

ÍNDICE DE DETERIORO AMBIENTAL DE LOS MUNICIPIOS DE LA ZONA METROPOLITANA TLAXCALA-APIZACO

Adelina Espejel Rodríguez¹
Isabel Castillo Ramos²
Aurelia Flores Hernández³

RESUMEN

Los problemas y retos ambientales presentados actualmente en el mundo son múltiples y complicados, esto ha provocado la búsqueda de soluciones en los últimos años, así como el desarrollar indicadores integrales relacionados con la dimensión ambiental dentro del marco del desarrollo sustentable. Ante esto es necesario información ambiental organizada, sistematizada y constructiva, indispensable como base para la formulación de políticas, programas de manejo y conservación ambiental. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo: exponer el grado de deterioro ambiental de los municipios tlaxcaltecas que se encuentran en la ZM Tlaxcala-Apizaco a través de la construcción de un índice jerárquico de deterioro ambiental a fin de que las instituciones en materia ecológica-ambiental consideren esta información en la toma de decisiones oportunas y pertinentes para prevenir el menoscabo ambiental y el entorno natural de la zona. Para la formulación del índice de deterioro ambiental (IDA), la técnica utilizada fue la de análisis factorial y componentes principales, que se llevó a cabo en cuatro etapas. En cada una se usaron diferentes instrumentos estadísticos, los cuales ayudaron a interpretar el resultado final. Posteriormente, los municipios tlaxcaltecas de la zona metropolitana Tlaxcala-Apizaco se ordenaron jerárquicamente de acuerdo a su IDA. Se dividió a la zona, en municipios conteniendo cuatro rangos de índice de deterioro ambiental: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Se concluye que con los resultados del índice de deterioro ambiental se permite identificar a los municipios que requieren acciones prioritarias para la conservación y preservación de su ambiente, principalmente aquellos que se encuentra dentro

¹ Dra. en Ciencias Económicas. Universidad Autónoma de Tlaxcala. adelinaer@hotmail.com

² Dra. en Ciencias Económicas. Universidad Autónoma de Tlaxcala. icastillor@hotmail.com

³ Dra. en Antropología. Universidad Autónoma de Tlaxcala. aure7011@yahoo.com

de la categoría de alto y muy alto. No obstante, esto no significa que se obvие totalmente los que no aparecen en los primeros lugares, ya que en éstos también la problemática ambiental es cada vez más aguda.

Palabras clave: Indicadores, deterioro, metropolitana

I. INTRODUCCIÓN

La zona metropolitana (ZM) de Tlaxcala-Apizaco es una región urbana con un número creciente de habitantes, demanda de servicios así como la sobre explotación de los recursos naturales, lo que hace imprescindible que se tomen medidas necesarias para disminuir el deterioro ambiental en esta zona. Los ecosistemas son de vital importancia para el ser humano; su protección y conservación constituyen un aspecto cardinal en la sustentabilidad del desarrollo.

Cada uno de los problemas ambientales de la ZM Tlaxcala-Apizaco se han desarrollado y acrecentado por factores específicos, la contaminación del aire se presenta en las zonas industriales y los lugares más concentrados de población y tráfico. La contaminación del suelo se da con mayor frecuencia en áreas urbanizadas, donde hay congregación de industrias, servicios (gasolineras, basureros clandestinos, rellenos sanitarios entre otros) (Espejel, 1999).

La ZM de Tlaxcala-Apizaco es una región urbana situada en el centro de Estado de Tlaxcala, que abarca 19 municipios⁴ y que presentan problemas ambientales. Ante esto es necesario información ambiental organizada, sistematizada y constructiva, indispensable como base para la formulación de políticas, programas de manejo y conservación ambiental, para llevar a cabo un proceso de gestión requiere que ésta se adopte en las unidades de dirección político-administrativa. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo: exponer el grado de

⁴ Juan Cuamatzi, Santa Isabel Xiloxoztla, Santacruz Tlaxcala, San Fco. Tetlanohcan, Tlaxcala, Panotla, Antonio Carvajal, Chiautempan, Xaloztoxt, Yauhquemecan, Totolac, Amamaxac de Guerrero, Tocatlán, Apizaco, Tzompantepec, Tetla de la Solidaridad, San Damián Texoloc, Coaxomulco, Magdalena Tlatelulco

deterioro ambiental de los municipios tlaxcaltecas que se encuentran en la ZM Tlaxcala-Apizaco a través de la construcción de un índice jerárquico de deterioro ambiental a fin de que las instituciones en materia ecológica-ambiental consideren esta información en la toma de decisiones oportunas y pertinentes para prevenir el menoscabo ambiental y el entorno natural de la zona.

