



PROGRAMA DE LAS  
NACIONES UNIDAS  
PARA  
EL MEDIO AMBIENTE



ORGANIZACION  
DE LAS NACIONES UNIDAS  
PARA LA EDUCACION,  
LA CIENCIA  
Y LA CULTURA

DIRECTRICES METODOLOGICAS  
PARA LA  
EVALUACION AMBIENTAL INTEGRADA  
DEL  
DESARROLLO DE LOS RECURSOS HIDRICOS



PROGRAMA  
HIDROLOGICO  
INTERNACIONAL

PNUMA/  
EMINWA

UNESCO  
PARIS, 1987

**DIRECTRICES METODOLOGICAS**

**PARA LA**

**EVALUACION AMBIENTAL INTEGRADA**

**DEL DESARROLLO DE LOS**

**RECURSOS HIDRICOS**

Las designaciones empleadas y la presentación de los temas a lo largo de esta publicación no implican ninguna opinión cualsea de la parte de la UNESCO en lo que concierne el estatuto legal de cualquier pais, territorio, ciudad o area, o de las autoridades, o en lo que concierne la delimitación de las fronteras o limites.

PNUMA

UNESCO

DIRECTRICES METODOLOGICAS

PARA LA

EVALUACION AMBIENTAL INTEGRADA

DEL

DESARROLLO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

Preparado por el grupo de expertos científicos del proyecto PNUMA/UNESCO FP/5201-85-01 'Evaluación Ambiental Integrada del Desarrollo de Recursos Hídricos', bajo la presidencia del profesor Dr.L.Hartmann

El Instituto de Investigación para la Gestión de la Naturaleza, Leersum, Países Bajos, imprimió este informe.

Unesco, Paris, 1987

## PREFACIO

Ademas de los beneficios esperados, los proyectos hidricos pueden tambien tener efectos defavorables sobre el régimen hidrológico, sobre el medio ambiente en general y sobre la salud y las condiciones de vida de la población considerada. Un manejo racional del agua tendría que incluir ambos efectos, favorables y defavorables. Esto implica una valoración de los impactos socio-económicos y ambientales causados por los cambios en el régimen hidrológico. La influencia del hombre sobre el ciclo hidrológico y el impacto de los proyectos hídricos son areas prioritarias para los programas hídricos respectivos del PNUMA y de la UNESCO. El programa de recursos hídricos de Unesco esta centrado alrededor del Programa Hidrológico Internacional (PHI). Dentro del PHI, la influencia del hombre sobre el ciclo hidrológico ha sido un area prioritaria desde el principio del Decenio Hidrológico Internacional en 1965. Esta sección contiene estudios científicos sobre la influencia del hombre sobre el ciclo hidrológico, incluyendo la cantidad y la calidad del agua. Las actividades del hombre estan consideradas de manera a incluir la acción directa, como los cambios en el uso del suelo, el uso consuntivo del agua, las actuaciones físicas directas en sistemas de rios, la adición de varios tipos de contaminantes, así como los de origen más indirecto, como por ejemplo, los cambios del clima debidos al hombre. Estos estudios incluyen tambien los resultados de los cambios en el ciclo hidrológico, sobre el aspecto social, ambiental y ecológico, relativo a los recursos hídricos. Los estudios efectuados en el cuadro del PHI darán engarre a una síntesis de los conocimientos actuales, manuales para la ejecución de los estudios nacionales, notas instructivas y material de información publica. Las publicaciones emitidas en ete area incluyen:

"La influencia del hombre en el ciclo hidrológico" (conjuntamente con la FAO)

"Efectos hidrológicos de la Urbanización y de la Industrialización en el planeamiento y la gestión de los recursos hídricos"

"Libro de referencias sobre los métodos de calculo de cambios cuantitativos en el Régimen Hidrológico de las cuencas hidricas debido a las actividades humanas"

"Contaminantes acuíferos y protección"

"Problemas hidrológicos en relación con el desarrollo de la energía"

"Estudio sobre la relación entre la calidad del agua y el transporte de sedimentos"

"El régimen hidrológico influenciado por el drenaje de las zonas humedas"

"Investigación del regimen hídrico de cuencas afectadas por la irrigación"

"Indices hidroambientales, un análisis de su utilización en la evaluación del impacto ambiental de proyectos hídricos"

El programa hídrico del PNUMA esta centrado en la gestión ambiental de las aguas interiores (en ingles EMINWA). Este programa esta ideado para ayudar a los gobiernos a integrar las consideraciones ambientales en la gestión y el desarrollo de sus aguas interiores, con vista a reconciliar y a afianzar el desarrollo de recursos hidricos en armonia con el ambiente hídrico(natural y artificial) extendido a la totalidad del sistema hídrico. Contribuye al desarrollo armonioso de la cuenca hidrica y a un sostenible desarrollo regional.

Las principales actividades del programa EMINWA son:

- (a) ayudar a los gobiernos a desarrollar, aprobar y ejecutar los programas de gestión hídrica ambiental en cuencas mediante proyectos hidráulicos;
- (b) preparar un manual de principios y directrices para la gestión ambiental de aguas interiores;
- (c) utilizar las cuencas hídricas EMINWA con objetivos de demostración.
- (d) formar expertos y ejecutar un programa de creacion instutucional.
- (e) efectuar regularmente evaluaciones de ámbito mundial sobre el estado del medio ambiente en los sistemas hídricos interiores.

La publicación de "Directrices Metodológicas para la Evaluación Ambiental Integrada del Desarrollo de los Recursos Hídricos" ha sido preparada en el cuadro del proyecto PNUMA/UNESCO "Evaluación Ambiental Integrada del Desarrollo de los Recursos Hídricos", numero de referencia FP/5201-85-01. Este proyecto incluye ademas, la publicación de un sistema de clasificación provisional de los cursos de agua, asi como de material de enseñanza para el uso simultaneo de las directrices metodológicas y del sistema de clasificación provisional.

	Página
Prefacio	i
1. Introducción	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos de la metodología	4
2. Enfoque básico y definiciones	7
2.1 Enfoque general	7
2.2 Principios de toma de decisión multicriterio(TDMC)	12
3. Clasificación de los sistemas hidricos	14
3.1 Introducción	14
3.2 Aguas corrientes	14
3.3 Aguas estancadas	20
4. Indicadores ambientales	26
4.1 Indicadores de clima	26
4.2 Indicadores de subsistemas terrestres	26
4.3 Indicadores de subsistemas acuáticos	27
4.4 Selección de indicadores	30
5. Indicadores socio-económicos	34
5.1 Información básica	34
5.2 Indicadores económicos	34
5.3 Indicadores sociales	34
5.4 Indicadores de salud y nutrición	34
5.5 Indicadores culturales	35
5.6 Pérdida de las opciones económicas	35
5.7 Selección de indicadores	35
6. Evaluación del estado actual del ambiente acuático	38

6.1 Antecedentes	38
6.2 Objetivos	38
6.3 Procedimientos	40
6.4 Discusión y conclusiones	50
7. Metodología de selección entre opciones de gestión	56
7.1 Objetivos	56
7.2 Procedimientos	57
7.3 Discusión y conclusiones	60
8. Ejemplos numéricos	62
8.1 El caso Vaczentlaszlo	62
8.2 El caso de Alto Isar	80
9. Apéndice	96
A/ Referencias	97
B/ Grupo de expertos científicos	102
C/ Revisión de la toma de decisión multicriteria	104
D/ Las matemáticas de la programación compuesta	110
E/ Indicadores hidroambientales, relaciones, normas e índices	118
F/ Datos socioeconómicos	150

## CAPITULO I

### 1. Introducción

#### 1.1 Antecedentes

El programa hidrológico internacional de la UNESCO (PHI) fue lanzado en 1974 como un programa intergubernamental a largo plazo para intentar de hallar soluciones practicas a los problemas de recursos hidricos mundiales. Sus objetivos han sido desde entonces extendidos de manera a cubrir no solo los procesos hidrológicos considerados en las relaciones entre el ambiente y las actividades humanas, sino tambien los aspectos científicos de la utilización generalizada y la conservación de los recursos hidricos para alcanzar las necesidades del desarrollo económico y social' (UNESCO,1984)

Uno de los proyectos emprendidos durante la segunda fase del PHI (PHI-II), proyecto A-32, tiene como objetivo el analisis de la utilidad de los índices hídricos ambientales en la evaluación de los impactos ambientales de los proyectos de desarrollo de recursos hidricos a gran escala. El equipo del proyecto A-32 concluyó (UNESCO 1984):

- a) Que la evaluación de los proyectos hidricos no debe ser limitada únicamente a los factores hidroecológicos, sino que debe ser considerada como parte de de un sistema ambiental que agrupa componentes físicos, biológicos, químicos, económicos, sociales y culturales.
- b) Que aunque fueron capaces de desarrollar una lista exhaustiva de indicadores, fue mas difícil desarrollar un conjunto de indices adecuados para la evaluación efectiva de los proyectos hidricos.
- c) Que los nuevos proyectos hidráulicos son generalmente examinados en la actualidad con la suficiente profundidad, como lo permite los conocimientos científicos existentes, pero que aun existen insuficiencias en nuestro conocimiento.
- d) Que los resultados de las evaluaciones de proyectos hidricos no pueden ser interpretados directamente por un personal no formado en las disciplinas involucradas.
- e) Que los estudios de casos claramente demuestran que en el pasado los responsables de la toma de decision habian pasado por alto y subestimado algunos impactos adversos que hubieran significado proyectos menos ventajosos y más costosos.

Posteriormente, la Unesco y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) iniciaron conjuntamente un nuevo proyecto, como continuación del A-32, para proveer a los administradores del agua y a los responsables de la toma de decisiones, por propósitos prácticos de gestion, una 'metodología integrada para la evaluación de la eficiencia de la gestión ambiental de recursos hidricos, y el estado del medio ambiente hidrico en las cuencas'.

El término 'propósitos prácticos de gestión' incluye todas las actividades relacionadas con el planeamiento del proyecto, diseño y construcción, operación, planeamiento y gestión de cuencas. 'Metodología integrada' significa que no se debe trabajar sobre ningun factor endógeno, i.e. no se debe omitir a priori ningun factor incorporado al sistema en conexión con el planeamiento. Esto incluye todos los aspectos económicos y sociales, tanto cuanto se relacione direc-

tamente o indirectamente con el medio ambiente hídrico. 'Administradores del agua y responsables de la toma de decisiones', incluye todas las personas involucradas en el planeamiento, diseño, o ejecución, así como los responsables políticos que toman las decisiones finales sobre los proyectos y sus ejecuciones.

La UNESCO y el PNUMA han subrayado que la metodología debiera promover un desarrollo sostenible, y deberá ser aplicable tanto al planeamiento de nuevos proyectos como a la evaluación de situaciones ya existentes.

Debe también entenderse que la metodología debe ser aplicable y utilizable por cualquier grupo y en cualquier país, independientemente de la situación geográfica, y para cualquier tipo de sistema hídrico. Finalmente, se convino que la metodología debe ser aplicable a situaciones en las que solo son disponibles capacidades científicas menos sofisticadas (la metodología no debe necesitar utensilios matemáticos sofisticados).

Se designo un Grupo de Expertos Científicos para elaborar la metodología (ver lista de miembros, Apendice B), que se reunió en junio de 1985 en Leersum, Países Bajos, y en enero y octubre de 1986 en Paris, Francia. El Grupo de Expertos Científicos concluyó que el informe A.3.2 era un buen punto de partida, y endosó su concepto fundamental de utilizar indicadores e índices para proveer las bases comparativas necesarias de evaluación. Estaba claro de todas maneras, que no eran suficientes para un desarrollo metodológico, en particular de los aspectos económicos, sociales y culturales, y que un trabajo más aprofundizado era necesario. Este documento es el resultado de los trabajos del Grupo de Expertos Científicos.

Un borrador preliminar del documento se presentó al congreso internacional UNESCO/PNUMA sobre los impactos de grandes proyectos hidráulicos en el medio ambiente, que tuvo lugar en Paris, en Octubre de 1986. Dicho borrador fue recibido con entusiasmo, concluyendose que la metodología era apropiada y que la UNESCO y el PNUMA debían apoyar su futuro desarrollo y aplicación.

## 1.2 Objetivos de la Metodología

Hay principalmente 9 tipos de medidas de gestión de reducción de los riesgos hídricos (Tabla 1.1). En la práctica los problemas incrementan si una medida afecta o excluye a otras. Por lo tanto es importante, siempre que se planean o ejecutan proyectos hidráulicos, tener cuidado en minimizar los impactos adversos (conservar el sistema lo mas cerca posible de su estado natural), y dejar abiertas todas las opciones de uso posible.

Existen numerosos ejemplos en el mundo (incluyendo los países más avanzados tecnológicamente), en los que proyectos de desarrollo de los recursos hídricos han impactado adversamente el medio natural con resultados economicos marginales, e incluso negativos. Además, algunos proyectos de gran beneficio económico (irrigación, producción de energía) han afectado adversamente otros valores socioeconómicos y culturales.

En tales casos, los sistemas deben ser analizados y desarrollados sea para bien mejorar su eficiencia o bien para restaurarlos lo mas próximo posible de su estado natural. Por lo tanto, se

Tabla 1.1 Principales tipos de propósitos de gestión hídrica y estructuras conexas

Propósito	Obras estructurales conexas
Abastecimiento de agua potable e industrial	Presas, embalses de acumulación, pozos, conductos, instalaciones de bombeo, obras de toma, instalaciones de tratamiento del agua, instalaciones de desalinación, sistemas de distribución
Producción agrícola	Irrigación: Presas, embalses de acumulación, pozos, conductos, instalaciones de bombeo, obras de toma, sistemas de distribución, canales, obras para el control de plantas y eliminación de limos Drenajes: zanjas, desagües de tejas, canales, estaciones de bombeo, esclusas.
Producción de energía	Producción de energía hidroeléctrica: presas embalses de acumulación, conductos, canales, refrigeración de plantas, obras de toma y desagüe, conductos, canales, torres de refrigeración, embalses
Navegación	Presas, embalses de acumulación, esclusas, regulación de cauces, canales, obras portuarias, dragados.
Protección contra el exceso de agua	Embalse de acumulación, presas, regularización de cauces, malecones, diques, obras de drenaje, estaciones de bombeo, vertederos de avenidas, obras de diversion y de retardamiento de caudales
Protección contra la falta de agua	Embalses de acumulación, presas, recarga artificial de agua subterránea por medio de zonas de inundación, canales y pozos.
Transporte y eliminación de residuos	Desagües, conductos, instalaciones para el tratamiento de residuos, sistemas de colección de residuos hídricos
Recreación	Instalaciones para la recreación tales como puertos, marinas, modificaciones en la línea de costa, etc. Embalses de acumulación, obras de control de la contaminación
Mejoramiento del ambiente	Criaderos de peces, escalas de peces y pantallas, embalses de acumulación, obras de control de contaminación, drenajes, forestación, ordenación del territorio, obras de decantación, estabilización de la línea de costa, control de plantas

necesitan buenos metodos de analisis 1)para evaluar (o pronosticar) cambios en el sistema natural, y 2)evaluar (o pronosticar) cambios económicos, socioeconómicos y culturales.

En cualquier caso es necesario hallar indicadores básicos para evaluar, juzgar y controlar el sistema existente o esperado tanto ecologica o economicamente asi como juzgar y vigilar el resultado de la transformación del medio natural en economico. Este informe describe una metodología que permite 1)la evaluación del estado actual del medio ambiente hídrico y 2)la evaluación de los proyectos hídricos en sus características ecológicas y económicas.

Se quedaran muchas cuestiones en suspenso, especialmente debido a la falta de un conocimiento básico de la auto-regulacion de los medios naturales, su estabilidad y su fragilidad con respecto a tensiones importadas. Además quedaran pendientes muchos detalles debido a la diversidad de sistemas hídricos naturales, que resultan no solo de su propia diversidad, sino de las combinaciones y reacciones entre los componentes del sistema natural. No obstante se espera que las bases de la metodología presentada aquí sea lógica, consistente y aplicable a la mayoría de las situaciones, en un grado tal que un grupo de expertos representativos de las diferentes disciplinas ecológicas y socioeconómicas pueda elaborar una proposición clara a ser sometida a los responsables de la toma de decisión.

El enfoque basico de esta metodología es bosquejado en el 2 capítulo. El 3 capítulo contiene un sistema aproximado de la clasificación de los sistemas hídricos naturales. Los capítulos 4 y 5 dan información sobre los indicadores económicos y ecológicos que se deben utilizar para el método. El 6 capítulo describe el uso de la metodología para la evaluación del estado actual de los sistemas hídricos, y el 7 capítulo muestra como se aplica la metodología para seleccionar la mejor opción de gestión. El 8 capítulo describe dos aplicaciones prácticas de la metodología.

## CAPITULO II

### 2. Enfoque básico y definiciones

#### 2.1 Enfoque general

El objetivo de este documento es el de proporcionar un marco de referencias para la evaluación los impactos ambientales de los proyectos de desarrollo de recursos hídricos, y el de proveer unas orientaciones sobre la selección y medida de parametros locales utilizados en la evaluación.

Las actividades humanas estan orientadas a la utilización de los sistemas naturales como recurso, transformando potenciales naturales en valores económicos . Por lo tanto es necesario en primer lugar entender y definir el término 'sistema.'

Todo sistema ambiental esta basado sobre las interacciones de sus componentes físicos y geológicos. La luz solar, energía incidente, reacciona con los componentes físicos y geomorfológicos de una region para crear un clima local, el cual a su vez reacciona con elementos geológicos locales para formar los materiales basicos de suelos. El clima, morfologia y geologia son subsistemas físico-químicos principales.

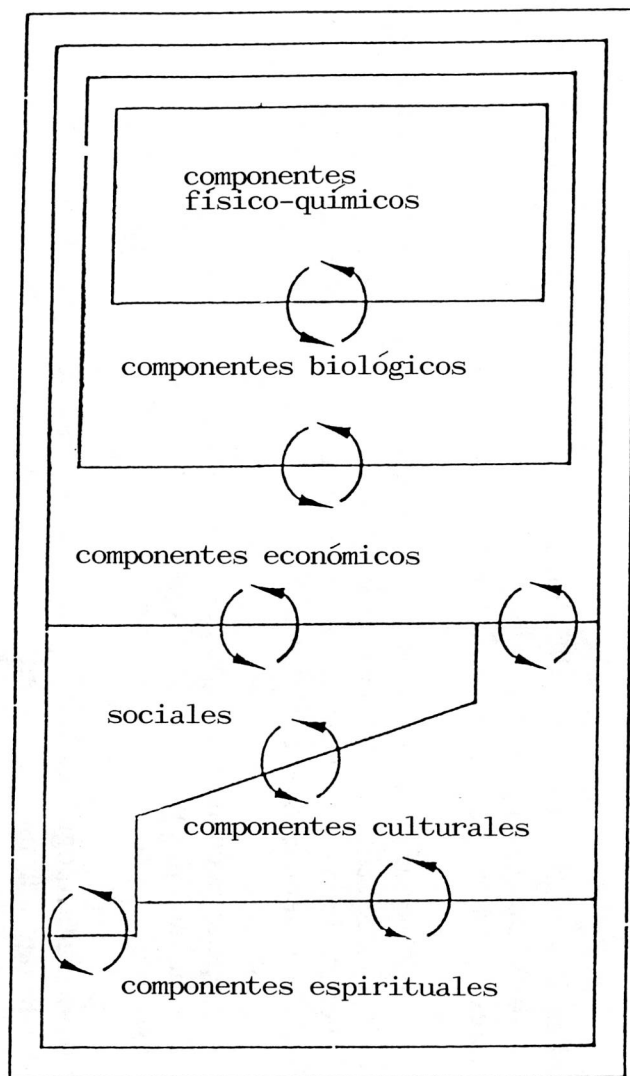
Los suelos se forman con componentes biológicos y junto con la cobertura vegetal se desarrollan por evolución conjunta hasta un subsistema biológico el cual tambien incluye componentes faunísticas. Los subsistemas físico-químicos y biológicos se unen para formar el orden superior del subsistema ecológico total (figura 2.1). Por lo tanto tales sistemas consisten de componentes que pueden ser físicas, químicas o biológicas (figura 2.2). Algunos de estos componentes pueden observarse cualitativamente o incluso contabilizados, y tales componentes pueden por lo tanto ser utilizados como indicadores para representar el sistema. Para ser utiles, dichos indicadores deben jugar un papel decisivo en el funcionamiento del sistema o mostrar los resultados de sus funciones.

A efectos de vigilancia y gestión algunos indicadores deberan ser cuantificables como metas deseables o indeseables. De este modo se convierten en standards. Los índices miden la relación entre los valores deseados y las observaciones reales (Figura 2.2).

El procedimiento aquí descrito es valido no únicamente para los sistemas naturales sino que puede ser extendido a los sistemas económicos artificiales. Los términos componente, indicador, standard o índice también pueden ser empleados en este caso. Se describe a continuación la transformación de un sistema ecológico en un sistema económico (Figura 2.3).

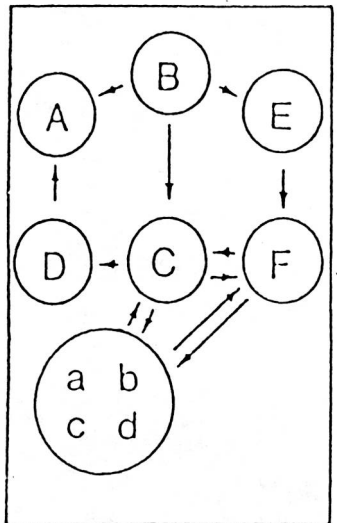
La ecología contiene opciones económicas que pueden ser seleccionadas y utilizadas junto con la energía disponible, la habilidad y la experiencia humana. Este uso económico produce resultados que son transferidos a la humanidad para mejorar su situacion económica y cultural.

Todo uso de un potencial ecológico cambia sin embargo el lado ecológico, y deja un impacto negativo en el. Por lo tanto, la interacción entre el hombre y la naturaleza provoca un incremento de la retroalimentacion negativa. Continuamente se extraen y se transforman valores



- I Componentes físico-químicos: Clima geología, geomorfología...
- II Componentes biológicos: Estado y composición de la vegetación, producción primaria, cadenas alimenticias
- III Componentes económicos: Estado del arte en la agricultura e industria; energía disponible. PNB.Renta.
- IV Componentes sociales: Estructura social; regulaciones de propiedad, tipo de organización política; salud, nutrición, esperanza de vida, natalidad, mortalidad infantil.
- V Componentes culturales: Facilidades y diversidad educacional.
- VI Componentes espirituales: Religión, grado de dependencia o independencia de la naturaleza, sociedad (toteismo, tabus, etc.)

Figura 2.1 Desarrollo e integración de subsistemas de un sistema ecológico-económico (L.Hartmann)

SISTEMA (y sus componentes)	INDICADORES (a medir)	INDICES (para controlar)	STANDARDS (como metas de la gestión)
	$[E]_m$  $[F]_m$  $\left[ \begin{array}{c} a \ b \\ c \ d \end{array} \right]_m$	$\frac{[E]_m}{[E]_s} \cdot 100\%$  $[F]_m > 0$  $\frac{\left[ \begin{array}{c} a \ b \\ c \ d \end{array} \right]_m}{y} \cdot 100\%$  $[E \times F]_m = 0$	$1 \leq [E]_s \leq h$  $F \neq 0$  $\left[ \begin{array}{c} a \ b \\ c \ d \end{array} \right] \approx y$  $[E \times F]_s \rightarrow 0$

indices: al definir la relacion entre las concentraciones observadas y los limites fijados o deseados, la integracion de algunos indicadores observados se utiliza para comparar el estado del sistema existente (o de algunos componentes) con el sistema deseado (o de algunos componentes). Las cifras obtenidas se llaman "indices".

sistema: los sistemas resultan de una integracion de (A..F) puros y tambien de combinados (a,b,c); (A,B,C,D) elementos ambientales. Los elementos y sus interacciones son "componentes" del sistema.

indicadores: Algunos de los componentes pueden observarse y medirse sus concentraciones y/o reacciones de manera cuantitativa; son "indicadores".

standards: En los sistemas administrados por el hombre, a los componentes importantes, especialmente los que tienen un papel clave en el sistema o que son objeto de usos especificos, se les dan valores numericos (limites de maxima y minima) para garantizar la calidad, la estabilidad y la seguridad del sistema entero con respecto a características especificas de uso.

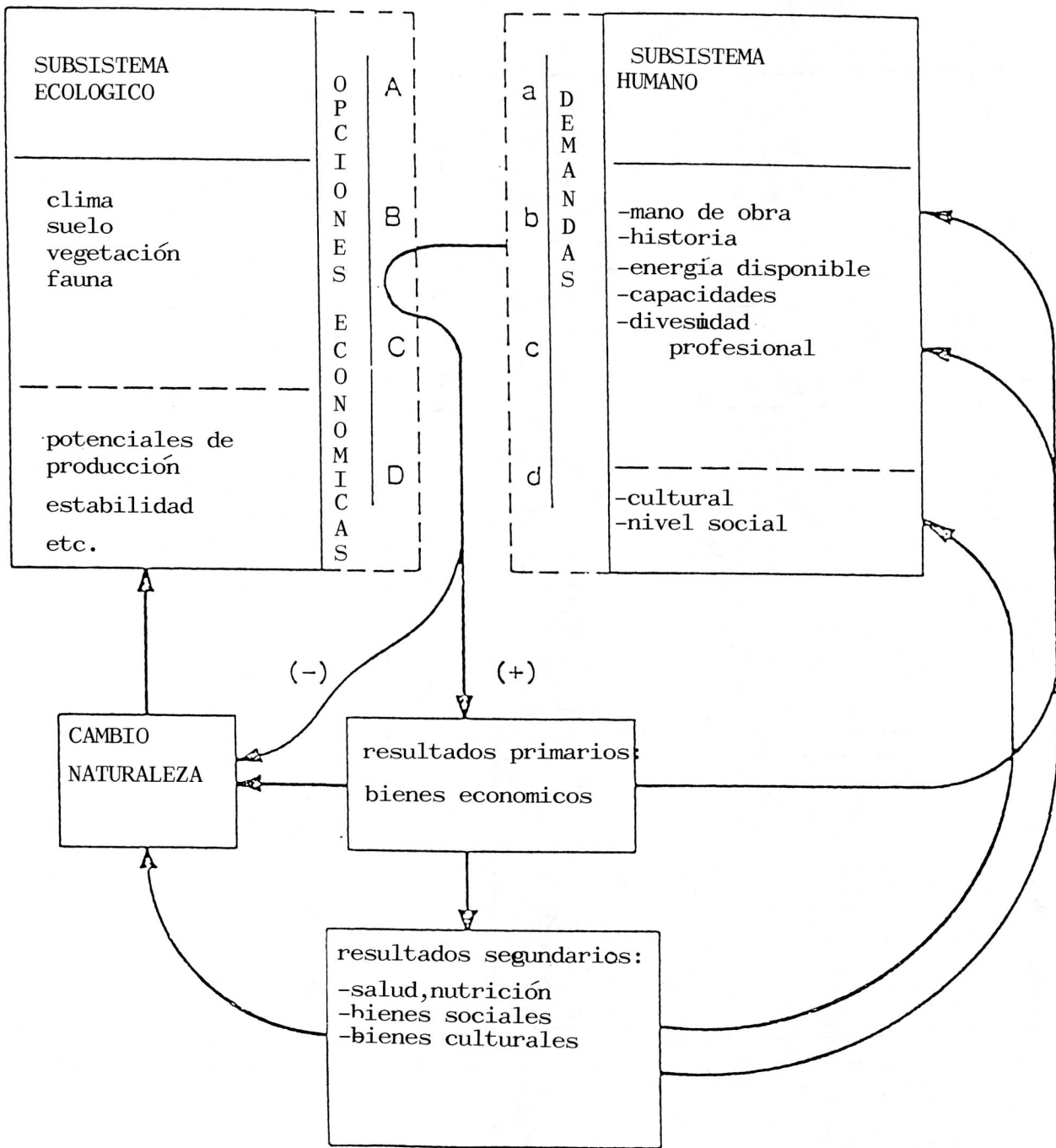


Figura 2.3 Integración de los subsistemas humanos y ecologicos (HARTMANN)

SISTEMA  
ECONOMICO

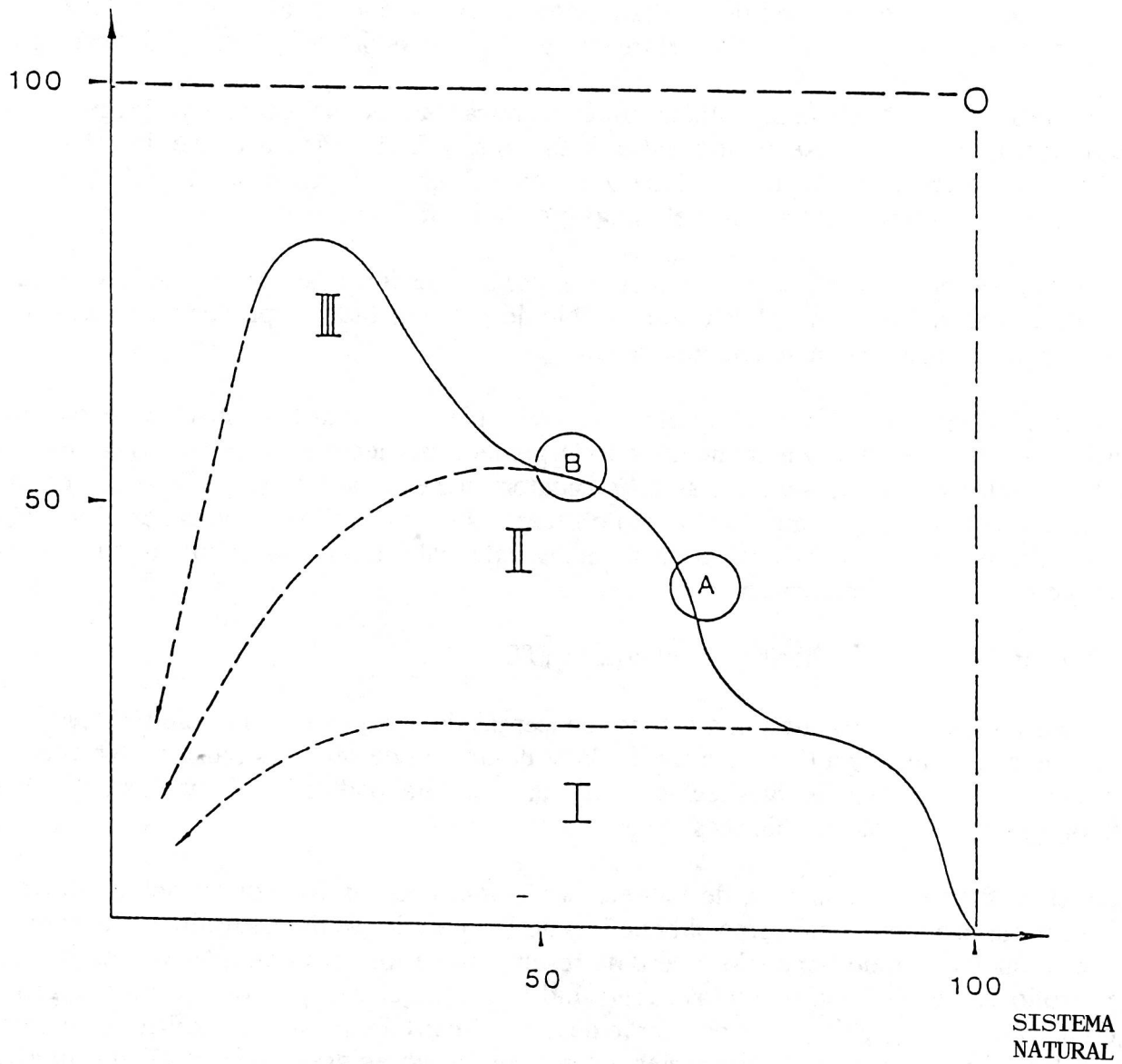


FIGURA 2.4 Transformación de Sistemas naturales en sistemas  
Económicos para Tres Niveles Diferentes de Potenciales  
Económicos (Hartmann)

ecológicos en bienes económicos dejando un sistema natural cada vez mas distorcionado. Tales sistemas ya no son naturalmente estables. La estabilidad se consigue unicamente con el esfuerzo humano. En otras palabras, el uso economico es solo posible mediante la destabilizacion del sistema natural, transformandolo en un equilibrio artificial que es garantizado y mantenido estable mediante aportación continua de energia. Solo los sistemas naturales destabilizados pueden producir valores económicos. Por lo tanto, la evaluación de tales sistemas debe incluir un modo para contabilizar el balance entre los beneficios económicos y las pérdidas ecológicas.

En la situación ideal habría una utilización económica total de los recursos y ningun impacto en el medio ambiente (vease punto ideal en la figura 2.4). En la práctica, esto es imposible, y lo que ocurre normalmente es una combinación entre un beneficio económico/social algo menor y algún impacto ambiental (como en el punto A de la figura 2.4).

Por lo tanto el problema se convierte el determinar la situación existente (punto A, en este caso), y predecir la dirección y el valor del cambio de A a B cuando un proyecto de recursos hídricos esta acabado y es totalmente operacional.

Este proceso sería relativamente simple si solo se debía considerar los impactos físicos/químicos/biológicos en el medio ambiente. En todo proyecto se deben considerar los beneficios y costos sociales, económicos y culturales. Frecuentemente estos son muy difíciles hasta de identificar, mucho menos el cuantificarlos. No obstante es vital identificar (indicadores) y evaluar sistemáticamente la mayor cantidad de impactos, y de elaborar algunos datos cuantitativos (índices) con su relativa importancia.

## 2.2 Principios de toma de decisión multicriteria (TDMC)

Esta seccion es una introduccion a algunos conceptos de toma de decisión multicriteria (tambien llamada análisis multiobjetivo) aplicada al desarrollo de recursos hidricos. No pretende ser un analisis completo de tales tecnicas aplicadas a la totalidad de los elementos del ciclo hidrológico o a los problemas hidricos.

Tradicionalmente, el desarrollo de los recursos hídricos ha considerado un solo objetivo, en mayor parte económico, tal como el beneficio neto esperado. Se ha ensayado expresar en terminos monetarios todo beneficio o pérdida resultando de los usos multiples o propósitos del desarrollo de recursos hídricos y los riesgos hídricos. Para ciertos propósitos como la generación hidráulica, irrigación y abastecimiento de agua, la consideración de beneficios económicos es realista. En cuanto a otros beneficios, tales como los obtenidos mediante el control avenidas, la gestión de la calidad y recreación del agua, el uso de términos monetarios es en general artificial y no puede expresar el valor real del beneficio. De manera similar, el impacto ambiental del desarrollo de los recursos hidricos tiene un fuerte caracter no-monetario. En tales casos es preferible utilizar unidades fisicas (indicadores) como el numero de personas protegidas de las avenidas, la cantidad de sedimentos o el oxígeno disuelto, o días de visitantes. Junto al beneficio económico se pueden utilizar varios indicadores de eficiencia económica tales como el beneficio neto esperado o la relación costo-beneficio.

El analisis multiobjetivo se ha desarrollado fundamentalmente a traves del trabajo del programa de Harvard (Maas, y otros, 1962). Anteriormente, el problema de la formacion de un unico criterio de optimización a partir de varios criterios elementales no conmensurables habia sido tratado por Pareto (1896). Desde entonces el concepto de "optimización de Pareto" se ha abierto su camino entre las técnicas TDMC.

Dentro de los Estados Unidos debe mencionarse el National Environmental Policy Act (NEPA) del 1979. Esta ley, más que ninguna otra, ha orientado los planificadores a considerar otros criterios que los económicos utilizados en el pasado para justificar los proyectos.

En la escena internacional, la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 1972) ha editado, para la evaluación de los proyectos, guías que tienen en cuenta objetivos múltiples: empleo, redistribución de la renta, balanza de pagos, autoconfianza (selfreliance) y consumo agregado. Estas guías están destinadas principalmente a los evaluadores de proyectos gubernamentales, y representan un compromiso determinante de análisis multiobjetivos para los países en vía de desarrollo.

En el supuesto de que el estado hídrico ambiental sea propiamente definido como un problema de TDMC la disposición entre los sistemas alternativos (opciones) - indicadores estará disponible bien en forma tabular como muestra el capítulo 8 como alternativas discretas o como un generador de alternativas en el caso de alternativas continuas (por ejemplo la cantidad de agua tratada o almacenada en un embalse).

Si se pudiese encontrar una sola opción con mejores resultados respecto a todos los indicadores, la selección entre las alternativas sería relativamente fácil. Pero en general, en el desarrollo de recursos hídricos no se puede hallar tal solución óptima, y la selección entre las opciones se realiza mediante consideraciones de balance de opciones. A este tipo de selección se le llama toma de decisión multicriterio (TDMC), y abarca desde el simple juicio ingenieril (lo cual en el caso de pocas opciones y pocos indicadores es un enfoque bastante realístico), hasta los métodos sofisticados de programación multiobjetivos (Apéndice C).

## CAPITULO III

### 3. Clasificación de sistemas hídricos

#### 3.1 Introducción

La elección de los componentes e indicadores que se deben utilizar para evaluar la situación presente y futura de un elemento hídrico, es un tema difícil e importante. La labor sería más fácil si existiese una clasificación de los elementos hídricos, de manera que las experiencias en los estudios de otros sistemas se puedan transferir con un cierto grado de confianza. No existe aun una clasificación de elementos hídricos recientes aceptada internacionalmente. Este capítulo da un programa general de los factores que se deben considerar cuando se comparan diferentes elementos hídricos.

La clasificación consiste en agrupar elementos que tienen características comunes no compartidas por elementos de otros grupos. La clasificación de los sistemas hídricos puede estar basada sobre muchos criterios tales como la química hídrica, la morfología, la edad, las comunidades animales, etc. La clasificación se podría hacer hasta en relación con las opciones para su utilización económica. A lo largo de este informe se ha escogido una base ecológica para la clasificación, considerando siempre el aspecto económico del problema.

La dependencia del hombre sobre el agua le coloca en una biocenosis universal, y de los cambios químicos o físicos de los sistemas hídricos dan lugar a cambios en otras características ecológicas. Antes que tales cambios sean efectuados, se deben conocer las relaciones existentes, y de que manera son afectadas por las actividades del hombre.

El propósito de una clasificación de sistemas hídricos es el de indicar similitudes o diferencias en el funcionamiento de estos sistemas, utilizando las características abióticas y bióticas (que son mutuamente dependientes). Un sistema hídrico dado puede ser situado en una clase, y podría asumirse que todas las características de esa clase son aplicables al sistema. Aunque esto parezca bueno en teoría, en la práctica las clases se superponen, y la regla son las excepciones. En este capítulo se indican un conjunto de principios generales que permitan clasificar una situación dada en un modelo general. Aguas corrientes y aguas estancadas serán tratadas separadamente. Aunque esta separación parece obvia, existen sin embargo bastantes situaciones en las que es difícil hacer una distinción clara entre las dos aguas (superposición de clases). La única solución a estos problemas es el enfoque ecológico, que también será explicado en este capítulo.

#### 3.2 Aguas corrientes

##### 3.2.1 Clasificación basada en componentes físicos

Los sistemas de agua corriente comienzan en general a altitudes elevadas como pequeños arroyos oligotróficos conteniendo pocas especies de plantas y animales. En su camino hacia el mar (o lago) otras aguas de diferentes fuentes y tributarios se la unen, más nutrientes entran en su composición y pueden encontrarse más especies de plantas y animales. Los pequeños arroyos se convierten en grandes ríos, y los lagos se rellenan y se drenan.

