

*Instituto Nacional de Ecología*

*Libros INE*

---

**CLASIFICACION**

AE 004307

**LIBRO**

Lineamientos y criterios para la  
selección y desarrollo de índices e  
indicadores ambientales

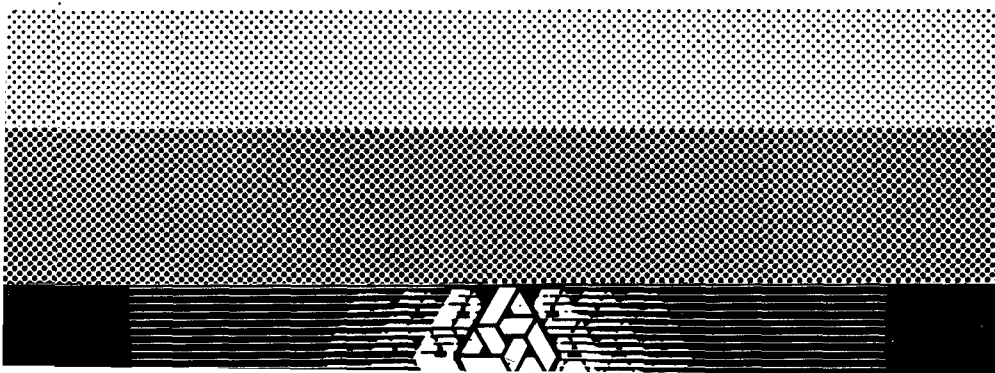
**TOMO**



AE 004307

lineamientos y criterios  
para la selección y  
desarrollo de índices e  
indicadores  
ambientales

serie: ordenamiento ambiental no. 2



**DIRECTORIO**

**VICTOR MANUEL CAMACHO SOLIS**  
Secretario de Desarrollo Urbano y Ecología

**GABINO FRAGA MOURET**  
Subsecretario de Vivienda

**ROBERTO EIBENSCHUTZ HARTMAN**  
Subsecretario de Desarrollo Urbano

**ALICIA BARCENA IBARRA**  
Subsecretaria de Ecología

**EDUARDO GONZALEZ GONZALEZ**  
Oficial Mayor

**JORGE ENRIQUE ZAMBRANO VILLA**  
Coordinador General de Delegaciones

lineamientos y criterios  
para la selección y  
desarrollo de índices e  
indicadores  
ambientales

## **INDICE**

INTRODUCCION.	<b>3</b>
1. ASPECTOS GENERALES DE LOS INDICES AMBIENTALES.	<b>4</b>
2. CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE INDICES.	<b>5</b>
3. INDICES AMBIENTALES.	<b>7</b>
4. ESTRUCTURA DE LOS INDICES.	<b>10</b>
5. EL MANEJO DE INDICES EN LA SUBSECRETARIA DE ECOLOGIA.	<b>16</b>
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	<b>19</b>

## INTRODUCCION.

En la actualidad, las Direcciones Generales que constituyen la Subsecretaría de Ecología (SSE) generan información ambiental en forma particular, ajustándose a sus presupuestos y recursos. Ello ha ocasionado problemas al tratar de integrar información, con el propósito de evaluar la problemática ambiental de una región o del país, ya que dicha información esta disponible bajo políticas de informática individuales— en cuanto a cobertura, temática y periodicidad— lo que la hace heterogénea y difícil de integrar. (Esto sin considerar la información básica, elaborada por otras instituciones o dependencias, utilizada durante los procesos de evaluación de cada dirección o área administrativa).

Por tal motivo, es necesario implantar en la Subsecretaría de Ecología un sistema único, que permita homogeneizar y normar— en forma paulatina y de acuerdo con la disponibilidad de recursos materiales y humanos— la información utilizada por la SSE, además de tomar en cuenta los objetivos y necesidades que en particular demanden cada una de las Direcciones Generales.

Para generar la información que permita reforzar la calidad ambiental de las regiones ecológicas, se deberá considerar que, una mayor eficiencia en el manejo de información, facilitará la toma de decisiones y fomentará una mejor comunicación de la problemática ambiental, con las personas interesadas en la evolución y análisis de ésta.

El Sistema de Información Ecológica (SIE) fue creado con el propósito de desarrollar las herramientas necesarias para resolver los problemas relacionados con la generación e integración de información de la SSE. Por tal motivo se creará, a partir de la teoría de sistemas, una metodología de trabajo para la captura, selección, organización, normalización, procesado y análisis de los datos, cuyos resultados, deberán satisfacer las necesidades de presentación final de la información.

Dentro del esquema que proporciona la teoría de sistemas, existen antecedentes de la utilización de índices ambientales como un método de manejo, análisis e integración de datos medidos de calidad ambiental. Dicho método proporciona algunas de las herramientas necesarias para lograr un adecuado funcionamiento del SIE por lo que se ha considerado su inclusión dentro de la política de información de la SSE.

Por ello, en este trabajo se presentan, además de los conceptos relacionados con el desarrollo y uso de los índices ambientales, algunos aspectos sobre los requerimientos de uso de los mismos.