Para la formulación del índice de deterioro ambiental (IDA), la técnica utilizada fue la de análisis factorial y componentes principales, que se llevó a cabo en cuatro etapas. En cada una se usaron diferentes instrumentos estadísticos, los cuales ayudaron a interpretar el resultado final. Posteriormente, los municipios tlaxcaltecas de la zona metropolitana Tlaxcala-Apizaco se ordenaron jerárquicamente de acuerdo a su IDA. Se dividió a la zona, en municipios conteniendo cuatro rangos de índice de deterioro ambiental: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo.

II. Criterios e indicadores para medir el deterioro ambiental y su papel en el trazado de acciones de mitigación

Los problemas y desafíos ambientales presentados actualmente alrededor del mundo son múltiples y complejos, esto ha provocado la búsqueda de soluciones en los últimos años, además de algunos intentos para desarrollar indicadores integrales relacionados con la dimensión ambiental dentro del marco del desarrollo sustentable.

La información ambiental obtenida es dispersa, discontinua y escasa, además, la existente no está siendo incorporada sistemáticamente en su totalidad en la toma de decisiones en las instituciones y organismos que competen a ésta área tanto a nivel central como regional⁵. La forma en que se encuentra sistematizada en el Ordenamiento Ecológico del Estado, no permite

⁵ www.ine.gob.mx/johan/index.html

a los presidentes, comisiones municipales y a la Coordinación General de Ecología tener una visión objetiva de la problemática ambiental, y en consecuencia, emprender acciones certeras para favorecer el cuidado del ambiente.

A nivel internacional, el capítulo 40 de la Agenda 21 estipula que es preciso desarrollar sistemas de información que contemplen indicadores de sustentabilidad útiles para el proceso de toma de decisiones en la mejora de la producción de datos, además de indicadores e informes que aseguren el acceso público a dichas herramientas.

En el caso de México, el primer paso hacia el desarrollo de indicadores ambientales, fue impulsado por el Instituto Nacional de Ecología en el año 1993, a partir del Taller Norteamericano de Información Ambiental, celebrado en la Ciudad de México en octubre de ese año. Este taller contó con la participación del Instituto Nacional de Ecología, *Environment Canada* y la *Environmental Protection Agency* (EPA), el objetivo fue generar una base de información referida al reporte del estado del ambiente a nivel de América del Norte (Semarnat, 2000).

El documento del Ordenamiento Ecológico del Estado de Tlaxcala contiene un conjunto de indicadores de diferentes problemas ambientales del estado, en forma general o por unidades de gestión ambiental. Sin embargo, estos indicadores no permiten tener una visualización inmediata y específica a escala municipal, por lo tanto, los funcionarios municipales no cuentan con los elementos necesarios y suficientes para establecer acciones adecuadas en la planeación de sus recursos naturales, y los funcionarios estatales se ven limitados en su poder de coordinación de acciones con los problemas ambientales existentes.

La conformación de indicadores ambientales es una herramienta de ayuda para la toma de decisiones. Dentro de éstos, se encuentran los problemas causados en el medio ambiente por la acción de todos los factores que inciden en éste. Un indicador con tal objetivo se convierte en una herramienta importante para la toma de decisiones y planeación de acciones que los mitiguen a través de decisiones precisas de los funcionarios municipales. Como todo instrumento, además de su diseño, se hace necesaria la puesta a prueba de su aplicación y uso. De acuerdo con Sevilla (2000) el concepto de indicadores e índices se refiere a:

La información que es parte de un proceso específico de gestión y que puede ser comparada con los objetivos de dicho proceso. La información a la cual se le puede asignar un significado o trascendencia mayor que su valor observado o real. Lograr una reducción en el volumen de datos acerca de variables particulares que tienen un significado o trascendencia especial.

Los indicadores e índices son entonces en primera instancia considerados como reductores del volumen de datos, lo cual permite asignar un significado superior a su valor observado y, en segundo como instrumentos del proceso de gestión para el trazado de acciones de mitigación de los problemas ambientales y su posterior control⁶.

Los indicadores ambientales son aquellos que evalúan el estado y la evolución de determinados factores medioambientales, como pueden ser: el agua, el aire, el suelo, etcétera. Muchos de éstos expresan simplemente medidas puntuales, otros pueden obtenerse a partir de un conjunto de parámetros relacionados por cálculos complejos⁷.

⁶ Por ejemplo el índice de calidad del aire indica los niveles de contaminación atmosférica, conocido como IMECA (índice metropolitano de calidad de aire) (Ezcurra, 2001).