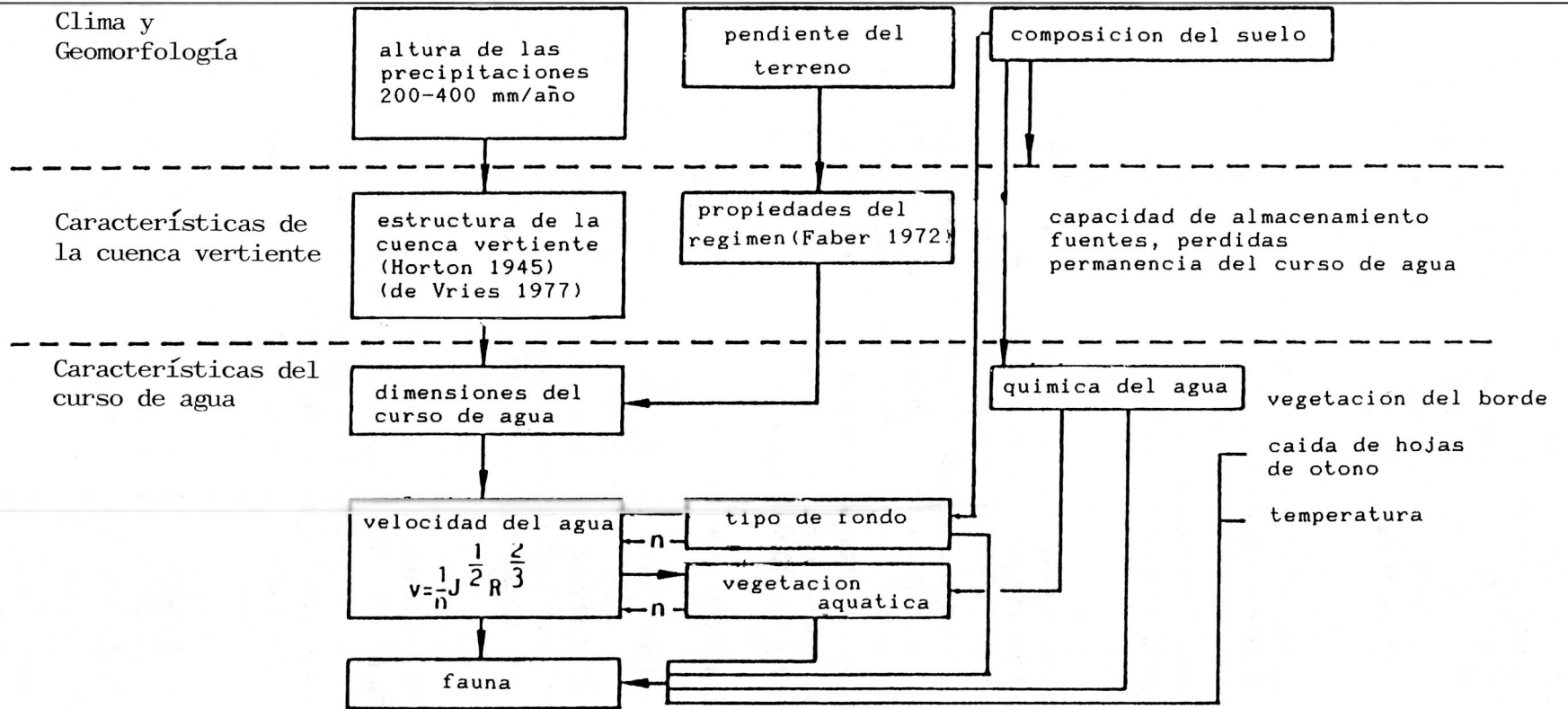


FIGURA 3.1 Factores de control de las condiciones de vida de la fauna acuática en las aguas corrientes de los países bajos (Traducido de Higler, 1981)

Existen por supuesto numerosas excepciones. Algunas corrientes comienzan como rios con un ancho de 15 metros, otras comienzan como pequeños arroyos con alto contenido nutritivo, otras desaparecen en el suelo para volver a aparecer a grandes distancias (o no aparecen), muchos otros cauces se secan durante meses y a veces años. En estas situaciones diferentes, aparecen biocomunidades con distintas variables ambientales. Un sistema de clasificación práctico debe tener orientaciones para ser utilizado en cualquier parte del mundo y bajo todo tipo de condición.

La figura 3.1 muestra un ejemplo de factores físicos y ambientales responsables de la situación en un cierto lugar de un cauce en los Países Bajos. El esquema es jerárquico, con las condiciones del país en la parte superior, las de la zona de drenaje en el medio, y las características de una estación determinada en un cauce determinado en la parte inferior. El factor dominante es la velocidad del cauce ( más precisamente el complejo de factores hidráulicos de los cuales la velocidad es una manifestación).

La figura 3.2 es un diagrama de los tipos de aguas corrientes, de nuevo en los Países Bajos. Las líneas negras del diagrama han sido dibujadas a partir de datos medidos en todo el país. Aunque en este país no existan rios de montaña, se pueden incorporar en el lado derecho del diagrama. De derecha a izquierda hay un gradiente que va de corrientes rápidas a aguas estancadas, y otro gradiente de arriba a abajo, para dimensiones de grandes a pequeñas dimensiones. El problema mencionado previamente relativo a la transición entre aguas corrientes y estancadas, esta resuelto en este diagrama para las aguas estancadas o de pequeña corriente en las zanjas y canales. Se puede notar que utilizando condiciones hidráulicas u otras morfométricas se consigue distinguir claramente los diferentes tipos de agua.

### 3.2.2 Clasificación que tiene en cuenta indicadores biológicos

Los estudios de aguas corrientes han reconocido una relación entre factores que cambian desde la fuente hasta la desembocadura y organismos tales como peces o macro-invertebrados. Este concepto es conocido como el concepto de zonación (Huet, 1949; Illies, 1961; Illies & Botosaneanu, 1963) y las palabras mas utilizadas para designar las zonas desde la fuente en adelante son krenon--rhitron--potamon (alto, medio, y curso inferior). Se supone que cada zona contiene una fauna característica.

En 1980 fue publicado un nuevo concepto (Vannote y otros 1980), conocido como el Concepto Continuo de Rios (CCR). En el se supone un cambio gradual desde la fuente hasta la desembocadura (del primer orden hasta el orden n), en el cual se ligan los procesos fluviales geomórficos, la estructura física, y el ciclo hidráulico a los "régimenes de la estructura y función comunitaria y el transporte, la carga, la utilización y almacenamiento de materia orgánica a lo largo del río".

Ambos conceptos contienen información valiosa, y recientemente Statzner y Higler (1985, 1986) han combinado elementos de ambos. Dicha combinación se presenta en la figura 3.3. Se sugiere que las características físicas del flujo (hidráulica de cauce) son los factores ambientales mas importantes que gobiernan la zonación de bentos de la corriente a escala universal.

En las figuras 3.2 y 3.3 no se han dado nombres a los organismos. Ello es imposible a nivel mundial debido a las diferencias zoogeográficas. Como resultado, cualquier situación de referencia puede encontrarse para un área dada. El análisis debe por lo tanto considerar donde y

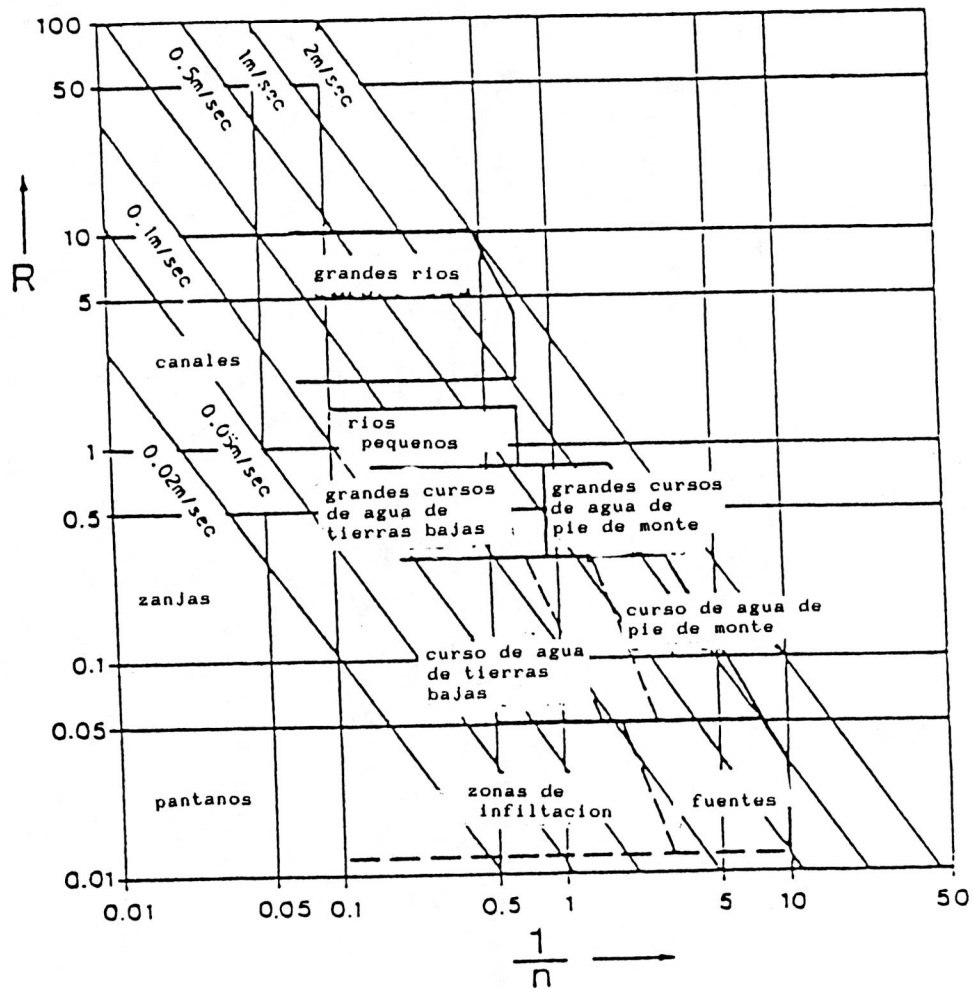


Figura 3.2 Diagrama de tipos de aguas corrientes en los países bajos, basado en los factores derivados de la formula de Manning

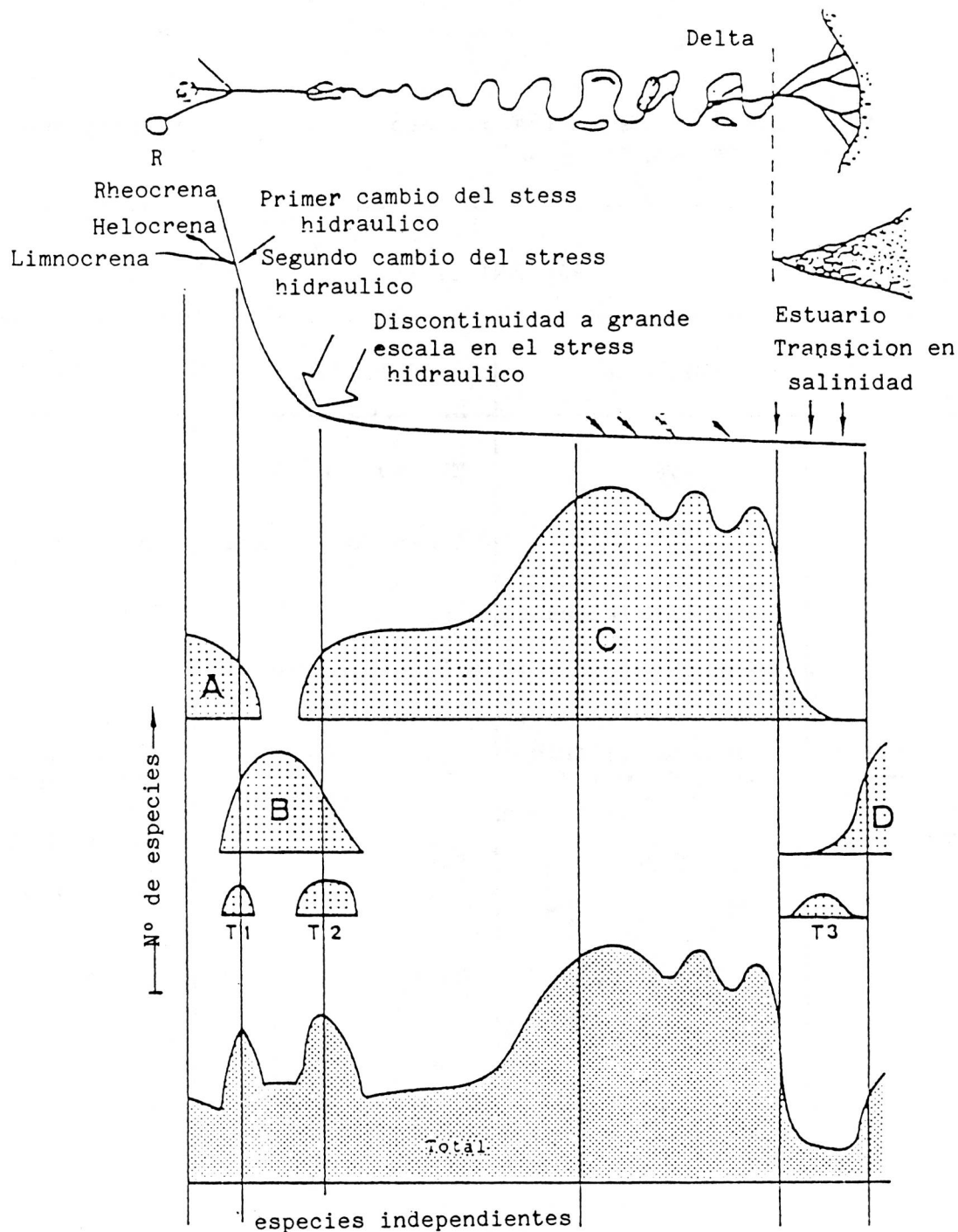


FIGURA 3.3: Proposición de un modelo de zonación faunística general del bentos en los ríos limpios (vista aérea y perfil) con características de cauce estándar. Tipos de fuentes: descargas directas de una fuente rheocrena en un canal; descargas de limnocrena-fuente en un lago; descargas de helocrena-fuente en un mareaje. Todos los componentes indicados aquí no están necesariamente presentes en un cauce. En este ejemplo se muestra la distribución de las especies en agua corriente que empieza en un helocrena para terminar en un estuario. Las especies presentes en la fuente (A) y en la fuente pendiente antes del perfil (B) se mezclan a la primera modificación del stress hidráulico. Las especies del grupo (B) y las existentes en el curso de agua después de su entrada en la zona de inundación (C) se mezclan a la segunda modificación del stress hidráulico, donde los cursos de agua presentan en general meandros. Los modelos aplicables a los grandes arroyos en este caso son frecuentemente especulativos debido a la falta de información. A la llegada a la zona de aguas, una tercera mezcla se manifiesta entre las especies del Grupo C y la fauna marítima D. En las tres zonas de mezcla de especies, existen algunas especies propias a esas zonas (T1, T2, T3). No se han considerado las especies que no son características de una zona.

Tabla 3.1 : Características ecológicas específicas de los orígenes de los cursos de agua

FUENTE	CARACTERISTICAS		
	TEMPERATURA	TURBIDEZ	BIOLOGIA
Glaciar	7°C	Elevada en verano	Muy pocas especies
Fuentes cálidas	30°C	A menudo elevada	Muy pocas especies
Caldera	Generalmente baja	Baja	Pocas especies
Lago	Depende de la situación geográfica		
Fuentes: - Limnocrena ) - Pelocrena )	Un poco inferior a la "normal"	Baja	Organismos típicos de las aguas estancadas limpias
Zona de infiltración	-id-	Baja	Especies que pertenecen a la vez a las aguas corrientes y estancadas
Rheocrena	5° a 12°C	Baja	Especies de aguas corrientes y especies muy raras

Tabla 3.2. Cambio general de las características ecológicas en un curso de agua en Europa Central

CARACTERISTICAS ECOLOGICAS	CURSO SUPERIOR	CURSO MEDIO	CURSO INFERIOR
Hidráulica	Alta velocidad de erosión, a veces intermitente	Velocidad moderadamente elevada, erosión	Velocidad baja o moderada, sedimentaria
Temperatura	Depende de la fuente generalmente baja	Depende de la temperatura del aire, fluctuaciones más importantes que en el curso superior	depende de la temperatura del aire
Turbidez	Depende de la fuente	Depende de la fuente y de los aportes de la cuenca vertiente	Depende de los aportes de la cuenca vertiente y de la producción primaria
Razon producción/respiración	< 1	≈ 1 o > 1	> 1
Fauna	Con bóveda vegetal: dominan las partículas Sin bóveda vegetal: herbívoros y predadores	Organismos filtrantes, herbívoros y predadores	Pequeña diversidad de especies (en condiciones de pureza, mayor número de especies)
Flora		Algas sobre piedras, un poco de plancton	Plancton y macrofitos
Peces	Trucha, pez de gran cabeza	Tímallo, barbo	Barbo, (bream en inglés)

como la situación se esta desviando de la de referencia. Para ello, se puede utilizar una jerarquía de factores ambientales, parecida a la del esquema de la figura 3.1.

### 3.2.3 Principales características de las aguas corrientes e indicadores que se deben utilizar en la evaluación

El siguiente texto resume las principales características de las aguas corrientes, comenzando por una diferenciación basada en sus orígenes, y luego en las características ecológicas comunes, de las cuales se pueden derivar los indicadores.

La tabla 3.1 contiene las principales características de ríos con respecto a sus orígenes, y la tabla 3.2 traza los cambios de estas características a lo largo del curso del río.

Se pueden seleccionar de la información dada en las tablas, los indicadores más importantes del sistema de acuerdo con el sistema ecológico-económico particular que se investiga. La relativa importancia de algunas de ellas son:

- a) La cantidad de agua y su variación a lo largo del año: Para todos los aspectos ecológico-económicos.
- b) Velocidad: Para el desarrollo de la energía hidráulica; transferencias; otros cambios.
- c) Temperatura: para agua de enfriamiento; pesca;
- d) Producción-Respiración: Para pesca; auto purificación; abastecimiento en agua; irrigación;
- e) Turbidez: para abastecimiento de agua; pesca;
- f) Traslado de peces; para pesca; recreación;
- g) DBO-contaminación; para pesca; abastecimiento de agua; embalses.

Esta lista puede ampliarse de manera a incluir elementos secundarios de ecología y de economía.

## 3.3 Aguas estancadas

En las aguas estancadas no existe un factor único dominante de otros procesos, comparable a la velocidad o la pendiente hidráulica en las aguas corrientes. Aunque la radiación incidente de la luz solar juega un papel clave, existen otros componentes importantes. Es la integración de todos estos componentes lo que caracteriza un cuerpo de agua estancado.

### 3.3.1 Clasificación de acuerdo a sus orígenes

Hutchinson (1957) desarrolló una clasificación bien conocida basada en el origen de los lagos. Declaró: "Es más fácil clasificar de acuerdo a la naturaleza de los procedimientos responsables de la construcción, excavación, y de los presas. Dado que los procedimientos han actuado localmente, la clasificación tiende a ser regional, dado que algunos tipos de procedimientos actúan solo en ciertas partes de la superficie terrestre". Las mismas o consideraciones similares con

respecto a las aguas corrientes han sido ya descritas. Hutchinson identifica 76 tipos de lagos, agrupados en las clases siguientes:

Cuencas tectónicas (9 tipos)

Lagos asociados a la actividad volcánica (10 tipos)

Lagos formados por deslizamientos (3 tipos)

Lagos formados por actividad glacial (20 tipos en cuatro subclases)

Lagos de "solución" (5 tipos)

Lagos debidos a acción fluvial (12 tipos en tres subclases)

Cuencas de lago formadas por el viento (4 tipos)

Lagos asociados a linea de costa (5 tipos)

Lagos formados por acumulación orgánica (3 tipos)

Lagos producidos por el comportamiento complejo de organismos superiores (3 tipos, hechos por el hombre y por el castor)

Lagos producidos por el impacto de meteoritos (2 tipos).

### 3.3.2 Clasificación basada en la morfología

Aunque las propiedades de los ecosistemas lacustres se pueden relacionar a factores derivados del origen de lagos, esta clasificación no hace diferenciación entre lagos profundos y los menos profundos. Esto es un problema, ya que la profundidad es una característica importante. Todos los procesos biológicos dependen de la radiación incidente y de su uso por parte de los productores primarios. A una cierta profundidad (aproximadamente entre 6 y 12 metros) no pueden desarrollarse macrofitos y la cantidad de algas es bastante inferior. Es de gran importancia la presencia de una termoclina (en general entre 10 y 20 metros) para muchos procesos en los lagos, y frecuentemente es más significativa que el factor del origen.

En general, los limnólogos han considerado la morfometría como un buen criterio de clasificación, en la cual la profundidad juega un papel clave. Los parámetros morfométricos utilizados normalmente son:

Area (A)

Volumen (V)

Profundidad máxima (z)

Profundidad media ( $z$ ) ( $z = V/A$ )

Longitud de la línea de orilla ( $L$ )

Características de la línea de orilla

Relación  $z:z$

### 3.3.3 Clasificación basada en la disponibilidad de nutrientes

Las referencias básicas para la clasificación ecológica son el trabajo de Naumann y de Thiennemann, quienes en los años 1920 y 1930 utilizaron la productividad como base para clasificar los lagos. La idea principal es que los lagos oligotróficos tienen pocos nutrientes y por lo tanto una biocenosis característica de algas e invertebrados, en oposición a los lagos eutróficos, donde la abundancia de nutrientes da lugar a una mayor biomasa total (con pocas especies).

### 3.3.4 Clasificación basada en una combinación de indicadores

Aparte de los nutrientes, la productividad está influenciada por factores tales como el régimen de temperaturas, la penetración de la luz solar, los detritus, y la presencia de gases disueltos. Okland (1964) resume en 7 categorías los parámetros para una clasificación de lagos:

Clima (responsable de la primer clasificación en 1901 (Forel) por intermedio del régimen de temperaturas)

Morfometría

Propiedades físicas y químicas

Sedimentos

Flora

Fauna

Productividad.

Muchos de estos factores están interrelacionados, y no todos están presentes en todo curso de agua. La atención prestada a lagos en la limnología clásica (y en la mayor parte de las modernas) ha despreciado los sistemas hídricos poco profundos, salvo los más espectaculares con una amplia superficie. Las condiciones no son las mismas en las aguas poco profundas, con una profundidad de decímetros o metros, que en las profundas. Es fácil ver que las fluctuaciones de temperatura (y, consecuentemente, del contenido de oxígeno disuelto) son mucho mayores durante el día, lo cual afecta los procesos biológicos. Las aguas poco profundas pueden ser temporales, se pueden congelar, se pueden rellenar de macrofitos, y pequeñas alteraciones pueden producir enormes impactos. Por estas y otras razones, está justificado un trato separado de las aguas profundas y de las poco profundas.

### 3.3.5 Principales características: sus importancias y sus aplicaciones

La característica más importante para los problemas bajo análisis es la profundidad del agua. En las aguas poco profundas, la luz solar y sus efectos secundarios penetran hasta el fondo. Las aguas profundas, al contrario, están típicamente estratificadas, con una masa inferior, llamada hypolimnio y una masa superior, llamada epilimnio. La zona de mezcla entre las dos capas se llama termoclina.

Las aguas poco profundas y el epilimnio reciben tanta radiación que los productores primarios se pueden desarrollar. El plancton y la vegetación crecen en las aguas estancadas y en la línea de orilla de lagos profundos. En general, en el epilimnio, el principal productor primario es el plancton. En las aguas muy poco profundas (0-1 metros) no existe realmente plancton, sino más bien plantas verdes que son plantas superiores, musgo, epifito, y perifito. La influencia del borde y del fondo es obvia, tanto más que el cuerpo hídrico es pequeño y/o poco profundo. Frecuentemente, estas aguas son efímeras.

Las aguas poco profundas tienen una gran variación de temperatura (diurna, estacional y anual). La evaporación es alta en zonas de climas cálidos, lo cual conduce a sequías o a un descenso de la superficie de agua, y consecuentemente a una concentración de toda la materia disuelta. Las altas temperaturas en el agua incrementan los procesos químicos y biológicos, incluyendo la producción de algas y bacterias. Estos procesos de producción y de mineralización provocan grandes cambios en la producción y consumo de oxígeno, que a su vez conduce a una eutroficación y a un déficit periódico de oxígeno. Estos últimos fenómenos a menudo están acompañados por la formación de sustancias tóxicas de origen puramente químico o biológico. En el fondo la materia orgánica se une a estos procesos. En las aguas poco profundas los principales parámetros que se deben medir son:

- profundidad;
- temperatura;
- oxígeno disuelto (incluyendo variaciones diurnas y estacionales);
- contenido de nutrientes;
- dureza;
- salinidad;
- pH;
- composición del material del fondo;
- complejos de factores bióticos, incluyendo:
  - productividad;
  - estado trófico;

- vegetación;
- composición en algas/microfauna;
- macroinvertebrados;
- peces.

La tabla 3.3 suministra una jerarquía de estos componentes principales, y la forma en la que se ven afectados por procesos naturales y antropogénicos.

En las aguas profundas hay pocos cambios diarios de temperatura y de cantidad de oxígeno disuelto, pero con una base anual se observa modelos muy característicos de estos parámetros. Con respecto a esto es importantísimo el estado trófico. Como se ha señalado anteriormente, las condiciones en la capa de agua superior y próxima a la línea de orilla es muy semejante a la de las aguas poco profundas. Procesos como la evaporación y la producción están circunscritos a las capas superiores, y la mineralización y la descomposición a las capas inferiores.

A grandes rasgos la productividad puede estar influenciada por la llegada de ríos o corrientes, por los procesos naturales y antropogénicos de la cuenca de captación, y por la composición del fondo.

Las relaciones importantes entre los componentes de los sistemas naturales y la influencia del hombre están indicadas en la tabla 3.3. Es evidente que ambas pueden cambiar la apariencia física, el clima, el suelo, la cantidad y la calidad del agua, y todas las características bióticas.

Tabla 3.3 Relaciones de dominio en aguas superficiales

PROCESOS NATURALES	COMPONENTES	PROCESOS ANTROPOGENICOS
<p>↓ ↑</p> <p>Cambios climáticos (cambios a largo plazo)</p>	Clima (por ejemplo precipitaciones, temperatura viento, luz)	Contaminación atmosférica (influencia sobre la temperatura; precipitaciones/lluvia ácida)
<p>↓ ↑</p> <p>Cambios en el balance de erosión (pérdida de suelos) deposición. Cambios en el balance acumulación/mineralización de materia orgánica</p>	Suelo (por ejemplo arena, arcilla, turba)	Evacuación/aporte de sustrato (dragado, relleno, contaminación orgánica)
<p>↓ ↑</p> <p>Erosión y deposición por el viento y el agua (por ejemplo erosión de la costa, meandro)</p>	Perfil (forma natural)	Cambios de perfil (por ejemplo excavación, canalización, regulación)
<p>↓ ↑</p> <p>Cambios en la capa freática debidos a la variación de precipitaciones. Cambios de la composición mineral del suelo debido a la erosión</p>	Agua (cantidad y calidad)	Cambios del nivel de agua (bombeo, drenaje, infiltración) Eutrofización (agricultura, descarga de efluentes)
<p>↓ ↑</p> <p>Procesos dinámicos de equilibrio, de sucesión y de degeneración (cambios en el ciclo mineral, consumo de agua, etc..)</p>	Plantas (bacterias, hongos, algas plantas de orden superior)	Gestión (mecánica química, biológica) Sombreado (eventualmente plantación)
<p>↓ ↑</p> <p>Procesos dinámicos de equilibrio; incremento y disminución de la transposición de materia orgánica</p>	Animales anfibios, reptiles, micro-meso y macrofauna, peces, pájaros, mamíferos	Gestión, pesca

Esta tabla comporta todas las informaciones necesarias para la selección de los mejores indicadores para el estudio de ciertos impactos ecológicos o provocados por el hombre.

## CAPITULO IV

### 4. INDICADORES AMBIENTALES

Esta sección describe y enumera los indicadores ambientales que se supone juegan un papel fundamental o que dan información ambiental integrada y por lo tanto pueden utilizarse como herramientas a efectos de evaluación y control. La selección de indicadores deberá obedecer a los siguientes principios:

- a) Para una aplicación práctica el número de ellos deberá ser pequeño.
- b) Los indicadores seleccionados deberán ser aplicables a situaciones locales así como a niveles de cuenca fluvial.
- c) Deberán ser de carácter universal, es decir más o menos independientes de la región geográfica.

La lista de indicadores que figura a continuación no debe ser interpretada como obligatoria o exhaustiva. Han sido seleccionados por que bien son indicadores básicos con una importancia relativamente alta para otra parte del sistema, o bien por que son una integración de varios componentes. Los indicadores y combinaciones de indicadores que se deben seleccionar, deberán ser escogidos independientemente para cada situación. La selección final dependerá de la experiencia y conocimientos del analista, y podrá también requerir la introducción de otros indicadores no indicados aquí.

#### 4.1 Indicadores de clima

Dado que el clima es el subsistema básico para el desarrollo de la vegetación y el suelo, los cambios climáticos inducidos por el hombre darán lugar a impactos ambientales. Los indicadores para evaluar o describir los cambios climáticos son los siguientes:

- cambio en la temperatura media;
- cambio en la periodicidad de la temperatura;
- cambio en la humedad (cantidad y periodicidad);
- cambio en la relación precipitación- evaporación

#### 4.2 Indicadores de subsistemas terrestres

La tierra es un sustrato de todos los organismos (plantas, animales, hombre) y de las estructuras económicas del hombre. En términos cuantitativos y calitativos es una medida del impacto del hombre y así como de las opciones del hombre para uso posterior. La tierra requiere indicadores cuantitativos. Los indicadores cualitativos son necesarios para describir la producción potencial de los suelos; y ambos, los indicadores cuantitativos y calitativos son necesarios para describir la estabilidad, la fragilidad y las alteraciones de los ecosistemas terrestres.

##### 4.2.1 Indicadores de cantidad de tierra y suelo

-Utilización de la tierra (porcentaje de tierra de uso económico directo por el hombre y tipo de uso)

-Potenciales de erosión (porcentaje de tierras expuestas a la destrucción debido a los impactos humanos);

-Invasión controlada (asentamiento salvaje) debido a la construcción de carreteras en países sin control legal de propiedad;

-Cantidad de tierras expuestas a inundaciones o bajo control de avenidas;

#### 4.2.2 Indicadores de calidad de tierra y suelos

-pH (indicador que da un valor global de la situación físico química y de la fertilidad)

-CIC (capacidad de intercambios de cationes) (indicador que suministra información sobre la capacidad de almacenamiento de suelos en fertilizantes)

-tóxicos (pesticidas, metales pesados, etc. aplicados directa o indirectamente por el hombre que conducen a una producción reducida o a efectos tóxicos sobre plantas y los que se alimentan de plantas)

-porcentaje de componentes de fertilización incorporados en la vegetación (por ejemplo porcentaje de P en el sistema total, tierra y planta, incorporado en las plantas).

#### 4.2.3 Vida salvaje

-Cultivos permanentes (cantidad de plantas que cubren el sustrato de suelos)

-Diversidad de fauna y flora

-Especies raras y en peligro de fauna y flora

#### 4.3 Indicadores de sustancias acuáticas

Las características químicas del agua reflejan el sustrato geológico y químico del cual se han originado o a través del cual fluyen. Esto es igualmente válido para sistemas naturales no alterados así como para sistemas habitados por el hombre. En el siglo primero A.C. Plinius y Elder ya lo reconocieron al decir 'Tales sunt aquae, quales terrae, per quas fluunt' (El agua es como la tierra a través de la que fluye). La química y biología de las aguas son por lo tanto buenos indicadores del cambio. Diferenciamos las aguas aquí, de acuerdo con sus características físicas y morfológicas.

##### 4.3.1 Aguas corrientes

La caracterización de aguas corrientes debe comenzar con las características físicas, las cuales describen el volumen de agua y las tasas de flujo en épocas diferentes del año, y su interacción con el medio terrestre. Tales características cuantitativas son importantes para cualquier tipo de uso que dependa de cantidades prontas y predecibles de agua.

##### 4.3.1.1 Indicadores cuantitativos

- Régimen de velocidades
- tiempo de retención
- fluctuación de los niveles de agua
- periodicidad de esorrentia
- erosión (sedimentacion)
- mezcla y/o estratificación

#### 4.3.1.2 Indicadores de calidad

Las características cualitativas son importantes para cualquier opción que necesite una situación determinada química o biológica. Por lo tanto los indicadores cualitativos son mas numerosos y tienen una mayor variedad, y pueden incrementarse o reducirse en relación con el tipo de uso que se busca. A efectos ecológicos la calidad del agua es incluso de mayor importancia, dado que una calidad constante es la base de toda vida acuática.

a) los indicadores obligatorios son:

- el régimen de temperaturas y la saturación de oxígeno
- pH

b) los indicadores adicionales son:

- dureza
- contenido celular
- DBO

c) En los casos de contaminación de procedencia humana:

Especial atención debe darse a los indicadores de contaminación. Las fuentes de contaminación pueden ser orgánicas (material putrescible o tóxicos orgánicos), material orgánico o inerte, nutrientes de plantas o contaminación bacteriana. La presencia de ciertos contaminantes (o combinaciones) puede excluir diferentes opciones económicas. Los indicadores para el tipo y grado de contaminación son por lo tanto herramientas importantes en la evaluación de dichas opciones o para describir el estado actual del sistema.

Los indicadores obligatorios de contaminación son:

- DBO
- indicadores bacterianos específicos tal como el E.coli;
- contenido celular

-sedimentos putrescibles

-productos químicos específicos en situaciones locales (metales pesados, hidrocarbonatos clorados, etc.)

#### 4.3.1.3 Vida salvaje

Los indicadores de vida salvaje son importantes tanto para evaluar el grado de alteración o estado optimal del sistema natural así como para el control de los cambios del equilibrio natural.

-cultivos permanentes y periodicidad;

-producción y periodicidad;

-peces y producción piscícola;

-diversidad de especies;

-potencial de desove;

-especie en peligro.

#### 4.3.2 Aguas tranquilas

##### 4.3.2.1 Indicadores de cantidad

-pérdidas por infiltración

-pérdida por evaporación y evapotranspiración

##### 4.3.2.2 Indicadores de calidad

###### a) Obligatorios:

-régimen de temperaturas

-saturación de oxígeno

-estratificación y mezcla (cuantitativamente y periodicidad)

-conductividad

###### b) En casos especiales

-DBO

-amoníaco

-ciertos productos químicos (vease la lista anterior para aguas corrientes)

-sedimentos putrescibles

#### 4.3.2.3 Vida salvaje

- cultivos permanentes y periodicidad;
- producción y periodicidad;
- diversidad de especies;
- especies en peligro;
- peces y producción piscícola;
- potencial de desove.

#### 4.3.3 Aguas subterráneas

##### 4.3.3.1 Indicadores de cantidad

- Nivel de aguas subterráneas y fluctuaciones
- Movimientos y fluctuaciones de aguas subterráneas

##### 4.3.3.2 Indicadores de calidad

###### a)Obligatoriamente:

- regimen de temperaturas
- pH
- conductividad

###### b)En casos especiales

- contenido celular
- E.coli
- químicos específicos (pesticidas, metales pesados)

#### 4.4 Selección de indicadores

Como se ha mencionado anteriormente, la selección de aquellos indicadores que dan la información más importante y valiosa es extremadamente difícil. Esta selección debe basarse:

- en el tipo de proyecto
- en el grado de alteración natural que puede tolerarse
- en el tipo de opciones que se dejan abiertas para su posterior uso.

Al final, la selección de los mejores indicadores (o combinaciones) dependerá siempre de la experiencia y del juicio científico y ecológico de los analistas implicados.

Dos ejemplos de procesos de selección figuran a continuación:

Ejemplo 1:

Proyecto: Vertido de aguas contaminadas en un río;

Alteración máxima permitida: (Local:) debe dejarse abierta a un río de carpas.

Opciones que deben dejarse abiertas: (100 km aguas abajo): utilización para agua potable.

A) Indicadores de cantidad de agua:

-Fluctuaciones de nivel.

B) Indicadores de calidad química y biológica:

-Saturación de oxígeno

-DBO

-Contenido celular (E.coli)

C) Indicadores de vida salvaje:

-Diversidad de peces.

Ejemplo 2:

Proyecto: Construcción de una presa y un embalse para la generación de energía.

Alteración máxima permitida: protección de la pesca aguas abajo.

Opciones para uso posterior: pesca fluvial y lacustre: utilización del agua estancada para riego y abastecimientos de agua.

A) Indicadores de cantidad de agua:

-Fluctuación de nivel de agua

-en el lago

-aguas abajo

-Periodicidad de escorrentía

-Mezcla y/o estratificación en el lago

-Perdidas por infiltración y evapotranspiración.

**B) Indicadores de calidad del agua:**

-Oxígeno en el lago

-Régimen de temperaturas en el lago

-Cambios en la composición química durante el abastecimiento (pérdida de fósforo)

**C) Indicadores de vida salvaje:**

-diversidad de peces

-en el lago

-aguas abajo

-potencial de desove

-producción de plancton

-producción de peces.

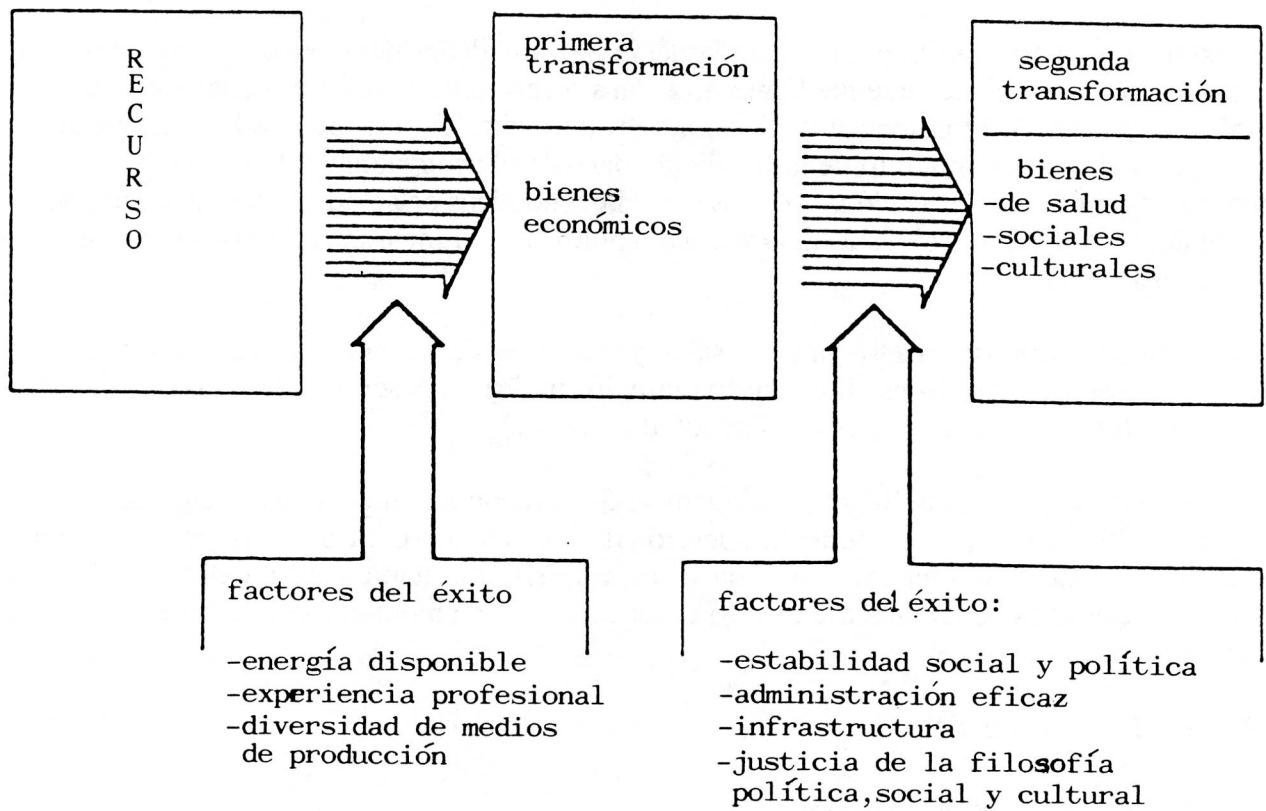


FIGURA 5.1 Transformación de recursos en bienes (Hartmann)

## CAPITULO V

### 5. INDICADORES SOCIOECONOMICOS

#### 5.1 Informacion básica

Se define aquí la economía como una integración de actividades para extraer y transformar recursos naturales en bienes que mediante otra transformación dan lugar a bienes sociales y culturales. (Figura 5.1). El potencial de la primera transformación depende de la cantidad de energía disponible y del conjunto de la habilidad, diversidad profesional y demanda de la población. La segunda transformación, la de los bienes económicos en salud, bienestar y cultura, depende del nivel de desarrollo social, la situación política y el funcionamiento de la infraestructura administrativa.

Los indicadores económicos, sociales, de salud y culturales deben cubrir todos los aspectos, así como las interrelaciones entre ellos. Por lo tanto, los indicadores serán dados para efectos económicos, situaciones sociales y estados de salud y cultura.

Cuando se evalúan los beneficios económicos se debe reconocer que normalmente un impacto económico determinado representa la selección de una opción (dentro de un limitado número de opciones) y que cualquier impacto da lugar a un sistema natural desequilibrado. Las opciones seleccionadas pueden sin embargo tener impactos ambientales que también deben tenerse en consideración.

#### 5.2 Indicadores económicos

- Inversión necesaria para el proyecto
- Renta del proyecto
- Incremento del número de empleos
- Incremento de la diversidad de producción (profesional)
- ganancia en energía

#### 5.3 Indicadores sociales

- Renta familiar
- Distribución estadística de la renta
- Migración de población
- Densidad de población
- Crecimiento de la población
- Uso de la renta familiar

#### 5.4 Indicadores de salud y nutrición

- Presencia de enfermedades y vectores de transmisión
- Mortalidad infantil
- Esperanza media de vida
- Situación sanitaria (abastecimiento de agua, alcantarillados, plantas de tratamiento)
- Abastecimiento de agua
- Suministro de alimentos
- Diversidad de alimentación

#### 5.5 Indicadores culturales

- Lugares históricos
- Recreación

#### 5.6 Pérdidas de las opciones económicas

- Pesca
- Navegación
- Abastecimiento de agua (potable) (irrigación)
- Producción de energía
- Recreación

#### 5.7 Selección de indicadores

De la misma forma que con los indicadores de ecología, el punto crucial para la aplicación de los métodos descritos aquí, es la selección del mejor conjunto de indicadores. En el caso de los indicadores socioeconómicos ello puede ser incluso más difícil dado que hay una mayor implicación de los aspectos políticos en este caso que cuando se ensaya y se evalúa una situación ecológica.

