición a PRS que se considera mucho peor (\ll), peor ($<$), aproximadamente igual (\cong) o igual (\equiv). Los umbrales para éste indicador se calcularon fijando el umbral para la relación mucho peor con la diferencia mínima. Para las relaciones *peor*, *aproximadamente igual* e *igual* se consideró, respectivamente, el 75%, 50% y 25 % de éste valor. Los valores calculados para los umbrales se muestran en la Tabla II. 9.

Tabla II. 9. Umbrales de preferencia para las Emisiones de PRS

Umbrales de preferencia	Diferencia($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C_{\ll}	255
$C_{<}$	191
C_{\cong}	127
C_{\equiv}	63

Costo inicial

El costo inicial de una TCA es un factor importante en el proceso de adopción, particularmente cuando los beneficios de esta no son bien conocidos o hay falta de confianza en la tecnología. Uno de los principios con los que parte el programa de difusión de estufas eficientes de leña que coordina GIRA, A.C. es no subsidiar completamente la instalación de las estufas, pues se ha comprobado que la adopción a largo plazo falla cuando los usuarios obtienen la tecnología sin ningún esfuerzo de su parte. Sin embargo uno de los problemas recurrentes para la aceptación inicial de las Patsari ha sido el costo que representa su adquisición. Aunque la percepción del costo puede variar dependiendo de las condiciones económicas de los usuarios, del acceso a diferentes formas de micro financiamientos¹⁶ o de la disposición de los usuarios para pagar por los beneficios de la estufa¹⁷, en general el precio de las estufas se percibe como una opción cara. En éste sentido, para el costo inicial de las TCA se fijó como umbral para la relación mucho peor el costo actual de

¹⁶ En muchos casos por ejemplo, las estufas de gas son financiadas por familiares que viven en el extranjero o que trabajan en otras ciudades. Otro ejemplo son las tandas organizadas por GIRA como parte del programa de difusión de estufas eficientes y que ha dado buenos resultados para la adopción.

¹⁷ Por ejemplo, los usuarios que padecen enfermedades causadas por el humo están más dispuestos a cubrir el costo de las estufas.

la estufa Patsari. Para las relaciones peor, aproximadamente igual e igual se consideró, respectivamente, el 75%, 50% y 25 % de éste valor (Tabla II.10).

Tabla II. 10. Umbrales de preferencia para el Costo Inicial de las TCA

Umbrales de preferencia	Incremento en el costo (\$)
C_{\ll}	350
$C_{<}$	262
$C_{=}$	175
$C_{>}$	87

Costo de operación

Una de las razones expresadas por los usuarios para no sustituir las estufas de leña por estufas de gas es el alto costo que implica el uso de gas LP. Un de gas LP gasta al mes casi el doble que un usuario que compra leña. Bajo el supuesto de que la mayoría de los usuarios consideran muy alto el costo de operación de una estufa de gas, el umbral de preferencia mucho peor (C_{\ll}) se fijó como la diferencia entre el costo de operación de un FTS (para un usuario que compra el combustible) y el costo de operación de una estufa de gas. El resto de los umbrales se calcularon considerando, como en los casos anteriores, el 75%, 50% y 25% del valor de C_{\ll} . Los valores para cada umbral se muestran en la Tabla II.11.

Tabla II. 11. Umbrales de preferencia para Costo de Operación de las TCA

Costo de operación	
C_{\ll}	180
$C_{<}$	135
$C_{=}$	90
$C_{>}$	45

ANEXO III. RESULTADOS DE NIAIDE

Tabla III. 5-1. Índices de credibilidad para las relaciones de preferencia

X vs Y	INDICES DE CREDIBILIDAD PARA LAS RELACIONES DE PREFERENCIA					
<i>Consumo específico de combustible</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0	0	0.0098	0	0.9538	0.9294
FTS vs PATSARI	0	0	0.0864	0	0.853	0.7794
FTS vs PATSARI-GAS	0	0	0.0025	0	0.9722	0.9573
FTS vs GAS	0	0	0.0005	0	0.9827	0.9735
FTS-GAS vs PATSARI	0.7321	0.8203	0.114	0	0	0
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0	0.25	0.0001	0.6503	0.5
FTS-GAS vs GAS	0	0	0.0474	0	0.9	0.8485
PATSARI vs PATSARI-GAS	0	0	0.0285	0	0.9245	0.8852
PATSARI vs GAS	0	0	0.0054	0	0.9635	0.9441
PATSARI-GAS vs GAS	0	0	0.1895	0	0.7281	0.6031
<i>Consumo per capita de combustible</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0	0	1	1	0	0
FTS vs PATSARI	0	0	0	0	0.9987	0.998
FTS vs PATSARI-GAS	0	0	0	0	0.998	0.997
FTS vs GAS	0	0	0	0	0.9996	0.9994
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0	0	0.9987	0.998
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0	0	0	0.998	0.997
FTS-GAS vs GAS	0	0	0	0	0.9996	0.9994
PATSARI vs PATSARI-GAS	0.9422	0.9615	0.0059	0	0	0
PATSARI vs GAS	0	0	0	0	0.998	0.997
PATSARI-GAS vs GAS	0	0	0	0	0.9987	0.998