⁷ www.miliarium.com/proyectos/agenda21/AnejosIndicadores/indicadores1.asp

Sin embargo, la información brindada por estos indicadores es muy particularizada, de ahí que se han venido ampliando una serie de indicadores ambientales – sustentables (ver cuadro 1) por diferentes grupos e instituciones. Algunas de las iniciativas más importantes a nivel internacional y regional se presentan a continuación⁸.

El Grupo Consultivo sobre Indicadores de Desarrollo Sustentable, del Instituto Internacional para el Desarrollo Sustentable (IISD), desde el año 1996 ha desarrollado un “Índice de Calidad Ambiental” (*Environmental Quality Index*, EQI), como parte de un índice de “Sustentabilidad Global”, complementado con información sobre rendimiento económico y salud social. El EQI incluye cuatro componentes: índice de presión ambiental, huellas ecológicas *per cápita*, riesgo de los ecosistemas y del uso del suelo⁹.

El *Living Planet Index* (LPI), elaborado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), es un indicador del estado global de los ecosistemas naturales del planeta, o dicho de otra forma es una medida de salud de los ecosistemas globales y la biodiversidad, con base en datos que muestran el cambio promedio a través del tiempo en el estado de los bosques, agua dulce y ecosistemas marinos. Es un intento para cuantificar la extensión y severidad de la pérdida de la biodiversidad.

El *Proyecto Índice de Vulnerabilidad Ambiental*, de la Comisión del Pacífico Sur en Geociencias Aplicadas (SOPAC), se enfoca en la vulnerabilidad del ambiente por los riesgos naturales y humanos. Incluye efectos sobre los aspectos físicos y biológicos de los ecosistemas, diversidad, poblaciones u organismos, comunidades y especies. Identifica tres aspectos de la vulnerabilidad ambiental: nivel de riesgos en el ambiente; resistencia de las presiones y nivel

⁸ CIAT.cgiar.org/indicadores/indicadores/index.htm

⁹ Instituto Internacional para el Desarrollo Sustentable (2000). Indicadores de Desarrollo Sustentable.

de deterioro de los ecosistemas. Se utilizan un total de 47 indicadores: 26 indicadores de riesgo, 7 indicadores de resistencia y 14 indicadores de degradación ambiental. Los resultados del índice se sistematizan considerando las características meteorológicas, geológicas, biológicas y antropogénicas. Con la información del índice se puede detectar con facilidad las superficies de vulnerabilidad en el futuro. Una marca de 1 significa menor y una de 7, de mayor vulnerabilidad.

Estos índices tienen como limitante su construcción sobre el tratamiento de los aspectos meramente medioambientales de manera fundamental y, en su mayoría consideran los efectos producidos de manera exclusiva.

Cuadro 1. Desarrollo de los indicadores ambientales

ÍNDICE	FUENTE	COMPONENTES / INDICADORES DEL ÍNDICE
Índice Piloto de Sustentabilidad Ambiental	Foro Económico Mundial, Centro de Derecho y Política Ambiental y Centro Internacional de Información de Ciencias de la Tierra (CIESIN)	64 variables de los siguientes componentes: ° sistemas ambientales ° riesgos ambientales ° impacto humano ° capacidad social, institucional ° administración global
<i>Living Planet Index</i>	Foro Mundial para la Naturaleza, <i>New Economics Foundation</i> y <i>World Conservation Monitoring</i>	Indicadores de ecosistemas globales y biodiversidad: ° bosques ° agua dulce ° vida marina
<i>Environmental Quality Index</i>	Grupo Consultivo en Indicadores de Desarrollo Sustentable	Índice de presión ambiental: ° huella económica <i>per cápita</i> ° riesgo ambiental ° uso del suelo
Proyecto Índice de Vulnerabilidad Ambiental	Comisión del Pacífico Sur en Geociencias Aplicadas (SOPAC).	Se enfoca vulnerabilidad ambiental, incluyendo: ° ecosistemas ° biodiversidad ° poblaciones
Huella Ecológica	Mathis Wackernagel y William Rees, 1996	° suelo cultivado ° bosques ° consumo de combustibles ° degradación del suelo

Fuente: CGIAR <http://cgiar.org/indicators/indicadores/index.htm>

El análisis de los componentes de estos índices revela que el más integral es el índice piloto de sustentabilidad ambiental, porque incluye la actividad antropogénica, su impacto y los riesgos. No obstante, obvia un aspecto de vital importancia: las condiciones naturales que pueden favorecer o atenuar los problemas ambientales, y es precisamente lo que en esta investigación vamos a incluir. Además, el uso de estos índices favorece la determinación de los problemas ambientales prioritarios, pero aún esto resulta insuficiente para la formulación eficaz de acciones de mitigación.