Los indicadores a ser utilizados deben ser seleccionados nuevamente de acuerdo con tres criterios principales, fundamentalmente:

- la factibilidad financiera del proyecto
- las posibilidades directas de transformación del beneficio económico en valores sociales y culturales
- la pérdida de opciones futuras

A efectos de simplificación hemos utilizado los mismos dos ejemplos del Capítulo IV

## Ejemplo 1

### A/ Indicadores económicos

- inversión necesitada por el proyecto
- renta (en este caso ahorros comparados con otros tipos de soluciones) del proyecto

### B/ Indicadores sociales

- directamente: ninguno
- indirectamente: protección de la pesca fluvial y de las familias que dependen de ella

### C/ Indicadores de salud y nutrición

- protección contra enfermedades hídricas
- seguridad del abastecimiento de agua

### D/ Pérdida de opciones económicas

- abastecimiento de agua directamente a la salida del emisario
- pérdidas en la pesca a la salida del emisario

## Ejemplo 2

### A/ Indicadores económicos

- inversión requerida
- renta del proyecto
- incremento del número de empleos
- energía ganada

### B/ Indicadores sociales

- renta familiar de los diferentes grupos influenciados por el proyecto (pescadores, granjeros, gente a redistribuir)

### C/ Indicadores de salud y nutrición

- enfermedades y vector enfermedad
- abastecimiento de agua
- abastecimiento alimentario

**D/ Indicadores culturales**

-lugares arqueológicos e históricos

-recreación

**E/ Pérdida de opciones**

-navegación

-pesquerías (aguas abajo)

## CAPITULO VI

### 6. Evaluación del estado actual del ambiente acuático

El propósito de este capítulo es dar una metodología para la evaluación cuantitativa del ambiente acuático con una perspectiva ecológica y socioeconómica conjunta.

#### 6.1 Antecedentes

La información básica necesaria para la aplicación de esta metodología se ha presentado en los capítulos precedentes. El proceso puede sumarse como sigue:

a) Definición del sistema a ser caracterizado mediante un conjunto de indicadores ecológicos y socioeconómicos (escala local, escala a nivel de cuenca fluvial, tipo de proyecto, tipo de agua, sistema existente o planificado).

b) Selección de un conjunto de indicadores básicos que caracteriza de la mejor manera el sistema bajo consideración. El número de indicadores básicos necesarios depende del tamaño y del tipo del sistema, del nivel del análisis (preliminario o detallado) y de varios otros factores como se discutió en los capítulos precedentes.

c) Selección de unidades de medida para los indicadores básicos. Estos son indicadores básicos para los cuales la medida cuantitativa no es posible o realística. Para tales indicadores se puede dar una caracterización cualitativa. Por ejemplo, la conductividad eléctrica o la renta se puede medir cuantitativamente. Pero para otros indicadores, como por ejemplo el paisaje, la salud pública o el cambio del clima, una categorización cualitativa sería más apropiada (como por ejemplo bueno, regular y malo)

d) Agrupamiento del conjunto de indicadores básicos en un subconjunto menor de indicadores de segundo nivel. Por ejemplo, indicadores de tercer nivel tales como los incrementos en la producción total, el potencial de agroindustrias, la creación de empleos, el PNB y su distribución, se pueden agrupar en economía, un elemento del subconjunto de indicadores de segundo nivel. Similarmente, otros indicadores básicos tales como la temperatura, la sedimentación, la turbidez, la conductividad eléctrica, el pH, el contenido de nutrientes y los potenciales de bioproducción pueden agruparse dentro de calidad hídrica, otro elemento del subconjunto de indicadores de segundo nivel.

e) Los indicadores de segundo nivel están agrupados en dos indicadores de tercer nivel, ecología y socioeconomía. Por lo tanto los elementos del subconjunto de segundo nivel tales como economía, asuntos sociales y salud pública se agrupan bajo el indicador de tercer nivel socioeconomía. Los elementos del subconjunto de segundo nivel tales como la calidad del agua, la hidrología, la vida salvaje, el clima, la pesca, etc., se agrupan bajo ecología, indicador de tercer nivel.

La figura 6.1 proporciona la estructura de indicadores de tres niveles.

#### 6.2 Objetivos

La metodología desarrollada en el siguiente capítulo tiene los siguientes objetivos:

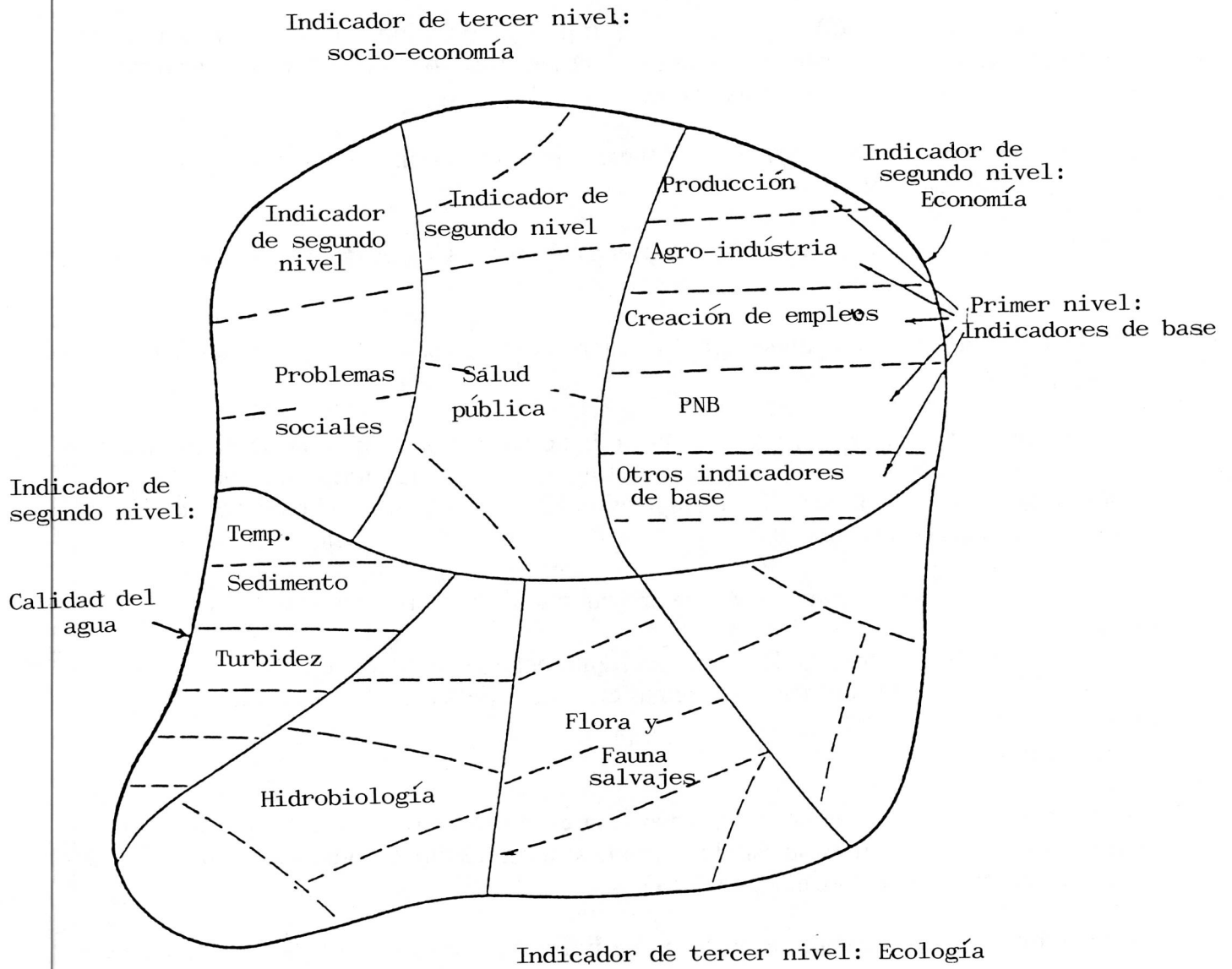


FIGURA 6.1 Estructura a tres niveles de indicadores

a) Debe producir una caracterización numérica del estado existente del sistema en estudio desde una perspectiva conjunta ecológica, socioeconómica.

b) Debe adaptarse a diferentes escalas de sistemas cubriendo de escala local a escala de cuenca fluvial.

c) La aplicación de la metodología debe permitir una comparación universal entre los sistemas investigados (debe ser aplicable por organizaciones tales como el PNUMA a las encuestas globales ambientales sobre una base standard).

d) La metodología debe ser capaz de reflejar preferencias o importancias relativas tanto en tiempo como en espacio,

1) entre desarrollo (socioeconomía) y conservación (ecología), es decir entre indicadores de tercer nivel,

2) entre indicadores de segundo nivel (por ejemplo entre economía, salud pública y asuntos sociales), y

3) entre indicadores de primer nivel, es decir, indicadores básicos pertenecientes a cada indicador de segundo nivel (por ejemplo entre el incremento de la producción total, los potenciales de agroindustria, la creación de empleos, el PNB y su distribución en la economía como indicador de segundo nivel).

e) La metodología debe ser simple y debe utilizar gráficos e informática interactiva

f) El valor numérico estimado del estado existente debe ser la base para seleccionar las posibles opciones del rendimiento de los sistemas mejorados (vease también el capítulo 7)

### 6.3 Procedimientos

Esta sección describe la metodología para evaluar el estado actual del medio acuático. Con objeto de facilitar su comprensión esta teoría se ilustra con ejemplos comunes y figuras. Los detalles matemáticos figuran en el Apéndice D.

La metodología comienza con la selección de indicadores básicos para cada indicador compuesto de segundo nivel. Por ejemplo, indicadores típicos básicos para la calidad del agua, indicador compuesto de segundo nivel, incluye temperatura, pH, oxígeno disuelto, DBO, como se especificó en el capítulo 5.

A continuación, se definen los dos grupos (ecología y socioeconomía) de indicadores de tercer nivel. El siguiente explica el principio de este peso (Tabla 6.1). El número de indicadores de segundo nivel puede ser diferente en los dos grupos, dependiendo en el tipo de sistema en estudio. En este capítulo hay 5 indicadores en el grupo ecológico y 3 indicadores en el grupo socioeconómico.

Tabla 6.1 Ejemplo de indicadores compuestos

Indicadores compuestos

segundo nivel	tercer nivel
Calidad de aguas superficiales Aguas subterráneas Flora y fauna salvaje Clima Peces	Ecología
Economía Asuntos sociales Salud pública	socioeconomía

Tabla 6.2. SIMBOLOS Y SUS SIGNIFICADOS

Simbolo	Significado
$i$	Numero secuencial asignado a un indicador basico
$Z_i$	Valor actual o previsto del indicador basico numero $i$
$Z_{i-}$	El peor valor aceptable de $Z_i$
$Z_{i+}$	El mayor valor posible de $Z_i$
$S_i$	Indice que indica el lugar de $Z_i$ entre $Z_{i-}$ y $Z_{i+}$ ; mide la aceptabilidad del valor real del indicador $Z_i$ ; esta siempre comprendido entre 0 y 1
$j$	Numero secuencial de un cierto numero de indicadores basicos, por lo tanto de un grupo de segundo nivel.
$S_{ij}$	El valor del indice basico (primer nivel) $i$ del grupo $j$ de segundo nivel
$n_j$	Numero de indicadores basicos en un grupo $j$ de segundo nivel
$L_j$	Distancia desde el punto ideal al punto compuesto derivado de los $n$ indices de base ( $S_{ij}$ ) de un grupo $j$ de segundo nivel
$a_{ij}$	Peso que indica la importancia relativa de los $n$ indicadores de base del grupo $j$ . La suma de los pesos de cualquier grupo es la unidad. La determinacion de estos pesos implica la seleccion de la importancia relativa que se da a un indicador
$P_j$	Factor de balance entre indicadores dentro del grupo $j$ . Es igual o mayor a 1. Su valor depende de que se quiera o no enfatizar las grandes desviaciones.
$L_k$	Distancia entre el punto ideal y el numero compuesto $m$ de $L_j$ en el grupo $k$
$m_k$	Numero de elementos ( $L_j$ ) en un grupo $k$ de tercer nivel
$L_{jk}$	Valor del indice $L_j$ de segundo nivel dentro del grupo $k$ de tercer nivel
$a_{jk}$	Importancia relativa entre los elementos $L_{jk}$
$p_k$	Factor de balance del grupo $k$ de tercer nivel
$L$	Distancia compuesta que caracteriza el estado del sistema, por lo tanto es el resultado final.

Notese que la metodología es aplicable a más de dos indicadores de tercer nivel. Sin embargo, la presentación e interpretación del resultado final es mas complicado en este caso.

A continuación, se asignan un valor máximo y mínimo (el mejor y el peor) para cada indicador básico. Se puede ver, que en un número de casos el valor mínimo representa la mejor situación. Los indicadores de calidad de agua relativos a la concentración química son ejemplos típicos a este respecto. El mejor valor significaría un valor ideal representativo de condiciones ideales en la región considerada. Similarmente, los peores valores de los indicadores básicos corresponden a la peor situación adversa en la region considerada.

Aun cuando algunos de los indicadores se caracterizan independientemente de la región considerada por sus mejores valores totales, tales como el oxígeno para representar la calidad del agua para otros indicadores el mejor valor depende mucho de la región investigada.

Por ejemplo, el mejor valor o standard que puede obtenerse para la renta per capita -indicador básico muy importante- sería diferente en un país en via de desarrollo que en un país desarrollado.

En la etapa siguiente se determinan los valores actuales  $Z$  del indicador basico  $i$ . Esta etapa requiere el estudio de la información disponible tales como datos observados o estadística básica. En algunos casos se requieren datos de medida adicionales. La significación del sistema investigado debe resolver el conflicto entre un análisis más preciso y el coste del analisis (incluyendo programas adicionales de medida). La tabla 6.2 describe los símbolos utilizados en las formulas.

Dado que las unidades de los indicadores básicos tales como la renta y oxígeno disuelto son diferentes, el análisis de balance posterior requiere que los valores actuales sean normalizados, esto es, transformados al intervalo 0-1. Utilizando  $Z_{i+}$  el máximo y  $Z_{i-}$  como mínimo, el valor normalizado de  $Z$  puede ser calculado como un indice ( $S$ ) dado por estas expresiones:

$$S_i = \frac{Z_i - Z_{i-}}{Z_{i+} - Z_{i-}} \quad \text{o} \quad S_i = \frac{Z_{i+} - Z_i}{Z_{i+} - Z_{i-}}$$

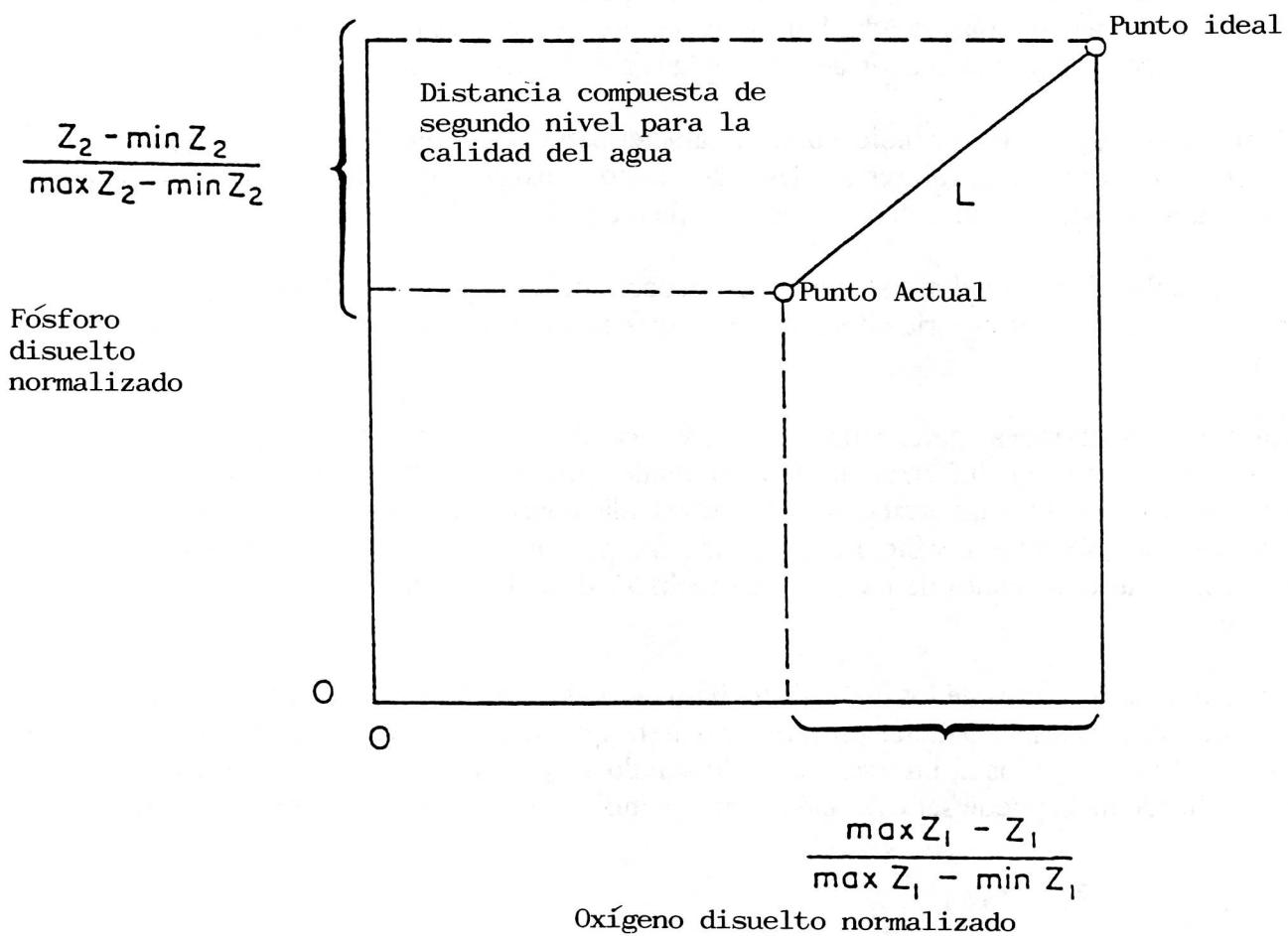


FIGURA 6.2 Índice compuesto de segundo nivel para la calidad del agua

A continuación, las distancias compuestas de segundo nivel se calculan para cada grupo de índices básicos de segundo nivel, utilizando la ecuación siguiente:

$$L_j = \left[ \sum_{i=1}^{n_j} \alpha_{ij} S_{ij}^{p_j} \right]^{1/p_j}$$

En la que  $S_{ij}$ : valor actual del índice básico  $i$  en el grupo  $j$  de segundo nivel de indicadores básicos

$L_j$ : Distancia compuesta para el grupo  $j$  de segundo nivel de indicadores básicos

$n_j$ : número de indicadores básicos en el grupo  $j$

$\alpha_{ij}$ : peso que expresa la importancia relativa de los indicadores básicos en el grupo  $j$

$$\sum_{i=1}^{n_j} \alpha_{ij} = 1$$

$p_j$ : factor de balance entre los indicadores del grupo  $j$

Como muestra la figura 6.2,  $L_j$  es una distancia entre el punto ideal ( $\max Z_1, \min Z_2$ ). La figura 6.2 representa un ejemplo en el caso de  $n = 2$  (es decir oxígeno disuelto (OD) y fósforo disuelto (FD) como grupo de segundo nivel de indicadores de calidad de agua).

Los dos parámetros  $\alpha$  y  $p$  sirven como esquema de doble peso. La introducción de  $p$  permite expresar la importancia relativa de los indicadores básicos. El ejemplo de la figura 6.2 se refiere a una situación en la que OD y FD son igualmente importantes.

El parámetro  $p$  refleja la importancia de la desviación máxima  $S_{ij}$ . Cuanto mayor sea el valor de  $p$ , mayor será el valor con respecto a la desviación máxima. Para  $p = 1$ , todas las desviaciones son igualmente equilibradas. Para  $p = 2$ , cada desviación es medida en función de su magnitud. Cuando  $p$  se hace más y más grande la máxima desviación recibe más y más peso hasta que finalmente para  $p = \infty$  se observa que la distancia corresponde a la máxima desviación ( $L_j = \max S_{ij}$ ).

Claramente la naturaleza del sistema investigado debe determinar la elección de los dos tipos de factores de peso. Como regla general puede decirse que se debe utilizar  $p = 3$  o mayor para indicadores conexos ecológicamente, cuando el principio del factor limitante, como la limitación de nutrientes, sirve para todo el sistema. En otros casos,  $p = 1$  o  $2$ , parece ser una buena elección (Goicochea y otros, 1982).

Cuando las distancias compuestas para cada grupo de segundo nivel han sido calculadas, las dos distancias compuestas de tercer nivel se calculan a partir de las distancias compuestas de segundo nivel.

$$L_k = \left[ \sum_{j=1}^{m_k} \alpha_{jk} L_{jk}^{p_k} \right]^{1/p_k}$$

donde  $L_k$ : distancia compuesta del grupo  $k$  de tercer nivel

$m_k$ : número de elementos del grupo  $k$  de tercer nivel

$L_k$ : distancia compuesta de segundo nivel para ecología ( $k = 1$ ) y socioeconomía ( $k = 2$ )

$\alpha_{jk}$  : importancia relativa entre los elementos del grupo  $k$  de tercer nivel

$P_k$ : factor de balance del grupo  $k$  de tercer nivel

El papel de los parametros  $\alpha_{jk}, P_k$  en ésta formula de tercer nivel es el mismo que en la de segundo nivel. La formula de tercer nivel queda ilustrada en la figura 6.3 por el grupo de tercer nivel  $k = 1$  de ecología consistente de dos indicadores igualmente importantes de segundo nivel ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$ ), calidad de agua y vida salvaje.

La formula de tercer nivel da dos distancias compuestas  $L_1$  para ecología y  $L_2$  para socioeconomía.

La etapa siguiente es la composición final entre las distancias de tercer nivel de ecología y socioeconomía, como muestra la figura 6.4. Esta esta dada por la expresion siguiente:

$$L = \left[ \alpha_1 L_1^2 + \alpha_2 L_2^2 \right]^{1/2}$$

en la que  $L$  : distancia compuesta que caracteriza el estado actual del sistema en su doble aspecto ecológico-socioeconómico.

$L_1$ : distancia compuesta para ecología

$L_2$ : distancia compuesta para socioeconomía

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$ : pesos indicando la importancia relativa entre conservación y desarrollo.

Notese que en la ecuación (4) se utiliza  $p = 2$ , dado que esta estructura ha demostrado ser aplicable al balance de ecología y socioeconomía.

La tabla 6.3 resume el proceso de agregación.

Cómo entonces es posible evaluar la magnitud  $L$ , y cómo pueden compararse diferentes sistemas con diferentes valores de  $L$ ? Dicho de otra forma, dado un valor estimado  $L$ , está el sistema en buen estado, o si se efectúa alguna intervención como puede uno medir su eficacia?

Ciertamente, si  $L$  es pequeño el estado del sistema es mas próximo a su estado ideal (máximo desarrollo, máxima conservación). Por lo tanto, es posible especificar áreas alrededor del estado ideal, correspondientes a, digamos, estados buenos, aceptables y pobres. La figura 6.5 indica tales categorías. Los limites de categorías estan dados en la tabla 6.4.

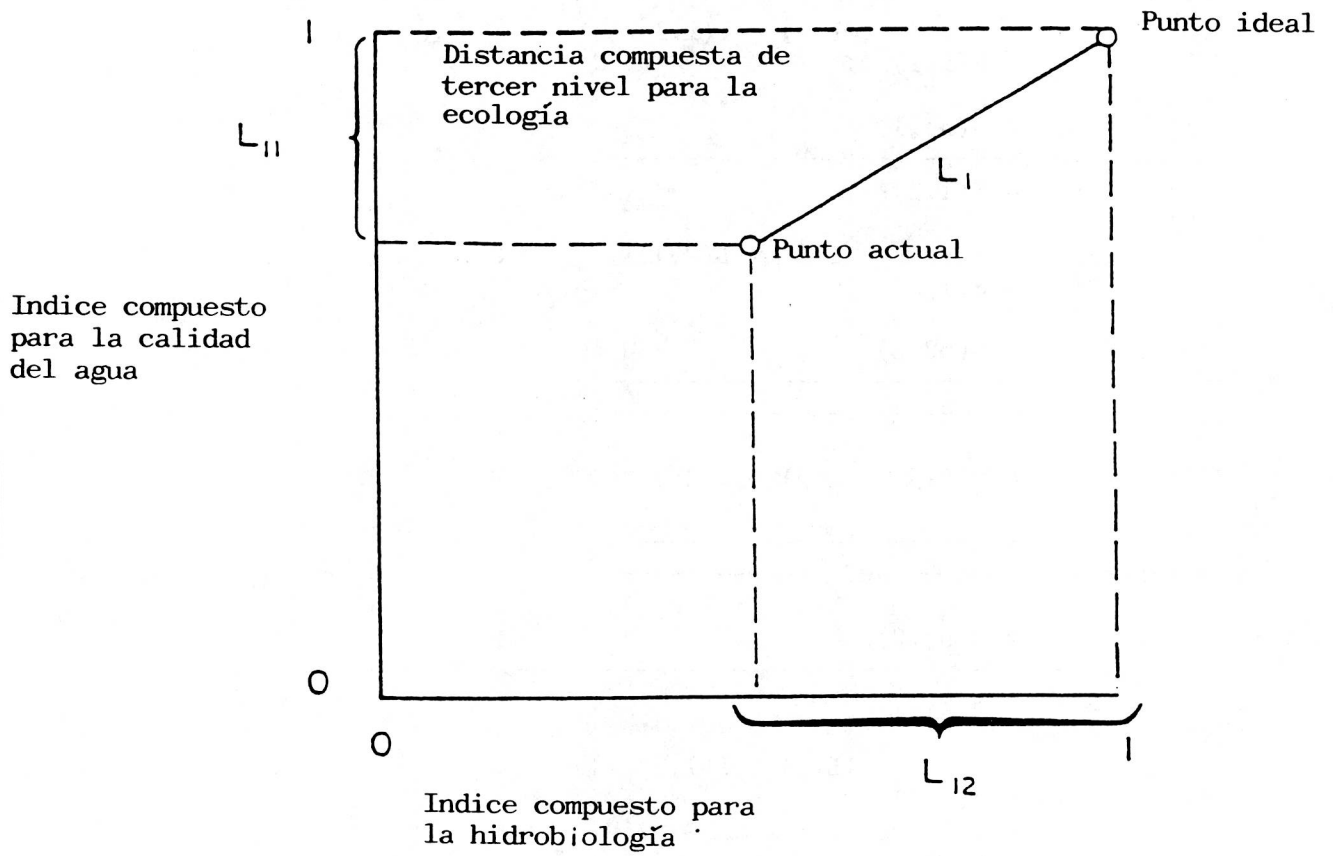


FIGURA 6.3 Índice compuesto de tercer nivel: Ecología



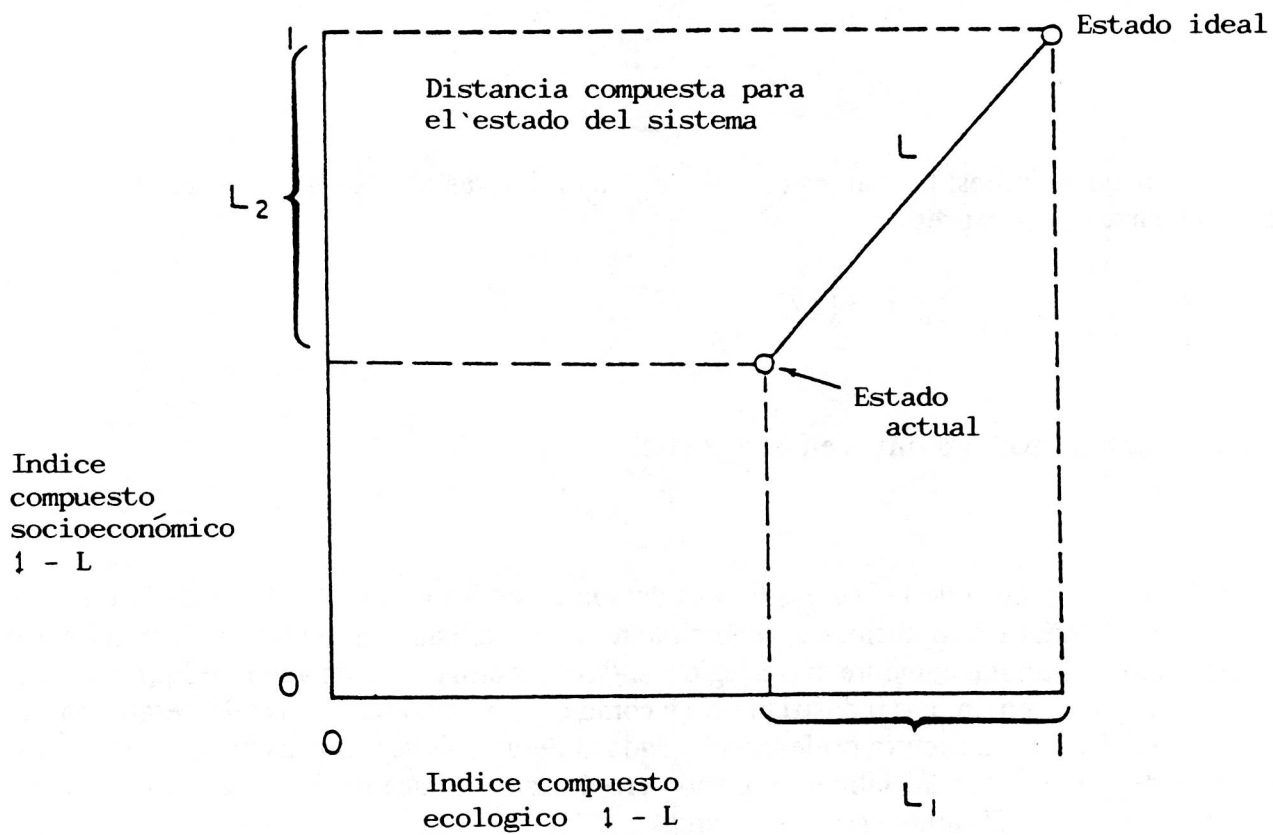


FIGURA 6.4 Indicador compuesto conjunto ecológico socioeconómico

Tabla 6.4 Límites de valores de distancias compuestas

	bueno	aceptable	pobre
Ecología	L1 < 0.3	0.3 - 0.6	> 0.6
Desarrollo	L2 < 0.3	0.3 - 0.6	> 0.6

Basados en estos límites, los puntos (x,y) de las curvas límites alrededor del estado ideal pueden calcularse por la expresión:

$$\left[ \alpha_1(1-x)^P + \alpha_2(1-y)^P \right]^{1/P} = \beta$$

donde  $\beta = 0.3$  y  $0.6$  para las curvas en la figura 6.5.

La ecuación (5) indica que las curvas límites dependen de los pesos  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . La evaluación debe ser capaz de reflejar las condiciones predominantes que cambian a la vez con el tiempo dentro de una región y simultáneamente entre regiones. Por lo tanto, el mismo valor de L, puede evaluarse como pobre en un país industrializado y como bueno en un país en vía de desarrollo, reflejando la diferente estructura preferencial dada al desarrollo versus conservación. O el mismo valor de L puede ser inicialmente bueno pero únicamente aceptable o incluso pobre si la estructura preferencial cambia posteriormente.

Se cree que esta metodología de evaluación es flexible y capaz de reflejar condiciones cambiantes. Naturalmente la selección de las curvas límites siempre será algo arbitraria, pero si PNUMA u otras organizaciones eligiera los límites standards, se podría realizar una comparación entre regiones y una evaluación total.

La etapa final de la evaluación queda ilustrada por la figura 6.6 y la preferencia o peso es igual entre desarrollo y conservación ( $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.5$ ). Como consecuencia, el estado del sistema puede ser evaluado como aceptable mediante las curvas límites basadas en los límites presentados en la tabla 3.3.

#### 6.4 Discusión y conclusiones

Se ha descrito un método de evaluación multi-nivel para la determinación del estado actual de un ambiente acuático desde un punto de vista conjunto ecológico-socioeconómico. El método es flexible dado que el número de niveles, tres en esta presentación, puede cambiarse de acuerdo a las propiedades del sistema en estudio. También, el número de elementos en el grupo de indicadores de los diferentes niveles puede ser modificado. Esta flexibilidad se refleja en la presentación matemática de la metodología dada en el apéndice D.

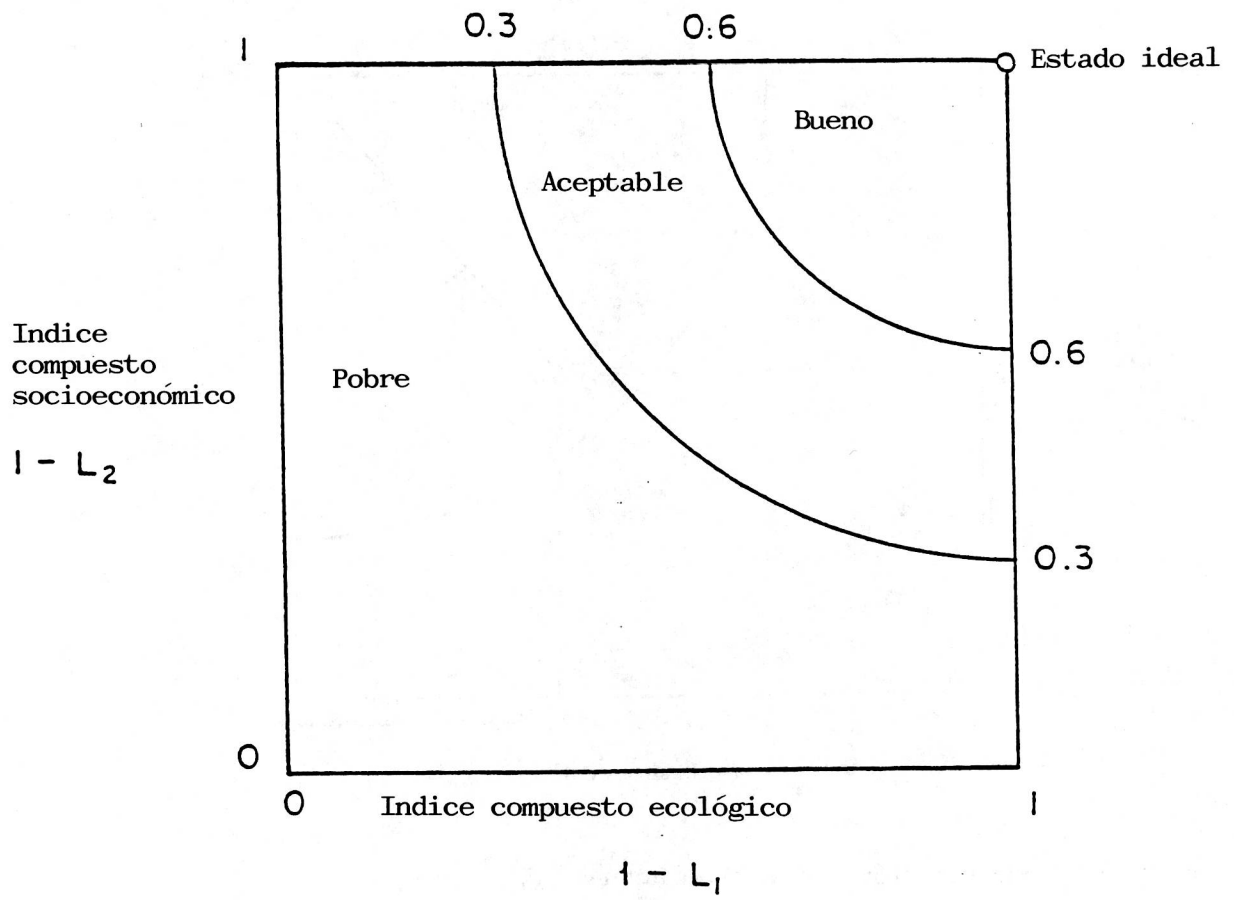


FIGURA 6.5 Curvas límites para preferencias iguales

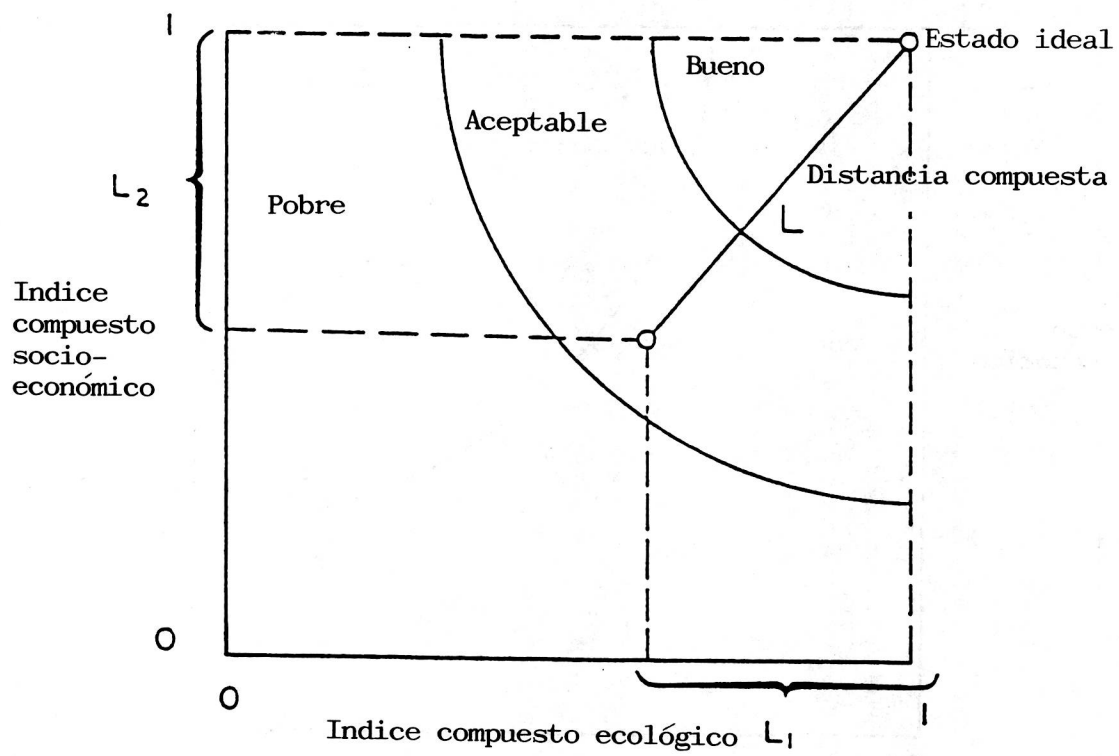


FIGURA 6.6 Evaluación del estado actual

Esta claro que hay sistemas que pueden ser caracterizados por unos pocos indicadores basicos y/o en los que se necesita definir conjuntos de indicadores de segundo nivel. Por el contrario los ambientes acuáticos pueden ser a veces tan complicados que se requieran un gran numero de indicadores básicos, dando lugar a más de tres niveles de descomposición. Se cree no obstante que el analisis de tres niveles ya especificado es un buen compromiso entre la sofisticación y su aplicación práctica.