Estos requerimientos ayudarán a definir las políticas de selección y normalización de los indicadores de la calidad ambiental, con los que se creará el banco de datos del SIE.

Además, se incluirán proposiciones sobre la manera en que las direcciones generales estarán involucradas en la obtención de los índices ambientales que, siendo implementados previamente en sus sistemas de información particulares, alimentarán al Sistema de Información Ecológica.

## **1. ASPECTOS GENERALES DE LOS INDICES AMBIENTALES**

El desarrollo de índices ambientales estuvo originalmente motivado por la necesidad de contar con un método, para manejar y presentar en forma integrada los datos monitoreados sobre la calidad del ambiente y para facilitar su uso e interpretación.

Del mismo modo, los índices ambientales cumplen con funciones específicas, resultado de su labor integradora, lo que contribuye a:

- Reducir considerablemente los volúmenes de datos presentados a los usuarios sobre un problema específico o global.
- Permitir una interpretación integral de los problemas ambientales, que resulta básica, para comprender el comportamiento del sistema ecológico y de sus variables.
- Simplificar la presentación de la información de la calidad y evolución de la problemática ambiental, para facilitar su interpretación a las personas y grupos de la población interesados en conocerla, per que no realizan un análisis exhaustivo de los datos medidos.
- Posibilitar el seguimiento de la evaluación a lo largo del tiempo de los problemas y sus tendencias, utilizando los resultados de la aplicación de índices.
- Realizar análisis ambientales, ya sean estos de un elemento específico del medio (agua, aire, etc.) o de varios elementos en conjunto (como los análisis regionales).
- Generar información que apoye las actividades de investigación y de planeación en el campo ambiental.

Para hacer la selección de índices ambientales es necesario considerar previamente tres aspectos.

1. Los objetivos que se persiguen en cuanto a los resultados que se esperan obtener de los mismos, ya que éstos dependen del uso que se dará al índice. Dentro de estos usos se encuentran los siguientes:
  - facilitar la toma de decisiones
  - apoyar proyectos de investigación
  - formar parte de análisis ambientales
  - hacer diagnósticos ambientales
  - dar seguimiento a un problema local; bajo condiciones particulares del lugar donde sucede
  - informar al público en general
2. La posibilidad de adecuar a los índices ya existentes, desarrollados para condiciones y lugares particulares, y que pueden ser extrapolables a otras regiones.

Para definir la viabilidad de la adecuación, es necesario conocer el método de creación del índice, para evitar una selección indiscriminada de índices, de los que se obtengan resultados erróneos.

3. Las necesidades que tienen los índices ambientales para ser desarrollados adecuadamente. Se traducen en definir una estructura eficiente, que genere información ambiental básica, seleccionada y organiza a partir de la definición de índices regionales.

Para incluir adecuadamente a los índices ambientales en el Sistema de Información Ecológica, se requerirá contar con una metodología de trabajo, que integre a las funciones fundamentales de los índices.

Esto quiere decir que para poder eficientizar el uso y aplicación de los índices, se requerirá de una labor conjunta de las áreas involucradas en la generación de la información, para que éstas se sistematicen y programen, adecuadamente, las necesidades de información, de acuerdo a la utilidad práctica de la colectividad y en función de los índices.

## **2. CONCEPTOS RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE ÍNDICES**

Antes de tratar lo referente a los tipos de índices y sus estructuras, es necesario mencionar algunos aspectos sobre los términos que se utilizan en dichos temas. Estos comentarios están motivados por la aparente confusión que existe en el uso de términos como indicador, variable, parámetro, etc.,. La causa de este fenómeno es el uso que han hecho profesionales de distinta formación académica, de los términos mencionados, al aplicarlos a los aspectos particulares con que trabajan, forzando en ocasiones los significados de los conceptos.

Por ello y para evitar confusiones posteriores, es necesario que se adopte una definición de dichos términos, que se ajuste del mejor modo a los propósitos de la Subsecretaría de Ecología y permita: usar los conceptos de manera homogénea, aplicadas a los diferentes temas manejados por esta dependencia; denominar con un sólo término, los elementos que tienen una misma función dentro de la estructura de los índices; y facilitar la integración y manejo de la información generada por las distintas unidades administrativas de la Subsecretaría de Ecología.

Para llevar a cabo lo anterior, se consideró en primera instancia, el enfoque de sistemas, para conceptualizar los términos utilizados en el manejo de índices.

Este enfoque permite visualizar elementos que constituyen el ambiente y comprender sus interacciones y procesos, para obtener una imagen global del funcionamiento del sistema ecológico.

Debido a que los índices ambientales integran información que proporciona un conocimiento sobre el sistema ecológico, el método más adecuado para ordenar y definir los conceptos es la teoría de sistemas.

A continuación se proponen algunas definiciones que surgieron de lo antes expuesto:

**Sistema ecológico.** Conjunto de elementos del medio físico y social, que interactúan entre sí y que conforman un todo sinérgico, que cumple un objetivo específico.