Como hemos dado cuenta, los criterios para la selección de indicadores varían de acuerdo a la institución o propósitos. La OCDE, en particular, establece los siguientes lineamientos para la elaboración de indicadores (Semarnat, 2000):

Otros criterios para una selección adecuada de los indicadores ambientales son que éstos contengan¹⁰:

- Pertinencia, es decir, que representen situaciones ambientales prioritarias, a nivel nacional, regional o de macrozonas, en relación con los componentes básicos del medio ambiente natural y su consecuente impacto en el medio ambiente humano.
- Calidad del dato, lo que supone que los datos base sobre los cuales se construya un indicador provengan de fuentes de información confiables, oficiales y con una validación técnica preliminar.
- Flujo accesible a la Información, lo que significa la disponibilidad de información en forma sistemática y periódica, en lo posible, con series históricas; que permitan evaluar tendencias.
- Escala y georeferenciación que permita contar con indicadores a distintas escalas - nacional, regional y también comunal-.

¹⁰ www.sinig.cl/indicadores/index.php?

Considerando las precedentes aportaciones, el presente trabajo para la construcción de indicadores se consideró los siguientes criterios:

Pertinencia, calidad del dato, flujo accesible a la información (disposición de la información de forma sistemática), escala y georeferenciación (coincidente con el ámbito administrativo territorial para la asignación de recursos), factibilidad (indica la existencia de información estadística para la extracción o cálculo del indicador), interpretables (ser sencillos y fáciles de comprensión), carácter dinámico (que pueden variar a través del tiempo).

III. Procedimiento para la obtención del Índice de Deterioro Ambiental (IDA) y la jerarquización de los problemas ambientales

Para obtener el índice de deterioro ambiental se propone la técnica de análisis factorial y componentes principalesⁱ. A continuación se explican cada uno de los pasos o etapas que integraron el procedimiento.

a) Selección de los indicadores a considerar en la regionalización

El primer paso consistió en la elección de indicadores. Se consideró pertinente elegir todos los indicadores medioambientalesⁱⁱ del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Estado de Tlaxcala del año 2002ⁱⁱⁱ, debido a que presenta información completa de 311 unidades pertenecientes a 60 municipios de dicho Estado. Posteriormente se seleccionaron y ordenaron en una base de datos, dándole a cada indicador un código. Obteniendo así, la matriz inicial, a partir de la cual se calculó la matriz de correlación.

b) Proceso para determinar el índice de deterioro ambiental (IDA)

Para conformar el IDA se propuso la técnica de componentes principales¹¹, que permite identificar un número relativamente pequeño de factores a utilizar en la representación de la relación existente entre un conjunto de indicadores intercorrelacionados. Esta técnica permite sintetizarlos en un número de posibles factores de interpretación clara y sentido preciso (Vinacua, 1998).

c) Cálculo de la matriz de correlación y ensayos factoriales

La matriz inicial¹² obtenida en el análisis preliminar se utilizó para calcular la matriz de correlación. Se consideró de importancia que todos los indicadores tuvieran al menos un coeficiente de correlación significativo en la matriz. Por lo tanto, si las correlaciones entre los indicadores eran pequeñas, resultaba improbable que se originen factores comunes. Por el contrario, si el valor del coeficiente de correlación entre dos indicadores es muy alto, significaba que uno de ellos aporta información redundante, por lo que se reflexionó cuál sería el más conveniente a eliminar.

De acuerdo con lo anterior, el criterio para eliminar las variables debe ser que el coeficiente alcance un valor igual o mayor a 0.65, indicando su redundancia en la información. De igual manera, no se consideraron aquellos que alcanzaron un valor igual o menor a 0.10 indicando que para el fenómeno estudiado no es significativo (Joseph et al, 1999).

En relación a lo anterior, se realizan las corridas necesarias, en cada uno de los ensayos factoriales, eliminando variables ambientales mediante los valores obtenidos de la Matriz Anti-

¹¹ El programa estadístico que se utilizó para el procesamiento de datos fue el SPSS para Windows.

¹² Esta matriz está conformada por la información referida a la totalidad de indicadores económicos, sociales, naturales y ambientales, correspondientes a la unidad geográfica de referencia. En este trabajo esta unidad de referencia es la unidad de gestión ambiental.

Imagen. De igual forma para obtener y lograr el valor de la medida de adecuación Simple Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) mayor de 0.70¹³ (ver cuadro 2).