Considerando los objetivos dados en la sección 6.2, vemos que:

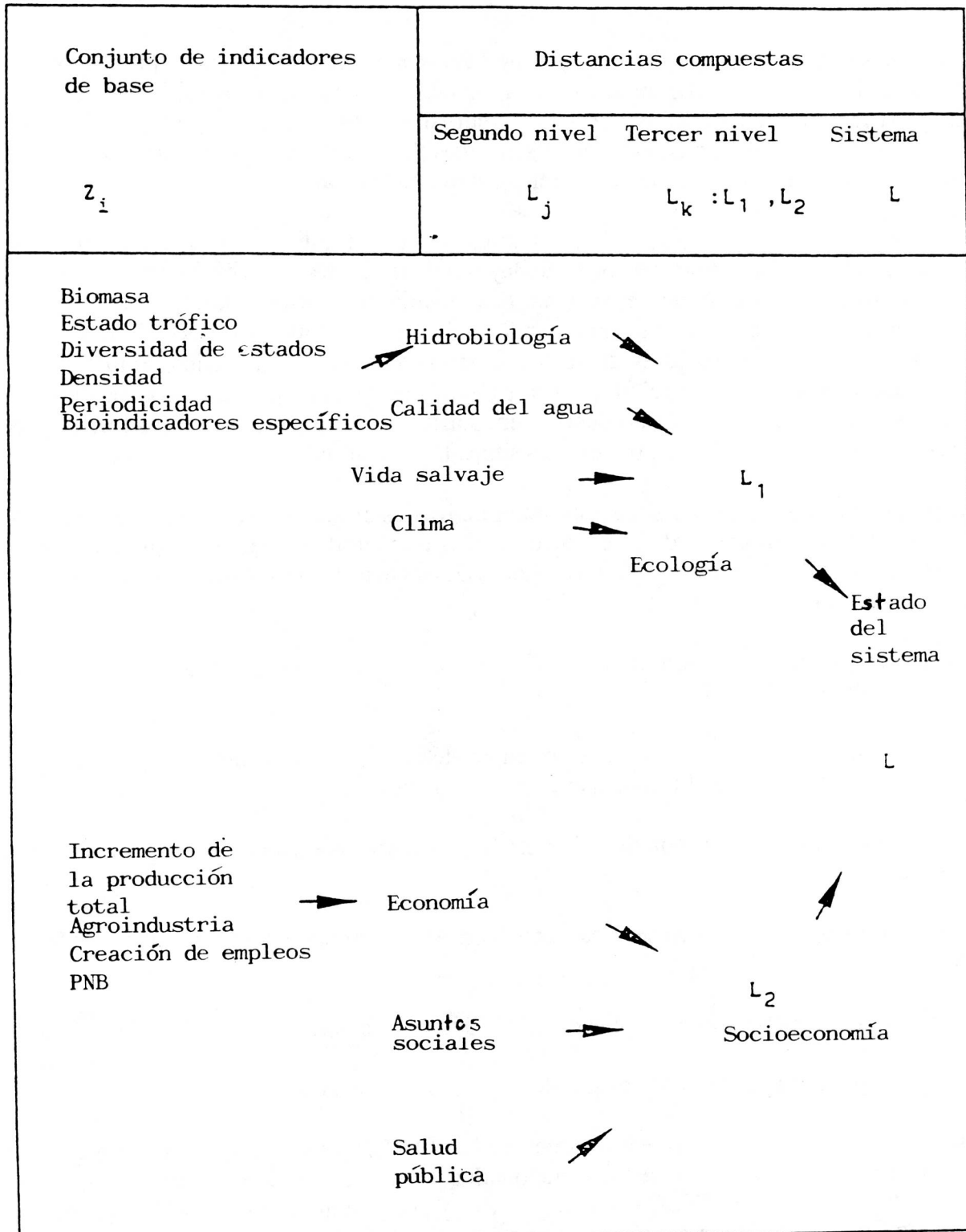
- a) La metodología da lugar a una evaluación cuantitativa
- b) Se pueden investigar diferentes escalas de sistemas -de nivel local a escala de cuenca fluvial- mediante una definición apropiada de indicadores básicos y de diferentes grupos de descomposición. La estructurización de estos conjuntos puede efectuarse con la ayuda del capítulo 4, y el capítulo 5 proporciona directrices para seleccionar y agrupar estos indicadores básicos.
- c) La comparación entre los diferentes sistemas es posible incluso a una escala universal mediante la estimación de sistemas compuestos de distancias  $L$ , y mediante el uso de un standard uniforme para la evaluación, como por ejemplo, de acuerdo a las categorías presentadas (buena, aceptable, pobre).
- d) La metodología puede contabilizar las preferencias cambiantes entre desarrollo y conservación, entre elementos de tanto la ecología como la socioeconomía, así como entre indicadores básicos, tanto en tiempo como en espacio mediante la ayuda de un esquema de dobles pesos.
- e) La aplicación de la metodología es relativamente simple y las necesidades de datos corresponden a los estudios tradicionales de impacto ambiental de escala similar. No se precisa una habilidad matemática especial y la presentación o interpretación de los resultados puede facilitarse mediante cálculos y gráficos interactivos con ordenador.
- f) Como muestra el capítulo 7, los resultados (y los principios) de esta etapa de evaluación son la base de selección entre las opciones para la mejora del estado actual.

En conclusión, el siguiente resumen etapa por etapa puede ser indicado para la evaluación del estado actual de un medio acuático (Tabla 6.5):

- a) Definir el sistema en estudio y seleccionar dos grupos de indicadores compuestos de segundo nivel que caracterizan el sistema desde el punto de vista de sus aspectos ecológicos y socioeconómicos respectivamente. Por ejemplo:
  - 1) ecología: hidrobiología; calidad del agua, vida salvaje y clima
  - 2) socioeconomía: economía, asuntos sociales, salud pública.
- b) Definir los indicadores básicos para cada indicador compuesto de segundo nivel. Para la hidrología por ejemplo: biomasa, estado trofico, diversidad de estados, densidad, periodicidad, bioindicadores.
- c) Seleccionar las unidades de medida para cada indicador básico (medidas cuantitativas tales como gramos de biomasa por litro, o categorización cualitativa tales como bueno, regular y malo).

- d) Evaluar los valores ideales y pésimos para cada indicador básico
- e) Encontrar los valores actuales de cada indicador básico
- f) Normalizar los indicadores básicos (Ecuación 6.1)
- g) Evaluar la importancia relativa de los indicadores básicos mediante la ecuación 6.2, seleccionar parámetros y encontrar los valores de P para cada grupo de indicadores de segundo nivel.
- h) Calcular el valor numérico de las distancias compuestas de segundo nivel (ecuación 6.3)
- i) Evaluar la importancia relativa de los indicadores compuestos de segundo nivel para los grupos de segundo nivel (parámetros  $\alpha$  en la ecuación 6.3)
- j) Evaluar el valor numérico de la distancia compuesta ecológica y de la distancia compuesta socioeconómica (Ecuación 6.3)
- k) Evaluar, para el sistema en estudio, la importancia relativa de la ecología y de la socioeconomía (parámetros  $\alpha$  en la ecuación 6.4).
- l) Calcular las distancias compuestas del sistema (Ecuación 6.4)
- m) Definir las categorías del rendimiento del sistema tales como bueno, aceptable o pobre
- n) Evaluar el estado actual del sistema, tal como bueno, aceptable o pobre
- o) Realizar análisis de sensibilidad con respecto al tipo de indicadores, parámetros  $\alpha$  y p, y otras etapas de la metodología.

Tabla 6.5: Derivación de las distancias compuestas



### 7. EVALUACION DE LA EFICACIA DE UNA BUENA GESTION AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS

#### 7.1 Objetivos

Aun cuando prácticamente toda actividad humana tiene como objetivo mejorar la situación existente en un sistema local o en una cuenca fluvial, el estado actual ecológico-socioeconómico de un sistema a menudo no es aceptable y necesita mejorar. Esta mejora puede obtenerse mediante una buena gestión de los recursos hídricos. Lo que sigue a continuación es una metodología para evaluar la eficacia de una buena gestión ambiental.

Existen dos maneras, la ecológica y la económica de efectuar tales mejoras. En general, las opciones elegidas tendrán influencia sobre la mayoría de los indicadores básicos y darán como resultado un cambio en el estado del sistema. Las medidas de conservación normalmente implican un coste económico y de la misma forma un desarrollo económico normalmente tiene un impacto ecológico adverso. Es evidente por lo tanto que hay una situación conflictiva. Dado que a menudo no existe una opción única que pueda dar a una mejora de todos los indicadores básicos, el proceso de selección no buscará encontrar el óptimo sino la mejor solución o compromiso y debe ser capaz de responder a las situaciones conflictivas.

Un tipo de métodos que trata situaciones conflictivas es el llamado Toma de Decision Multi-criteria (TDMC). Con objeto de elegir o desarrollar un método de TDMC de un gran grupo de métodos posibles (Chankong y Haines, 1982; Goicochea y otros, 1982), utilizaremos los siguientes criterios:

- a) El procedimiento de selección entre las opciones debe ser conforme al procedimiento de evaluación del estado actual.
- b) El procedimiento de selección debe ser capaz de reflejar las diferentes respuestas de cualquier indicador básico a las diferentes opciones de gestión.
- c) El procedimiento de selección debe indicar las preferencias existentes y los posibles cambios en el sistema.
- d) Las mejores opciones deben seleccionarse bien por un número discreto o por un infinito de opciones.
- e) La metodología debe poderse aplicar a diferentes condiciones naturales y socioeconómicas.
- f) El uso del procedimiento debe ser simple, interactivo e ilustrativo.

El Apéndice C suministra un breve resumen de la TDMC, y se selecciona el método que mejor responde a los criterios anteriormente mencionados. Notese que esta elección de modelo es en sí misma un problema de TDMC (Gershon, 1981), y por lo tanto el método seleccionado, Programación Compuesta, debe considerarse como un compromiso entre la sofisticación matemática, datos disponibles, y una utilización simple.

## 7.2 Procedimiento

Con la información suministrada en el capítulo 6 sobre el procedimiento de evaluación y en el Apéndice C sobre TDMC, se pueden describir brevemente y simplemente el procedimiento de selección.

La primera parte del procedimiento corresponde a las siguientes etapas que tienen que ver con la evaluación del estado actual; 1) definir los indicadores básicos, 2) dar los valores máximo y mínimo para los indicadores básicos, 3) agrupar los indicadores básicos de acuerdo con los indicadores compuestos de segundo nivel que se hayan definido y 4) agrupar los indicadores básicos de segundo nivel de acuerdo con el indicador ecológico compuesto y el indicador socioeconómico compuesto.

La próxima etapa es una de las más importantes del procedimiento, la generación de opciones de gestión alternativas. Esta fuera del alcance de este trabajo describir en detalle como se pueden generar las opciones de gestión. Es evidente que cuanto mayor sea el número de opciones es más probable de seleccionar la mejor solución. Al contrario no siempre es posible considerar una gran variedad de opciones por ejemplo por razones políticas. También estudios anteriores pueden haber dado lugar a seleccionar un pequeño número de opciones candidatas. En la práctica uno tiene un número discreto de opciones, tales como diferentes medidas reguladoras para el control de ciertas sustancias químicas o opciones de gestión que pueden caracterizarse por variables continuas de decisión, tales como la cantidad de agua que sale de un lago artificial. Llamemos  $X$  al conjunto (discreto o continuo) de opciones de gestión, y  $x$  a uno de los elementos.

A continuación hay que estimar la relación  $Z(x)$  entre las opciones y los valores resultantes de los indicadores básicos. Esta etapa puede efectuarse con diferentes grados de sofisticación. Evidentemente un análisis detallado involucraría la utilización de varios modelos de predicción (al mismo tiempo para ecología y socioeconomía). Aun cuando un pronóstico puede ser aplicado en otros casos más simples, la etapa requiere al mínimo una fase de planificación preliminar para cada opción de gestión en consideración. La relación  $Z(x)$  puede indicarse bien mediante una tabla bien mediante cifras de indicadores frente a opciones alternativas o mediante una ecuación matemática (véase el Capítulo 8).

La etapa siguiente del procedimiento trata de calcular las distancias compuestas como función de las diferentes opciones  $x$ . En primer lugar hay que normalizar los indicadores  $Z_i$  con objeto de producir funciones de índice  $S_i(x)$ :

$$S_i(x) = \frac{\max Z_i - Z_i(x)}{\max Z_i - \min Z_i} \quad (6)$$

A continuación se calculan las funciones de distancia compuesta de segundo nivel:

$$L_j(x) = \left[ \sum_{i=1}^{n_j} \alpha_{ij} S_{ij}(x)^{p_j} \right]^{1/p_j} \quad (7)$$

En la que  $n$  es el número de indicadores básicos en el conjunto  $j$ , y los factores de peso  $\alpha_{ij}$  y  $p_j$  pueden evaluarse tal como se describió en el capítulo 6. Nótese que el esquema de pesos se supone que es independiente de las diferentes opciones.

Posteriormente, se calcularán las funciones de distancia compuesta de tercer nivel a partir de las funciones de distancia de segundo nivel, mediante:

$$L_k(x) = \left[ \sum_{j=1}^{m_k} \alpha_{jk} L_{jk}(x)^{p_k} \right]^{1/p_k} \quad (8)$$

en la que  $m_k$  es el número de elementos en el conjunto  $k$  de segundo nivel:  $k = 1$  para ecología,  $k = 2$  para socioeconomía.

Finalmente la función de distancias compuestas de sistemas se calculará mediante la expresión:

$$L(x) = \left[ \alpha_1 L_1(x)^2 + \alpha_2 L_2(x)^2 \right]^{1/2}$$

Las ecuaciones 7 a 9 indican que el indicador compuesto del sistema,  $L$ , es una función de la opción  $x$ , del indicador básico  $Z$ , de la relación  $Z(x)$ , y de los factores de peso  $\alpha$  y  $p$ .

Si el estado actual del sistema se considera como la opción alternativa de gestión cero, esto es, como un elemento del conjunto opción, el procedimiento descrito en este capítulo incluye también la evaluación del estado actual.

El próximo paso del procedimiento es el de selección entre las opciones  $x$ . Resulta evidente que tal opción se considera como la mejor son los más próximos al estado ideal (Figura 7.1). Dado que el índice del sistema compuesto mide la distancia al estado ideal, la mejor opción corresponde al mínimo de  $L(x)$ , esto es, el valor mínimo de la ecuación (9) como una función objetiva que sin embargo incorpora tanto la ecuación (8) ( $L_j$ ) como la ecuación (7) ( $L_k$ ).

El algoritmo de programación matemática para minimizar la función objetiva compuesta depende del tipo de esta función. Para opciones de gestión continua se pueden utilizar métodos standard tales como el método de gradiente (Bogardi y otros, 1985) y el de programación cuadrática (Bardossy, 1984). En el caso de opciones de gestión discretas, siempre que el número de opciones sea relativamente pequeño, puede efectuarse una enumeración total, lo cual significa el cálculo del indicador compuesto  $L$  para cada opción y la selección del menor de todos ellos. Utilizaremos este método directo en la Sección 8.2 para ilustrar la aplicación práctica de la metodología. Sin embargo, cuando el número de opciones de gestión y/o indicadores básicos es cada vez mayor, la enumeración total no resulta factible a menudo, debido al excesivo tiempo de cálculo que se requiere. En tales casos se puede utilizar una variante del algoritmo repetitivo o específicamente la programación 0-1 (Sección 8.1).

La última etapa del procedimiento es la evaluación de la mejor opción de gestión. Esta evaluación puede incluir un análisis de sensibilidad, esto es, el análisis de sensibilidad de la mejor opción con respecto a cambios en los diferentes parámetros, tales como el número y tipo de indicadores básicos y el esquema de preferencia. La evaluación puede también incluir una comparación del estado relativo a la mejor acción con las curvas límites predominantes. Por ejemplo en la figura 7.1, el estado actual del sistema cambia de ser aceptable a ser bueno como resultado de la mejor opción de gestión. Sin embargo en otros casos incluso la mejor opción de gestión no dará lugar a un cambio en un mejor campo. Este hecho podría indicar que el conjunto de opciones considerado es inadecuado y subrayar la necesidad de considerar opciones más ra-

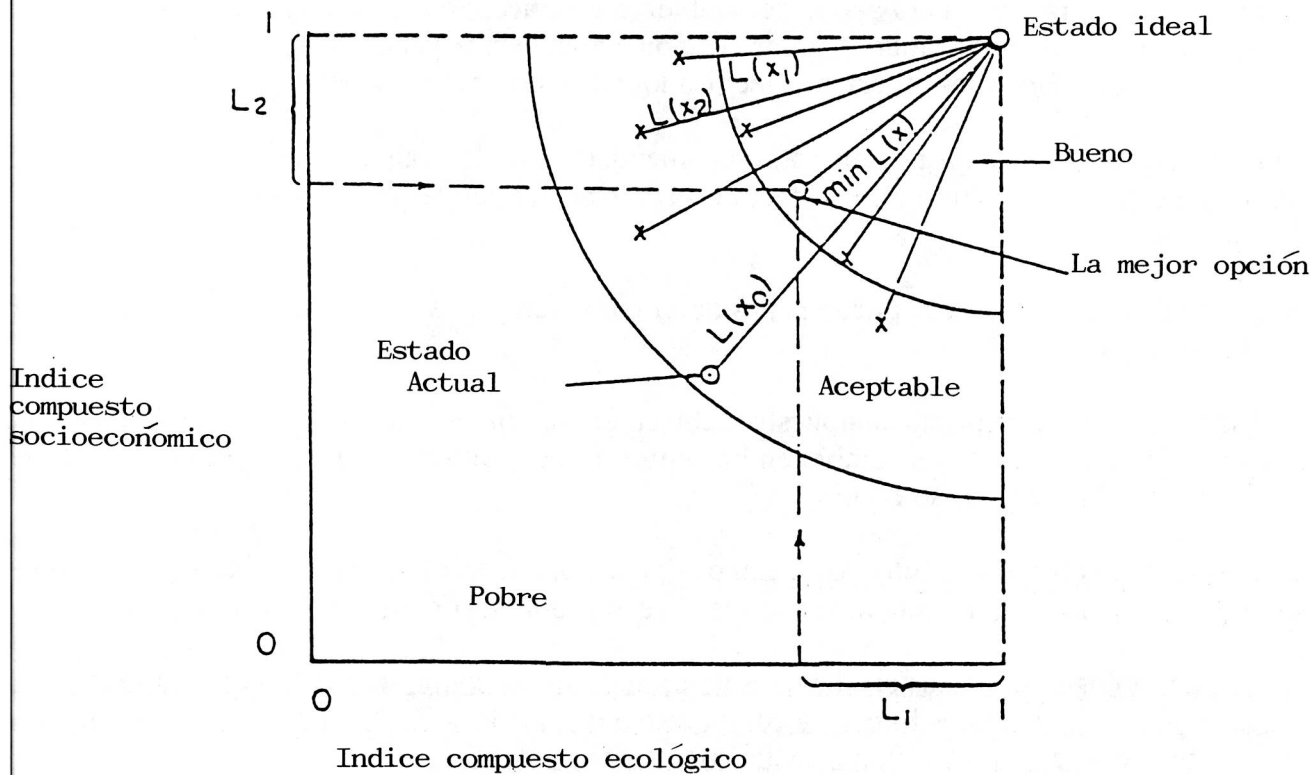


FIGURA 7.1 Principio de selección entre las opciones

dicales. Sería sin embargo también aconsejable verificar la realidad de los límites entre los dominios (pobre, aceptable y bueno).

### 7.3 Discusión y conclusiones

Se ha descrito un procedimiento para la selección de mejores opciones de gestión que darían lugar a una mejora del estado actual del ambiente acuático. Se recomienda el uso del análisis de balance multinivel utilizando la programación compuesta como un método útil a estos efectos dado que satisface a los criterios especificados en la sección 7, a saber:

- a) El procedimiento se ajusta al método recomendado para la evaluación del estado actual del ambiente acuático (Capítulo 6). En efecto el estado actual puede ser considerado como una de las opciones.
- b) Los indicadores básicos se pueden considerar como funciones de opciones de gestión discretas o continuas.
- c) Las funciones de distancia compuesta incluyen el esquema de doble peso, el cual refleja las preferencias. Por lo tanto un cambio en las preferencias pronosticado o simulado se puede incluir en el procedimiento de selección.
- d) Se pueden considerar tanto las opciones de gestión discretas como continuas; correspondientemente el método matemático que resuelve el problema de minimización cambiará.
- e) La metodología refleja las condiciones naturales y socioeconómicas, bien como datos de entrada (tipos de indicadores básicos y compuestos) o funciones  $Z(x)$ , y por lo tanto se pueden utilizar bajo diferentes condiciones socioeconómicas y naturales.
- f) La aplicación del procedimiento es relativamente simple utilizando cálculos iterativos y gráficos de ordenadores.

A continuación figura un resumen del procedimiento etapa por etapa:

- a) Definir el sistema hídrico a ser investigado.
- b) Conocidos los dos indicadores compuestos, ecología y socioeconomía, definir y agrupar consecuentemente los indicadores compuestos de segundo nivel.
- c) Definir los indicadores básicos para cada indicador compuesto de segundo nivel.
- d) Seleccionar las unidades de medida para cada indicador básico (cuantitativo o cualitativo).
- e) Fijar standards de cada indicador básico.
- f) Definir las opciones de gestión  $x$  y evaluar los valores numéricos para cada opción de gestión (función  $Z(x)$ ).

- g) Calcular la función de índice  $S(x)$  para los indicadores básicos (Ecuación 6).
- h) Evaluar la importancia relativa entre los indicadores básicos para cada indicador de segundo nivel (valores  $\alpha$  para la ecuación 7).
- i) Calcular la función de distancia compuesta de segundo nivel  $L_j(x)$  (Ecuación 7).
- j) Evaluar la importancia relativa entre los indicadores de segundo nivel para ecología y socioeconomía (valores  $\alpha$  para la ecuación 8).
- k) Calcular las dos funciones de distancia compuesta de tercer nivel  $L_1(x)$  para ecología y  $L_2(x)$  para socioeconomía (Ecuación 8).
- l) Evaluar la importancia relativa entre la ecología y la socioeconomía (valores  $\alpha$  para la ecuación 9).
- m) Calcular la función de distancia compuesta del sistema  $L(x)$  (Ecuación 9).
- n) Encontrar el mínimo de  $L(x)$  mediante una enumeración completa o programación matemática.
- o) Evaluar la mejor opción (la que corresponde al mínimo de  $L(x)$ ) mediante análisis de sensibilidad y comparación con campos tales como bueno, aceptable o pobre.

### 8. EJEMPLOS NUMERICOS

En este capítulo se proporcionan dos ejemplos numéricos para ilustrar la metodología presentada en los capítulos 6 y 7. Ambos ejemplos se refieren a problemas comunes y reales, y son relativamente simples con objeto de poner de relieve los principios de la metodología.

Tanto la evaluación del estado presente como la selección de las opciones de gestión están incluidas en los dos ejemplos, y se organiza su presentación de acuerdo con la descripción de la metodología etapa por etapa que se ha indicado al final del capítulo 7.

Los ejemplos se presentan con el suficiente detalle como para facilitar una comprensión adecuada del problema y su solución. Se presentan también referencias adicionales para cubrir detalles que no están directamente relacionados con la metodología presente pero que pueden dar más información para los problemas actuales y las metodologías de apoyo.

#### 8.1 Harmonización de la ecología y de la socioeconomía en la gestión de una cuenca hidrográfica: El caso de Vacszentlaszlo

##### 8.1.1 Definición del sistema

La figura 8.1 muestra la cuenca hidrográfica de Vacszentlaszlo en Hungría de 27 km<sup>2</sup>. Esta cuenca está dividida en seis subcuencas cuyas características básicas están dadas en la Tabla 8.1. Como indican los parámetros de la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo, en inglés MUSLE (Williams, 1975), las condiciones topográficas, de suelo y agrícolas difieren entre las subcuencas. El cultivo a gran escala, indicado por la magnitud de los campos incluye principalmente trigo y maíz. Un embalse de 640.000 m<sup>3</sup> es utilizado para abastecimiento de agua y uso recreativo, y está situado a la salida de la cuenca.

Se ilustra a continuación la necesidad de armonizar los intereses conflictivos en la gestión de la cuenca. Bajo las condiciones existentes, el sedimento medio anual, procedente fundamentalmente de la erosión superficial afecta adversamente la producción agrícola, disminuye gradualmente la capacidad de almacenamiento del embalse y contribuye substancialmente a la carga de sedimentos transportado P. Tanto las cargas P de sedimento transportado y disuelto al embalse, causan una eutricación creciente, poniendo en peligro sus funciones recreativas. La agricultura intensiva en la cuenca da lugar a una renta media anual agrícola de 11.598.000 forines (1 dólar U.S equivale a 50 forines). Mantener o incrementar esta renta constituye un objetivo regional importante. Por otro lado, no se estimula a los granjeros a pedir dinero e efectos

TABLA 8.1 Datos de base para la cuenca de Vacszentlaszlo

Subcuencas	Superficie cultivada					Bosque				
	Area Ha	Pendi- ente media %	Parametros MUSLE			Area Ha	Pendi- ente media %	Parametros MUSLE		
			S	L	K			av.S	av.L	av.K
I	176.7	16.0	2.3	3.3	0.36	--	--	--	--	--
II	330.6	12.5	1.6	3.5	0.32	411.0	14.0	1.9	3.6	0.30
III	202.5	8.5	0.8	3.1	0.34	--	--	--	--	--
IV	246.8	11.2	1.3	3.3	0.40	--	--	--	--	--
V	208.8	5.8	0.5	3.1	0.36	267.1	10.0	1.2	2.9	0.34
VI	--	--	--	--	--	767.9	8.0	0.8	2.8	0.30
TOTAL	1165.4					1076.0				

Símbolos

- A 16 Campos cultivados
- A119
- F Bosque

— límite de la cuenca vertiente  
 - - - límite de las subcuencas

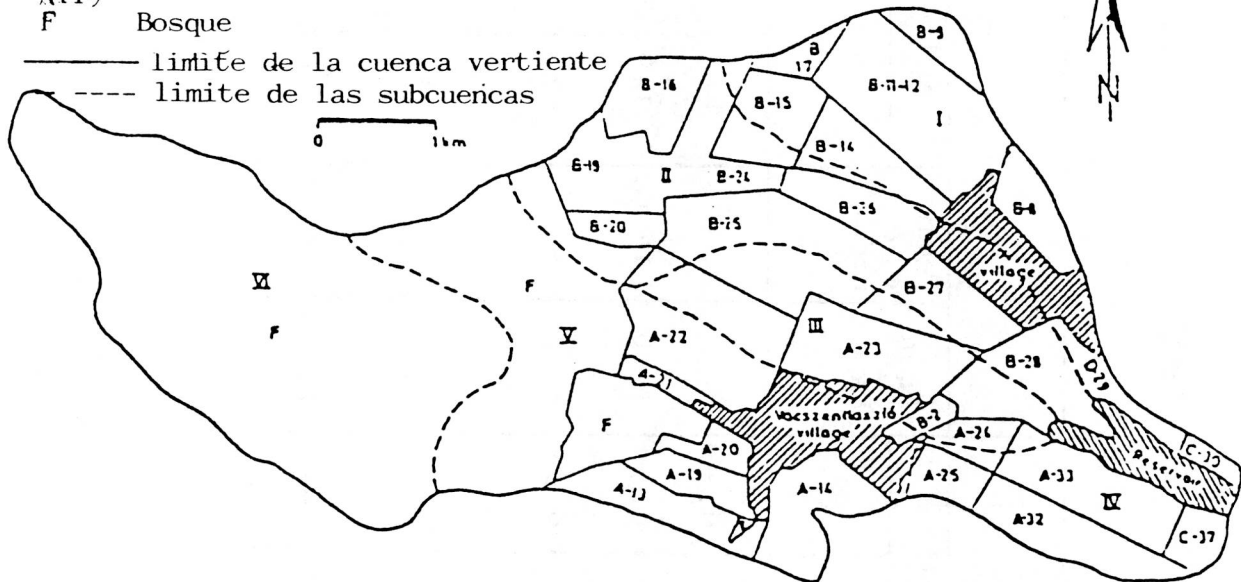


FIGURA 8.1 La cuenca de Vacszentlaszlo en Hungría

de inversión que sería necesario para realizar algunas de las acciones de control. Además las demandas de abastecimiento sobre el embalse han ido aumentando. Por lo tanto, se busca incrementar el rendimiento hídrico anual de la cuenca.

### 8.1.2 Definir dos grupos de indicadores compuestos de segundo nivel de acuerdo con la ecología y la socioeconomía

El grupo de indicadores compuestos ecológicos de segundo nivel tiene dos elementos:

- la calidad del agua del lago
- erosión y sedimentación.

El grupo de indicadores compuestos socioeconómicos de segundo nivel tiene también dos elementos:

- la economía de la cuenca
- la nutrición.

### 8.1.3 Definir indicadores básicos para cada indicador compuesto de segundo nivel

Fósforo disuelto

Calidad del agua

Transporte de sedimentos fosforado

Caudal de sedimentos

Erosión-Sedimentación

Renta agrícola

Economía de la cuenca

Inversión

Abastecimiento de agua del lago

Nutrición

Se da a continuación una breve justificación para los indicadores básicos anteriores.

El caudal de sedimentos refleja no solo la erosión superficial aguas arriba y/o la socavación local, sino que tiene un efecto adverso sobre la operación y la vida del elemento hidrico. El fósforo disuelto (P) ha puesto frecuentemente en marcha el fenómeno de eutroficación (Wetzel, 1975). Por otro lado existe un conflicto crucial entre los intereses de los granjeros y los de los usuarios de aguas abajo en la gestión de la cuenca. Los primeros, intentan incrementar la producción de cultivos mediante una mejor utilización de la lluvia en la cuenca. Los usuarios de aguas abajo tanto como los operadores de los embalses aguas abajo prefieren incrementar o al menos mantener la escorrentía, satisfacer las demandas de abastecimiento, irrigación y producción de energía. Esta situación conflictiva, se ilustra de una forma impactante mediante los dos significados existentes de precipitación efectiva. Los gestionarios agrícolas generalmente consideran precipitación efectiva como la fracción que se infiltra y es utilizada por la vegetación, mientras que los hidrólogos denominan escorrentía la precipitación efectiva. La necesidad de armonizar estos dos puntos de vista resulta elemental.

#### 8.1.4 Unidades de medida seleccionadas para cada indicador básico

En este caso cada indicador básico puede medirse cuantitativamente. El agrupamiento de los indicadores en tres niveles, con unidades de medida de indicadores básicos aparece en la tabla 8.2.

Tabla 8.2 Estructura de indicadores en el caso Vacszentlaszlo

Indicadores básicos	Indicadores compuestos		
	Segundo nivel	Tercer nivel	Sistema
P disuelto toneladas/año	Calidad del agua	L1 Ecología	Sistema L
Transporte de sedimentos P toneladas/año			
Caudal de sedimentos toneladas/año	Erosión- Sedimentación		
Renta agrícola Forines/año	Economía	L2 Socioeconomía	
Inversión Forines			
Abastecimiento de agua Escorrentía anual, m <sup>3</sup>	Nutrición		

### 8.1.5 Fijar standards para cada indicador básico

La tabla 8.3 da, los valores ideales, actuales y pésimos de los indicadores básicos. Notese que en la tabla 8.3, el caso actual representa los valores ideales (inversión zero, suficiente abastecimiento de agua), o pésimos (mucho fósforo disuelto, transporte de sedimento P y caudal de sedimentos) para algunos de los indicadores básicos. Los otros valores extremos reflejan el impacto de las opciones de control ideal. Por ejemplo, el valor de 12 toneladas por año del caudal de sedimentos, corresponde a una reforestación total.

### 8.1.6 Definición de las opciones de gestión y evaluación de los valores numéricos de indicadores básicos para cada opción de gestión

#### 8.1.6.1 Opciones de gestión

La tabla 8.4 indica los tipos de opciones de gestión considerados. La reforestación puede conducir a una menor renta agrícola, pero reducirá drásticamente todos los elementos de contaminación ambiental, también reducirá el caudal hídrico. La rotación protectora de cultivos (desde el punto de vista de erosión) puede dar lugar a una menor renta a corto plazo, reducirá la contaminación hídrica y la escorrentía. Las medidas de control de erosión contribuirían a mayores rendimientos de cultivos, menor contaminación hídrica y menor escorrentía. Considerando sin embargo los diferentes elementos de la contaminación ambiental, el control de erosión generalmente reduce el caudal de sedimentos más que lo que reduce el transporte de sedimento P, debido al efecto de enriquecimiento (Meta Systems, 1979; Bogardi y Bardossy, 1984). La construcción de terrazas tiene como consecuencia una mayor producción de cultivos pero requiere una inversión considerable. Tanto la contaminación hídrica como el caudal se reduciría. Una gestión de fertilizantes tal como una gran siembra al vuelo, no afectaría la producción de cultivos, pero si ahorraría fertilizantes en contraste con el alto coste de la siembra. Tanto el transporte de sedimentos como el disuelto serían menores. No tendría influencia en el caudal hídrico. Finalmente las intervenciones estructurales tales como el retraso de sedimentos no alteraría la producción de cultivos pero necesitaría inversiones. Todas las componentes de la contaminación hídrica tendrían valores más favorables mientras que el caudal hídrico sería ligeramente inferior.

Estos ejemplos muestran la compleja interacción que existe entre las acciones de control. Además con cada tipo de acción de control, varias alternativas están disponibles. Aunque algunas de las acciones de control pueden representarse por variables de decisión continuas, por ejemplo el área dedicada a cosechas protectoras de rotación o cultivo en surcos, la experiencia indica que los gestores de cuencas a menudo prefieren examinar alternativas discretas (Goicochea y otros 1982; Bogardi y otros, 1983). Estas alternativas tendrían influencia sobre varios factores adicionales, tales como las restricciones sobre el tamaño de granjas locales, las pendientes, la maquinaria, y la mano de obra.

Entre los tipos de opciones de control se ha considerado un número discreto de intervenciones alternativas sobre cada subcuenca. La tabla 8.5 indica el número de alternativas para cada categoría de acción. El número total de alternativas es 46, 268, 820, que impide una enumeración total.

Una alternativa x puede caracterizarse por un código de seis dígitos en el que:

- el primero indicaría el número de subcuencas: 1,...,6

- el segundo mostraría el tipo de uso de tierras: 1: existente; 2: repoblación forestal total; 3: pradera abierta; 4: tierra de cosecha con 25% de bosque; 5: tierra de cosecha 17%, 17-25% de pradera, 25% de bosque; 6: tierra de cosecha con 25% de pradera;

- el tercer dígito indica la rotación de cosechas: 0: existente; 1: suelo protegido

- el cuarto dígito indica el modo de cultivo: 0: cultivo en pendiente; 1: cultivo en surcos; 2: cultivo en surcos y resto de la cosecha

- el quinto dígito indica el control de erosión mediante control de la longitud de pendiente

0: sin control

1: longitud de pendiente: 400 - 1000 m

2: longitud de pendiente: 250 - 700 m (dependiente del escarpado)

3: longitud de pendiente: 100 - 500 m

- el sexto dígito indica el control de fertilizantes

1: cantidad de P existente; 2: 50% de disminución.

#### 8.1.6.2 Estimación de los indicadores básicos para cada opción de gestión

En este caso, la lluvia, como un aporte estocástico incontrolable, influencia la magnitud de los indicadores básicos. Como consecuencia los indicadores tienen que ser contemplados como variables aleatorias, y por lo tanto deben evaluarse los valores estimados anuales. (véase unidades de medida en la tabla 8.3).

Dado que la cuenca total está dividida en seis subcuencas, los valores estimados de cada indicador básico deben ser calculados para cada alternativa de las cuencas respectivas, y adicionarse para la cuenca total.

El caudal de sedimento anual se estima por la versión basada en acontecimientos de la Ecuación Universal Modificada de Pérdidas de Suelos (en inglés: MUSLE) (Williams, 1975). Este método utiliza las manifestaciones de la lluvia (tormenta, profundidad, duración) como entrada y suministra resultados regularmente precisos (Bogardi y otros, 1986).

El caudal hídrico anual se calcula por el método de SCS (Soil Conservation Service, 1971).

Tabla 8.3: Standards y valores actuales de los indicadores básicos:  
caso Vacszentlaszlo

Indicador básico	actual	Standards	
		Ideal	Peor
P disuelto esperado anualmente, toneladas	13.8	0.2	13.8
P transportado con los sedimentos anualmente, toneladas	48.4	0.016	48.4
Caudal de sedimentos esperado almente,	2814	12	2814
Renta agrícola esperada anual ( $10^3$ Forines)	11,598	17250	5611
Inversión ( $10^3$ Forines)	0	0	46616
Escorrentía anual esperada ( $10^3$ m <sup>3</sup> )	120	120	57

Tabla 8.4: Tipos de opciones de gestión: Vacszentlaszlo

Tipo	Ejemplo
Uso de la tierra	reforestación
cosecha	rotación protectora de cosecha
cultivo	cultivo en surcos
longitud de pendiente	terrapza
fertilizante	
estructura	embalse de sedimentación

Tabla 8.5: Opciones de gestión para el caso Vacszentlaszlo

Tipos de alternativas	número de alternativas para las subcuencas					
	I	II	III	IV	V	VI
Uso de tierras	6	6	5	5	4	1
cosecha	2	2	2	2	2	1
cultivo	3	3	3	3	3	1
disminución de la longitud de pendiente	4	4	4	4	4	1
Cantidad de fertilizante (existente y disminución de 50%)	2	2	2	2	2	1

La cantidad anual de P disuelto se estima mediante la suma anual de un número aleatorio de sucesos aleatorios caracterizado por el número de escorrentía por evento y por la concentración de P disuelto. Esta concentración se estima mediante un modelo físico-químico que considera: a) Adsorción y vertido de fósforo disuelto y sedimentos, b) enriquecimiento de sedimentos, c) aplicación de fertilizante, d) P lixiviado de residuos de plantas, e) contribución al caudal de base, y f) carga desde el punto de partida.

La cantidad anual de P disponible por transporte de suelos se calcula de la misma manera que el P disuelto. Sin embargo, los sucesos de carga se caracterizan por el producto del caudal de sedimentos por suceso y la concentración inestable de P por suceso. Esta concentración puede obtenerse conjuntamente con la concentración de P disuelto (Bogardi y Bardossy, 1984).

La renta anual de la cosecha se calcula como el producto de la cosecha por el precio. Los costes de inversión se estiman conforme a los standards de ingeniería.

#### 8.1.7 Cálculo de la función índice para los indicadores básicos

Las funciones índices se calculan a partir de las funciones de indicadores básicos y de los respectivos valores actuales y standards. Como resultado, todos los indicadores básicos se utilizan como índices entre 0 y 1.

#### 8.1.8 Evaluación de la importancia relativa entre indicadores básicos para cada indicador de segundo nivel

La tabla 8.6 suministra los valores para los indicadores básicos. Nótese que se utiliza  $p = 3$  para el balance entre nutrientes y  $p = 2$  para otros casos.

#### 8.1.9 Cálculo de las funciones índices compuestas de segundo nivel

En este caso se calculan cuatro funciones índice compuestas de segundo nivel.

#### 8.1.10 Evaluación de la importancia relativa entre los indicadores de segundo nivel para ecología y socioeconomía.

En este caso (tabla 8.6), la calidad del agua y la erosión-sedimentación tienen la misma importancia, mientras que la economía es ligeramente más importante (0.6) que la nutrición (0.4).

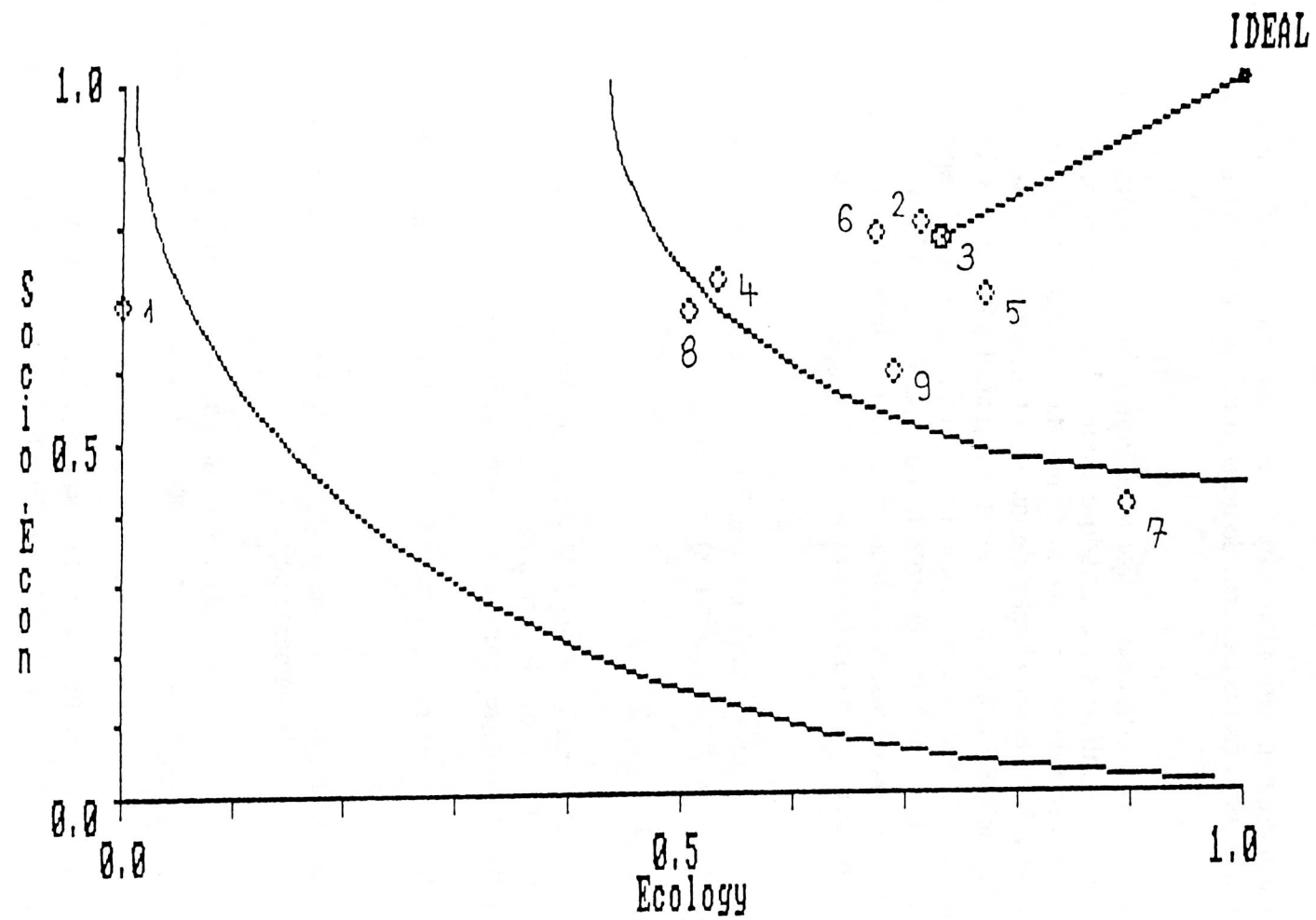
#### 8.1.11 Cálculo de las dos funciones índices de tercer nivel:

$L1(x)$  para ecología y  $L2(x)$  para socioeconomía.