Tabla III. 1. (continuación)

X vs Y	INDICES DE CREDIBILIDAD PARA LAS RELACIONES DE PREFERENCIA					
<i>Costos totales relativos</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0.8339	0.8824	0.0632	0	0	0
FTS vs PATSARI	0	0	0.1321	0	0.8012	0.7218
FTS vs PATSARI-GAS	0.5182	0.6471	0.2553	0	0	0
FTS vs GAS	0.964	0.9747	0.0019	0	0	0
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0.0084	0	0.9575	0.9396
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0	0.2324	0	0.6575	0.5314
FTS-GAS vs GAS	0.8912	0.9233	0.0305	0	0	0
PATSARI vs PATSARI-GAS	0.8848	0.9187	0.0336	0	0	0
PATSARI vs GAS	0.9792	0.9854	0.0003	0	0	0
PATSARI-GAS vs GAS	0.9421	0.9593	0.008	0	0	0
<i>Partículas respirables suspendidas</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0	0	0.1616	0	0.6785	0.5489
FTS vs PATSARI	0	0	0.0709	0	0.8657	0.8051
FTS vs PATSARI-GAS	0	0	0.034	0	0.9114	0.8705
FTS vs GAS	0	0	0.0176	0	0.9375	0.9084
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0.3222	0.0005	0.5413	0.3785
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0	0.1397	0	0.7547	0.6504
FTS-GAS vs GAS	0	0	0.0801	0	0.8543	0.7888
PATSARI vs PATSARI-GAS	0	0	0.4986	0.0585	0.3083	0.1417
PATSARI vs GAS	0	0	0.2486	0	0.6406	0.5
PATSARI-GAS vs GAS	0	0	0.4986	0.0585	0.3082	0.1417

Tabla III. 1. (continuación)

X vs Y	INDICES DE CREDIBILIDAD PARA LAS RELACIONES DE PREFERENCIA					
<i>Emissiones de CO₂ equivalentes</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0.0635	0.2777	0.2825	0	0	0
FTS vs PATSARI	0	0	0.0553	0	0.6685	0.4077
FTS vs PATSARI-GAS	0	0	0.3065	0	0.2517	0.0518
FTS vs GAS	0	0	0.3065	0	0.2517	0.0518
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0.0156	0	0.8063	0.6159
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0	0.0866	0	0.5902	0.3112
FTS-GAS vs GAS	0	0	0.0866	0	0.5902	0.3112
PATSARI vs PATSARI-GAS	0.1459	0.4137	0.1804	0	0	0
PATSARI vs GAS	0.1459	0.4137	0.1804	0	0	0
PATSARI-GAS vs GAS	0	0	1	1	0	0
<i>Satisfacción de las necesidades de cocinado</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0	0	0.3921	0.0008	0.5085	0.2838
FTS vs PATSARI	0	0	0.6443	0.2075	0.1379	0.0225
FTS vs PATSARI-GAS	0	0	0.6443	0.2075	0.1379	0.0225
FTS vs GAS	0.5451	0.7191	0.2307	0	0	0
FTS-GAS vs PATSARI	0.0874	0.2758	0.5591	0.0638	0	0
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0.0874	0.2758	0.5591	0.0638	0	0
FTS-GAS vs GAS	0.7797	0.8726	0.091	0	0	0
PATSARI vs PATSARI-GAS	0	0	0.7499	0.5095	0	0
PATSARI vs GAS	0.6644	0.8	0.1622	0	0	0
PATSARI-GAS vs GAS	0.6644	0.8	0.1622	0	0	0

Tabla III. 1. (continuación)

X vs Y	INDICES DE CREDIBILIDAD PARA LAS RELACIONES DE PREFERENCIA					
<i>Limpieza del entorno</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0	0	0.8464	0	0.0324	0.0013
FTS vs PATSARI	0	0	0.0308	0	0.9358	0.8862
FTS vs PATSARI-GAS	0	0	0.0308	0	0.9358	0.8862
FTS vs GAS	0	0	0.026	0	0.9412	0.8956
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0.0364	0	0.9296	0.8756
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0	0.0364	0	0.9296	0.8756
FTS-GAS vs GAS	0	0	0.0308	0	0.9358	0.8862
PATSARI vs PATSARI-GAS	0	0	0.8825	0	0	0
PATSARI vs GAS	0	0	0.8464	0	0.0324	0.0013
PATSARI-GAS vs GAS	0	0	0.8464	0	0.0324	0.0013
<i>Facilidad de operación y mantenimiento</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0	0	0.4772	0.0116	0.3902	0.1711
FTS vs PATSARI	0.1711	0.3902	0.4811	0.0128	0	0
FTS vs PATSARI-GAS	0	0	0.7499	0.5095	0	0
FTS vs GAS	0	0	0.1614	0	0.8	0.6644
FTS-GAS vs PATSARI	0.5451	0.7191	0.2307	0	0	0
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0.1711	0.3902	0.4767	0.0115	0	0
FTS-GAS vs GAS	0	0	0.3347	0.0001	0.5902	0.3763
PATSARI vs PATSARI-GAS	0	0	0.4803	0.0126	0.3902	0.1711
PATSARI vs GAS	0	0	0.0778	0	0.8869	0.8033
PATSARI-GAS vs GAS	0	0	0.1614	0	0.8	0.6644