**Variable ambiental.** Es un elemento natural o inducido del sistema ecológico. Las variables ecológicas son todos aquellos elementos que conforman el sistema y que resultan relevantes para su funcionamiento global. Entre las variables naturales podemos citar elementos como el agua, el aire, el suelo, la flora silvestre, etc; entre las inducidas, todas aquellas actividades humanas que pasan a formar parte del sistema regional, como la agricultura, la industria, la ganadería, los asentamientos humanos, etc.



**Interacciones.** Son las relaciones que se establecen entre las variables ambientales. Este término se refiere a toda forma de influencia de un elemento del sistema sobre otro. Por ejemplo, la influencia de la actividad agrícola sobre las características de los suelos representa una forma de interacción entre las variables agricultura y suelo. A la inversa, existe una influencia de las características del suelo sobre el tipo de práctica agrícola que puede realizarse; es decir, que las interacciones entre variables ambientales suceden generalmente en ambos sentidos. Sin embargo, es importante distinguir cuáles de las posibles interacciones son más relevantes para el sistema, desde el punto de vista del análisis que se esté realizando, en este caso, el ecológico.

**Proceso.** Son los cambios que ocurren en el tiempo, a los elementos del sistema — variables ambientales e interacciones—, y al sistema mismo.

**Problema ambiental.** Es un proceso de deterioro que afecta a uno o más elementos del sistema.

Una variable ambiental puede sufrir deterioro, por cambios ocurridos en sí misma o por alteraciones en la forma en que otras variables interactúan con ella. Por ejemplo, la agricultura puede verse afectada por el uso inadecuado de un herbicida o sufrir los efectos de la contaminación del agua con origen industrial.

**Indicador.** Es una propiedad de una variable ambiental, que nos permite identificar un proceso o cambio en la variable misma y/o en el sistema.

Los procesos que nos interesa conocer principalmente, son los problemas ambientales, por lo que el uso de indicadores es indispensable, como medio de identificación de la problemática ambiental de una región. Por ejemplo, podemos percatarnos de un problema de contaminación del agua, conociendo sus características físico-químicas y biológicas, las cuales serían los indicadores del problema. Aun más, podemos percatarnos de la existencia de un proceso de desertización por indicadores relacionados con las características del suelo, de la cubierta vegetal, etc.

Como puede observarse, los problemas ambientales son procesos de deterioro que suceden a lo largo del tiempo, y su identificación requiere de diagnósticos que consideren las características de las variables ambientales en distintas épocas, es decir, de un seguimiento cronológico de los indicadores.

**Parámetro.** Es una cantidad medida o ponderada sobre un indicador ambiental.

Los indicadores ambientales pueden ser medidos por medio de parámetros de muy diversa índole. Algunas veces la medición es cuantitativa, como pueden ser la carga de materia orgánica del agua con su parámetro: la DBO en mg/l; y la presencia de partículas en la atmósfera, cuyo parámetro es las partículas suspendidas totales (PST en  $\mu\text{mg}/\text{m}^3$ ).

En otros casos, los indicadores no tienen un parámetro cuantificable, sino que se determinan por medios cualitativos, como en el caso de la asignación de un valor de fragilidad a un ecosistema.

**Norma,** es un dato numérico adoptado para utilizarse como marco de referencia, con el cual se comparan las mediciones ambientales con el propósito de interpretarlas.

Muchos parámetros no pueden ser comparados con una norma, principalmente en los casos en que no existen niveles óptimos de calidad para los mismos. Por ello, su interpretación tiene que realizarse por otros medios, como la comparación con condiciones de calidad en épocas anteriores.

**Índice Ambiental.** Es un número simple, derivado de la combinación de dos o más indicadores, que se utiliza como herramienta de apoyo en la evaluación y seguimientos de los problemas ambientales.

**Modelo.** Es una representación de la realidad que sirve como instrumento para el análisis integral de las variables de un sistema, así como de sus interacciones y procesos.

Sobre estos dos últimos conceptos se abundará en los capítulos siguientes.

### 3. INDICES AMBIENTALES

Se pueden distinguir dos tipos principales de índices ambientales de acuerdo con la forma de utilizarlos:

- Índices temáticos
- Índices conceptuales o modelos de análisis.

Índices temáticos

Los índices temáticos evalúan un solo aspecto del medio, al integrar diferentes datos relacionados con la calidad de una variable o con la magnitud de un problema ambiental.

Los índices de calidad de una variable, combinan los indicadores particulares de la misma y comparan el resultado con una escala creciente en la que la calidad aumenta conforme el valor del índice es mayor (por ejemplo un índice de calidad del agua con escala de 1 a 100, donde 100 representa el valor máximo de calidad).

Los índices de magnitud de un problema, combinan indicadores de diferentes variables, que son representativos del problema y comparan el resultado con una escala decreciente de deterioro en la que la calidad aumenta conforme el valor del índice es menos. (por ejm. un índice de erosión con escala de 1 a 100 donde 0 es el valor de máxima calidad ambiental pues representa la inexistencia del problema).

La mayor parte de los índices existentes de calidad de agua, aire, de generación de residuos sólidos, de erosión, de diversidad, etc., pueden considerarse dentro de la categoría de los índices temáticos.