#### 8.1.12 Evaluación de la importancia relativa entre ecología y socioeconomía

En este ejemplo la ecología y la socioeconomía se supone que son de igual importancia (Tabla 8.6).

#### 8.1.13 Cálculo de las funciones índice compuestas del sistema, $L(x)$



Distancia compuesta para VACSZ3 :0.25

FIGURA 8.2 Evaluación del estado actual y de la mejor opción  
Solución de base

La figura 8.2 indica el estado actual del sistema caracterizado por un valor índice compuesto del sistema de 0.74. Comparando con las curvas límites especificadas en el Capítulo 7, el estado del sistema se puede catalogar como pobre.

#### 8.1.14 Encontrar el mínimo de $L(x)$ mediante la enumeración total o programación matemática

En este caso se utiliza la programación matemática, particularmente la programación standard 0-1 para seleccionar el mínimo de  $L(x)$  a partir de un gran número de opciones de gestión discreta.

Con objeto de dar una mejor ilustración, la figura 8.2 indica solo un número discreto de opciones (8), de opciones no dominadas y el estado existente. Las opciones no dominadas son aquellas en las que al moverse de una opción no dominada a otra no dominada y de una función índice en la que el valor mejora, el valor de las otras funciones índice será peor (Goicochea y otros, 1982). La tabla 8.7 contiene los seis dígitos para las 9 opciones. Por ejemplo, la opción 7 corresponde a un uso de tierras número 5 en cada subcuenca excepto para la subcuenca forestal (6), es decir, a una rotación protectora de suelos, a un cultivo por surcos y residuos de cosecha, a un control de erosión mediante reducción de la pendiente, y a una cantidad reducida de fertilizantes. Esta es una opción altamente ecológica en contraste al estado actual (1).

La figura 8.2 muestra los procesos de minimización. Por lo tanto, la opción de gestión (3) da lugar a una mejora del estado del sistema:  $\min L(x) = 0.25$ .

#### 8.1.15 Evaluación de la mejor opción

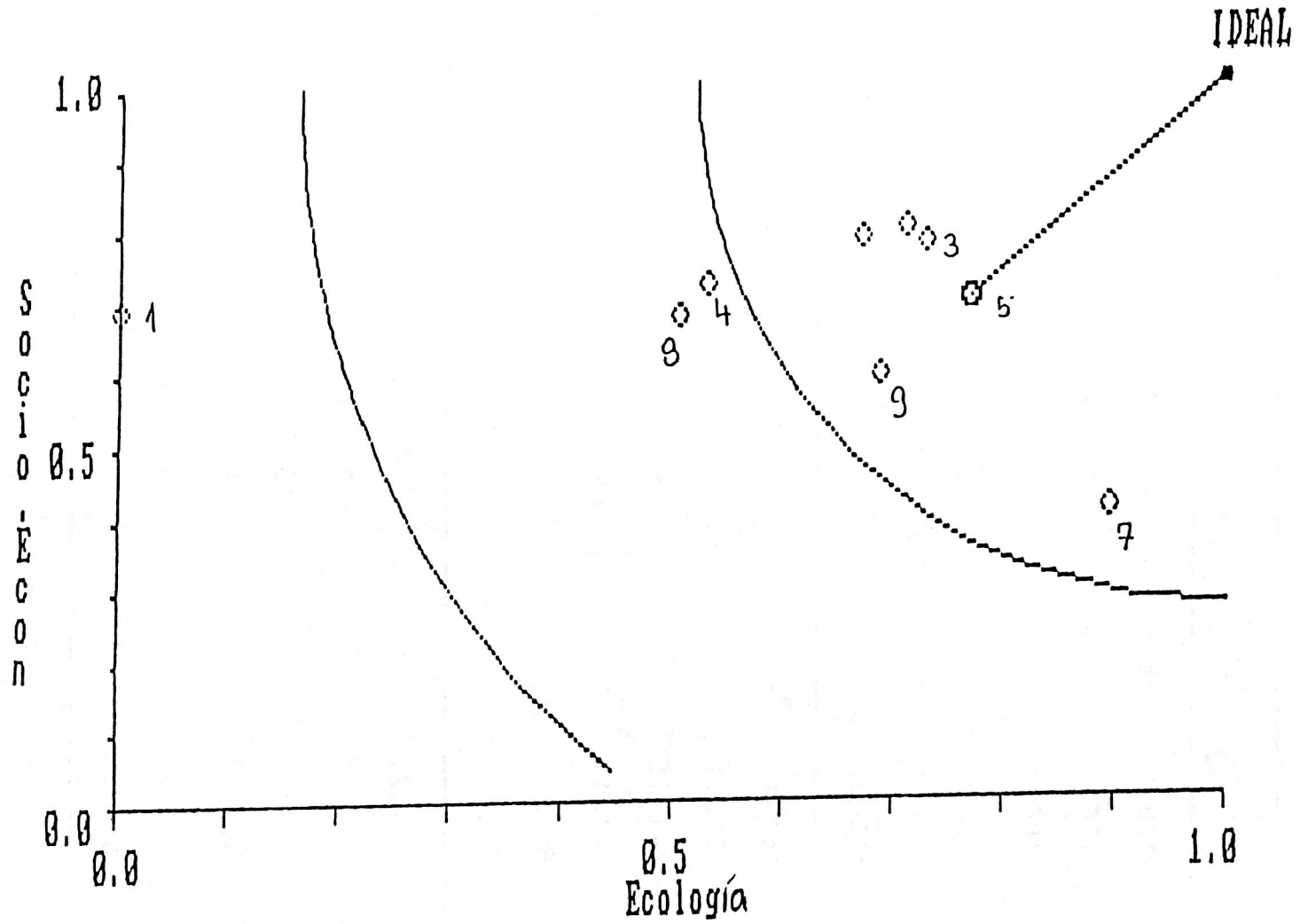
La evaluación se efectúa mediante un análisis de sensibilidad utilizando cambios en un esquema de pesos. Comparado al esquema de peso básico, se analizan cuatro cambios, cada uno sobre los indicadores compuestos de segundo y tercer nivel (Tabla 8.8).

Las figuras 8.3, 8.4, 8.5 y 8.6 muestran los resultados. Se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- a) Los cambios investigados en el sistema de pesos dan lugar a cambios en la mejor opción, aunque el rango de cambios es relativamente bajo.
- b) Comparada a la solución básica (figura 8.2), el conjunto de pesos A da lugar a una preferencia hacia la ecología. Como consecuencia, la mejor opción será la 5 (figura 8.3), una desviación de la mejor opción básica 3.
- c) El conjunto de pesos B, representa una preferencia hacia la socioeconomía. Como consecuencia, incluso la situación existente resulta estar en una región aceptable, y la mejor opción sería la 2.
- d) Los conjuntos de peso C y D reflejan las preferencias cambiadas en los indicadores compuestos de segundo nivel. En el caso del conjunto C la mejor opción no cambia con respecto a la solución básica (figura 8.5). En el caso de D (figura 8.6), la mejor opción cambia ligeramente de 3 a 2.

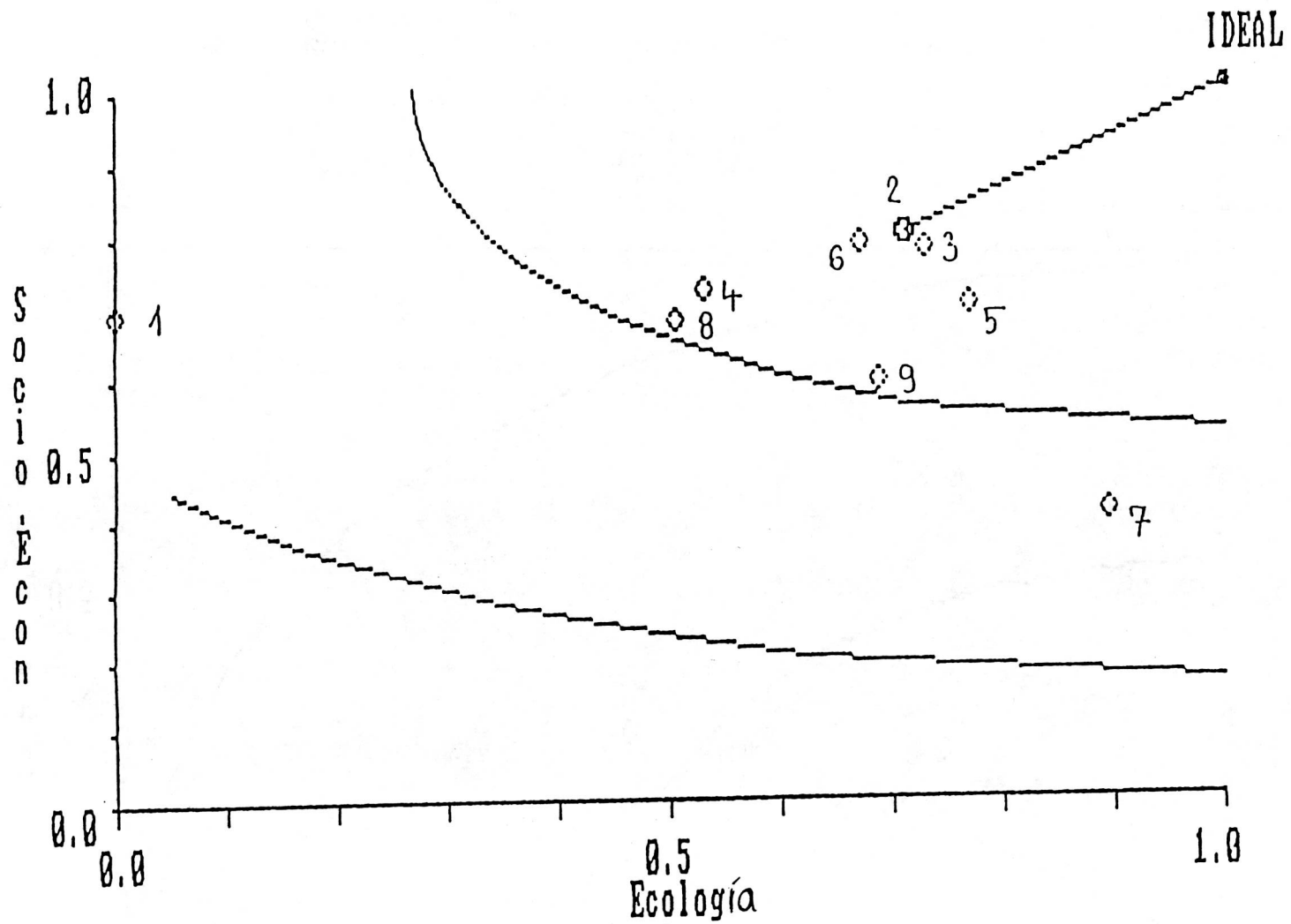
TABLA 8.7 Estado actual y opciones no controladas: caso de Vacszenlaszlo

Opción	Código	Opción	Código	Opción	Código
Vacs1	110001	Vacs 4	110002	Vacs 7	151222
	210001		251211		251232
	310001		310002		351222
	410001		441211		451222
	510001		541211		541222
	610001		610001		610001
Vacs 2	161211	Vacs 5	141221	Vacs 8	110001
	261211		241221		241211
	341211		341221		341211
	441211		441221		441211
	541211		541221		541211
	610001		610001		610001
Vacs 3	161221	Vacs 6	141212	Vacs 9	110002
	261211		241211		241212
	341211		310002		341212
	441221		441211		441212
	541221		541212		541212
	610001		610001		610001



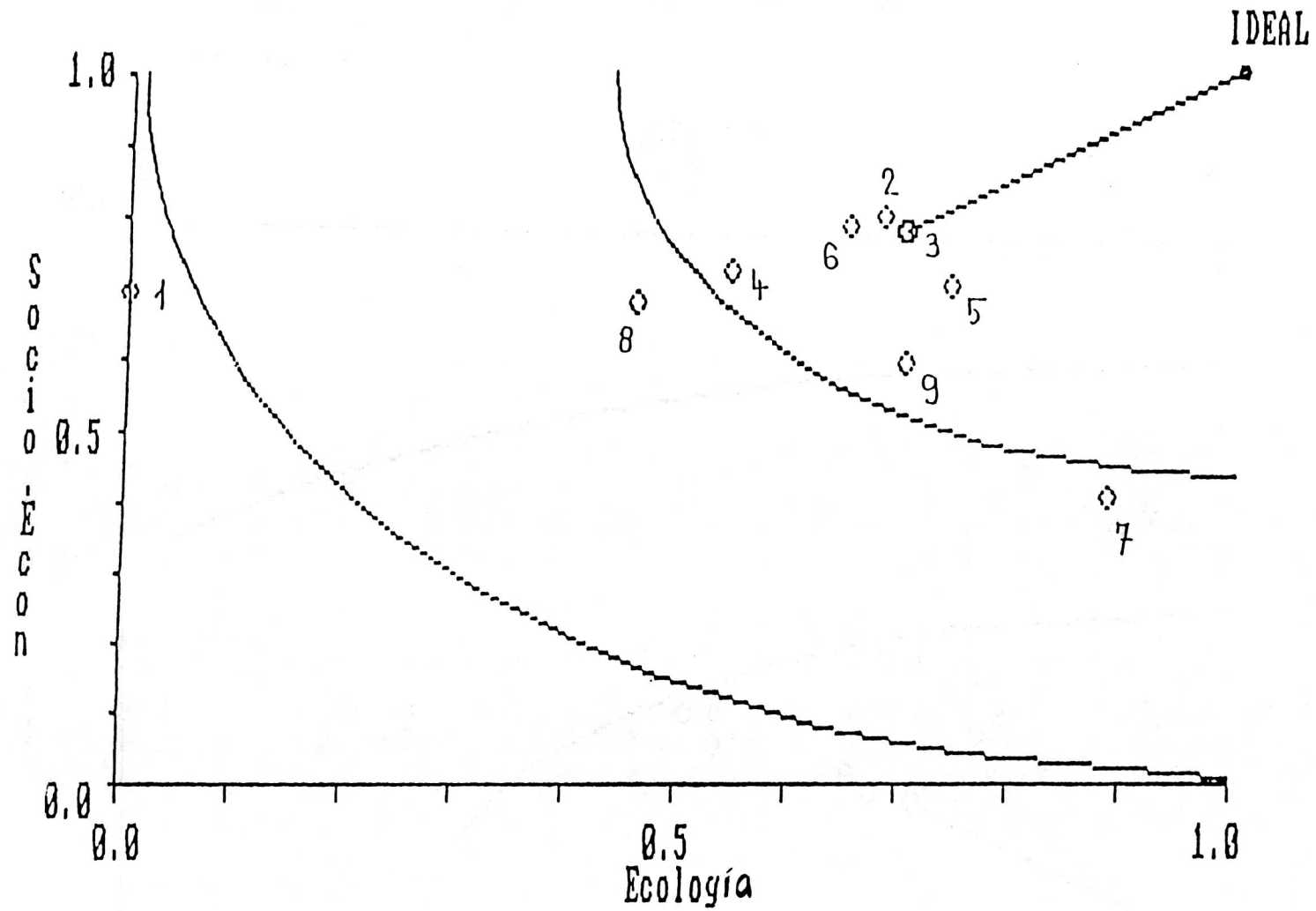
Distancia compuesta para Vacsz 5 :0.25

FIGURA 8.3 Evaluación del estado actual y de la mejor opción.  
Conjunto de pesos A



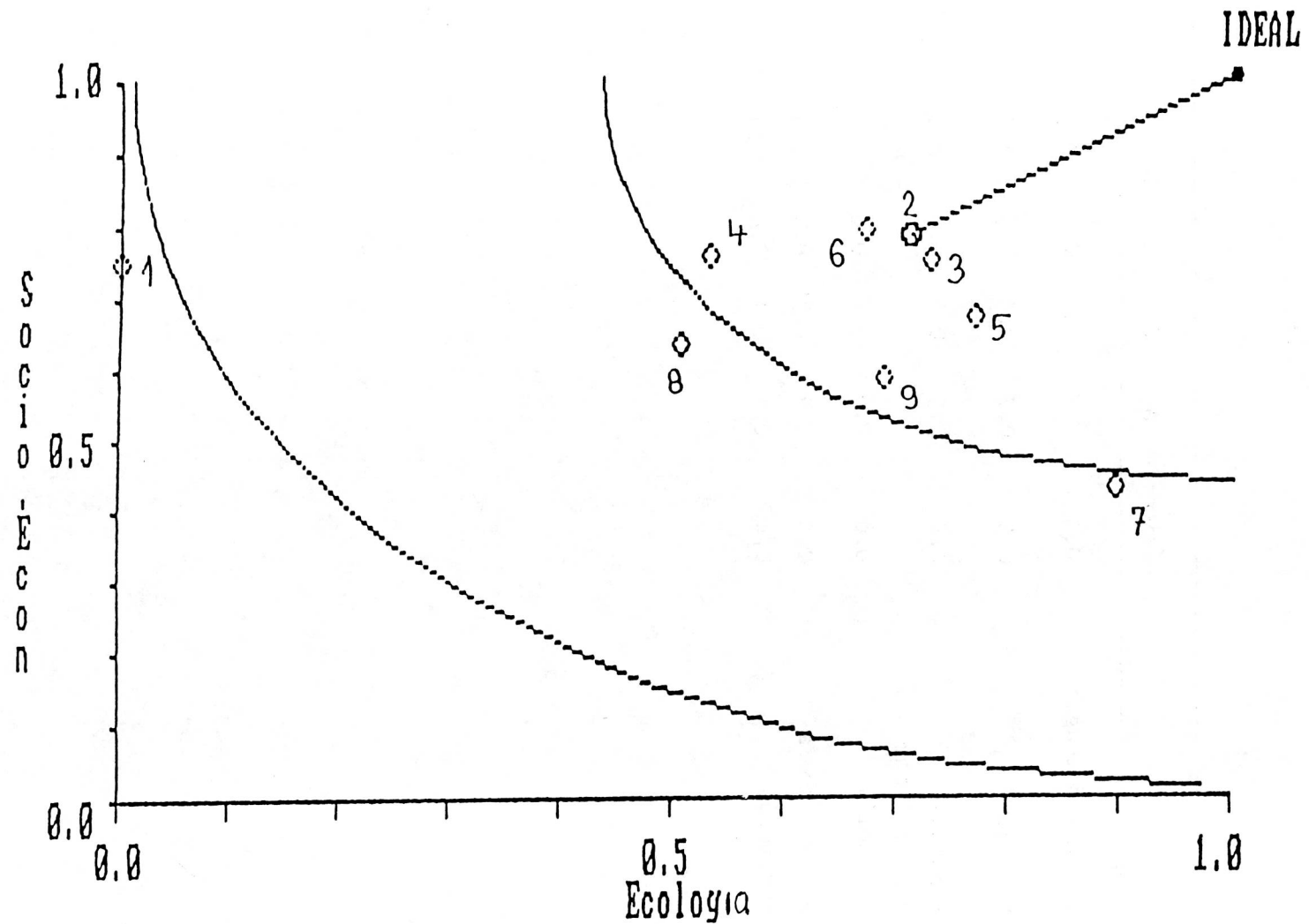
Distancia compuesta de vacsz 2 :0.23

FIGURA 8.4 Evaluación del estado actual y de la mejor opción  
 Conjunto de pesos: B



Distancia compuesta para  $v_{\text{aesz } 3} : 0.27$

FIGURA 8.5 Evaluación del estado actual y de la mejor opción  
Conjunto de pesos: C



Distancia compuesta para VACSZ 2: 0,25

FIGURA 8.6 Evaluación del estado actual y de la mejor opción.

Conjunto de pesos: D

Tabla 8.8 Conjuntos de pesos: Caso Vacszentlaszlo

	Básico	A	B	C	D
Calidad del agua	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5
Ecología	0.5	0.7	0.3	0.5	0.5
Erosión- sedimentacion	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5
Economía	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4
Socioeconomía	0.5	0.3	0.7	0.5	0.5
Nutrición	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6

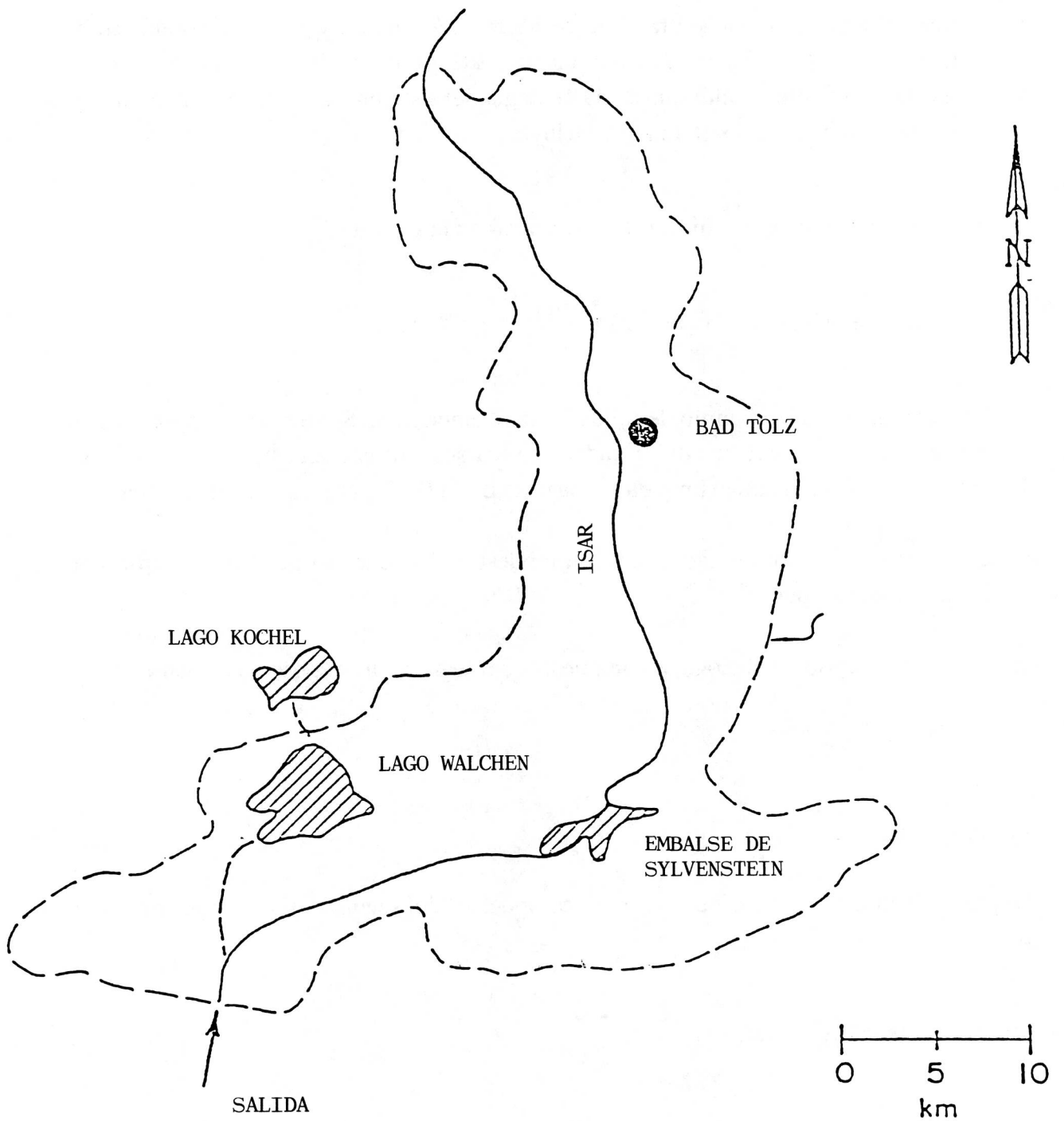


FIGURA 8.7 Valle del Alto ISAR, Republica federal Alemana

## 8.2 Harmonización ecológica y socioeconómica de la producción de la fuerza hídrica: Caso del alto Isar

### 8.2.1 Definición del sistema

La cuenca del alto Isar se encuentra al sur de Munich, Alemania, y posee un sistema completamente desarrollado de embalses interconectados. El problema básico es el conflicto entre la producción de la fuerza hidráulica y la ecología del sistema. La Figura 8.7 muestra las características principales del sistema que incluye:

- a) cinco estaciones de fuerza hídrica (no indicadas en la Figura 8.7)
- b) el embalse de Sylvenstein, el lago Kochel y el lago Walchen
- c) el valle de Isar desde el punto de salida hasta el embalse de Sylvenstein. El sistema se describe con detalle en el informe del "Cuadro de recursos hídricos del estado Bavaria (1983)" y Duckstein et al., (1985) aplicó un método distinto de TDMC, para analizar el sistema.

### 8.2.2 Define dos grupos de indicadores compuestos del segundo nivel de acuerdo con la ecología y la socioeconomía

El grupo de indicadores ecológicos compuestos del segundo nivel posee dos elementos:

-la región biológica

-la calidad del agua

El grupo de indicadores socioeconómicos compuestos del segundo nivel posee tres elementos:

-economía de la fuerza hídrica

-recreación acuática

-estética

### 8.2.3 Define los indicadores basicos de cada indicador compuesto del segundo nivel

-Especies terrestres en  
el valle Isar.

-Aves acuaticas en  
el Valle Isar.

-Peces y sus predadores  
en el Valle Isar

Biologia regional

-Calidad de un  
area de preservacion

-Calidad del Lago Walchen

Calidad del agua

-Calidad del Lago Kolchen

-Calidad del embalse de  
Sylvenstein

-Cauce bajo del rio Isar

Economia de la fuerza hidrica

-Produccion de fuerza hidrica

-Valle del Isar

Recreacion acuatica

-Embalse de Sylvenstein

-Valle del Isar

Estetica

-Embalse de Sylvenstein

En el informe del "Cuadro de recursos hidricos del estado Babaro (1983)" se encuentra una detallada justificacion de estos indicadores basicos.

8.2.4 Selecciona las unidades de medida para cada indicador basico.

En este caso alguno de los indicadores basicos pueden medirse cuantitativamente y otros cualitativamente.

Indicadores basicos	Medidas
Especies terrestres en el Valle Isar	cualitativo
Especies acuaticas	cualitativo
Peces y sus predadores	cualitativo
Otras especies acuaticas	cualitativo
Calidad de un area de prevencion	cualitativo

Calidad del Lago Walchen	carga de fosforo toneladas/año
Calidad del Lago Kolchen	descarga desde el lago Walchen m /s
Calidad del embalse de Sylvenstein	cargamento de fosforo toneladas/año
Cauce bajo del rio Isar	numero de semanas entre mayo y octubre donde el cauce bajo es inferior a 10m /s en Bad Tolz
Produccion de fuerza hidrica	suma de la fuerza hidrica generada en las cinco estaciones, MWh/año
Recreacion del Valle Isar	cualitativo
Recreacion del embalse de Sylvenstein	cualitativo
Estetica del Valle Isar	indicador estetico
Estetica del embalse de Sylvenstein	numero de semanas por años con un nivel de contenido de un metro o mas por encima de lo normal

El diagrama de los indicadores se encuentra en el cuadro 8.9.

### 8.2.5 Atribuye los valores ideales y los pésimos a cada indicador básico

Los valores ideales y los pésimos se seleccionan a partir de las opciones de gestión definidas en el siguiente punto (cuadro 8.11)

### 8.2.6 Defición de las opciones de gestión y evaluación de valores de los indicadores básicos para cada opción de gestión

El estado actual considerado corresponde a la opción 1 (status quo) que primordialmente se esfuerza en llevar al máximo la producción de energía que ha causado graves problemas ecológicos y sociales en el sistema. De esta manera, se han desarrollado un cierto número de acciones de gestión (cuadro de los recursos hídricos del estado Babaro 1983) correspondiendo a diversas políticas de control hidráulico en el punto de salida (figura 8.7). El cuadro 8.10 provee las definiciones de las opciones de gestión propuestas por varios grupos interesados en el sistema.

El cuadro 8.11 indica las estimaciones y resultados hechos para cada opción de gestión (cuadro de los recursos hídricos del estado Babaro 1983).

### 8.2.7 Calculo del indice para los indicadores básicos

Con ayuda del cuadro 8.11, los índices se pueden calcular en diez puntos de acuerdo con el número de opciones de gestión considerado. Señalamos que los valores ideales y los pésimos de los indicadores básicos se pueden encontrar a lo largo de cualquier fila del cuadro 8.11. Por ejemplo el valor ideal de la economía de la fuerza hídrica corresponde a la opción 1, y el valor pésimo, a 350350 KWh/año (opcion 6).

### 8.2.8 Estimación de la importancia relativa entre los indicadores básicos para cada indicador del segundo nivel

El cuadro 8.12 provee los valores de los indicadores básicos.

### 8.2.9 Calculo de índices compuestos del segundo nivel

En este caso se calculan cinco índices compuestos del segundo nivel.

### 8.2.10 Evaluación de la importancia relativa entre los indicadores del segundo nivel para la ecología y la socioeconomía

En este caso (cuadro 8.12), la biología regional y la calidad del agua son igualmente importantes, mientras que la economía es mas importante que la recreación acuática y la estética.

### 8.2.11 Calculo de los dos índices del tercer nivel

$L_1(x)$  para la ecología, y  $L_2(x)$  para la socioeconomía

### 8.2.12 Evaluación de la importancia relativa entre la ecología y la socioeconomía

Ambas son consideradas de igual importancia.

### 8.2.13 Cálculo del índice compuesto del sistema, $L(x)$

La figura 8.8 muestra los diez puntos calculados del índice compuesto. En comparación con las curvas límites especificadas en el capítulo 7, el estado actual se podría calificar como pobre.

### 8.2.14 Identificación de $\min L(x)$ por enumeración total o programación matemática

En este caso la enumeración total podría utilizarse y  $\min L(x)$  podría ser seleccionado entre los diez puntos presentados en la figura 8.8. Por consiguiente, la mejor opción de gestión es 2, y por lo tanto la mejora del estado del sistema:  $\min L(x) = 0.41$ . Este estado perfeccionado se localiza en la región de los estados "acceptables", próximos a la frontera de los estados "buenos".

Cuadro 8.9 : Estructura de los indicadores del caso Alto Isar

Indicadores Básicos	Indicadores Compuestos		
	2º nivel	3º nivel	sistema
Especies terrestres	Biología regional		
Especies acuáticas			
Peces y sus predadores			
Otras especies		L 1 Ecología	
Calidad del lago Walchen			
Calidad del lago Kolchen			
Calidad del embalse de Sylvenstein	Calidad del agua		
Calidad del area de preservación			
Generación de la fuerza hídrica	Economía de la F. hídrica		
Valle de Isar		L 2	
Embalse de Sylvenstein	Recreación acuática	Socio-economía	
Valle de Isar			
Embalse de Sylvenstein	Estética		

Cuadro 8.10 : Opciones de gestión: caso del Alto Isar

Alternativo	Salida	QR, m <sup>3</sup> /s	Duración
1	concreto (status quo)		todo el año
2		3	todo el año
3		3 4.8	invierno verano
4		4.8	todo el año
5	$QI$ si $QI < Q*$ $Q*$ si $Q* < QI > 2 Q*$ $0.5 QI$ si $2Q* < QI > 2Q*$		todo el año
6		8	todo el año
7	4.8 status quo		del 15 de mayo al 15 de sept. el resto del tiempo
8	como alternativa 4 status quo		del 15 de mayo al 15 de sept. el resto del tiempo
9	3 status quo		del 1 de abril al 15 de sept. el resto del tiempo
10	como alternativa 4 status quo		del 1 de abril al 15 de sept. el resto del tiempo

OBSERVACIONES :  $Q*$  es el cauce bajo mínimo  
 $QI$  es la afluencia natural

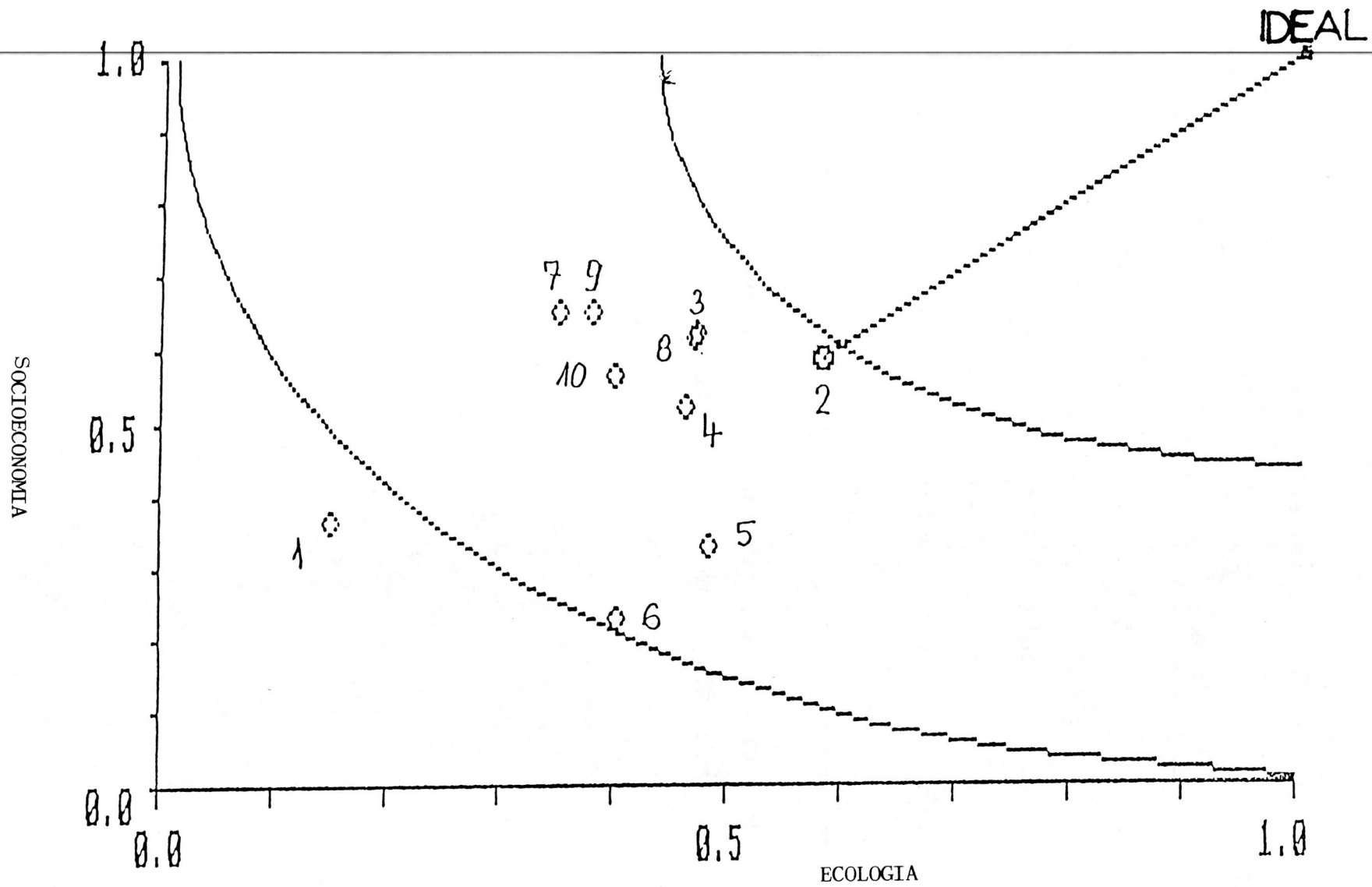
CUADRO 8.11 Indicadores de base/Opciones de gestión :  
CASO DEL ALTO ISAR

Indicadores	Opciones de gestión										Tipo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Biología regional												
1	1311	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	1551	+
2	177	225	234	234	232	232	198	197	204	203	203	+
3	368	512	534	555	570	584	433	439	456	467	467	+
4	369	441	431	430	431	431	385	380	392	293	293	+
5	A	B	C	C	B	B	C	B	C	B	B	-
Calidad del agua												
1	8.48	6.79	6.38	5.70	4.72	3.95	7.26	6.49	7.01	6.10	6.10	-
2	25.0	22.8	22.1	21.2	19.4	18.5	24.3	23.0	23.8	22.2	22.2	+
3	3.92	5.61	6.02	6.70	7.68	8.45	5.14	5.91	5.39	6.30	6.30	-
4	1.2	0	0	0	0	0	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	-
Economía (producción fuerza hidrica)												
1	466450		414350		366500		451750		442250		413850	+
		427700		398950		350350		428000				
Recreación acuática												
1	D	C	B	B	A	A	B	A	B	A	A	-
2	-	D	B	A	A	A	B	B	B	B	B	-
Estética												
1	42	49	50	51	54	56	45	46	46	47	47	+
2	23	14	8	8	7	7	14	13	13	13	13	-

Observación: un criterio numérico es positivo cuando su aumentación es preferible, y es negativo en el caso contrario; Para los criterios no numéricos, A es el mejor

CUADRO 8.12 Importancia relativa entre los indicadores:  
CASO DEL ALTO ISAR

Indicadores de base		Parámetros		
	$\alpha$		$\alpha$	
1:	0.2			
2:	0.2	p = 3	Biología Regional	0.5
3:	0.2			
4:	0.2			
5:	0.2			
				p = 3 Ecología 0.5
1:	0.3			
2:	0.3	p = 3	Calidad del agua	0.5
3:	0.1			
4:	0.3			
				p = 2
1:			Economía	0.6
			-	
1:	0.6	p = 1	Recreación acuática	0.2
2:	0.4			
				p = 2 Socioeconomía 0.5
1:	0.6	p = 2	Estéticas	0.2
2:	0.4			



DISTANCIA COMPUESTA ISAR 2<sup>a</sup>: 0.41

FIGURA 8.8 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL Y DE LA MEJOR OPCION : CASO DEL ALTO ISAR  
SOLUCION BASE

CUADRO 8.13 : Series pesos: caso Alto Isar

	Bases	A	B	C	D
Biología regional	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
Ecología	0,5	0,3	0,7	0,5	0,5
Calidad de agua	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
Economía	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6
Recreación socioeco- nómica acuática	0,2 0,3	0,2 0,7	0,2 0,3	0,1 0,5	0,2 0,5
Estética	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2

Los resultados del análisis de sensibilidad se encuentran en las figuras 8.8 ,8.9, 8.10, 8.11 y 8.12.