Tabla III. 1. (continuación)

X vs Y	INDICES DE CREDIBILIDAD PARA LAS RELACIONES DE PREFERENCIA					
<i>Costo inicial</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0.9815	0.9874	0.0001	0	0	0
FTS vs PATSARI	0.4471	0.5987	0.2815	0.0001	0	0
FTS vs PATSARI-GAS	0.9854	0.9901	0	0	0	0
FTS vs GAS	0.9806	0.9869	0.0001	0	0	0
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0.0004	0	0.9832	0.9752
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0.401	0.5607	0.3096	0.0003	0	0
FTS-GAS vs GAS	0	0	0.8074	0.7656	0.0407	0.003
PATSARI vs PATSARI-GAS	0.9811	0.9872	0.0001	0	0	0
PATSARI vs GAS	0.9738	0.9823	0.0004	0	0	0
PATSARI-GAS vs GAS	0	0	0.25	0	0.6409	0.5
<i>Costo de operación</i>						
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0.1151	0.2743	0.4305	0.0166	0	0
FTS vs PATSARI	0	0	0.5016	0.0641	0.1081	0.02
FTS vs PATSARI-GAS	0.0614	0.1953	0.4704	0.0376	0	0
FTS vs GAS	0.78	0.8477	0.086	0	0	0
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0.3517	0.0018	0.4811	0.3107
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0	0.5565	0.1377	0.0147	0.0004
FTS-GAS vs GAS	0.6483	0.7527	0.163	0	0	0
PATSARI vs PATSARI-GAS	0.2399	0.4141	0.3957	0.007	0	0
PATSARI vs GAS	0.8258	0.88	0.0599	0	0	0
PATSARI-GAS vs GAS	0.6815	0.777	0.1436	0	0	0

Tabla III. 1. (continuación)

X vs Y	INDICES DE CREDIBILIDAD PARA LAS RELACIONES DE PREFERENCIA					
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
<i>Dependencia de insumos externos</i>						
FTS vs FTS-GAS	0.6644	0.8	0.1614	0	0	0
FTS vs PATSARI	0.3763	0.5902	0.3347	0.0001	0	0
FTS vs PATSARI-GAS	0.8033	0.8869	0.0778	0	0	0
FTS vs GAS	0.8438	0.911	0.054	0	0	0
FTS-GAS vs PATSARI	0	0	0.4772	0.0116	0.3902	0.1711
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0.1711	0.3902	0.4811	0.0128	0	0
FTS-GAS vs GAS	0.3763	0.5902	0.3352	0.0001	0	0
PATSARI vs PATSARI-GAS	0.5451	0.7191	0.2307	0	0	0
PATSARI vs GAS	0.6644	0.8	0.1605	0	0	0
PATSARI-GAS vs GAS	0.0225	0.1379	0.6398	0.1974	0	0

Tabla III. 5-2. Agregación de criterios

X vs Y	INDICES DE INTENSIDAD DE LA PREFERENCIA					
	X >> Y	X > Y	X ~ Y	X == Y	X < Y	X << Y
FTS vs FTS-GAS	0.2041	0.2533	0.2513	0.0914	0.1519	0.1058
FTS vs PATSARI	0	0.0439	0.046	0	0.485	0.3987
FTS vs PATSARI-GAS	0.17	0.2121	0.1061	0.002	0.3688	0.3331
FTS vs GAS	0.3497	0.3926	0	0	0.4402	0.397
FTS-GAS vs PATSARI	0.0591	0.1132	0.0169	0	0.5765	0.4709
FTS-GAS vs PATSARI-GAS	0	0.0152	0.0444	0	0.3887	0.2817
FTS-GAS vs GAS	0.1844	0.2455	0.0748	0.0504	0.4319	0.3515
PATSARI vs PATSARI-GAS	0.3029	0.3725	0.1929	0.0019	0.0898	0.0759
PATSARI vs GAS	0.3603	0.4296	0.0778	0	0.3004	0.2624
PATSARI-GAS vs GAS	0.1654	0.2116	0.276	0.0953	0.2698	0.1857