*Otra característica de los índices temáticos es que agrupan indicadores sin establecer las relaciones que guardan entre sí (excepto en algunos casos con efectos sinérgicos entre dos indicadores, como por ejem. PST y SO<sub>x</sub> en índices de calidad de aire).*

Por ello, el uso de estos índices se restringe a la agrupación de información y al reporte de resultados integrados. Cabe destacar que una de las mayores ventajas de su aplicación, se refiere a su capacidad de dar un panorama amplio sobre la situación de una variable ambiental o la gravedad de un problema (lo que no se logra generalmente al usar indicadores aislados).

— Índices de Calidad del Agua

Estos índices establecen, en general los posibles usos del agua de un cuerpo de agua, partiendo de analizar las características físico, químicas y biológicas de las mismas. Posteriormente, dichas características son comparadas con las normas de calidad de

uso y sus indicadores podrían entre otros, ser los siguientes: contenidos de elementos tóxicos, de materia orgánica, de micro organismos infecciosos, de nutrientes, etc. y sus parámetros pueden estar representados por: conductividad total, DBO, número más probable de coliformes totales, sólidos totales suspendidos y disueltos, concentración de fósforo, nitrógeno, metales pesados y orgánicos tóxicos, alcalinidad, PA, etc.

#### — Índices de Calidad del Aire

Estos índices miden los niveles ambientales de contaminación atmosférica, basándose en los monitoreos directos, cuyos resultados son comparados con las normas de calidad. Los indicadores, que sirven para percatarse de un problema de la contaminación de aire, son: los contenidos de contaminantes atmosféricos con significado sanitario

o; y sus parámetros podrían ser: las concentraciones medidas de partículas suspendidas totales (PST), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (Hc), monóxido de carbono (CO) y PST x SO<sub>x</sub> (que es un parámetro con efectos sinérgicos).

#### — Índices de Erosión Potencial

Estos índices miden la susceptibilidad a la erosión de una zona determinada y sus indicadores pueden estar contemplados entre los siguientes: características climáticas, características del suelo, topografía, cubierta vegetal, etc. Algunos de sus parámetros serían: la intensidad y duración de la precipitación; la velocidad de los vientos; inclinación y longitud de la pendiente; textura, tipo y clase de los suelos, así como de vegetación; etc.

#### — Índices de Diversidad

El índice se toma como una medida estimativa de la madurez o grado de desarrollo de un ecosistema y sus indicadores son, el número de especies y su abundancia cuyos parámetros pueden ser, entre otros; la frecuencia por unidad de área, densidad por especie, etc.

#### Índices conceptuales

Los índices conceptuales son modelos que representan las condiciones prevalcientes en el sistema ecológico (por métodos cartográficos, matemáticos, estadísticos, etc. y que son útiles para el análisis regional.

La propiedad de los modelos— en relación a su capacidad para "jugar" con las variables y simular el comportamiento de las mismas— permiten agrupar a los índices conceptuales en dos grupos principales:

- Modelos determinísticos, en los que se conoce de antemano el comportamiento del sistema.
- Modelos probabilísticos, en los que no se conocen las posibles respuestas del sistema a determinados cambios.

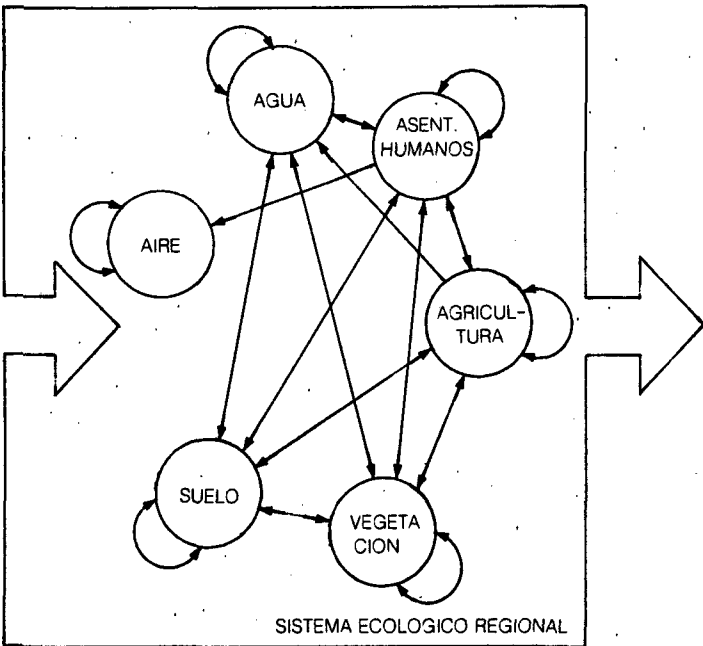
Estos últimos posibilitan la predicción de las condiciones ambientales futuras de una región por medio de técnicas como la simulación.