## 8.2.15 Evaluación de la mejor opción

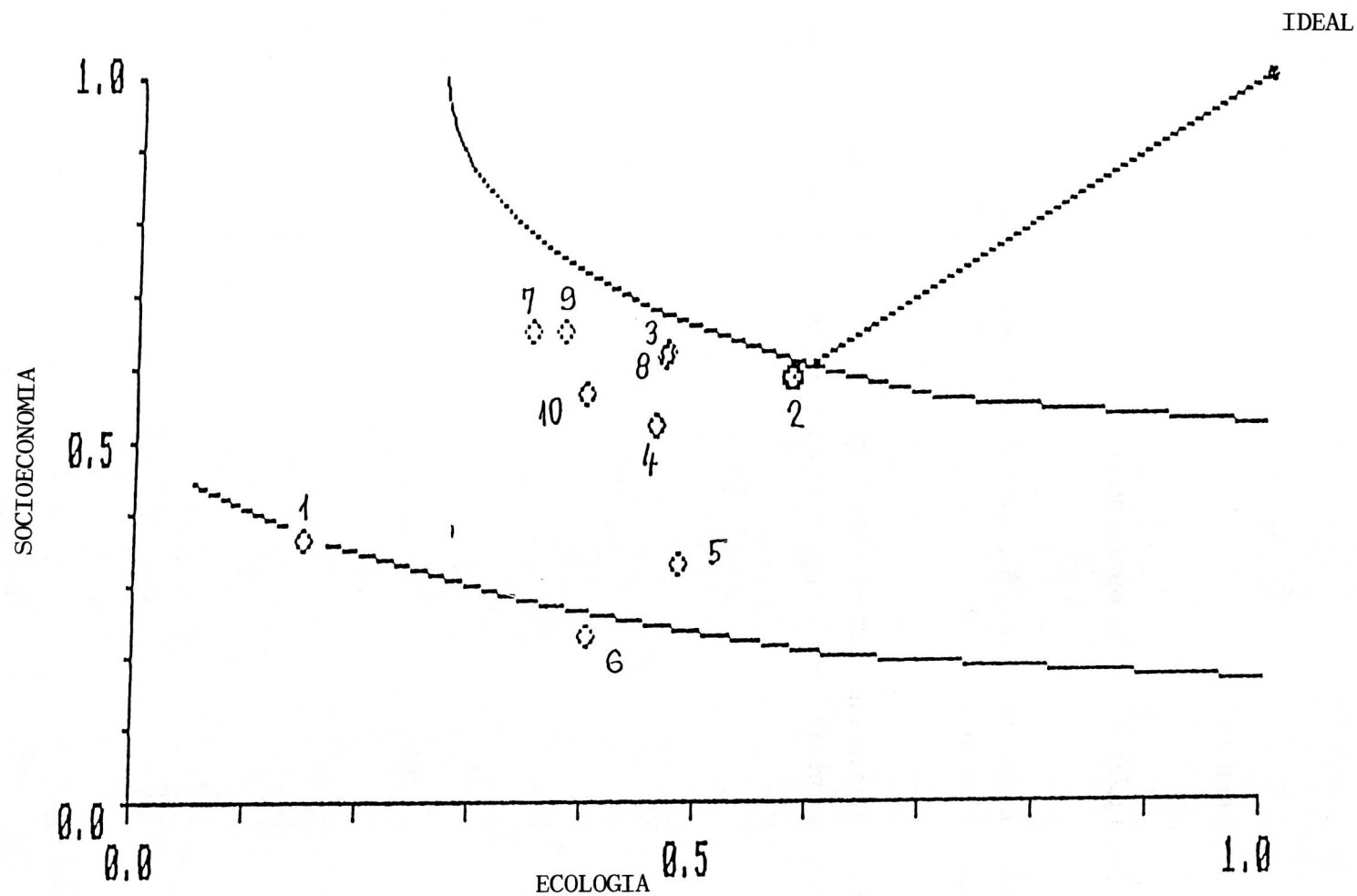
La mejor opción es evaluada mediante un sensible análisis referido al esquema de peso. Comparado al esquema base (cuadro 8.12) se analizan cuatro cambios en el nivel segundo y tercero de los indicadores (cuadro 8.13)

Las conclusiones son las siguientes:

a) Para la serie de pesos estudiados la mejor opción no cambia

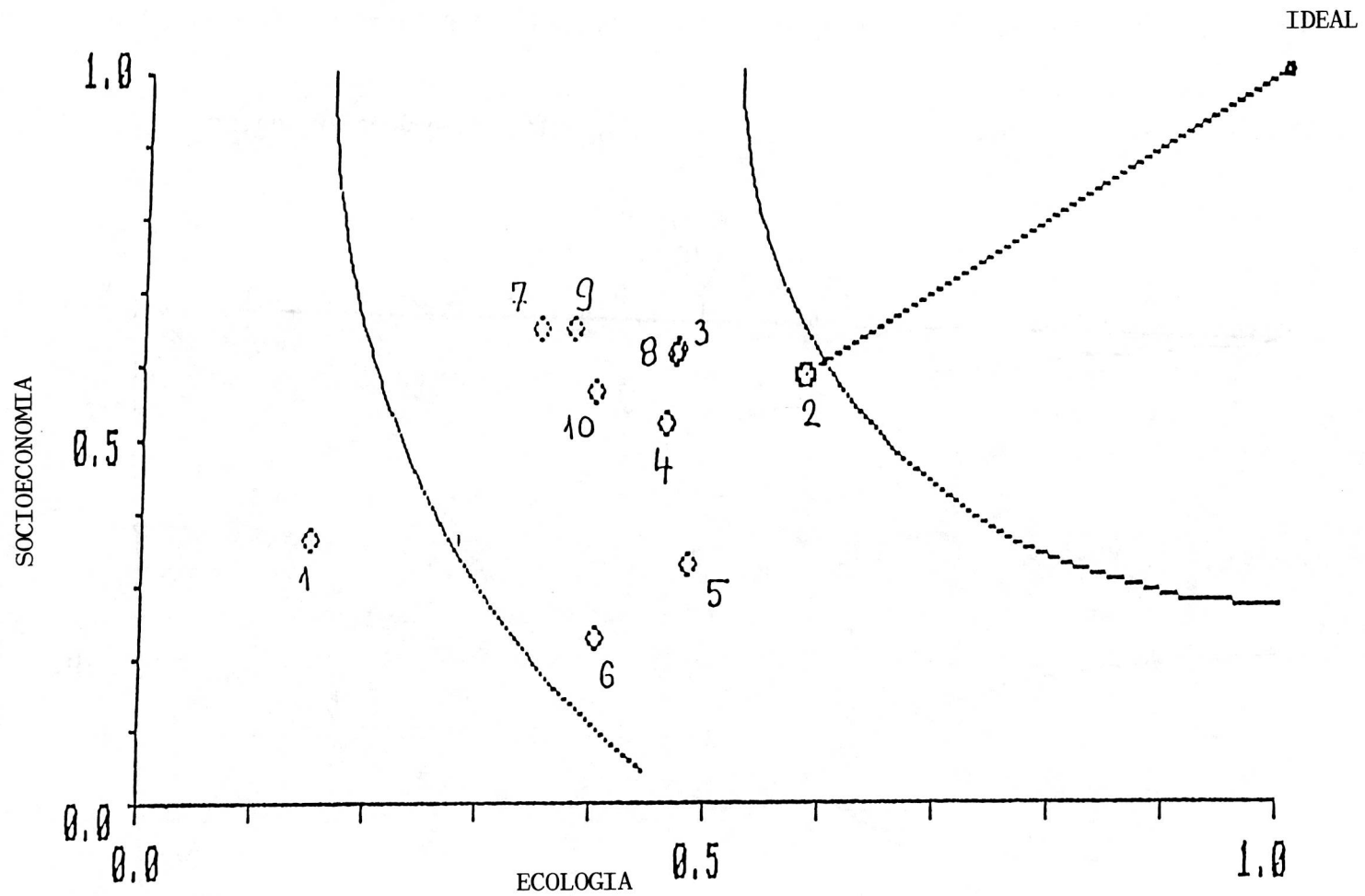
b) Si damos preferencia a la socioeconomía (A), el estado existente (1) se situaría en el límite de los estados "aceptables" (figura 8.11)

c) Si la preferencia hacia la economía es mucho mayor que hacia la socioeconomía (C), el estado existente (1) sería aceptable pero la opción ecológica (6) se situaría en el dominio "pobre"



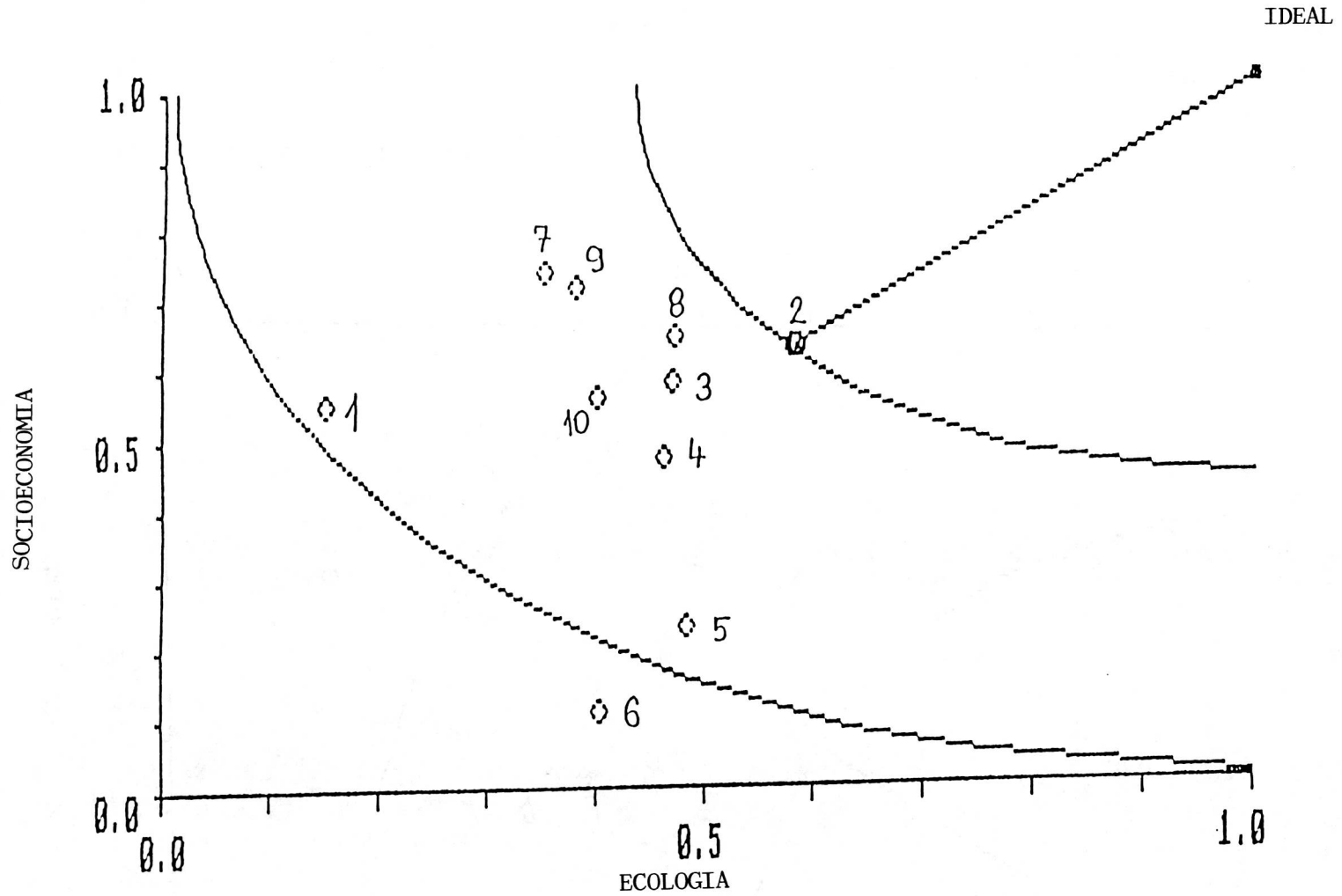
Isar 2 distancia compuesta : 0.41

FIGURA 8.9 EVALUACION DE ESTADO ACTUAL Y LAMEJOR OPCION: CASO DEL ALTO ISAR  
SERIE DE PESOS : A



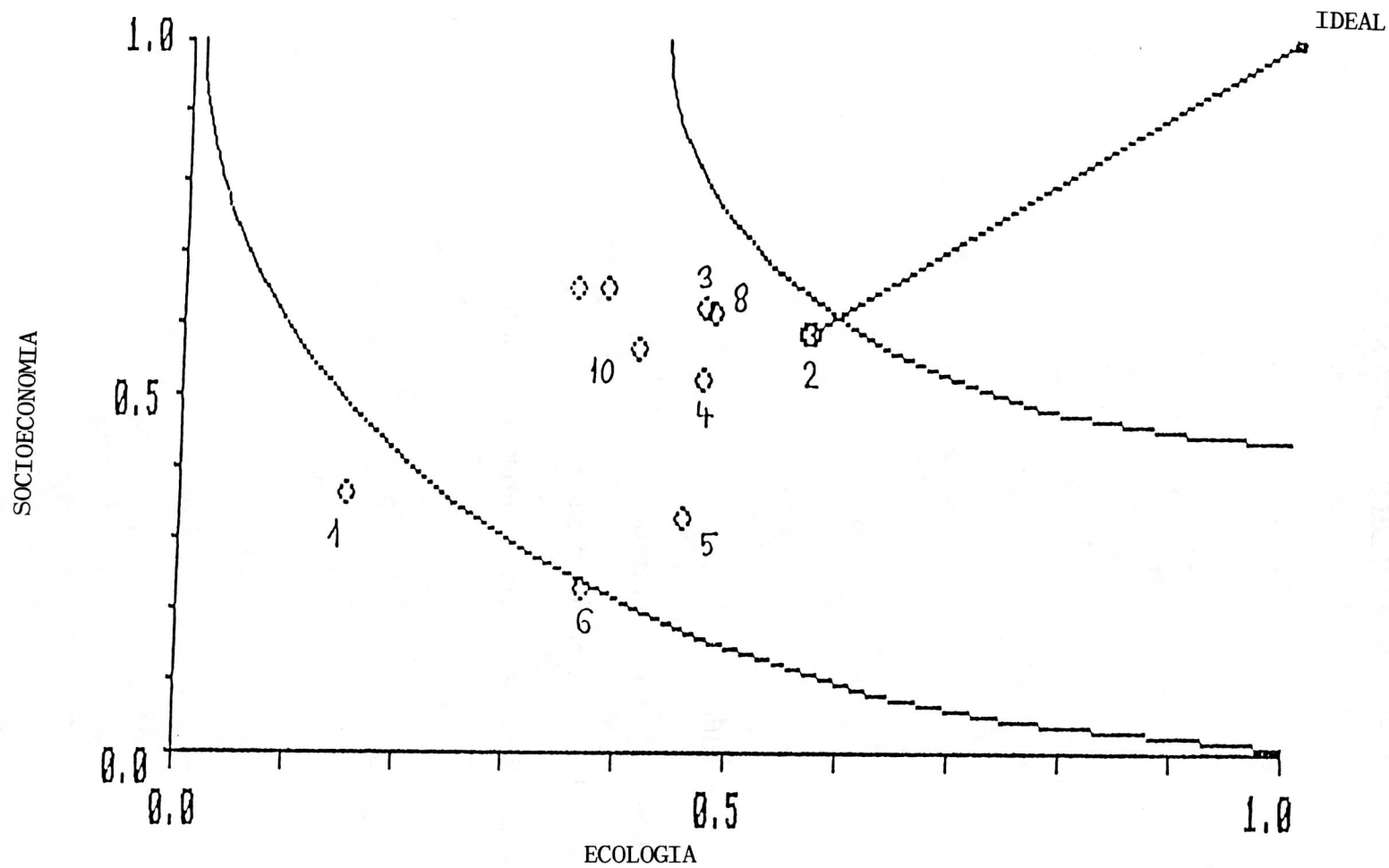
Isar 2 distancia compuesta : 0.42

FIGURA 8.10 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL Y LA MEJOR OPCION : CASO DEL ALTO ISAR  
SERIE DE PESOS : B



ISAR 2 distancia compuesta :: 0.40

FIGURA 8.11 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL Y DE LA MEJOR OPCION: caso del alto Isar  
SERIE DE PESOS : C



Isar 2 distancia compuesta : 0.42

FIGURA 8.11 EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL Y LA MEJOR OPCION: CASO DEL ALTO ISAR  
SERIE DE PESOS :D

**DIRECTRICES METODOLOGICAS**  
**PARA LA**  
**EVALUACION AMBIENTAL INTEGRADA**  
**DEL DESARROLLO DE RECURSOS HIDRICOS**

**APENDICES**

- A. Referencias
- B. Grupo de expertos científicos
- C. Revisión de la toma de decisión multicriterio
- D. Las matemáticas de la programación compuesta
- E. Indicadores hidroambientales, relaciones, normas e índices
- F. Datos socioeconómicos

## APENDICE A

### REFERENCIAS

Bardossy, A.:

The Mathematics of Composite Programming, Working Paper, Tiszadata, Miko, u.1.1012. Budapest, Hungary, 1984.

Bavarian Landesamt für Wasserwirtschaft:

Nutzen -Kosten -Untersuchung zur Teilruckleitung der oberen Isar, Bericht No. N/ 4 - 4439 .1 ., München, FRG, 1983

Benayoun, R ., B. Roy and Sussman :

ELECTRE: Une methode pour guider le choix en presence de points de vue multiples, Direction Scientifique, Note de Travail No. 49, SEMA, Paris , 1966.

Biswas, A.:

Water Development Policies . Resources Policy, Diciembre 1986, Butterworth, London.

Bogardi, I., Fogel, M., Duckstein, L., and Bardossy, A.:

Sediment Yield from Agricultural Watersheds, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 112, No. 1, pp. 64-70, Enero, 1986.

Bogardi, I., Bardossy, A., and Duckstein, L.:

Multicriterion Network Design using Geostatistics, Water Resources Res., Vol. 21, No. 2, pp. 199-208, Febrero, 1985.

Bogardi, I., and Bardossy, A.:

A Concentration Model of Phosphorus Stemming from Agricultural Watersheds, Research Report (in Hungarian), Tiszadata, Budapest, 1984.

Bogardi, I., Duckstein, L., and Bardossy, A.:

Tradeoff between Cost and Efficiency of Pollution Control, Proceedings, VIth Int. Conf. on Multiple-Criteria Decision Making, Cleveland, USA, Junio, 1984.

Changkong, V., and Haimes, Y.Y.:

Multiobjective Decision Making Theory and Methodology, Elsevier North Holland, N.Y., p. 472, 1982.

Cohon, J.:

Multiobjective Programming and Planning, Academic Press, N.Y., 1979

David, L.:

Environmentally Sound Management of Freshwater Resources. Resources Policy, Diciembre, 1986, Butterworth and Co. London

David, L. and Duckstein, L.:

Multicriterion Ranking of Alternative Long-Range Water Resources Systems, Water Resources Bulletin, 12(4), Agosto, pp. 731-734, 1976.

David, L. and Telegdi, L.:

The Influence of Watershed Development on the Eutrophication of Shallow Lakes: a Modeling Approach Applied to Lake Balaton IIASA, CP - 82 -42 Laxenburg, Austria, 1982.

Duckstein, L. and Bogardi, I.:

Multiobjective Approaches to River Basin Planning, Chapter 10 in Cheremisinoff (ed) : Handbook of Civil Engineering, 1986.

Duckstein, L., Hiessl, H., and Becker, M.:

Multicriterion Q-Analysis with a Discordance Concept: Application to River Basin Management, Working Paper # 85-017 Dept. of Systems and Ind. Eng., University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 1985.

Duckstein, L. and M. Gershon:

Multiobjective Analysis of a Vegetation Management Problem using ELECTRE II, Applied Mathematical Modeling, Vol. 7, pp. 254 - 261, 1984.

Duckstein, L., and Opricovic :

Multi - Objective Optimization in River Basin Development, Water Resources Research, Vol. 16, No. 1, pp. 14-20, 1980.

Gershon, M.E.:

Model Choice in Multiobjective Decision Making in Water and Mineral Resource System, Natural Resource Systems Technical Report Series #37, Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 1981.

Goicoechea, A., Hansen, D., and Duckstein, L.:

Introduction to Multiobjective Analysis with Engineering and Business Applications, John Wiley & Sons, New York p. 155, 1982.

Haimes, Y., Hall, W., and Freedman, H.:

Multiobjective Optimization in Water Resources Systems: The Surrogate Worth Trade - Off Method, Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.

Higler, L.W.G., Repko, F.F.:

The Effects of Pollution in the Drainage area of a Dutch Lowland Stream on Fish and Macro-Invertebrates, Verhandlung der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 21, 1077-1082, 1981.

Huet, M.:

Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courants. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 11, 332-351, 1949.

Hutchinson, G.E.:

A Treatise on Limnology Geography, Physics and Chemistry, Vol. I, John Wiley & Sons, New York, 1957

Illies, J.:

Versuche einer allgemeinen biozonotischen Gliederung der Fließgewässer. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie 46, 205-213, 1961

Illies, J. and Botosaneanu, L.:

Problemes et Methodes de la Classification et de la Zonation Ecologique des Eaux Courants., Considerées Surtout du Point de Vue Faunistique, Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 12, 1 - 57, 1963.

Keeney, R.L. and E.F. Wood:

An Illustrative Example of the Use of Multiattribute Utility Theory for Water Resources Planning, Water Resources Research Vol. 13, No. 4, August, pp. 705-712, 1977

Keeney, R. and Raiffa, H.:

Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley and Sons, New York, 1976

Maas, A., Hufschmidt, M.M., Dorfman, R., Thomas, H.A., Manglin, S.A., and Fair, G.M.:

Design of Water Resources Systems, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.

Major, D.:

Multiobjective Water Resources Planning, Water Resources Monograph, No. 4, Amer. Geophys. Union, Washington, DC, 1977

.Massam, G.H:

The Central Arizona Water Control Study: A Comparison of Alternete Plans Using Concor-  
dance Analysis andMultidimensional Scaling. Water Resources Bulletin, Vol. 20,No. 4 . pp.  
483-492.

Meta Systems Inc:

Costs and Water Quality Impacts of Reducing AgriculturalNonpoint Source Pollution, EPA-  
608/5-79-009, Washington,D.C., Agosto, 1979.

Naumann, E.

:Grundzge der Regionalen Limnologie, Stuttgart, 1931.

kland, J.:

The Eurotrophic Lake Borrevann (Norway), Folia Limn. Scand.13, 1964

.Owen, G.

:Game Theory, 2nd ed., Academic Press, Inc., New York, 1982.

Pareto, V

.:Cours d' Economie Politique , Lausanne, Rouge, 1896.

Roy, B. and Bertier, P.:

La Methode ELECTRE II, Note de Travail No. 142, DirectionScientifique, Groupe Metra, Pa-  
ris, Abril, 1971.

Soil Conservation Service:

National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, USDA,Washington D.C., 1971

.Statzner, B. and Higler, L.W.G.:

Questions and Comments on the River Continuum Concept, Con.J. Fish. Sci. 42, 1038-1044.  
1985.

Thieneman, A.

:Die Grundlagen der Biozontik und Monards faunistischePrinzipien, Testschrift fr Zschokke, 4  
, 1-14, 1920

.UNESCO

:Hydro-Environmental Indices: A Review and Evaluation of theirUse in the Assessment of the  
Environmental Impacts of WaterProtects, Paris, 1984.

## UNIDO

:Guidelines for Project Evaluation, New York, 1972

.United Nations:

Statistical Yearbook/United Nations, prep. by the Statistical Office of the United Nations, Department of Economic Affairs New York, (Statistical papers/United Nations, Statistical Office, Ser.5), 1982

.United Nations Environment Programme:

Towards Environmentally Sound Water Management, UNEP, Nairobi 1987

.Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, I.R., and Cushing, C.E.:

The River Continuum Concept, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 30: 130-137, 1980.

Von Neumann, J. and Morgenstern, O.:

Theory of Games and Economic Behavior, Second Edition, Princeton University Press, Princeton, New Jersey

.Voogd, H.:

Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning, Plon Limited, London, 1983

.Wetzel, R.G

.:Limnology, K.B. Saunders Company, p. 743, 1975.

Williams, J.R.

.:Sediment Yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor, Agr. Res. Serv., ARS-40, USDA, Washington, D.C., pp. 244-252, 1975.

Zeleny, M

.:Compromise Programming, in Multiple Criteria Decision Making edited by M.K. Starr and M.Zeleny, pp. 101-145, University of South Carolina Press, 1973.

Zeleny, M.

.:Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, New York, 1982

.Zoints, S. and Wallenius, J.

.:Recent Developments in Our Approach to Multiple-Criteria Decision Making, Interactive Decision Analysis, M. Grauer and A. Wierzbicki (eds.), Springer-Verlag, Vienna, Austria, 1984

## APENDICE B

### GRUPO DE EXPERTOS CIENTIFICOS

La publicación de "Directrices metodológicas para la evaluación ambiental integrada del desarrollo de recursos hídricos" fue preparada bajo la dirección técnica del profesor L. Hartmann.

Los principales colaboradores fueron:

Autor principal de los capítulos 2, 4, 5,:

L. Hartmann

Lehrst. f. Ing. Biol.

Universität Karlsruhe 1,

Republca Federal Alemana.

Editor lingüístico de publicación:

C. Torno

Charles Howard and

Associated Ltd.,

300-1144 Fort Street,

Victoria, B.C.,

v8v 3k8.

Autor principal de los capitulos 6, 7, 8

I.M.R. Bogard University of

Nebraska Lincoln,

Departement of civil engineering,

w348 Nebraska Hall,

Lincoln, NE 68588-0531,

USA

Autor principal del capítulo 3:

L.W.G Higler

Research Institute for

Nature Management

Postbus 46

3956 Leersum, Países Bajos

Messrs. R. Abrokwa-Ampadu (Ghana), H.J. Colenbrander (Países Bajos), P. Leentvaar (Países Bajos), L. David (UNEP), G. Epler (Francia), M.P Pavia (Brasil), R.A Prins (Países Bajos) y F.H Verhoog (UNESCO) tomaron parte en el trabajo del grupo de expertos científicos así como en la preparación y proceso de revisión de la publicación.

## REVISION DE LA TOMA DE DECISION MULTICRITERIO

Tanto la teoría como las aplicaciones de los recursos hídricos del TDMC se pueden encontrar en varias fuentes, incluyendo Haimés et al. (1975), Keeney y Raiffa (1976), Major (1977), Cohon (1979), Goicoechea et al. (1982), Chankong y Haimés (1983), David y Telegdi (1982), Zeleny (1982), Voogd (1983), Zoints y Wallenius (1984), y Duckstein y Bogardi (1986).

Como resultado de esta abundante literatura sobre la TDMC, esta sección no ofrecerá una revisión exhaustiva de las técnicas disponibles. Sin embargo, los tipos principales se especificarán, proporcionando una guía para la selección de las técnicas más apropiadas.

Las tres técnicas principales son:

- 1.- Outranking; tipos como ELECTRE
- 2.- Basado en la distancia, tales como programación de compromiso o programación compuesta
- 3.- Utilidad; tipos tales como funciones multiatributivas de utilidad

### ELECTRE

Esta metodología desarrollada por Benayoun et al. (1966) fue utilizada por primera vez en el desarrollo de los recursos hídricos de David y Dukstein (1976). La idea principal en ELECTRE es la elección de aquellos sistemas adecuados a la mayor parte de los indicadores y que además no causen un nivel inaceptable de molestias en ninguno de ellos.

Hay dos versiones de esta técnica: ELECTRE I y ELECTRE II, sin embargo <sup>el</sup> estudio está limitado a ELECTRE I (si ELECTRE I queda ordenada parcialmente, ELECTRE II puede ser utilizada para obtener un orden completo).

En esta metodología se han desarrollado tres conceptos:

concordancia, discordancia y valores "threshold."

La concordancia de cualquiera de las dos acciones  $i$  y  $j$  es una medida de peso del número de criterios (el criterio significa siempre un indicador en el contexto de esta materia) por la cual la acción  $i$  (aquí acción es sinónimo de opción) es preferida o indiferente a la acción  $j$ , siendo formulada como:

$$c(i, j) = \frac{\text{suma de pesos para criterios donde } i \succ j}{\text{suma total de pesos}}$$

donde los pesos se suministran por la toma de decisión (TD). La concordancia se puede considerar como un porcentaje de pesos de los criterios, por el cual una de las acciones se prefiere a las otras.

Para calcular la matriz discordante, se define en primer lugar una escala de intervalos común a cada criterio. Esta escala se utiliza para comparar la disconformidad entre el "mejor" y el "peor" de los criterios. Por ejemplo una lista de 1-150 podría utilizarse cuando al mejor valor se le pueda asignar el valor más alto de la lista y entonces el peor valor recibiría el valor más bajo de esta misma lista. Sin embargo, cada criterio puede tener una lista diferente.

Dada esta información, el índice discordante viene a ser:

$$D(i, j) = \frac{\text{intervalo max. donde } i \succ j}{\text{max. alcance de la escala}}$$

Si por ejemplo, comparandose dos sistemas de acuerdo con dos criterios. La fila máxima es dada como 150. Dando preferencia al sistema 2 sobre el 1 y siendo la diferencia en la fila entre los sistemas 75, la discordancia  $D(1,2)$  es  $75/150 = 0.5$

Para sintetizar las matrices concordantes y discordantes, se definen por el TD los valores "threshold". Consideremos  $p$  inferior a 1, ya que ninguna acción domina a otra al 100% del criterio. Si este no fuera el caso, la serie de soluciones no dominadas se reduciría a una acción. De la misma forma,  $q$  deberá ser superior a 0, ya que ninguna acción está estrictamente dominada por todos los criterios. Al escoger un valor de  $p$ , la TD especifica la "concordancia" requerida; al definir  $q$  se especifica la "discordancia" tolerada. Es posible que no se encuentre ninguna acción que satisfaga la elección de  $p$  y  $q$ . En este caso se pide a la TD que formule de nuevo los valores de  $p$  y  $q$ . Es posible también, que los ciclos ocurran en ELECTRE I; es decir, que si el sistema 1 es preferido al sistema 2, que es preferido al sistema 3, que a su vez es preferido al sistema 1, entonces existe un ciclo y los tres nudos en cuestión están colapsados en un nuevo nudo.

El gráfico resultante de ELECTRE I presenta un orden parcial de los sistemas alternativos. ELECTRA II (Roy y Bertier (1971), Duckstein y Gershon (1984) es entonces utilizada para obtener un orden completo.

Técnicas distance-based: Programación de compromiso (Zeleny (1973), Programación compuesta.

En la programación compuesta, la "mejor" solución es aquel punto que minimiza la distancia desde un punto "ideal" hasta la serie de soluciones no nominadas. Este concepto está ilustrado en la figura 7.1 que corresponde a un análisis de doble criterio. La "mejor" solución en el caso de opciones alternativas discretas es aquel punto que minimiza la distancia desde un punto ideal hasta una solución alternativa.

Afin de utilizar la programación de compromiso donde los indicadores cualitativos están presentes, es necesario graduar las opciones alternativas contra el indicador de orden. Esta graduación procede de la siguiente forma: Primero, se define una escala asociada con cada indicador cualitativo, donde el "mejor" valor es asignado al valor más alto y el "peor" al más bajo. Después, los valores de los indicadores de cada opción se gradúan proporcionalmente a la escala asociada con aquel indicador. Los datos cualitativos se gradúan de tal forma que a la letra a se le da el mayor valor de la escala, e el valor más bajo, c adopta un valor medio y b y c son graduados similarmente. Este proceso de graduación es análogo al proceso utilizado en ELECTRE.

Como muestra el texto principal, los indicadores hidroambientales a menudo pueden dividirse en dos grupos: indicadores socioeconómicos y ecológicos. Podemos decir también:

- a) Los indicadores que pertenecen a diferentes grupos tienen diferentes características, como los indicadores relativos a la economía (costo, ingreso, costo/beneficio) en oposición con los indicadores ecológicos (calidad del agua, carga de nitrato, etc).
- b) Los responsables de TD preferirían un gráfico como el de la figura 7.1, que muestre los intercambios entre dos indicadores compuestos antes que considerar cada indicador por separado.

Estas dos razones han conducido al desarrollo de la programación compuesta (Bogardi y Bardosy, 1983) que es el método base de estas directrices. La programación compuesta es también una técnica distance-based, definida en los Capítulos 6 y 7.

## Funciones de utilidad de multiple atributo (FUMA)

En el contexto del desarrollo de los recursos hídricos, la utilidad (o inutilidad) se define como un beneficio(s) subjetivo (o perdidas) derivado de la realización de los objetivos establecidos por la TD. La utilización de FUMA está justificada, ya que la función de utilidad de la TD puede especificarse numericamente. Esto se realiza al obtener (de la TD) la utilidad de cada indicador y combinando estas utilidades singulares dentro de una función de utilidad general. El sistema que provee el grado más alto de utilidad con respecto a todos los otros indicadores se define como alternativa preferida.

Algunos axiomas (von Neumann y Morgensten (1947), y Owen, (1962) aseguran la existencia de una función de utilidad seria. Dado que estos axiomas tienen etapas específicas, como resume Keeney y Wood (1977), han de considerarse en la evaluación de las opciones alternativas vía la teoría de utilidad de multiple atributo.

## Elección modelo TDMC

En el estudio que sigue, la metodología ELECTRE, la programación compuesta y FUMA se comparan basándose en una serie de criterios específicos. Estos criterios podrían utilizarse para seleccionar el método de TDMC en este caso. Estos criterios son:

- Tipo de indicadores presentes
- Naturaleza de los sistemas alternativos bajo investigación
- Vigor de los resultados con respecto a los cambios de valores en los parámetros
- Facilidad de computación
- Cantidad de interacción requerida entre los responsables de la TD y el analista de sistemas
- Tipo de TD (grupo o individual)

1.-Tipo de indicadores presentes - Los indicadores pueden clasificarse como cualitativos o cuantitativos. La metodología ELECTRA puede utilizarse para nivelar los sistemas alternativos evaluados que tienen en cuenta los demás tipos de indicadores. Las otras metodologías pueden solo tratar datos cualitativos. Sin embargo si se llega a cuantificar los datos cualitativos, entonces estos métodos son apropiados. Se recuerda que en la programación compuesta un procedimiento de escala heurística se utiliza para convertir los datos cualitativos. En FUMA una función que define utilidades cuantificadas es especificada. La ventaja de utilizar un método como ELECTRA consiste en que no se encuentra ningún perjuicio en la cuantificación.

2.-Naturaleza de las opciones alternativas - La metodología ELECTRA solo puede manejar series discretas de opciones, mientras que la programación compuesta y FUMA pueden tratar eficazmente con ambos casos. Sin embargo FUMA requiere la interpolación de variables independientes entre los valores.

3.-Vigor de los resultados con respecto a los cambios de valores en los parámetros - En general, todas las metodologías consideradas son medianamente robustas con respecto a cambios en los valores de los parámetros.

4.-Facilidad de computación - Puede percibirse de dos maneras. Primera, cuanto estudio se requiere por el analista para dominar la técnica, y en segundo lugar, una vez dominada, cuanto tiempo se requiere para ejecutar la técnica y analizar los resultados. El tiempo necesario para la ejecución está referido a horas por persona, y no al tiempo computado.

De acuerdo con el primer punto FUMA requiere el mayor tiempo de aprendizaje para el analista; la técnica ELECTRA le sigue, y por último la programación compuesta. Hay que señalar que la programación compuesta es extremadamente fácil para análisis discretos y puede entenderse por personas con poco o ningún conocimiento en TDM.

En cuanto al segundo punto, FUMA también requiere para la ejecución el mayor tiempo. Algunas suposiciones deben ser comprobadas y entonces la evaluación de las funciones de utilidad individuales deberá ser llevada a cabo. No obstante el análisis de los resultados es bastante sencillo. La programación compuesta y ELECTRE son medianamente fáciles de ejecutar. La mayor diferencia en cuanto al tiempo, está en el análisis de los resultados. En la programación compuesta esto es bastante simple, en cambio en ELECTRE es aburrido y molesto.

5.-Cantidad de interacción entre TD y el analista-FUMA requiere una importante cantidad de interacción entre el tomador de decisiones y el analista. En realidad, la cantidad de interacción de tiempo requerida en MAUT es tan importante que parece poco práctica para las aplicaciones en el mundo real. Por otra parte ELECTRE y la programación compuesta no requieren una cantidad de tiempo significativa de la TD. Es debido a que estas últimas técnicas solo necesitan especificaciones del peso y la escala. Como dicho previamente, estos pesos y escalas no necesitan ser precisos. La solución compuesta dominante durara mientras los pesos y escalas sean proximos a los valores deseados.

6.-Tipo de tomador de decisiones - Aunque las tres metodologías puedan ser ejecutadas individual o colectivamente, parece ser que la programación compuesta y ELECTRE se harian mejor que FUMA con un grupo de TM. Esto es debido al tiempo requerido por el DM en esta última técnica. Un grupo de individuos reunidos para definir una serie de pesos es una cosa; la evaluación del grupo en cuanto a su utilidad colectiva en la serie de los indicadores básicos no es lo mismo.

MATEMATICAS DE LA PROGRAMACION COMPUESTA

Este apéndice supone un conocimiento de matemáticas fundamentales relacionado con la toma de decisiones basada en el criterio múltiple. La programación compuesta (PC) fue introducida por Bogardi y Bardosy como técnica empírica para resolver un problema de exploración geológica (1983). El siguiente análisis de esta técnica consta de tres partes: En la primera, el método PC se definirá como un método de optimización en el nivel múltiple. En la segunda, se describirán las propiedades básicas de la PC, incluyendo las características de distancia de la misma. En la tercera, un ejemplo demostrará que la PC es una extensión real de la programación de compromiso.

1. Programación compuesta como método de nivel múltiple

La PC es un método de programación de múltiple objetivos y en múltiple nivel. Un problema general de objetivo múltiple con objetivos  $m$  se transformará en un problema de objetivo único. Esta transformación se hace reagrupando paso a paso una serie de objetivos hasta convertirlos en uno sólo.

La fórmula matemática es la siguiente:

Problema A:

$$\begin{aligned} \underline{u} \in D & \quad D = \left\{ \underline{u} ; \underline{u} \text{ solución factible} \right\} \\ \max f_i(\underline{u}) & \quad (i = 1, \dots, m) \end{aligned} \quad (D-1)$$

Este problema de objetivos  $m$  se transforma en un problema de objetivo único mediante una definición sucesiva de funciones objetivas.

Para cada nivel (que representa un nivel de TRADE-OFF definimos grupos  $A_{ik}$  y objetivos  $g_{i,k}(\underline{u})$ , El número de objetivos en el nivel  $m$  tiene que ser menor que el número de objetivos en el nivel  $m-1$ . Así se logra un problema de objetivo único. En primer lugar transformaremos las funciones objetivas en funciones de escala /0,1/. Esto se puede hacer por ejemplo, definiendo el punto ideal y el punto pésimo.

Punto Ideal:

$(y_1, \dots, y_m)$  es un punto ideal si  $f_i(\underline{u}) \leq y_i$

para todo  $\underline{u} \in D$  y  $i = 1, \dots, m$ .

Punto Pésimo:

$(v_1, \dots, v_m)$  es un punto pésimo si  $v_i \leq f_i(\underline{u})$

para todo  $\underline{u} \in D$  y  $i = 1, \dots, m$ .

Ahora pueden definirse las funciones de los objetivos del nivel 1:

$$g_{i,1}(\underline{u}) = \frac{y_i - f_i(\underline{u})}{y_i - v_i} \quad (D-2)$$

Series del nivel 1 serán  $A_{i,1} = i$

Numero de objetivos para el nivel 1:  $L(1) = m$

Podemos pues definir:

Problema 1:

$$\min g_{i,1}(\underline{u}) \quad i = 1, \dots, L(1); \underline{u} \in D$$

Una vez definidos las series y los objetivos del nivel n-1, las series y objetivos del nivel n se definirán como sigue:

Las series  $L(n)$  se definiran.

las series  $A_{i,n}$  dan:

1)  $A_{i,n} \subset \{1, \dots, m\}$

2)  $A_{i,n} \cap A_{j,n} = \emptyset$  si  $i \neq j$

3)  $L(n) = \bigcup_{i=1}^m A_{i,n}$  (D-3)

4) Si  $j \in L(n-1)$   $A_{j,n-1} \subset A_{i,n}$  para algunos  $i$

5)  $L(n) \subset L(n-1)$

Los objetivos del nivel  $n$  se definirán como:

$$g_{i,n}(\underline{u}) = \left\{ \sum_{j; A_{j,n-1} \subset A_{i,n}} \alpha_{j,n-1} g_{j,n-1}(\underline{u})^{P_{i,n}} \right\}^{1/P_{i,n}}$$

$$0 \leq \alpha_{j,n-1} \leq 1$$

$$\sum_j \alpha_{j,n-1} = 1 \quad (D-4)$$

$$A_{j,n-1} \subset A_{i,n}$$

$$Y \quad 1 \leq P_{i,n} \leq +\infty$$

Hemos definido pues:

Problema  $n$ :

$$\min g_{i,n}(\underline{u}) \quad i = 1, \dots, L(n); \underline{u} \in D$$

Estas definiciones segun (A-3,A-4) han de darse hasta que se logre  $L(n)-1$ . Tenemos entonces el problema  $N$ ;

Problema  $N$ :

$$\min g_{1,N}(\underline{u}), \quad \underline{u} \in D$$

que es un problema a objetivo único. La solución del problema  $N$  es una solución compuesta del problema  $A$ .

## Observaciones:

Para llegar a una solución compuesta, debe definirse una secuencia de problemas de objetivo múltiple. El problema  $m$  es una reformulación del problema  $(m-1)$  con menos objetivos. Estos objetivos son el resultado de un TRADE-OFF entre algunos objetivos del nivel  $(m-1)$ . Las series  $A$  constan de índices de la serie original de índices, cuyos objetivos se utilizan para formar la función  $g(u)$  de objetivos.

Las reglas de definición de  $A$  se pueden describir de una forma no matemática:

- 1.- Cada grupo debe formularse con la ayuda de los objetivos originales.
- 2.- Los grupos han de ser distintos, y cada objetivo debe estar exactamente en uno de los grupos.
- 3.- Cada objetivo debe participar en la formación de los grupos.
- 4.- Los grupos del nivel  $(m-1)$  no pueden dividirse en distintos grupos.
- 5.- El número de grupos ( $= n$  de objetivos) del nivel  $m$ , debe ser menor que el número de grupos del nivel  $(m-1)$ .