Los ensayos factoriales fueron de utilidad para depurar la matriz de información. Su importancia consiste en aportar los indicadores que conformen la matriz para extraer los factores, que evalúen la validez del método (Vinacua, 1998). Los ensayos factoriales sugeridos para valorar *a priori* la pertinencia fueron los siguientes (Pérez, 2004).

Cuadro 2. Pruebas de KMO de Bartlett

Medida de adecuación simple Kaiser – Meyer- Olkin		0.752
Test de esfericidad Bartlett	Aprox. Chi-Square df Sig.	2444.918 171 .000

Fuente. Resultados de los ensayos factoriales

Se determinó la matriz Anti-Imagen (Vinacua, 1998), a medida en que los coeficientes son más pequeños es mejor el procedimiento. De acuerdo a esto, se eliminan las variables que no presentan valores altos, sino pequeños (considerando como criterio aquellos con valores menores de 0.60).

Posteriormente, se utilizó el Test de Esfericidad de Bartlett para estudiar el valor de los coeficientes de correlación y para verificar si la matriz de correlación es una matriz de identidad (Op cit pág. 224). Si es de identidad no existen correlaciones entre los indicadores considerados. Si el valor del Test de Esfericidad es grande y el nivel de significación pequeño, se podrá rechazar la hipótesis planteada.

¹³ Estas son las magnitudes sugeridas en la bibliografía especializada, ver (Vinacua , 1998).

Las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial pueden compararse a través de la Medida de Adecuación Simple Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Si al calcular este índice su valor se aproxima a la unidad, indica que la suma de los coeficientes de correlación parcial entre todos los pares de indicadores de la matriz es pequeña, lo cual constituye una señal de que el análisis factorial como técnica para el estudio y la síntesis de los datos ha sido adecuada (Op cit pág. 225).

Por último, otro instrumento que refuerza lo anterior es la determinación de la comunalidad para cada variable (Carsten, *et al*, 1996). Esta indica hasta qué punto los factores determinados ayudan a explicar el indicador en cuestión. Aquellos de baja comunalidad en el proceso primario de su selección se eliminan, pues serán poco explicados por los factores.

La riqueza o pobreza del contenido del Análisis Factorial como técnica, depende de cuántos indicadores de los considerados en la matriz de información inicial tienen una comunalidad alta (mayor que 0.50) y cuántas alcanzan valores bajos (menores que 0.20).

d) Extracción de los componentes principales

El objetivo de esta etapa es obtener los factores definitivos en el contenido de la información de los indicadores originales seleccionados, a partir de los ensayos factoriales. Existen diferentes métodos de extracción de los factores, entre ellos se encuentra el de componentes principales¹⁴.

Los componentes principales tienen como objetivo reducir el número de indicadores con la menor pérdida de información al sintetizarlos en los componentes principales o factores.

¹⁴ Cada componente principal representa una combinación lineal de todas las variables que sintetiza. De modo que el primer componente principal sea una combinación que explique la mayor proporción de varianza de la muestra, el segundo la segunda mayor y que a su vez esté incorrelacionado con el primero, y así sucesivamente se pueden obtener componentes como variables.

Teóricamente se parte de un espacio dimensional correlacionado entre si y se pasa a un nuevo conjunto de k variables denominadas factores, que representan las combinaciones lineales de las variables originales incorrelacionadas.

El criterio de *Eigenvalue* o autovalor plantea que el número de factores lo decidirá la varianza acumulada por éstos y que sean mayores a 1. Los porcentajes de la varianza total explicada por cada factor se suman, y cuando dicho porcentaje acumulado alcance el nivel mínimo idóneo, se dejan de seleccionar más factores (Op cit pág 227).

Fernández (1988), menciona que el criterio para un nivel idóneo de explicación de la varianza total por los factores, puede oscilar entre un 60% y un 85%; si no llega a explicar el 50%, el análisis factorial empieza a ser pobre, si explica por encima del 85%, indicará una advertencia de indicadores redundantes por tanto, está mal diseñado el análisis factorial. Por otra parte Cesar Pérez (2004) señala que en las ciencias sociales es suficiente el 60%.

e) Rotación de factores y transformación para hacerlos más interpretables

Con la finalidad de lograr la definición más válida de los factores principales se procede a transformar la matriz de información inicial en una más fácil de interpretar. Este procedimiento propio del análisis factorial se denomina rotación de los factores (Op cit pág 182). (Ver cuadro 4). Esta rotación no modifica la estructura de los factores.

Cuadro 4. Matriz de Transformación de componentes

Componente	1	2	3	4	5	6
1	.548	.413	.365	-.318	-.343	-.420
2	-.257	.533	.548	.539	.232	.066
3	.721	-.406	.185	.449	.190	.209
4	.193	.252	-.352	-.092	.789	-.381
5	-.166	-.380	.632	-.520	.397	.029
6	.221	.416	-.093	-.357	.113	.793

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Equamax with Kaiser Normalization.

f) Determinación de los valores correspondientes a los factores o componentes principales para cada caso o unidad de análisis.