Los índices conceptuales pueden ser utilizados para el análisis de diferentes elementos del sistema ecológico, a diferentes niveles jerárquicos. Por ejemplo, el análisis de:

- Una variable ambiental. En este caso se realiza un análisis interno del comportamiento de la variable, referido al ámbito regional utilizando los factores que lo determinan. Un modelo de comportamiento hidrológico de una cuenca o un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos ejemplificarían esta categoría.
- Un problema ambiental. El análisis estaría referido a las interacciones que determinan la existencia de un problema ambiental en el sistema ecológico regional. Este sería el caso de un modelo regional de desertificación que incluya los factores naturales y sociales del problema; y simule sus tendencias de avance.
- El sistema ecológico. El análisis global del sistema ecológico se realizaría utilizando modelos en los que se determinarían, las tendencias de los problemas ambientales de una región y sus posibles soluciones. Por ejemplo, si se simulan las tendencias de los problemas hallados en una región dada, es posible predecir los cambios futuros del sistema ecológico, a su vez, las diferentes alternativas de solución de la problemática regional.

Dentro de la planeación ambiental existe una etapa de análisis, que se puede llevar a cabo por medio del modelado regional, por lo que es necesario partir del concepto de sistema ecológico para adquirir una visión global de la región, definir las variables ambientales, las interacciones, los procesos, así como sus entradas y salidas.

Tomemos como ejemplo, una región (en forma simplificada) donde solo existieran como variables ambientales el agua, el aire, el suelo, la vegetación, los asentamientos humanos y la agricultura.



Si quisieramos analizar la problemática de la región sería necesario:

- Establecer primero las interacciones existentes entre las variables del sistema. En el ejemplo se han considerado únicamente las interacciones más importantes desde el punto de vista ecológico.
- Conocer la situación en que se encuentran las variables relevantes del sistema por medio de un diagnóstico, que incluiría además, los siguientes dos pasos:
  - Recurrir al uso de indicadores en forma simultánea a la identificación de los problemas existentes, partiendo de una suposición hipotética de los mismos.
  - Evaluar los problemas más importantes, haciendo uso de los indicadores, de los índices temáticos y de los modelos particulares para una variable o un problema específico.
- A partir de hipótesis de comportamiento y haciendo uso de modelos, establecer las tendencias de la problemática regional, así como para definir las posibles alternativas de solución.

Los tipos principales de análisis que pueden realizarse por medio de índices temáticos y modelos, a nivel regional, son los siguientes:

- Análisis de un problema del sistema en el que participan varias variables. Por ejemplo: el uso de un modelo de erosión que incluya indicadores de las distintas variables en su estructura matemática.
- Evaluación de la problemática de un sistema ecológico. Por ejemplo, la aplicación de un modelo determinístico cartográfico que, realizando operaciones de ponderación y superposición de planos, se utiliza para el ordenamiento ecológico.
- Análisis globales para el pronóstico de las tendencias de la problemática. Por ejemplo el tipo de análisis de simulación planteado por el Club de Roma.
- Análisis prospectivo global de las posibles soluciones a la problemática regional. Por ejemplo, el uso de modelos de simulación para definir los escenarios alternativos de ordenamiento ecológico.

Es importante resaltar que la definición de indicadores se realiza simultáneamente a la identificación de problemas.

A su vez, debido al funcionamiento de la jerarquización, un problema ambiental puede ser indicador de otro problema mayor. Por ejemplo, la erosión puede ser indicador de la desertización. En este caso, un índice de desertización podría incluir en su estructura a un índice de erosión.

#### **4. ESTRUCTURA DE LOS INDICES**

Indices temáticos

Los índices temáticos pueden englobarse dentro de un esquema general, en relación con las estructuras matemáticas que se han usado para su desarrollo. Este tipo de índices utilizan escalas crecientes— cuando entre más alto es el valor del índice, mayor es el problema— y decrecientes— cuando un valor pequeño indica menor calidad ambiental—.

En primer lugar, es necesario considerar dos operaciones básicas a realizar para la obtención del índice:

- El cálculo de los valores individuales de los indicadores, como subíndices del índice total, a través de una función indicador VS. subíndice o en forma directa.
- La agregación de los subíndices en el índice total.

El primer paso, cuando no se realiza en forma directa se lleva a cabo utilizando generalmente funciones para cada subíndice, que pueden ser lineales— continuas y segmentadas, y no lineales— continuas y segmentadas, implícitas y explícitas—.

Para la agregación de los subíndices generalmente se utilizan estructuras matemáticas sencillas como sumatorias, productos y operadores máximo (ver tabla) y mínimo. La selección de la estructura de agregación más adecuada depende principalmente del grado de aproximación que se desea obtener, y de la minimización de los problemas de ambigüedad o eclipsamiento que se presentan con cada tipo de estructura.