Los números  $\alpha_{i, n-1}$  son los pesos de los objetivos que definen la nueva función objetiva  $g(u)$ .

Los números  $p_{i, n}$  son los factores de equilibrio que representan, si se formula un promedio o un objetivo pésimo.

## 2.- Propiedades de la Programación compuesta

Las siguientes propiedades de la Programación Compuesta pueden fácilmente demostrarse:

$$1) N \leq L(1) = m$$

Hay menos o igual niveles que objetivos originales.

2) Si  $q_{i,n} > 0$  para todos los pesos definidos y

$P_{i,n} < +\infty$  para todos los factores de equilibrio definidos

luego cualquier solución  $u^*$  no dominada del problema  $n$  es una solución no dominada del problema  $K$  para  $K_n$ . Esta última propiedad significa también que la solución compuesta final (problema  $N$ ) es una solución no dominada del problema original 1 de objetivo múltiple.

La propiedad 2 muestra que todas las soluciones compuestas del problema original no son dominadas (con pesos positivos y factores finitos de equilibrio).

La Programación Compuesta puede así mismo considerarse como método basado en la distancia. Es decir: si las series  $A_{i,n}$  se definen como en la secuencia de la definición compuesta que cumple las condiciones (A-3), y si se dan los correspondientes pesos y factores de equilibrio (positivos), entonces esta secuencia define una distancia.

Teorema:

Sea  $\underline{x} = (x_1, \dots, x_m) \in \mathbb{R}^m$

$A_{i,1} = \{i\}$  y  $L(1) = m$  y

$\rho_{i,1}(\underline{x}) = |x_1|$

Definamos  $\rho(\underline{x})$  como sigue:

Las series  $A_{i,R}$  cumplen las condiciones (A-3) y

$$\rho_{i,n}(\underline{x}) = \left\{ \sum_j \alpha_{j,n-1} \rho_{j,n-1}(\underline{x})^{P_{i,n}} \right\}^{P_{i,n}}$$

$$A_{j,n-1} \subset A_{i,n}$$

con  $\alpha_{j,n-1} > 0$  y

$$\sum_j \alpha_{j,n-1} = 1 \quad y$$

$$A_{j,n-1} \subset A_{i,n}$$

$$1 \leq p_{i,n} < +\infty$$

Si el índice  $N$ , donde  $A_{i,N} = \{1, \dots, m\}$  ( $\langle = \rangle L(N) = 1$ )

entonces  $(x)$  es una norma en  $\mathbb{R}^m$

La prueba de este teorema, se basa en el lema siguiente:

Lema:

Sea  $\|\cdot\|_1, \|\cdot\|_2, \dots, \|\cdot\|_k$  normas en

$\mathbb{R}^{n_1}, \mathbb{R}^{n_2}, \dots, \mathbb{R}^{n_k}$

y sea  $\alpha_i > 0, 1 \leq p < +\infty$

$$n = \sum_{i=1}^k n_i$$

en este caso

$$\rho(x) = \left( \sum_{i=1}^k \alpha_i \|q_i x\|_i^p \right)^{1/p} \quad \text{es una norma en } \mathbb{R}^u$$

donde  $q_i$  es la proyección de  $\mathbb{R}^u$  en  $\mathbb{R}^{n_i}$

esto significa  $q_i(x_1, \dots, x_n) = (x_{s+1}, \dots, x_{s+n_i})$  con  $s = \sum_{j=1}^{i-1} n_j$

Prueba del lema:

La única propiedad por probar es:

$$\rho(x + y) \leq \rho(x) + \rho(y)$$

$$\begin{aligned} \rho(x + y) &= \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i \|q_i(x + y)\|_i^P \right\}^{1/P} \\ &= \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i \|q_i(x) + q_i(y)\|_i^P \right\}^{1/P} \\ &\leq \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i (\|q_i(x)\|_i + \|q_i(y)\|_i)^P \right\}^{1/P} \\ &= \left\{ \sum_{i=1}^k (\alpha_i \|q_i(x)\|_i^P + \alpha_i \|q_i(y)\|_i^P) \right\}^{1/P} \\ &\leq \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i \|q_i(x)\|_i^P \right\}^{1/P} + \left\{ \sum_{i=1}^k \alpha_i \|q_i(y)\|_i^P \right\}^{1/P} \\ &= \rho(x) + \rho(y) \end{aligned}$$

La prueba del problema puede hacerse por inducción, utilizando el lema.

La Programación compuesta puede considerarse como:

$$\min \rho(x - \underline{y})$$

donde  $\underline{y}$  es el punto ideal, como antes hemos definido.

### 3.- La Programación Compuesta como una extensión de la Programación de Compromiso (Zeleny, 1973)

El siguiente ejemplo muestra que la Programación compuesta es una extensión propia de la Programación de compromiso (una métrica compuesta no puede sustituirse por una métrica de compromiso con un sistema similar de peso).

Ejemplo:

$$\sqrt{x_1 + x_2} + x_3^2 \geq 1 \quad x_i \geq 0 \quad (D - 5)$$

$$x_1^P + x_2^P + \alpha x_3^P \rightarrow \min \quad (D - 6)$$

Si el punto  $(x_1, x_2, x_3)$  es estacionario, entonces tenemos  $x_1 = x_2$  por las condiciones Kuhn-Tucker.

$$P \cdot x_3^{P-1} - \frac{2}{\sqrt{x_1 + x_2}} = 0 \quad (D - 7)$$

$$P \cdot x_3^{P-1} - \frac{2}{\sqrt{x_1 + x_2}} = 0 \quad (D - 8)$$

$$P \cdot \alpha - x_3^{P-1} - 2 \cdot x_3 = 0 \quad (D - 9)$$

$$\lambda_1 \left( \sqrt{x_1 + x_2} + x_3^2 - 1 \right) = 0 \quad (D - 10)$$

Esto significa, que hay puntos que son óptimos respecto a una distancia compuesta, pero son "no óptimos" respecto a una distancia de compromiso con una estructura similar de pesos.

### INDICADORES HIDROAMBIENTALES Y SUS RELACIONES

Este apéndice presenta la lista y descripción de los indicadores, acompañada de un estudio de sus relaciones con los índices y standars.

Aunque las listas sean completas, no deben ser consideradas como exhaustivas en cada proyecto hídrico particular. Similarmente, puede ser necesario, para cada proyecto individual, operar una selección de los indicadores e índices.

#### 1.-DESCRIPCION DE LOS INDICADORES

Los indicadores son aquellos componentes de un sistema, de naturaleza física, química o biológica (e incluso de creación humana). También se pueden utilizar para reunir información sobre el estado del sistema (o de partes de este) y de los cambios que se producen. Se pueden medir usando factores físicos, químicos y biológicos, pero también es posible que se comparen a referencias.

La siguiente sección contiene las listas de los componentes hidroambientales controlados por el hombre. Se describen las características principales para la existencia y estabilidad de los sistemas. Estos componentes al medirse servirán para entender el sistema, incluyendo los potenciales y los límites de utilización para el hombre. Algunos de ellos deberán ser seleccionados y cuantificados para poder utilizarlos como standars para una mejor conservación y gestión.

#### 2.INDICADORES GEOGRAFICOFISICOS

Son aquellos que describen la situación geomorfológica, las condiciones climáticas, así como los resultados de, las interacciones entre los componentes físicos, geológicos, morfológicos y humanos. También está incluido la historia geológica y los efectos del clima, así como otros componentes de la geología.

##### 2.1 Indicadores geomorfológicos

###### 1. altitud

2. pendiente

3. red hidrográfica y otras corrientes en el interior de la cuenca vertiente

4. erosión y sedimentación

5. glaciación

## 2.2 Indicadores climáticos

1. radiación

2. temperatura atmosférica (incluyendo las variaciones diurnas), cambios mensuales y estacionales (incluyendo, si es necesario, los valores máximos, medios y mínimos). Esto también abarca la balanza de energía.

3. precipitaciones (como interacción entre la energía y los otros componentes de los sistemas) expresadas por las fluctuaciones anuales, mensuales y estacionales (expresadas en sus valores máximos, mínimos y medios). Esta distribución incluye también la intensidad y la duración de las precipitaciones.

4. evaporación (como interacción entre la temperatura y el agua).

5. humedad (del aire).

6. viento (velocidad y dirección).

## 2.3 Indicadores geológicos

1. substrato geológico ( y sus diversos elementos fundamentales utilizables como los minerales), tipos de rocas y su estratificación.

2. actividad sísmica.

## 2.4 Indicadores de suelo

1. tipos de suelo, variedades y series (clasificación edafológica).
2. erosionabilidad.
3. compactibilidad.
4. permeabilidad.
5. pH.

## 2.5 Indicadores botánicos

1. alcance relativo de las comunidades botánicas más importantes.
2. evapotranspiración.

## 2.6 Geografía económica y humana

1. carreteras (incluidos los tipos de carreteras y otros medios de comunicación).
2. zonas de uso agrícola (cartografía de estas zonas que comprende tanto las utilizadas a la mitad así como las que no lo están).
3. zonas de usos especiales, tales como:
  - a) establecimientos humano
  - b) minas (o minas potenciales)
  - c) energía hídrica (o energía hídrica potencial)

### 3. INDICADORES HIDROLOGICOS

Describen las cantidades, los tipos y comportamientos del agua, así como sus caracteres físicos y las direcciones que toman (si no ha sido ya incluido en el 2).

#### 3.1 Volumen y destino de las precipitaciones anuales

1. campos de nieve y glaciares
2. desagüe de superficie (incluyendo los depósitos en los lagos)
3. evaporación
4. transpiración
5. aumento de las aguas subterráneas

#### 3.2 Indicadores de las condiciones de desagüe

1. desagüe medio anual
2. fluctuaciones, depósito, caudal y frecuencia del desagüe anual
3. características de las aguas altas (pico, duración, volumen, etc)
4. características de las crecidas, incluyendo su frecuencia a lo largo de los años
5. características de la marea baja, como la duración (media, principio y fin), estabilidad, desagüe mínimo, y periodos (duración y frecuencia)

#### 3.3 Indicadores de configuración del lecho del río

1. características morfométricas de la sección transversal

2. características de los sedimentos en suspensión y de los sedimentos arrastrados al fondo, incluyendo la composición granulométrica

3. pendiente longitudinal del río

3.4 Indicadores de las relaciones entre el lecho del río y la llanura de inundación

1. existencia de zonas ocupadas por el agua en la llanura de inundación

2. relación del río con su área de inundación (frecuencia y duración de inundación)

3.5 Indicadores de las características de desagüe

1. condiciones de desagüe (profundidad, velocidad, turbulencia)

2. trayecto del desagüe

3. perfil longitudinal del agua

3.6 Indicadores de las condiciones de un estuario

1. intrusión de agua salada

2. movimientos litorales

3. depósito de sedimentos

3.7 Carácteres de los lagos naturales y artificiales

1. morfología (área, profundidad, exposición al viento, tipo de ribera)

2. balance del agua (entrada/salida del agua, precipitación, evaporación, pérdida)

### 3.8 Caracteres de los embalses

1. balance del agua

2. cambios y variaciones de los niveles del agua

### 3.9 Caracteres de las aguas subterráneas

1. variación del agua subterránea (dependiendo del tiempo)

2. movimiento del agua subterránea (vertical y horizontal)

3. elevaciones del agua subterránea

4. volumen del agua subterránea

5. indicadores fisicoquímicos

Los indicadores fisicoquímicos (incluyendo los ya mencionados) han de dar información sobre los aspectos cualitativos del agua, o sobre los cambios potenciales de las características físicas y químicas del agua, como consecuencia de las reacciones entre los componentes físicos, químicos y biológicos del sistema (y en un cierto grado, componentes humanos).

## 4. INDICADORES FISICOS Y QUIMICOS

### 4.1 Componentes físicos principales susceptibles de utilizarse como indicadores

1. para las aguas corrientes

a) caracteres de desagüe (grado de turbulencias para mezclas e intercambios de gases)

b) temperatura y sus cambios a lo largo de año)

2. para las aguas inmóviles

a) transparencia, absorción de la luz y transformación de la luz en calor

b) temperatura y estratificación (y su respectiva dependencia del tiempo)

c) renovación, características de la mezcla

d) sedimentación

3. para los lagos de ríos y embalses

a) estratificación térmica y química debida a las diferencias entre el agua corriente y el agua estancada

4. para las aguas subterráneas

a) temperatura (variaciones estacionales)

b) edad

4.2 Compuestos químicos principales susceptibles de utilizarse como indicadores

1. indicadores resultantes de interacciones o integraciones de compuestos

a) disolución total de sólidos

b) suspensión total de sólidos

c) carbono orgánico total (COT)

d) pH

e) potencial de reducción de óxido

f) conductividad

g) concentración de oxido disuelto

h) disolución total de gases

i) salinidad total

j) alcalinidad y acidez

k) dureza

l) capacidad de tapón

m) demanda de oxido químico

n) disolución total de materias orgánicas (como el carbono disuelto)

o) demanda de oxígeno bioquímico (DOB)

2. indicadores para componentes específicos, susceptibles de utilización para varios fines

a) cátodos (calcio, magnesio, sodio, etc...)

b) ánodos (sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitritos, nitratos, fosfatos)

c) específicos, componentes orgánicos, como proteínas, grasas, hidrocarburos, pesticidas, detergentes, etc.

3. indicadores de radioactividad

a) actividad alfa, beta y gama

4. consideración especial para las aguas estancadas. En las aguas estancadas los componentes químicos han de ser observados a profundidades seleccionadas para demostrar la influencia de la estratificación.

## 5. INDICADORES BIOLÓGICOS

Una situación biológica medioambiental es la traducción viva de la cantidad y calidad de los componentes físicos, hidrológicos y químicos de un sistema, de las interacciones entre ellos y de su interacción global con los componentes biológicos del sistema. La presencia o la ausencia de organismos indicadores, y el comportamiento del compuesto biológico en su totalidad, puede también revelar información sobre el fondo fisicoquímico. Además, muchos impactos se explican a través de indicadores biológicos.

### 5.1 Compuestos a utilizar como indicadores en el area de captación:

1. tipo de comunidad vegetal, y su perturbación (vegetación climax o comunidad sucesoria)
2. estado tropical (producción de biomas y renovación)
3. ciclo de elementos nutritivos, acentuando el transporte nutritivo a las subunidades acuáticas (particularmente la exportación de los elementos nutritivos de las plantas)
4. capacidad de intercambio en los suelos de cátodos

### 5.2 Compuestos que pueden ser utilizados para las aguas corrientes

1. importación de elementos nutritivos a través de las aguas subterráneas (bajo la dependencia del alcance vegetal, el tipo de suelo y el grado de intervención humana)
2. potencial trófico y producción concreta a lo largo del curso del agua
3. cultivos

4. composición de la flora y la fauna de fondo, a lo largo del río (diversidad y periodicidad), poniendo especial atención en los organismos de fondo

5. organismos indicadores de los contaminantes orgánicos e inorgánicos, de la polución y de la autopurificación (E. coli)

6. polución piscícola y su diversidad

7. organismos específicos a lo largo del curso del agua

8. perfil del oxígeno a lo largo del curso del agua (combinado con DOB, los componentes del nitrógeno y carbono orgánico), la cual nos indica la capacidad de autopurificación

9. composición de los sedimentos (asociado con su fauna de fondo), que nos informa sobre el grado e importancia de la polución por los metales pesados y otros contaminantes

10. vectores de enfermedades

5.3 Componentes que pueden utilizarse como indicadores para los lagos naturales, estanques y embalses

1. producción primaria y potencial

2. cultivos y diversidad de la flora y fauna de las zonas trofógenas, que son:

a) la zona litoral

b) el epilimnion

3. cultivos y diversidad de la flora y fauna de las zonas trofólicas, que son:

a) el hipolimnion

b) los sedimentos de fondo

4. además los componentes químicos como P y N (y sus cambios estacionales en los diferentes estratos) nos informan sobre los potenciales de producción

5. organismos específicos

5.4 Componentes que pueden utilizarse como indicadores para las aguas subterráneas

1. indicadores de contaminación fecal (E. coli)

2. producción de biomasa

3. componentes químicos como P y N que informan sobre el potencial de producción

4. componentes químicos que indican la contaminación xenobiótica

6. Indicadores socioeconómicos

Los componentes humanos de un sistema provienen del uso del potencial ecológico. Informan sobre:

1. la presión del hombre sobre la naturaleza

2. el grado de éxito de la transformación de los recursos naturales en bienes utilizables por el hombre, y en valores necesarios para operar en los subsistemas económicos y sociales

3. el grado de éxito de las políticas de nutrición y salud tanto al nivel del individuo como al nivel de la sociedad

4. el grado de éxito en la realización de las ambiciones culturales, individualmente o como parte de la sociedad

## 6.1 Indicadores de Presión sobre el medio ambiente

1. densidad de población

2. requerimientos económicos (esperanzas de nivel de vida y de PNB)

## 6.2 Los indicadores del grado de éxito son:

1. la estructura de la población (distribución por edad)

2. diversidad profesional

3. ingreso familiar

4. tamaño de la familia

5. fuentes de ingreso

6. razones y diversidad de los gastos

7. condiciones de vida

8. ahorros

9. PNB concreto por individuo (o unidad familiar)

10. producción agrícola por unidad de área para cultivos seleccionados

## 6.3 Indicadores adicionales:

1. consumo de energía per cápita por año

2. política de mantenimiento de tierras

3. irrigación

4. urbanización

5. relación entre el tiempo de trabajo y el tiempo de reposo

6. facilidades del tiempo libre

## 7. SALUD Y NUTRICION

Los progresos técnicos en el medio ambiente están orientados generalmente hacia una mejora de las condiciones y calidad de vida de la población humana. Una suficiente calidad en el agua y los alimentos ayuda a alcanzar esta meta y, combinados con unas medidas preventivas y unos cuidados médicos, asegurarán la esperanza de vida de cada uno.

Los componentes de la salud (cuidados, peligros, azares) y de la nutrición revelan el grado de éxito de la presión técnica de hombre sobre el medio ambiente, manteniendo una población y un medio ambiente saludable.

### 7.1 Indicadores de salud general:

1. tasa de natalidad

2. tasa de mortalidad

3. media de la esperanza de vida y distribución por edades

5. crecimiento de la población

6. densidad de la población

## 7.2 Indicadores de calidad de los cuidados médicos:

1. ratio doctor/población
2. ratio mujer/población
3. ratio camas de hospital/población

## 7.3 Indicadores de higiene pública:

1. condiciones de habitación
2. seguridad en el aprovisionamiento del agua
3. disposición de los desechos humanos
4. tasa de vacunación
5. enfermedades de la piel
6. parásitos intestinales
7. parásitos pulmonares y de los tejidos

## 7.4 Indicadores específicos de la salud:

1. porcentaje de infecciones de pulmón y respiratorias
2. porcentaje de infecciones intestinales comparados con otras enfermedades y con la tasa de mortalidad debida a:
  - a) enfermedades pulmonares y respiratorias

b) enfermedades intestinales

7.5 Indicadores específicos de los peligros potenciales de la salud:

1. distribución de los parásitos en la sangre, y en los tejidos del intestino
2. presencia de vectores de parásitos en el sistema
3. presencia de parásitos y enfermedades en los sistemas adyacentes

7.6 Indicadores generales del estado nutricional

1. cantidad de calorías disponibles por individuo
2. cantidad de proteínas disponibles por individuo (proteínas animales)
3. consumo de vitamina A
4. consumo de ribofavina
5. consumo de vitamina C

7.7 Indicadores específicos del estado nutricional (y de salud)

1. relación peso/altura de los niños en edad preescolar
2. anemia

## 8. COMPONENTES CULTURALES

En el curso de la historia, se han desarrollado muchas de las culturas, aunque a menudo son el resultado de necesidades locales, tal y como muchos antropólogos piensan. En otras pala-

bras, las actividades y costumbres culturales se han originado como respuesta a necesidades que nacen de las relaciones entre el hombre y su entorno o su esfera social. Estas prácticas constituyeron en un principio, un método para una mejor administración del medio ambiente o para resolver conflictos. Ulteriormente, algunas de estas prácticas han perdido importancia o significado, aunque muchas de ellas subsisten todavía. Sin embargo sus cambios rápidos (o las negligencias), pueden traer una reacción negativa en el desarrollo de los sistemas.

### 8.1 Indicadores de importancia social

1. pasado étnico
2. organización de la cultura familiar (maternal, paternal)
3. propiedad de las tierras
4. distribución del trabajo y del beneficio entre los sexos
5. organización de las políticas rivales (curas, jefes)
6. culto de los antepasados

### 8.2 Indicadores de importancia social y cultural

1. totemismo
2. tabús
3. prácticas religiosas especiales y creencias, incluyendo la existencia de lugares santos
4. Zonas arqueológicas.

### 8.3 Indicadores de importancia ecológica

1. reservas de fauna y flora salvajes

2. potencial para establecer reservas de genes

#### 8.4 Indicadores combinados de importancia económica y sociocultural

1. sistemas de educación

2. analfabetización

### 9. RELACIONES ENTRE INDICADORES

Como se ha indicado previamente, la mayor parte de los componentes de un sistema medioambiental son elementos de un todo compuesto; y toda modificación o transformación de uno de los componentes repercute sobre los demás.

Un ejemplo es la alteración de las rocas a través de la energía solar. Otro, es la interacción entre la meteorología, las rocas alteradas y las plantas, en la formación de suelos; o el conjunto de interacciones entre los componentes del clima, del suelo y de las plantas, que transforma la materia inorgánica en biomas, los cuales almacenan la energía solar como si fuera energía química. Todas estas acciones e interacciones pueden ser percividas cuantitativa y cualitativamente mediante la observación y medida de los cambios de indicadores de los componentes seleccionados.

Este informe no ambiciona una descripción detallada de estas acciones e interacciones, pero sí pretende dar otra luz al aspecto integrado de algunos fenómenos, que resultan de los impactos humanos.

#### 9.1 Relaciones generales entre componentes ecológicos y humanos

Se puede decir que el medio ambiente humano está compuesto por dos "hipercomponentes": el "hipercomponente ecología" que incluye todos los componentes de naturaleza química, física y biológica, y el "hipercomponente hombre" que engloba todos los componentes sociales, económicos y culturales.

Las relaciones internas del sistema ecológico integran y culminan en la estabilización del sistema, especialmente mediante: la reducción de impactos meteorológicos negativos, el establecimiento de una comunidad climax vegetal que integra un componente faunístico, la reducción de traslados y pérdidas de energía y el seguro de un alto nivel de energía en el sistema. El nivel más alto de este status se encuentra en las selvas húmedas tropicales.

Desde que el hombre llegó a ser un componente dominante del sistema, su actitud le llevo a un situación opuesta. Desperdicia la energía y desestabiliza las condiciones de equilibrio al acrecentar la densidad de población más allá de la capacidad de los ecosistemas naturales y al aumentar su demanda individual. Como no puede crear otras fuentes fuera del sistema ecológico, ejerce sobre este último una presión cada vez mas importante. Los impactos son dobles: Primero el consumo de estas fuentes es mas rápida que su regeneración, y en segundo lugar la cantidad de productos desechados no permite la integración de estos en el ciclo natural de los elementos. Además el hombre introduce materiales tóxicos en el sistema ecológico, que impiden e incluso destruyen las fuerzas de la naturaleza. Puesto que el hombre, por su posición social, económica y cultural depende y dependera de la productividad de su companero ecológico, al no respetar estas medidas pone en peligro su propia existencia.

Los parrafos siguientes presentaran algunas reacciones importantes, influenciadas o en peligro de ser influenciadas por el hombre, y se acentuaran los fundamentos teóricos de estas.

## 9.2 La interacción entre los componentes vivos

El subsistema vivo se divide en dos partes: una que produce la materia orgánica a partir de materia inorgánica, y transforma la energía de la luz en energía química (plantas, reacciones fotolitótróficas), y la otra que utiliza esta materia vegetal para acumular energía y los elementos necesarios para su propia existencia (bacterias, champiñones, animales). En el componente animal, los alimentos (y la energía) son transportados mediante una cadena alimenticia, pasando de un eslabón a otro. La transferencia de energía raramente excede cuatro eslabones en esta cadena, ya que un alto porcentaje de la energía utilizada no puede ser recompuesta y por lo tanto esta última es liberada en forma de calor despues de haber satisfecho las necesidades de energía de los organismos en su lucha contra los impactos exteriores (como por ejemplo el mantenimiento de la temperatura del cuerpo). Por lo tanto, si se considera una cantidad dada de energía (100%) con una tasa de empleo del 10% para cada eslabón de la cadena, el cuarto eslabón no recibirá más que 0.01%, y el resto desaparecería. De manera idéntica, los minerales fijados en el origen de la cadena bajo forma orgánica, pueden ser liberados bajo forma inorgánica para servir de alimento a los fotolitrotófos.

### 9.3 Potencial de autorestauración de las comunidades vivas

Lo anteriormente indicado en el punto 9.2, muestra la estrecha interdependencia de los fototrófos y los quimilitrofos, siendo unos requisito de los otros. Las poblaciones puras no pueden sobrevivir.

La razón es doble. En el sistema descrito por S (se fija una cantidad de alimento), A (un compuesto vivo de sólo una especie) y P (los productos de transformación de S para A), la reacción acabará cuando S se agote. De hecho, al menos en un sistema cerrado, la reacción se termina generalmente antes de que S se agote completamente, ya que S no solo se transforma en P(+) (= incremento de A) sino también en P(-), (producción de desechos). Como estos últimos son tóxicos para los organismos que los han producido, la reacción se para por autointoxicación (figura E.1).

La avertura de los sistemas evita su autointoxicación ya que los desechos fabricados se eliminan de acuerdo con las reacciones que se producen en las cadenas alimenticias. Estas últimas constituyen un método para la autorestauración de las condiciones originales entre los hipercomponentes biológicos. Esto, por ejemplo, ocurre en los ríos con contaminación. Otro elemento es el potencial de renovación suministrado por el almacenamiento de granos y semillas (en plantas) y las posibles migraciones (en animales).

En un sistema terrestre destruido (por el fuego, por ejemplo) la vegetación original podría restaurarse a partir de un stock de grano y semilla almacenado en la capa superior del suelo (su potencial de germinación durante largos años). Esta restauración sigue un esquema de sucesión que puede traer, tras un cierto tiempo, la reaparición del estado original.

### 9.4 Interrelaciones entre los compuestos biológicos y fisicoquímicos en las aguas dormidas y consecuencias cualitativas de la utilización de estas últimas por el hombre

El compuesto principal de estas aguas es la importación de energía por radiación solar. El agua posee una capacidad muy grande de absorción de ondas largas, por lo tanto la transformación de la energía lumínica en energía de calor es muy rápida. El resultado se traduce mediante un almacenamiento de calor, la reducción del peso específico del agua y la estratificación de las masas de agua en un epilimnion más caliente, un hipolimnion más frío y un estrato intermedio de mezcla, el termocline.

Como la radiación solar se restringe a los estratos superiores, la transformación de los elementos inorgánicos en orgánicos no existe que en estos estratos: zonas litorales, aguas libres

epilimicas. El consumo de CO por la fotosíntesis y su transformación poseen una amplia gama de consecuencias. Estas son, (en las aguas duras) la precipitación del carbono de calcio y el aumento del pH, la sobresaturación en oxígeno (como resultado de una alta concentración de fotoplacton) y el crecimiento de los organismos del zooplacton.

Una gran parte de la materia orgánica así producida, constituye sedimentos que se acumulan en el hipolimion y generan reacciones secundarias. Esto concierne la degradación de las materias orgánicas por organismos quimicorganotróficos, la disminución en oxígeno (que no puede renovarse como consecuencia de la estratificación) y, en algunos casos, el consumo total de oxígeno debido a las condiciones anaeróbicas. Esto a su vez, conduce a reacciones químicas tales como el paso del fósforo desde los sedimentos hacia el agua .

Cuando las importaciones de energía se reducen, la estratificación térmica decrece, las masas de agua se vuelven a mezclar por agitación y los elementos inorgánicos liberados en el hipolímio vuelven a la superficie.

Las consecuencias del uso humano son:

1. la importación de materia orgánica e inorgánica por medio de los desechos aumenta el potencial de producción de agua pero reduce su calidad y su potencial de utilización como agua potable.

2. Si el agua se ha almacenado para un uso posterior de la misma como agua potable, debería presentar un porcentaje bajo superficie/volumen, con el fin de reducir la importación de luz por unidad de volumen; que a su vez disminuirá la producción potencial de biomasa. Si al contrario, queremos favorecer la producción de biomasa en las aguas dormidas, esta relación debería ser alta.

3. El almacenamiento del agua de los rios en embalses cambia las condiciones ecológicas de estas aguas mejorando las condiciones de productividad primaria y la reducción correlativa en elementos nutritivos inorgánicos.

9.5 Interacciones en el seno de un sistema con objetivos múltiples y resultados positivos o negativos probables creados por éste

Si consideramos un proyecto típico de objetivos múltiples, como la creación de un embalse en la parte superior de un área de captación, con el fin de almacenar agua para la producción de electricidad y la irrigación en la estación seca.

### 9.5.2 Impactos y resultados de los componentes geográficos físicos

La creación de un lago provoca la inundación de tierras en función de los cambios periódicos de su nivel superficial. Si se extiende la construcción de carreteras, el establecimiento de áreas de captación. Ello lleva consigo una despoblación forestal acompañada de una erosión y un transporte de sedimentos al lago que comenzarán a llenarlo. Los ocupantes de las tierras inundadas deben sin embargo emigrar.

En el área del lago y en el área de irrigación, una lluvia artificial atenua la estación seca y crea efectos secundarios en el clima.

En el río bajo, la presencia de un lago previene las inundaciones.

En la delta del río, se pueden producir un aumento concentración de sal, así como la necesidad de dragar los alrededores de los puertos.

### 9.5.2 Impactos sobre los componentes hidrológicos

En el río bajo, las aguas altas se verán disminuidas y al contrario las aguas bajas ganarán altura. La erosión, la sedimentación y el transporte de sedimentos se modificarán, lo que origina la formación de la delta en la desembocadura del río. El nivel de las aguas subterráneas se verá también influenciado.

### 9.5.3 Impactos sobre los componentes físico-químicos

Un nuevo medio ambiente acuático se crea entre el nuevo lago y los canales de irrigación, caracterizado por una alta energía solar que repercutirá en los componentes biológicos y variará la composición química del agua.

Una gran cantidad de elementos nutritivos para las plantas se eliminarán mediante la sedimentación o la fijación biológica.

Los suelos agrícolas al no inundarse no reciben los elementos fertilizantes por vía natural, sin embargo se fertilizan mediante abonos químicos. Esto podría llegar a una polución de las aguas subterráneas.

#### 9.5.4 Cambios en los componentes biológicos

La producción elevada de biomasa en el lago tiene dos consecuencias. La primera es el favorecimiento de una flora litoral que constituye nuevos "microhabitats" para organismos que podrían ser vectores de enfermedad. La segunda, es la aparición de una producción piscícola elevada capaz de afectar las condiciones socioeconómicas. Los canales de irrigación pueden constituir lugares de diseminación de enfermedades.

#### 9.5.5 Cambios en los componentes socioeconómicos

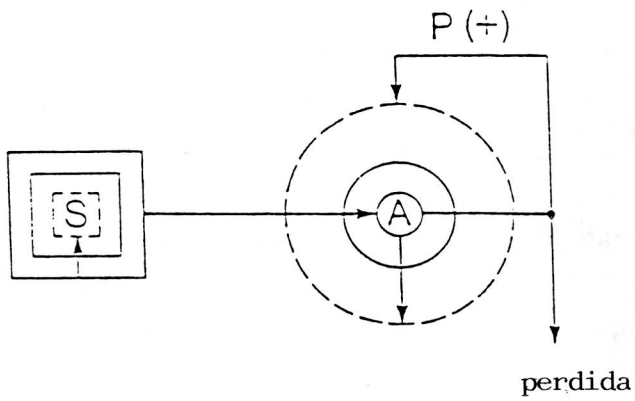
Además de los beneficios socioeconómicos del reparto de la energía y la fuerza, podría ocurrir lo siguiente: Algunos granjeros deberán abandonar sus tierras debido a la inundación, el lago atraera a los pescadores o provocará un cambio en las actividades económicas de los granjeros. Los granjeros del área irrigada cambiarán sus prácticas agrícolas tradicionales.

Para todas estas personas, los cambios podrían ser positivos; en otras palabras, su status económico podría mejorar. Además, gracias a una productividad más alta por individuo esta mejora podría iniciar un arranque de la diversificación de las vocaciones

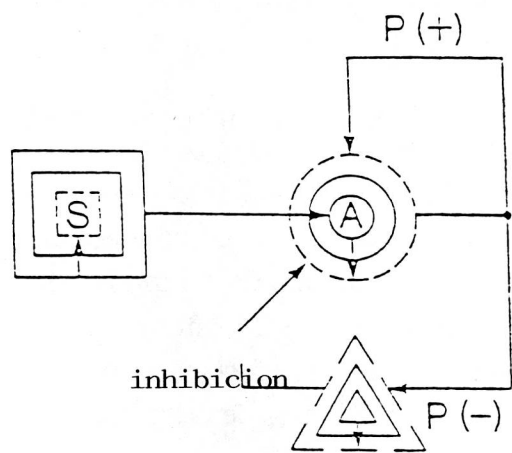
Esto no ocurre automáticamente ya que aunque la introducción de modificaciones técnicas se realice solo en tres años, las prácticas económicas al haber sido una tradición de varias generaciones son difícilmente mutables. El cambio de comportamiento ha de ser estimulado mediante la formación, pero es raro que se realice en menos de media generación.

Los cambios económicos influyen ciertamente en el comportamiento social, al menos en las generaciones jóvenes que se traducen en un aumento de ingresos. En este caso, otra vez, la formación debe intervenir para que este aumento sea utilizado de forma beneficiosa.

#### 9.5.6 Cambios en la nutrición y en la salud



realimentación positiva(I)



realimentación positiva y negativa(II)

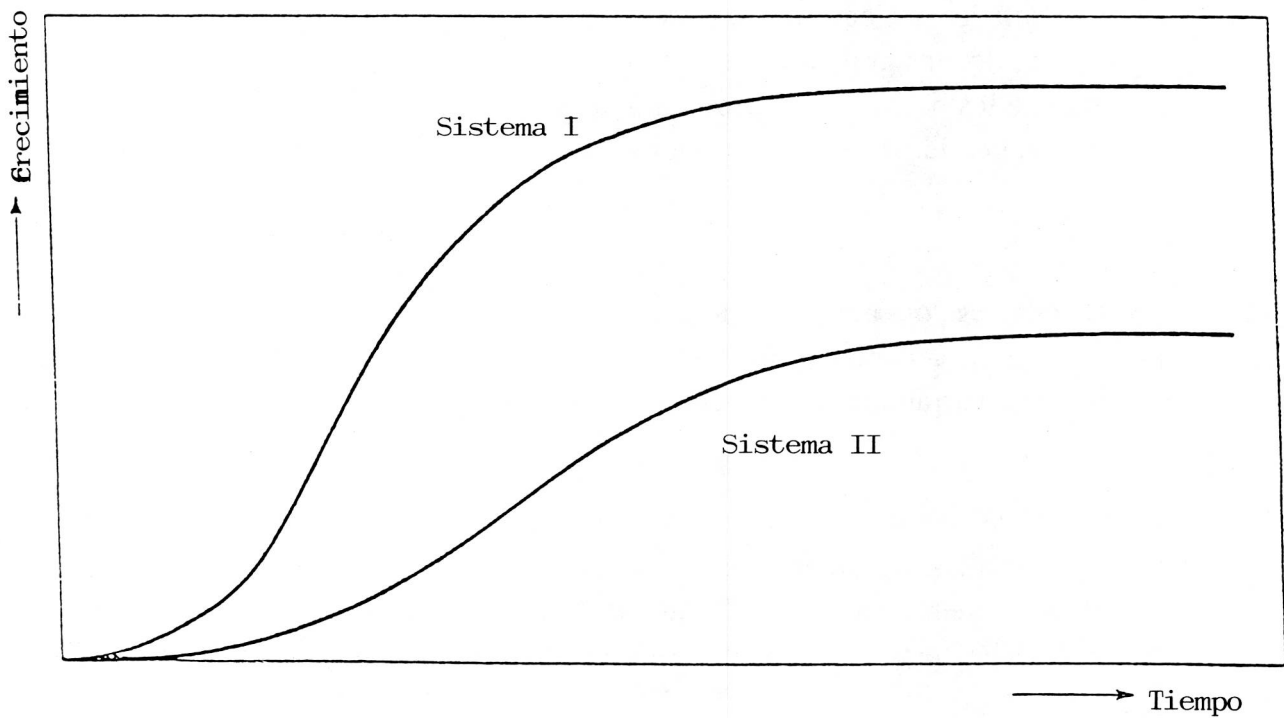


FIGURA E.1: SISTEMAS BIOLÓGICOS CON REALIMENTACION (L. Hartmann)

El aumento de ingresos, en muchos casos, no sirve para mejorar la nutrición y los cuidados sanitarios. Como la población no tiene, en general, que trabajar para construir nuevas instalaciones en estos dos campos considera que esto forma parte de las funciones del gobierno. A menudo los aumentos de ingreso se utilizan para comprar productos de lujo y esto podría cambiarse exclusivamente mediante la educación una toma de conciencia de la población.

#### 9.5.7 Cambios en las situaciones socioculturales

Las instalaciones técnicas de los proyectos se hacen casi siempre

con bienes procedentes del extranjero que por lo tanto corresponden raramente a la filosofía, a la tradición y a las mentalidades de la población local. En casi todos los casos la gestión y los trabajos de ingeniería de estos proyectos perturban los sistemas culturales tradicionales y hasta pueden llegar a destruirlos. La edad de la máquina se integra raramente a culturas antiguas y al culto de los antepasados. La introducción de tales sistemas y sus filosofías implícitas pueden por consiguiente destruir o al menos perturbar, los patrones culturales existentes de muchas formas. Pueden nacer conflictos entre los sexos, entre miembros de un clan o entre grupos de edad (especialmente entre padres e hijos. Estos conflictos subsistirán mientras que las ideas filosóficas del sistema técnico no se integren a las culturas locales. En el caso contrario las culturas unidas a los cambios técnicos se substituirán totalmente por las culturas tradicionales.

Japón ofrece un buen ejemplo de integración y asimilación de un sistema técnico extranjero a una cultura local.

### 10. LISTA Y DESCRIPCION DE INDICES Y STANDARS

#### 10.1 Definición

Los standars se definen como los límites cuantificados e los indicadores. "Cuantificación" significa en este contexto sin restringir a esto, una cantidad o una concentración que puede ser un valor máximo o mínimo permitido. Una respuesta "si" o "no" puede ser también una cuantificación.

Los standars han sido limitados aquí a los componentes medio ambientales. Son ejemplos significativos los standars de agua potable en diversos países, la utilización de aguas de su-

perficie para el aprovisionamiento en agua, standars para la irrigación (limite de su contenido en algunos elementos, concentración total en bacterias o en E. coli). En un contexto diferente los standrs se utilizan en nutrición para fijar el número de calorías por persona y por día, o la toma de vitaminas y de oligoelementos en las diferentes actividades.

Todos estos standars apuntan a ser medidas protectoras para el hombre o para sus fuentes alimentarias (alimento, agua). Algunos standars se han dado solamente para la protección de la naturaleza a largo plazo (La naturaleza a de ser también entendida como un recurso humano). Sin embargo si se considera a corto plazo, los límites han de establecerse para proteger la naturaleza. Pero ya que la naturaleza es un todo compuesto y complejo es necesario establecer los standars para los indicadores seleccionados.

Los párrafos siguientes acentúan una selección de indicadores que desempeñan un papel clave en los sistemas. Una tipología de sistemas acuáticos debe establecerse en estrecha relación con esta práctica. Sabiendo que la utilización de esta tipología

dirigirá para cada sistema los indicadores a utilizar.

## 10.2 Standar de recursos

El termino "recurso" significa que el acento se pone en el uso potencial por el hombre de un sistema o de un componente del mismo. El índice de recurso indica por lo tanto el cambio de potencial de un sistema o de sus componentes.

Los standars en estas condiciones han de establecerse para;

-proteger la vida humana (principalmente la salud);

-proteger la utilización potencial del recurso o de uno de sus componentes.

Finalmente la pregunta se lleva al medio ambiente o a los componentes medio ambientales, tales como los componentes hidrológicos que estan estrecha y estrictamente dirigidos por el hombre. Podemos citar:

-recursos de agua potable y aprovisionamiento de agua industrial

-recursos alimenticios y producción de alimentos

-recursos creadores de energía

-recursos mineros

-recursos para la recreación

### 10.2.1 Standars para el agua y las fuentes de aprovisionamiento en agua

Los standars para las fuentes de aprovisionamiento en agua conciernen por ejemplo:

1. las bases hidrológicas

2. base de la naturaleza química de las aguas

3. la polución potencial debida a las aguas estancadas, desechos industriales o a la atmósfera.