La finalidad última del análisis factorial es reducir un gran número de indicadores a un pequeño número de factores, a su vez se tienen bien conformados los factores principales obtenidos de la rotación Equamax, se salva la matriz de componentes “score coeficiente” y automáticamente se crean los valores de cada uno de los factores principales determinados para cada uno de los casos considerados (Op cit pág 227).

g) Determinación del Índice de Deterioro Ambiental

Para determinar el IDA se parte de las puntuaciones factoriales dadas a cada unidad y componentes principales, a partir de esto se procede así:

1. Se analiza el comportamiento de cada factor principal, éste a la vez constituye un índice parcial estableciendo un criterio de clasificación para los territorios según los valores de las puntuaciones factoriales para cada factor.
2. A partir de los factores o componentes ambientales que explican al menos un 60% de la variación total se determina un índice representativo de la situación medioambiental general, llamado índice de deterioro ambiental, en el cual actúa como factor de ponderación la raíz cuadrada del eigenvalue correspondiente a cada componente de los que cumplen la condición anterior.

El índice de deterioro se construye a partir de la siguiente expresión:

$$IDA_i = \sum P_j \cdot F_{ij}$$

Dónde:

IDA_i = índice para cada unidad territorial

F_{ij} = factores de deterioro ambiental estandarizados o tipificados

i = componente, factor principal o variable ambiental

i = unidades de análisis

P_i = factor de ponderación que corresponde a la variable de deterioro ambiental (raíz cuadrada del *eigen value*).

Con los resultados obtenidos por el método de componentes principales se calcula el índice de deterioro para cada unidad. Si se obtuvieran valores negativos del índice se aplica la suma de la constante 10 para eliminarlos¹⁵. Posteriormente se calcula el promedio de las unidades correspondientes a cada uno de los municipios, obteniendo así el índice de deterioro y factor para éstos.

Con el IDA y sus componentes principales, se obtiene un conocimiento del grado de deterioro y de la problemática ambiental a nivel municipal. De esta manera se pueden detectar, por su magnitud, los municipios con peor situación, así como los que presentan situaciones similares en sus problemas. Por otra parte, cada componente en un municipio establece la prioridad para el mismo, dada por la componente con mayor peso en él. Esto posibilita determinar el aspecto ambiental al cual deben destinarse prioritariamente los recursos del municipio a través de las acciones de mitigación que se consideren necesarias.

Los componentes ambientales obtenidos por el método, se les asigna un nombre de acuerdo a las variables que los conforman y se ordenan de acuerdo a los valores de su índice de

¹⁵ Esta constante es arbitraria, pero usualmente se elige el menor múltiplo de 10 que logra hacer positivos todas las magnitudes.

deterioro, de mayor a menor. Esto indica que a los primeros se deberá prestar mayor atención en las acciones de mitigación (ver cuadro 5).

Al considerar el monto limitado de recursos existentes para las acciones de mitigación ambiental, éstas se dirigen a los problemas más acuciantes en los municipios. Este criterio en ningún momento significa obviar aquellos problemas existentes que no forman parte de los componentes principales, es simplemente un instrumento para la toma de decisiones considerando las restricciones de los recursos. En consecuencia, en la medida que estos recursos aumenten, se debe considerar un mayor espectro de problemas en las acciones de mitigación.

Cuadro 5. Componentes ambientales

	Componente	Nombre del componente	Variables
69.8% de la variación	PRIMER COMPONENTE AMBIENTAL (25.5%)	Actividad económica	sector económico presión habitantes por ha tipo de población
	SEGUNDO COMPONENTE AMBIENTAL (13.6%)	Características del suelo y su degradación	fisiografía erosión deforestación suelos contaminados
	TERCER COMPONENTE AMBIENTAL (11.1%)	Contaminación de aire y agua	granizadas contaminación de aire contaminación de agua
	CUARTO COMPONENTE AMBIENTAL (7.7%)	Políticas de conservación	clima políticas de conservación
	QUINTO COMPONENTE AMBIENTAL (6.1%)	Efecto y causas de políticas ambientales	fragilidad vulnerabilidad nivel de conservación
	SEXTO COMPONENTE AMBIENTAL (5.7%)	Condiciones climatológicas	precipitación heladas Altitud

Fuente: Elaboración de las autoras

IV. Resultados del índice de deterioro (ID) de los municipios de la Zona metropolitana Tlaxcala-Apizaco

Para calcular el índice de deterioro ambiental se consideró pertinente trabajar con los 122 indicadores manejados en el Programa de Ordenamiento Ecológico del estado de Tlaxcala. Este programa incluye indicadores ambientales, económicos, sociales, climáticos, fisiográficos. Un primer análisis, siguiendo los criterios de selección de los indicadores descritos en la sección anterior, redujo la información a 87 indicadores, de los cuales se conformó la matriz de correlación, al aplicar dicho criterio se obtuvieron 51, reducidos a 19 indicadores en 6 componentes principales.