La ambigüedad es un problema que surge cuando el índice total reporta una calidad ambiental baja, sin que ningún subíndice sea la causa, es decir que el problema real se exagera. Por ejemplo cuando se usa una sumatoria simple:

## ESTRUCTURAS MATEMATICAS COMUNES EN INDICES TEMATICOS

ESTRUCTURA	CARACTERISTICAS EN INDICE:	
	CON ESCALA CRECIENTE	CON ESCALA DECRECIENTE
— Formas aditivas: • Sumatoria simple $I = \sum_{i=1}^n S_i$ • Sumatoria ponderada $I = \sum_{i=1}^n P_i S_i$ con $\sum_{i=1}^n P_i = 1$ • Función Raíz-Suma-Potencia $I = [\sum_{i=1}^n I_i^p]^{1/p}$ con $[p > 1]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ambigüedad, sin eclipsamiento</li> <li>• Eclipsamiento, sin ambigüedad</li> <li>• Requiere ponderación de indicadores.</li> <li>• Minimiza eclipsamiento y ambigüedad conforme <math>P \rightarrow 00</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eclipsamiento sin ambigüedad</li> <li>• Eclipsamiento, sin ambigüedad.</li> <li>• Requiere ponderación de indicadores</li> <li>• Eclipsamiento, sin ambigüedad</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operador máximo <math>I = \max \{ S_1, S_2, \dots, S_n \}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin eclipsamiento, sin ambigüedad</li> </ul>	No aplicable
— Formas multiplicativas: • Producto ponderado $I = \prod_{i=1}^n S_i^{P_i}$ con $\sum_{i=1}^n P_i = 1$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No aplicable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin eclipsamiento, sin ambigüedad</li> <li>• No lineal si <math>P_i</math> son pequeños</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operador mínimo <math>I = \min \{ S_1, S_2, \dots, S_n \}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No aplicable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No eclipsamiento, no ambigüedad</li> </ul>

I = Índice      S = Indicador o Subíndice      P = Fracción de ponderación o peso

donde  $S_i$  = subíndice para el indicador  $i$   
 $n$  = número de subíndices

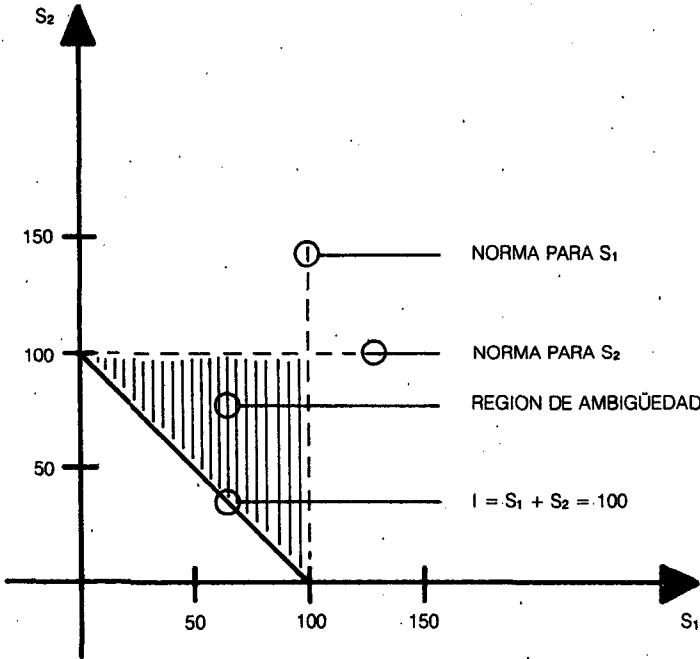
Si tuvieramos un índice con dos subíndices

$$I = S_1 + S_2$$

con una escala en la que si

$S_1 = 0$  y  $S_2 = 0$ ,  $I = 0$  no hay contaminación, y si  $S_1 \geq 100$ ,  $S_2 + 100$  o  $I + 100$  se sobrepasan las normas.

Tendremos una región en la gráfica  $S_1$  VS  $S_2$ , en la que el índice es mayor a 100, sin que ninguno de los subíndices sobrepase la norma de calidad. Esta región se conoce como región de ambigüedad.



El Eclipsamiento ocurre cuando por lo menos uno de los subíndices reporta una calidad ambiental baja y el índice total no lo refleja, es decir, cuando se esconde un problema. Para el ejemplo anterior, podríamos eliminar el problema de ambigüedad convirtiendo el índice en una suma ponderada del tipo

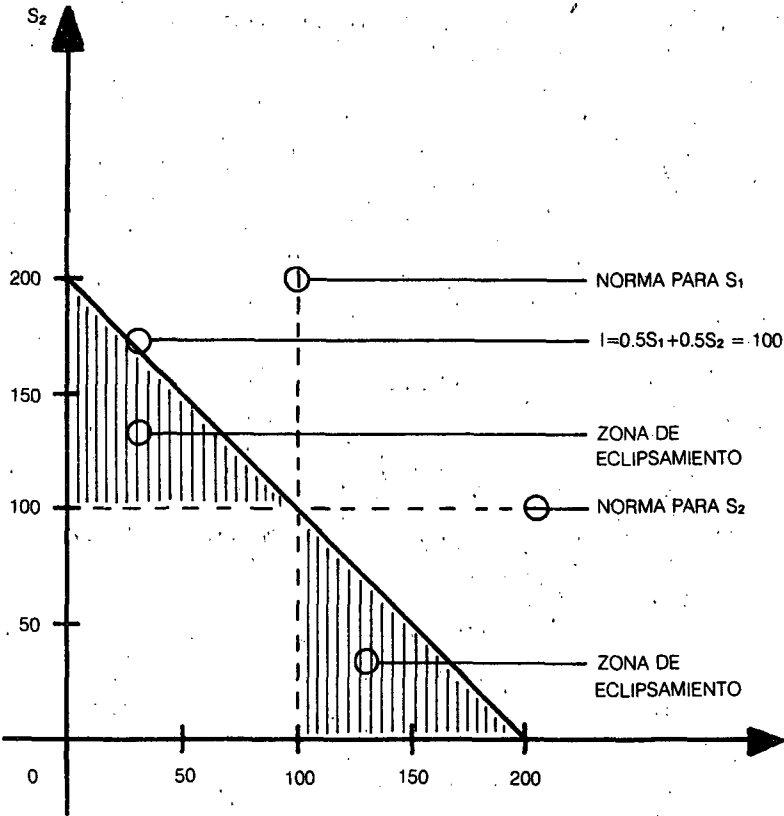
$$I = \sum_{i=1}^n P_i S_i \text{ donde } \sum_{i=1}^n P_i = 1$$