Las fuentes de aprovisionamiento en agua (aguas subterráneas o aguas de superficie) han de ser conformes a las normas de contenido de ciertos productos químicos si el agua ha de utilizarse sin tratamiento. Esto constituye una garantía contra la polución. Esta es la razón por la que existen límites a la concentración residual de contaminantes en las aguas después del tratamiento y antes de ser vertidas en aguas naturales.

Valores standars han sido establecidos en todos los países industrializados. Las aguas tratadas o no, no deberán contener ni parásitos (patógenos e intestinales) ni productos orgánicos degradables o tóxicos; Han de contener concentraciones mínimas en ciertos oligoelementos (fluorina) y no deben sobrepasar los límites de otros elementos. Existen igualmente restricciones para ciertas industrias.

Una polución de agua de irrigación por elementos orgánicos degradable puede aceptarse en función de los suelos y los cultivos a irrigar; han de establecerse límites a fin de reducir los riesgos de toxicidad en la capa superior de los suelos.

### 10.2.2 Standars para las fuentes de aprivisionamiento de alimento

El potencial más alto en la polución de los alimentos en las regiones industrializadas, proviene de la polución de los suelos por los metales pesados como consecuencia de la aplicación de los desechos urbanos (fango del tratamiento del alcantarillado) o de arrojado de productos en las zonas agrícolas (plomo procedente de las autopistas, por ejemplo) pero ciertas normas han sido dadas sobre los límites en la concentración de metales pesados en el fango utilizado en la agricultura. Estos límites han de estar ajustados a unos tipos de suelo específicos y a las condiciones climáticas. Han sido establecidos en la exportación de metales contaminados hacia las aguas subterráneas. Los datos accesibles sobre este fenómeno son limitados.

### 10.2.3 Standars para la calidad del aire

La polución del aire pone en peligro al hombre directa e indirectamente. Un efecto directo de esta contaminación es el ataque a los órganos respiratorios (oxígeno). Los efectos indirectos incluyen la destrucción de los edificios y el ataque de los bosques y cultivos por las lluvias ácidas. En muchos países han sido establecidos valores límites en las dosis de polución.

### 10.3 Standars ecológicos

Los standars ecológicos son escasos ya que todavía es necesario mucho trabajo para la comprensión de los sistemas ecológicos y para la selección de aquellos indicadores significativos para su protección.

Sin embargo se han hecho progresos en la producción de los subsistemas como los ríos, lagos y zonas húmedas, para los cuales unos límites se han evaluado en la entrada de contaminantes orgánicos o inorgánicos o de elementos nutritivos de las plantas, como el fósforo.

Tales progresos no existen en los grandes y complejos sistemas ecológicos. Sin embargo convendría apuntar que el desarrollo de estos standars debería seguir los siguientes criterios:

#### 10.3.1 Cambios en los componentes abióticos

Los cambios no deben exceder un valor dado, determinado por el sistema analizado. Los componentes susceptibles de utilización son:

#### Componentes hidrologicos

-x% del desagüe de superficie. Límites de cantidad y calidad en relación a la demanda del sistema;

-x% del aprovisionamiento en agua subterránea o de la extracción. Por ejemplo los cambios en las pérdidas por infiltración en el caso de arroyos y rios de bajo fondo;

-evaporación anual.

#### Componentes climáticos

-cambio en la temperatura media anual;

-cambio de velocidad y dirección del viento.

#### Componentes físicos

-cambio en el cauce;

-relación entre el agua corriente /agua estancada;

-cambio en la estratificación de la temperatura;

-relación entre profundidad/superficie/viento.

#### Componentes quimicos

-cambio en los componentes de la calidad del agua.

### 10.3.2 Cambios en los componentes bióticos

Los componentes susceptibles de utilización podrían ser:

- organización de las tierras naturales o cultivadas y de los organismos acuáticos;
- estructura de la comunidad animal y vegetal (diversidad o rareza de las especies);
- estructura del encadenamiento alimenticio (la longitud de la cadena alimenticia caracteriza un aspecto funcional del sistema);
- metabolismo del sistema (relación entre la producción de oxígeno/consumo de oxígeno) como expresión del carácter del sistema en su totalidad;
- vulnerabilidad de los ecosistemas (para la protección de un ecosistema ha de haber una armonía entre la resistencia interna y las influencias externas. Esta última puede ser aceptable, inaceptable o nociva);
- los efectos tóxicos de los componentes del sistema (excrementos, sustancias químicas que forman parte del sistema, pueden intoxicarlo si la cantidad se excede de ciertos límites. Es más fácil identificar una toxicidad aguda que los efectos a largo plazo de los elementos subletales.
- saprofitismo (en un ecosistema el saprofitismo inducido natural y/o cultural han de ser medidos y evaluados en función de las necesidades del ecosistema considerado);
- status trófico (los elementos nutritivos orgánicos e inorgánicos regulan la estructura y la producción (primaria) y determina su carácter. Las concentraciones no deben exceder las dosis permitidas para evitar deficiencias o excesos).

Todos los componentes mencionados derivan de la misma idea de base, los cambios más importantes resultan de la transformación de los ecosistemas naturales o de sus aguas, en agrosistemas y en aguas perturbadas, con todos los efectos secundarios que lleva consigo. Por ejemplo, la gran diversidad de especies deja sitio a una diversidad más reducida de especies, cuyos miembros son más numerosos; la desaparición de las especies raras; la diversidad

geomorfológica que lleva a la monotonía; las aguas corrientes que se convierten en aguas estancadas, etc.

Los indicadores y los standars biológicos desempeñan un papel en el desarrollo de un sistema de índices ecológicos. En el caso de la construcción de una presa en un río, el efecto secundario es visible en la fauna piscícola. Este cambio puede ser evaluado mediante la comparación de especies antes y después de la construcción de la presa. La relación R/S entre las especies de agua corriente y las especies de agua estancada (S), constituye un indicador biológico que se puede utilizar para evaluar el valor económico de la fauna piscícola antes y después de la construcción de la presa. La integración de los indicadores biológicos, otros que los peces, son importantes para la puesta a punto de los standars biológicos.

En resumen, los cambios y las presiones antropogénicas en un ecosistema, como por ejemplo la cantidad total de energía importada (combustible, máquinas, abonos, pesticidas, construcciones, etc.) podría ser utilizada como un indicador general, ya que el hombre necesita energía para efectuar cambios en la naturaleza: tierras cultivadas, o para oponerse a sus mecanismos de autoregulación. El análisis de la situación natural de un lugar concreto sirve de testigo para los trabajos de cuantificación y comparación.

Hay que señalar que es necesario saber a que servirán los indicadores y los standars para efectuar un mejor uso. Por ejemplo, si la tierra o el agua van a ser administrados como objetos naturales, los indicadores y standars utilizados serán diferentes de aquellos de la agricultura. Cada tipo de ambiente merece su standar.

#### 10.4 Standars sociales, económicos y sociales (relacionados con los índices)

Los esfuerzos humanos tienden a mejorar la situación cultural, económica y social de las poblaciones.

En consecuencia todos los cambios inducidos por el hombre han de ser medidos y cuantificados en función de esta meta, tomando en cuenta el factor "tiempo". Los beneficios obtenidos no solo repercutirán en las generaciones actuales sino que también sobre las generaciones futuras.

Algunos de los indicadores presentados en el punto 9 pueden ser utilizados como índices de éxito o fracaso. Otra vez, será necesario su reajuste a las condiciones locales. Sin embargo se pueden encontrar algunos índices de aplicación mundial independientes de toda condición

ambiental. Se pueden reagrupar en tres categorías de segundo orden que a su vez pueden integrarse ulteriormente a un pequeño número de índices de primer orden.

Los índices de segundo orden son:

#### 10.4.1 Índices de salud y nutrición

1. facilidades y medios médicos (por ejemplo número de doctores por individuo)
2. presencia o ausencia de ciertas enfermedades
3. mortalidad infantil
4. componentes de la nutrición; índices ajustados a las condiciones de vida para proporcionar proteínas, las deficiencias en vitaminas y la relación entre absorción total/necesidad de calorías
5. standars locales de condiciones de habitación

#### 10.4.2 Índices económicos

1. aprovisionamiento de energía
2. propiedad de las tierras
3. PNB total y PNB por persona o por unidad de tierra
4. relación PNB agrícola/PNB industrial
5. facilidades de transporte (por ejemplo km de carretera por km de tierra)

#### 10.4.3 Índices socio culturales

1. analfabetización

2. diversificación de enseñanza superior

#### 10.4.4 Integración de índices

Los componentes ambientales y sus efectos de fondo en las situaciones descritas por los índices pueden integrarse en dos índices de primer orden:

1. indicador Harvard (o cualquier otro índice destinado a describir el estado nutritivo o de salud de los niños)

2. esperanza media de vida

Si el impacto del hombre sobre un ambiente dado es positivo esto se ve reflejado en la esperanza media de vida de la generación actual, y el estado de nutrición y de salud en los niños en edad preescolar nos lo revelará para las generaciones futuras.

#### 10.4.5 Índices culturales

No existen estándares de valor general que puedan recomendar o establecer componentes puramente culturales. Si la gestión es positiva, tanto para el medio ambiente como para los componentes mencionados, se desarrolla un buen sistema cultural, fundado en la historia local e incorporando aspectos étnicos. La cultura, con todas sus facetas, colores y riqueza, es el resultado final (aunque físicamente inmensurable) de todas las interferencias entre el hombre y la naturaleza. Si el mundo es un abanico de culturas, esto indica que el hombre se ha acercado a las diferentes situaciones naturales optimamente. El significado real de la cultura, constituye la expresión final del éxito de la integración del hombre y de su medio ambiente.

### DATOS SOCIOECONOMICOS

Este apéndice resume datos, tomados del Anuario de las Naciones Unidas 1983, y describe la relación entre las perturbaciones ecológicas y su transformación en valores socioeconómicos.

#### Fundamentos

Los impactos económicos van dirigidos primordialmente de los hombres a la naturaleza. La economía, en su nivel más bajo, significa perseguir y reunir lo que la naturaleza da con abundancia, junto con la completa integración de los hombres y la propia naturaleza. La agricultura primitiva, como etapa siguiente, utiliza el arado para aumentar el rendimiento y asegurar un suministro de alimento más fiable. Incluso en este bajo nivel, el hombre "perturba" los sistemas naturales mediante la aplicación de energía. La aplicación continua, aun de pequeñas cantidades de energía al mismo sistema natural, provoca cambios en el material natural y en el flujo de energía de los sistemas biológicos en beneficio del hombre. A medida que las técnicas de aplicación de la energía se perfeccionan y la cantidad de energía aplicada aumenta, el desequilibrio de la naturaleza también aumenta. Las condiciones de equilibrio estable existen solo en relación con la duración y cantidad de energía importada por el hombre. Como los frutos del trabajo humano pueden expresarse en términos económicos por el valor total de su producción, el PNB de un país es la mejor medida de este fenómeno. La figura 3.1 muestra la correlación existente entre el PNB y el consumo de energía para la mayoría de los países del mundo que disponen de tales datos.

Mientras se de una correlación positiva, los datos están muy dispersados, revelando diferencias en la eficacia de las economías de los diversos países. Interesa, con todo, señalar que este fenómeno es válido no solo para los países en vía de desarrollo, sino también para los países occidentales altamente industrializados. Algunos factores que influyen en la eficacia son: el grado de modernización de las instalaciones industriales (países industrializados), las distancias entre los puntos de producción y consumo y las condiciones de transporte (países en vía de desarrollo). La estabilidad política, la integridad social y la efectividad de la administración desempeñan un papel clave. Se podría considerar el PNB no como un valor en sí, como medio para alcanzar una meta ulterior. Una medida de la integral de estos objetivos ulteriores tales como la sanidad, la alimentación, el bienestar personal, etc. es la esperanza media de vida de un recién nacido. Si el "consumo de energía" se coteja con el promedio de vida, se observa también una correlación positiva en la figura 3.2. En este caso, no obstante, las diferencias entre los países son mayores (figura 3.2). Supera los límites de

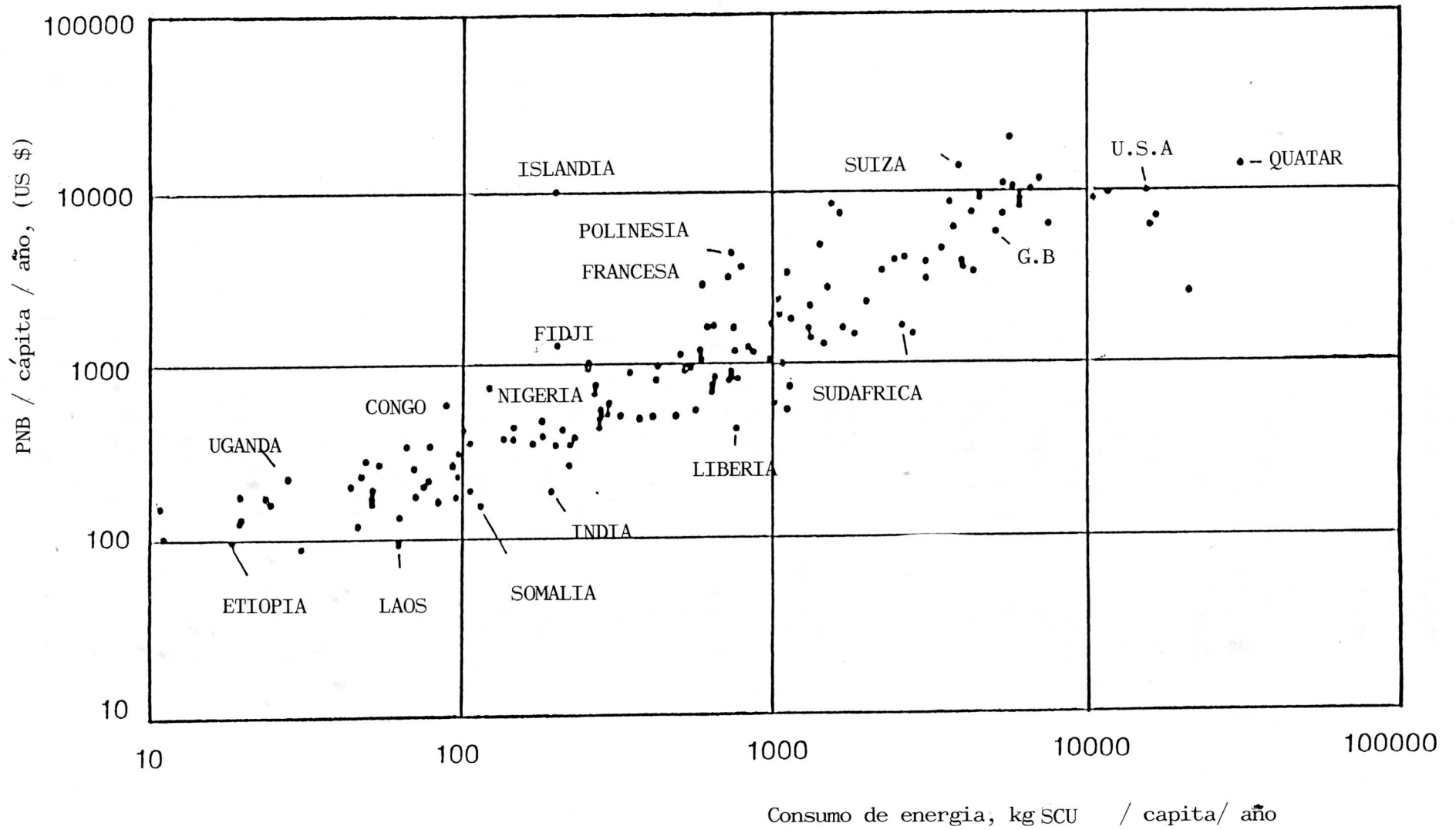


FIGURA 3.1 CONSUMO DE ENERGIA ( Hartmann )

este proyecto analizar las razones de estas diferencias. Será tarea de los sociólogos de cada país analizar la laguna entre el consumo de energía y su meta final, que se define como la esperanza de vida correspondiente al potencial biológico actual.

Es importante hacer notar que se puede crear una infraestructura económica y social capaz de garantizar una esperanza media de vida de unos 70 años con un consumo de energía de aproximadamente entre 1000 y 1200 kg de unidades anuales de carbon de piedra (SCU) per cápita al año.

Hay que mencionar dos relaciones más a este respecto. La primera es la relación entre el PNB y el tipo de economía (figura 3.3) que indica que los países orientados hacia la agricultura no pueden garantizar un PNB de 1000\$ per cápita al año. La segunda es el rendimiento del PNB por unidad de energía consumida (figura 3.4) muestra una correlación negativa con el consumo total de energía. El gráfico también refleja las diferencias entre los países, similares a los de la figura 3.2.

## 2.2 Datos universales

Las figuras 3.5 a 3.8 muestran, respecto a algunos indicadores socioeconómicos, las posiciones de cada uno de los países enumerados en el cuadro 3.1. Examinando a fondo las estadísticas comprobaremos que la relación entre las condiciones sociales y económicas es muy estrecha, y está especialmente basada en la cantidad de energía disponible y consumida. Con pocas excepciones (que podrían analizarse fácilmente) las columnas en las que figura cada país cambian, solo ligeramente, según diversos criterios.

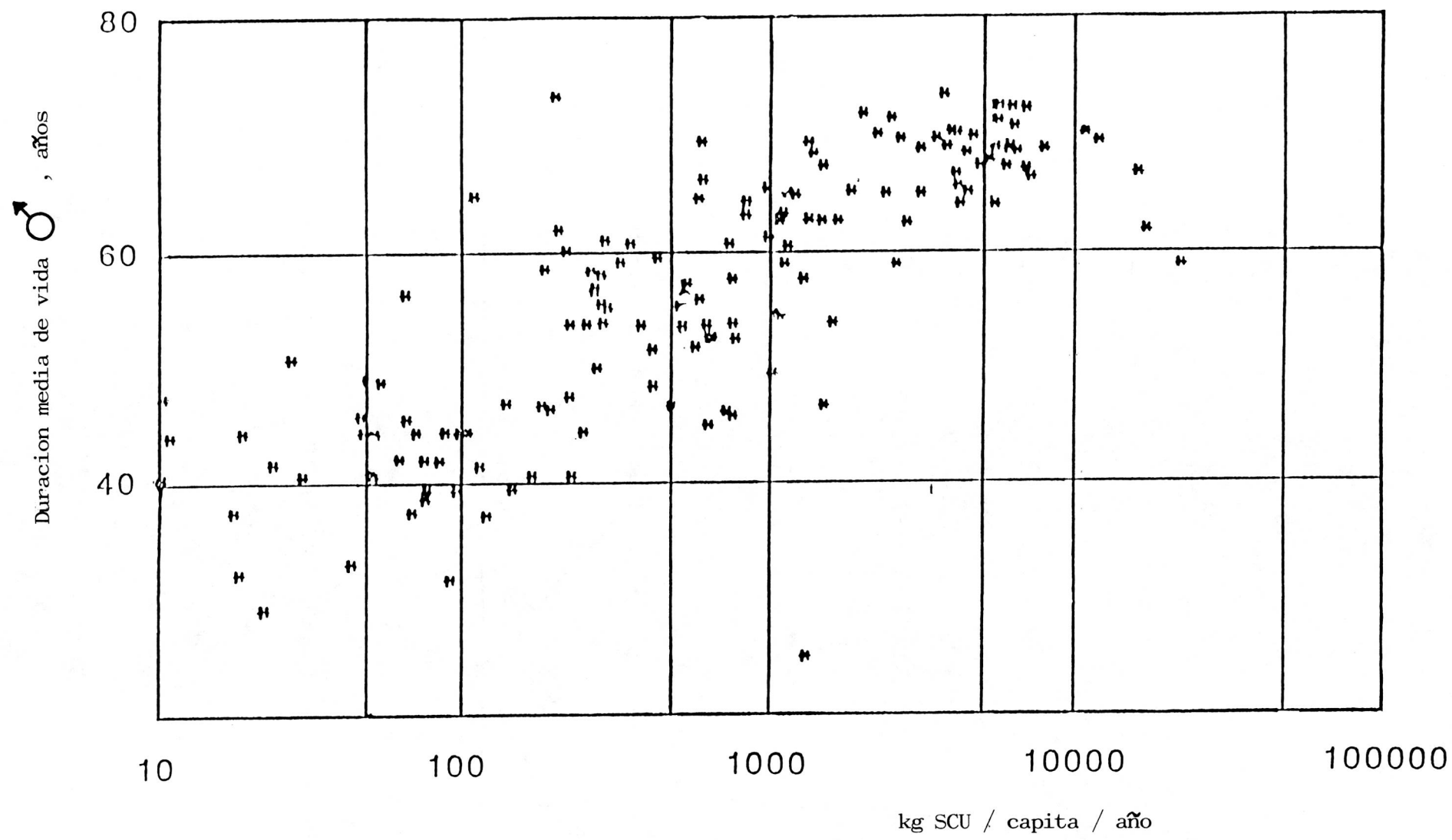


FIGURA 3.2 DURACION DE VIDA (hombre) vs. CONSUMO DE ENERGIA ( Hartmann )

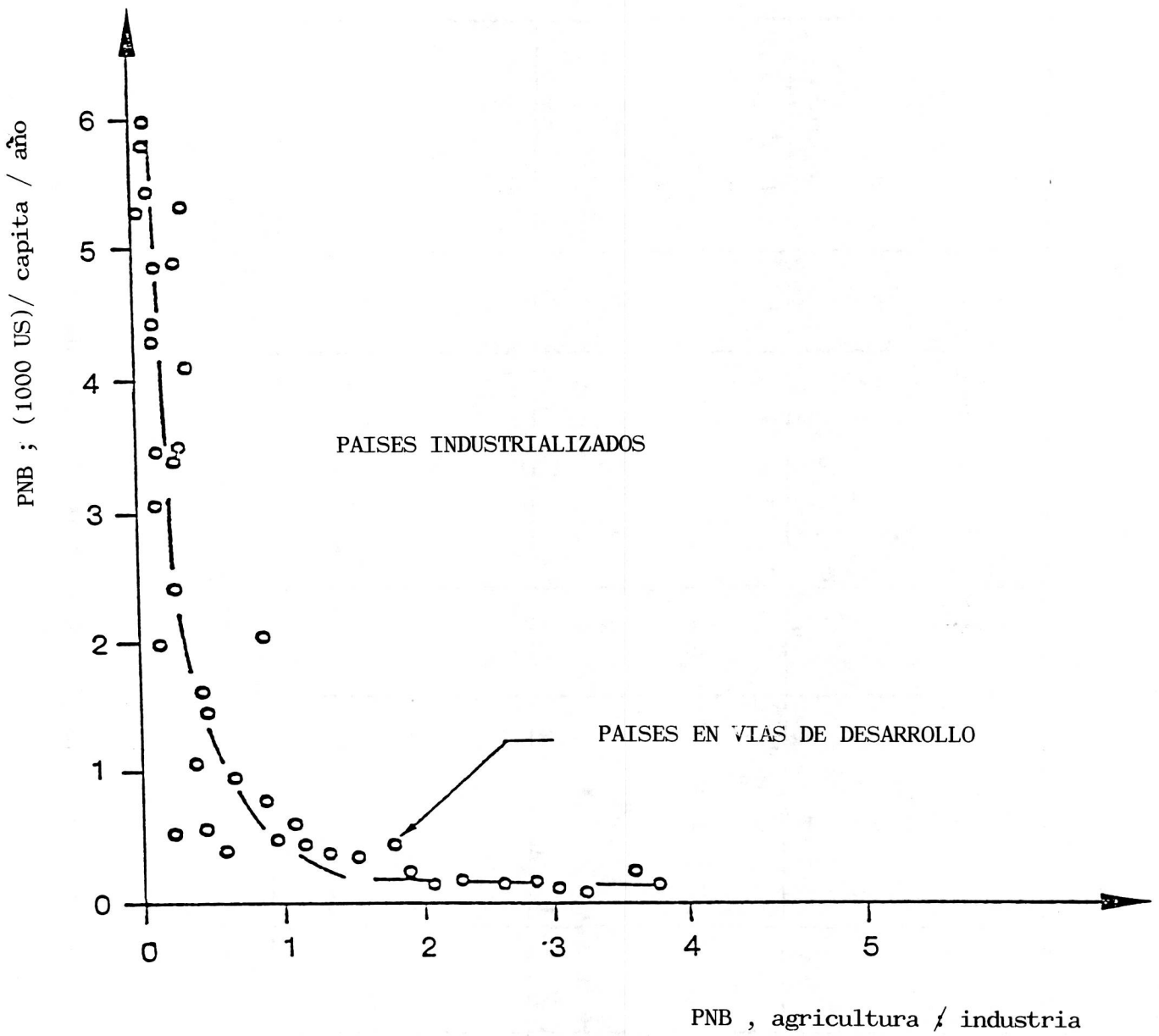


FIGURA 3.3 RELACION ENTRE EL PNB Y EL GRADO DE INDUSTRIALIZACION

(Hartmann)

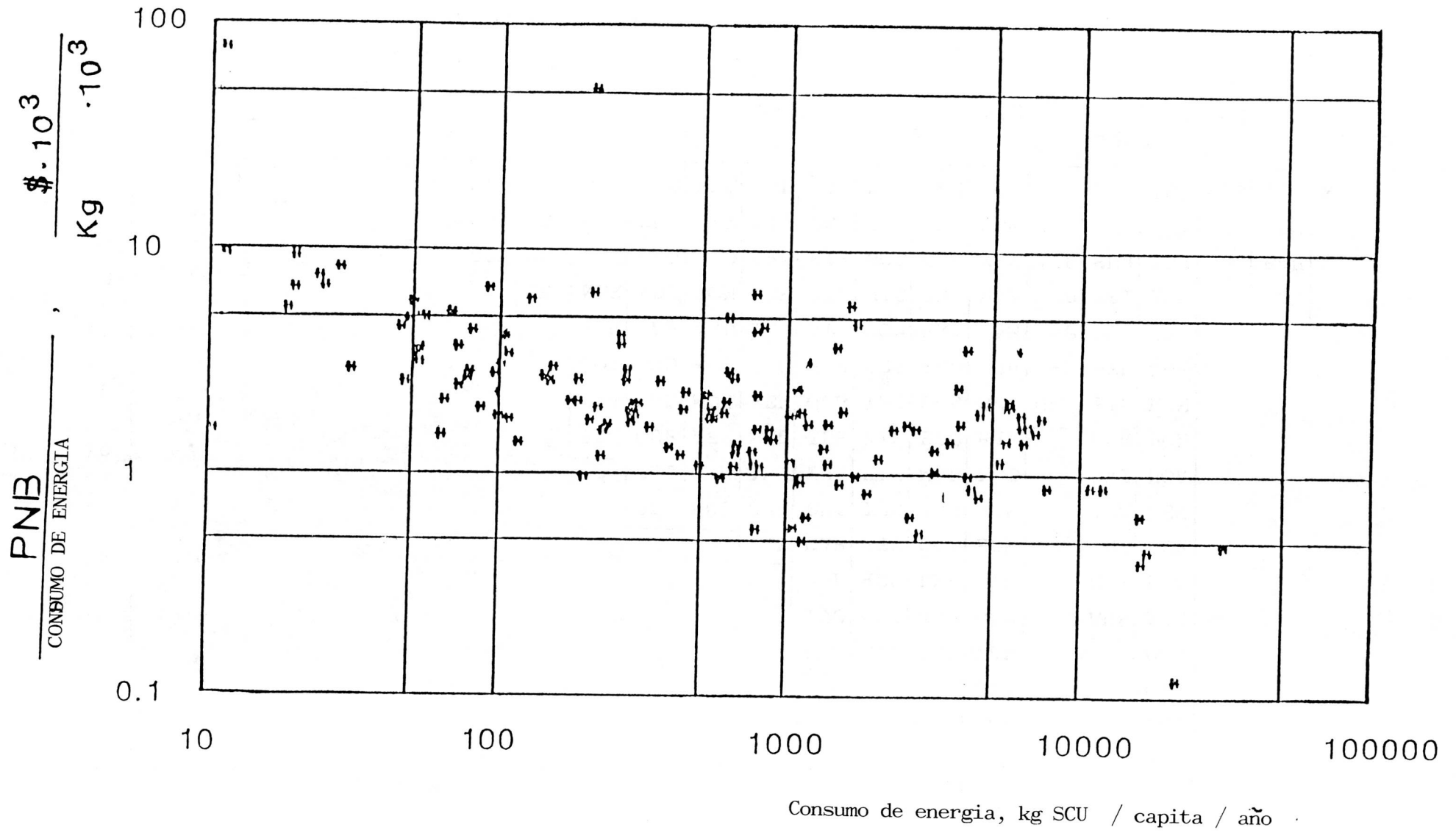
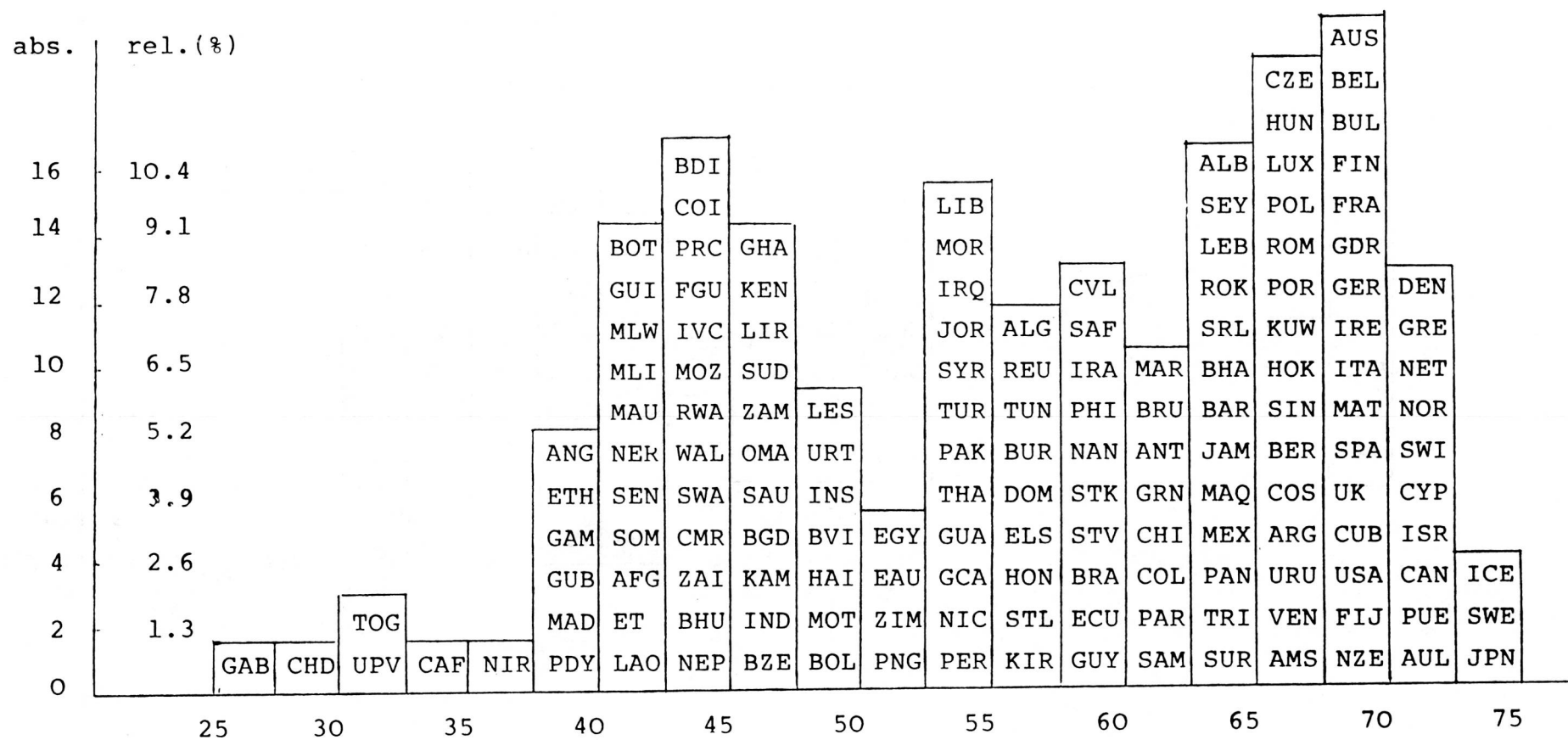


FIGURA 3.4 PRODUCCION RELATIVA vs. CONSUMO DE ENERGIA (Hartmann)





## Frecuencia



Frecuencia

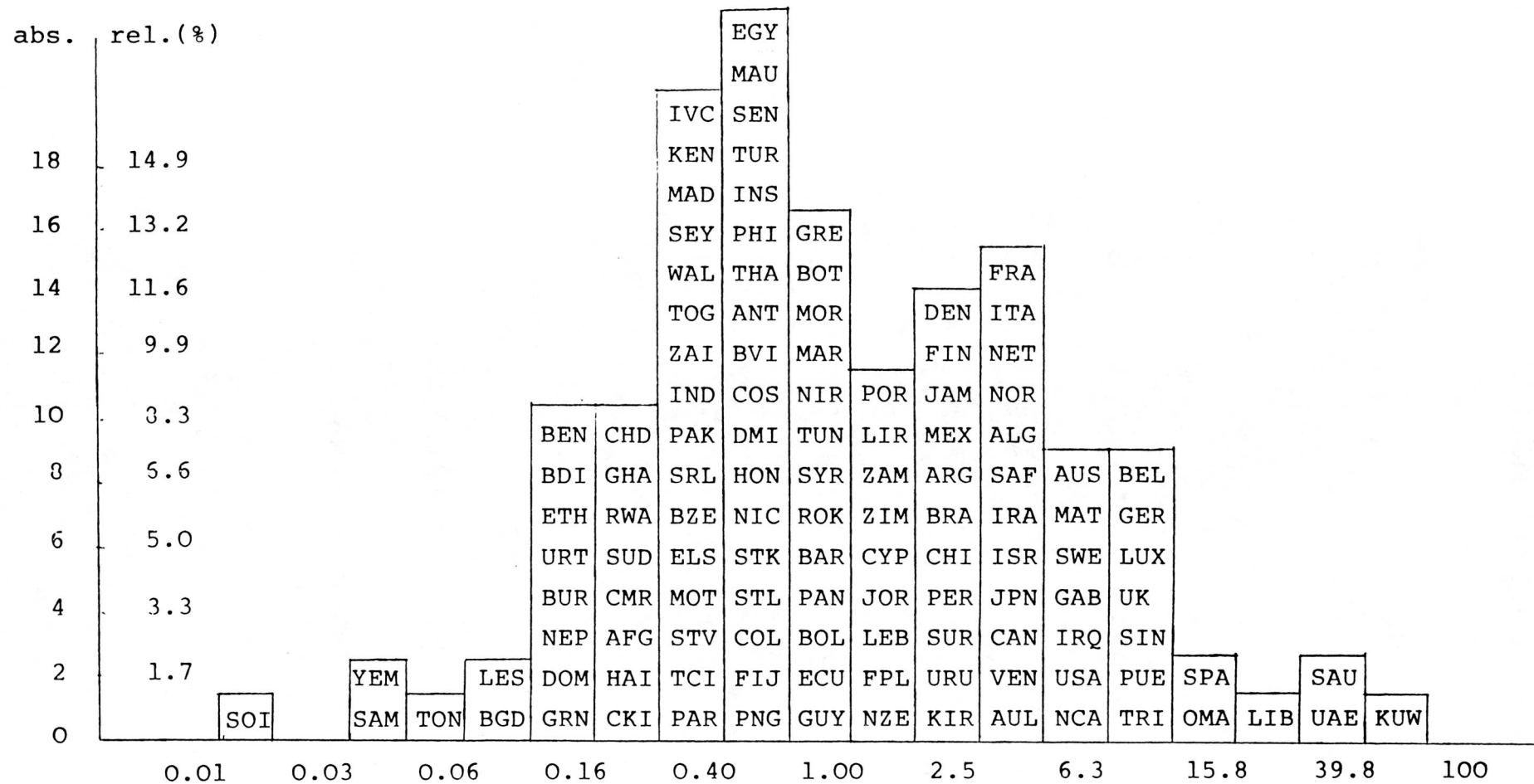


FIGURA 3.8 PNB INDUSTRIA / PNB AGRICULTURA (Hartmann)

Cuadro 3.1 ABREVIATURAS Y SIGLAS DE PAISES Y TERRITORIOS UTILIZADAS  
CON FINES GEOGRAFICOS EN LAS FIGURAS

EUROPA

ALB ALBANIA

AND ANDORRA

AUS AUSTRIA

BEL BELGICA

BUL BULGARIA

CZE CHECOSLOVAQUIA

DEN DINAMARCA

FIN FINLANDIA

FRA FRANCIA

GDR REPUBLICA DEMOCRATICA ALEMANA

GER REPUBLICA FEDERAL ALEMANA

GRE GRECIA

HUN HUNGRIA

ICE ISLANDIA

IRE IRLANDA

ITA ITALIA

LUX LUXEMBURGO

MAT MALTA

NET PAISES BAJOS

NOT NORUEGA

POL POLONIA

POR PORTUGAL

ROM RUMANIA

SWE SUECIA

SWI SUIZA

UK REINO UNIDO

USR UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

YUG YUGOSLAVIA

AMERICA DEL SUR

ARG ARGENTINA

BOL BOLIVIA

BRA BRASIL

CHI CHILE

COL COLOMBIA

ECU ECUADOR

FGU GUAYANA FRANCESA

PAR PARAGUAY

PER PERU

SUR SURINAME

URU URUGUAY

VEN VENEZUELA

AMERICA DEL NORTE

ANT ANTIGUA Y BARBUDA

BAR BARBADOS

BHA BAHAMAS

BZE BELIZE

CAN CANADA

DMI DOMINICA

DOM REPUBLICA DOMINICANA

ELS EL SALVADOR

GRN GRANADA

HAI HAITI

HON HONDURAS

JAM JAMAICA

MEX MEJICO

MOT MONSERRAT

NAN ANTILLAS HOLANDESAS

NIC NICARAGUA

PAN PANAMA

PUE PUERTO RICO

ATK SAN CHRISTOPHER Y NEVIS

STL SANTA LUCIA

TCI ISLAS TURKS YCAICOS

TRI TRINIDAD Y TOBAGO

USA ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

AFRICA

ALG ALGERIA

ANG ANGOLA

BDI BURUNDI

BOT BOTSAWA

CAF REPUBLICA CENTROAFRICANA

CHA CHAD

CMR CAMERUN

COI COMORES

CVL CABO VERDE

DIJ DJIBOUTI

EGY EGIPTO

ETH ETIOPIA

GAB GABON

GAM GAMBIA

GHA GHANA

GUI GUINEA

IVC COSTA DE MARFIL

KEN KENIA

LIB LIBIA

LIR LIBERIA

LES LESOTO

MAD MADAGASCAR

MAR MAURICIO

MLW MALAWI

MOR MARRUECOS

MOZ MOZAMBIQUE

NAM NAMIBIA

NER NIGERIA

PRC CONGO

REU REUNION

RWA RUANDA

SAF SUDAFRICA

SEN SENEGAL

SEY SEYCHELLES

SOM SOMALIA

SUD SUDAN

SWA SWAZILAND

TOG TOGO

TUN TUNEZ

UPA BURKINA FASO

URT REPUBLICA DE TANZANIA

WAL SIERRA LEONA

ZAM ZAMBIA

ZAI ZAIRE

ZIM ZINBABWE

AUSTRALIA / OCEANIA

AUL AUSTRALIA

CKI ISLAS COOK

FIJ FIJI

FPL POLINESIA FRANCESA

KIR KIRIBATI

NCA NUEVA CALEDONIA

NZE NUEVA ZELANDA

PNG PAPUA NUEVA GUINEA

SAM SAMOA

SOI ISLAS SALOMON

TON TONGA

TTP TERRITORIO ISLAS DEL PACIFICO

ASIA

AFG AFGANISTAN

BGD BANGLADESH

BHU BUTANIA

BAH BAHRAIN

BRU BRUNEI

BUR BURMA

CVP CHIPRE

ET TIMOE ESTE

HOK HONG KONG

IND INDIA

INS INDONESIA

IRA IRAN

IRQ IRAQ

ISR ISRAEL

JOR JORDANIA

JPN JAPON

KAM KAMPUCHEA DEMOCRATICA

KOR REPUBLICA DEMOCRATICA DE COREA

KUW KUWAIT

LAO REPUBLICA DEMOCRATICA POPULAR DE LAOS

LEB LIBANO

MAC MACAO

MDV MALDIVAS

MAL MALASIA

NEP NEPAL

OMA OMAN

PAK PAKISTAN

PPV YEMEN

PHI FILIPINAS

QAT QATAR

ROK REPUBLICA DE COREA

SAU ARABIA SAUDI

SIN SINGAPUR

SRL SRI LANCA

STP SAO TOME Y PRINCIPE

SYR SIRIA (Rep. Arab)

THA THAILANDIA

TJ CHINA

TUR TURQUIA

UAE EMIRATOS ARABES

VIE VIETNAM

YEM YEMEN (Rep. Arab.)