Los resultados de aplicación al procedimiento de componentes principales evidencian a través de los siguientes criterios la idoneidad del análisis: $KMO = 0.752$; el test de esfericidad de Bartlett un valor altamente significativo para la X^2 y el ploteo de los autovalores, confirma la elección de los componentes.

A los seis componentes ambientales obtenidos, que explican el 69.8% de la variación, se les asignó un nombre de acuerdo a las variables que los conformaron (ver cuadro 5). Se detecta que inciden en el deterioro ambiental indicadores de aspecto socioeconómico, político, ambiental y físico-natural, en las variables aparecen ordenadas según el aporte que realizan a cada componente a través de la magnitud de sus respectivas saturaciones o cargas factoriales. Estos seis componentes integran variables entre si y son representativas para explicar el deterioro ambiental del Estado de Tlaxcala. Aplicando la fórmula que aparece en el apartado 2, se obtuvo la combinación lineal para cada unidad de gestión ambiental (UGA).

Para eliminar los valores negativos se sumó una constante apropiada (10). Por último, para obtener el IDA de cada municipio se promedió el resultado obtenido para las UGAs

pertenecientes a él. El IDA brinda resultados positivos y los valores menores indican menor deterioro ambiental.

De acuerdo al índice de deterioro ambiental se seleccionaron los municipios de Tlaxcala que pertenecen a la Zona Metropolitana Tlaxcala - Apizaco y se clasificaron de acuerdo IV. Resultados del índice de deterioro (ID) de los municipios de la Zona metropolitana Tlaxcala-Apizaco.

Para calcular el índice de deterioro ambiental se consideró pertinente trabajar con los 122 indicadores manejados en el Programa de Ordenamiento Ecológico del estado de Tlaxcala. Este programa incluye indicadores ambientales, económicos, sociales, climáticos, fisiográficos. Un primer análisis, siguiendo los criterios de selección de los indicadores descritos en la sección anterior, redujo la información a 87 indicadores, de los cuales se conformó la matriz de correlación, al aplicar dicho criterio se obtuvieron 51, reducidos a 19 indicadores en 6 componentes principales.

Los resultados de aplicación al procedimiento de componentes principales evidencian a través de los siguientes criterios la idoneidad del análisis: $KMO = 0.752$; el test de esfericidad de Bartlett un valor altamente significativo para la X^2 y el plot de los autovalores, confirma la elección de los componentes.

A los seis componentes ambientales obtenidos, que explican el 69.8% de la variación, se les asignó un nombre de acuerdo a las variables que los conformaron (ver cuadro 5). Se detecta que inciden en el deterioro ambiental indicadores de aspecto socioeconómico, político, ambiental y físico-natural, en las variables aparecen ordenadas según el aporte que realizan a cada componente a través de la magnitud de sus respectivas saturaciones o cargas factoriales.

Estos seis componentes integran variables entre si y son representativas para explicar el deterioro ambiental del Estado de Tlaxcala. Aplicando la fórmula que aparece en el apartado 2, se obtuvo la combinación lineal para cada unidad de gestión ambiental (UGA).

Para eliminar los valores negativos se sumó una constante apropiada (10). Por último, para obtener el IDA de cada municipio se promedió el resultado obtenido para las UGAs pertenecientes a él. El IDA brinda resultados positivos y los valores menores indican menor deterioro ambiental.

De acuerdo al índice de deterioro ambiental se seleccionaron los municipios de Tlaxcala que pertenecen a la Zona Metropolitana Tlaxcala - Apizaco y se clasificaron de acuerdo a su índice ID¹⁶: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo (ver cuadro 6). En correspondencia con estas categorías se encuentra que un alto porcentaje de ellos se localizan en el rango de muy alto y alto, ya que 26.3% presentan un deterioro muy alto, 47.4% alto, 10.5% medio, 10.5% bajo y 5.3% muy bajo.