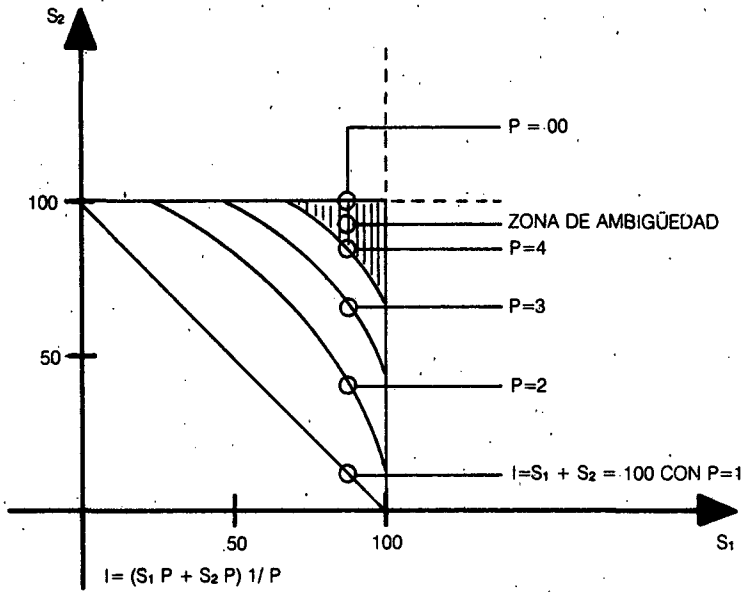
para el índice del ejemplo, con dos subíndices:

$$I = P_1 S_1 + P_2 S_2$$

aquí el índice solo podrá tomar un valor mayor a 100 cuando uno de los subíndices es mayor a 100. Tomemos pesos iguales para ambos subíndices  $P_1 = P_2 = 0.5$  y  $I = 0.5S_1 + 0.5S_2$ . En la gráfica podremos observar dos regiones en las que  $I$  es menor a 100 aunque uno de los subíndices sobrepase la norma. En esta región de eclipsamiento, se están violando las normas sin que el índice lo señale.



Para resolver estos problemas, se buscan estructuras más complejas, por ejemplo funciones no lineales como la sumatoria del tipo  $I = \sum_{i=1}^n |M_i| |p_i|^p$  que generan curvas que reducen las zonas de ambigüedad y eclipsamiento. La gráfica representa las curvas que resultarían para distintos valores de  $p$ :



Puede observarse, que la estructura matemática puede hacerse tan compleja como se quiera dependiendo de factores como los recursos económicos, el tiempo, la facilidad del uso del índice, su representatividad, etc.

Problemas similares, aunque en mucho menor grado, suceden cuando se utilizan productos en lugar de sumatorias. Algunos índices han hecho uso de los operadores máximo y mínimo, que son mucho más sencillos de aplicar, pues únicamente considera el indicador que alcanza el máximo valor de contaminación o el mínimo valor de calidad, dependiendo de la escala que se utilice:

$I = \max S_1, S_2, \dots, S_n$	operador máximo
$I = \min S_1, S_2, \dots, S_n$	operador mínimo

En la Tabla se encuentran resumidas algunas de las estructuras matemáticas comúnmente usadas, indicando los problemas operacionales de las mismas. Las sumatorias y el operador máximo han sido utilizadas preferentemente en índices con escala creciente, y los productos y el operador mínimo, en índices con escala decreciente.

En el caso de los índices conceptuales, sus estructuras no pueden ser ubicadas dentro de un esquema general, debido a que utilizan ecuaciones de muy diversa índole dependiendo del tipo de análisis que se desea realizar. Puede considerarse, de manera general, que las estructuras matemáticas de estos modelos son de mayor complejidad que las de los índices temáticos, ya que por sus características propias, requieren establecer las funciones que rigen el proceso que se está analizando.

Cuando se trata de modelos cartográficos, pueden hallarse algunos ejemplos en los que el algoritmo del modelo no es tan complicado, característica que en muchos casos favorece su uso, a costa de una menor exactitud.

Sin embargo, no se debe olvidar que, si bien la simulación proporciona mayores posibilidades de análisis y mayor grado de aproximación, su elección dependerá en gran medida de las posibilidades de cómputo y el tiempo disponible para probar la representatividad del modelo, así como de la formación técnica del personal con que se cuenta; todo ello motivado por la complejidad de sus algoritmos.

## **5. EL MANEJO DE INDICES EN LA SUBSECRETARIA DE ECOLOGIA**

Como se planteó al principio de este documento, los problemas existentes en cuanto a la generación y al manejo de la información en la Subsecretaría de Ecología, han provocado la necesidad de aplicar en corto tiempo soluciones viables, para la homogenización y generación periódica de información ambiental.

Esta necesidad ha llevado a la búsqueda de métodos que, como los índices ambientales, faciliten el manejo de datos y proporcionen salidas de información adecuadas. De las salidas de información dependerá que se lleven a cabo diagnósticos ambientales realistas, que las propuestas alternativas de solución sean viables y apegadas a la realidad, para que la toma de decisiones se lleve a cabo en forma adecuada.

La aplicación de índices en la Subsecretaría de Ecología implica que se tengan que replantear algunos de los objetivos relacionados con la generación de información en esta dependencia, ya que, para que los índices se desarrollen adecuadamente, es necesario cubrir ciertos requerimientos de los mismos.

Los principales requerimientos de los índices ambientales son los siguientes:

- Que se estén monitoreando todos los indicadores que el índice utiliza.
- Que los puntos de monitoreo son siempre los mismos para que la información obtenida del índice mantenga una referencia especial estable.
- Que la zona de estudio de los análisis ambientales regionales estén referidos a un marco espacial estable, a diferentes niveles regionales.
- Que no se elimine posteriormente la medición de alguno de los indicadores del índice, pues éste se volvería inaplicable, y se perdería el seguimiento de la evolución de los problemas.

- Que exista la capacidad instalada para el almacenamiento y el manejo de los datos que utiliza el índice.
- Que la información utilizada en los análisis regionales sea generada con una periodicidad definida, para dar seguimiento a la evolución de la problemática regional y a las posibles mejoras introducidas por las actividades de control.
- Que se cuente con una adecuada legislación ambiental que sirva como marco de comparación para interpretar los resultados del índice.

La problemática detectada sobre el manejo de información ambiental, cuando se creó la Subsecretaría de Ecología, dio lugar a la concepción del Sistema de Información Ecológica, como el instrumento para resolver tales problemas.

La estructura del SIE incluye en su desarrollo, herramientas de apoyo que faciliten la implementación de las técnicas de manejo y análisis de información— en este caso, los índices ambientales —.

Dentro de estas herramientas se han elaborado, la Regionalización Ecológica del Territorio que provee un método y un marco de referencia estable para la ubicación espacial de zonas de estudio y puntos de monitoreo, a diferentes niveles regionales — y el Sistema de Análisis Cartográficos (SAC)— que es un método computarizado de análisis, que se basa en la técnica de superposición de planos—.

Con estos instrumentos, se ha cubierto solo una parte de las necesidades planteadas para la implementación de los índices. Para lograr un mayor avance en este sentido, y con el objeto de crear una política de informática en la Subsecretaría de Ecología, se planteó la integración del Comité de Informática. En el seno de este Comité se analizarán todos aquellos aspectos relacionados con la generación, manejo y administración de la información de esta dependencia.

Debido a la amplia participación de los índices ambientales en el manejo de información, la definición de los mismos estará íntimamente ligada con la definición de la política de informática, por lo que el Comité deberá avocarse a definir las siguientes acciones para la Subsecretaría:

- Determinar como se va a realizar la homogenización de la información.
- Solicitar a las direcciones generales la definición de los índices que consideren que deben desarrollar para el manejo de su información.
- Decidir, con base en las necesidades de información de las direcciones generales y de la misma Subsecretaría de Ecología, si los índices elegidos son los más convenientes.
- Definir una programación para la generación de información de acuerdo con las prioridades existentes a nivel nacional.
- Acordar con las direcciones generales los aspectos referentes a la generación de información, en cuanto a los parámetros por medir, la periodicidad y el mantenimiento de redes estables de monitoreo y muestreo.
- Definir los métodos de almacenamiento de la información obtenida de los índices, así como las formas de presentación de la misma.

El Comité de Informática deberá de establecer los mecanismos interdireccionales del flujo de la información, así como su presentación a tomadores de decisiones y a los que de núcleos de la población que la requieran.

El uso de índices está orientado a realizar una planeación científica de los recursos naturales del país, así como a la creación de políticas para la generación y manejo de información ambiental en México, tendientes a conocer y mejorar el medio en que vivimos.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- (1) ENVIRONMENTAL INDICES THEORY AND PRACTICE. OTT, WAYNE.- ANN ARBOR SCIENCE 1978.
- (2) INDICATORS OF ENVIRONMENTAL QUALITY. WILLIAM A. THOMAS. WILEY AND SONS.
- (3) PLANIFICACION FISICA Y ECOLOGICA. MODETOS Y METODOS. ANGEL RAMOS FERNANDEZ. CIFCA. 1979.