Cuadro No. 6 El Índice de Deterioro y sus Componentes Ambientales de la ZM Tlaxcala-Apizaco

MUY ALTO			ALTO		
Clasificación de deterioro / municipio	Componente Ambiental	IDA	Clasificación de deterioro / municipio	Componente Ambiental	IDA
Juan Cuamatzi	231645	26.7	Panotla	214536	12.8
Santa Isabel Xiloxoztla	621345	15.7	Antonio Carvajal	523146	12.2
Santacruz Tlaxcala	134256	14.3	Chiautempan	534126	12.1
San Fco. Tetlanohcan	412536	13.6	Xaloztox	352641	12.1
Tlaxcala	312645	13.1	Yauhquemecan	321564	12.1
			Totolac	532641	11.8
			Amamax de Guerrero	635142	11.1
			Tocatlán	165432	11.4
			Apizaco	325164	11
MEDIO			BAJO		
Clasificación de deterioro / municipio	Componente Ambiental	IDA	Clasificación de deterioro / municipio	Componente Ambiental	IDA
Tzompantepec	215364	10.9	San Damián Texoloc	213645	8.8
Tetla de la Solidaridad	326541	10.7	Coaxomulco	261543	8.5

¹⁶ Para esta clasificación se utilizó la escala de tipo ordinal.

MUY BAJO			1. Actividad económica -Sector económico -Tipo de población -Habitante por hectárea -Presión 2. Características del suelo y degradación -Erosión -Deforestación -Fisiografía -Suelos contaminados 3. Contaminación del aire y agua -Contaminación del agua -Granizadas -Contaminación del aire 4. Políticas de conservación -Clima -Políticas de conservación 5. Efectos y causas de Políticas Ambientales -Fragilidad -Vulnerabilidad -Nivel de conservación 6. Condiciones climáticas -Precipitación -Heladas -Altitud
Clasificación de deterioro/municipio	Componente	IDA	
Magdalena Tlatelulco	Ambiental 536412	1.7	

Fuente: Cálculos realizados con el IDA

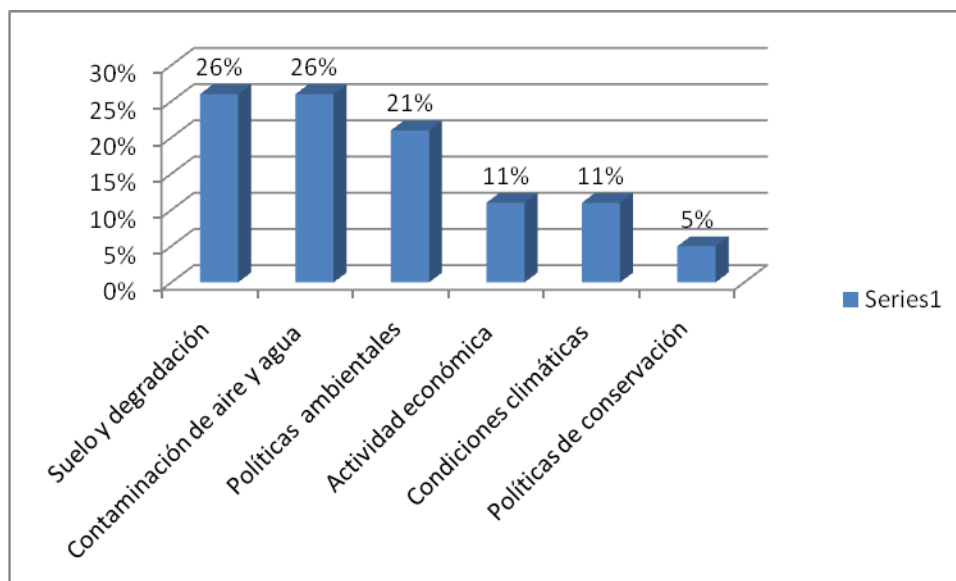
Esto indica que, el deterioro ambiental de la Zona Metropolitana Tlaxcala- Apizaco es grave, los problemas ambientales tienden a aumentar básicamente en aquellos que muestran un índice medio, bajo y muy bajo. Los datos demuestran también la necesidad de atender a todos en un corto y mediano plazo; aunque en particular son urgentes medidas institucionales inmediatas para aquellos municipios registrados con un índice de deterioro en rangos muy alto y alto. La exposición de esta información resultaría útil y debería ser retomada como un criterio preliminar para la asignación del presupuesto por parte de los gobiernos de cada nivel administrativo – municipal y estatal.

La exposición jerárquica –orden de importancia numérica de mayor a menor - de los componentes ambientales, permite conocer los problemas ambientales en cada uno de los municipios según su impacto. Asimismo detectar las variables que incurren con mayor frecuencia en el deterioro ambiental municipal. Por ejemplo, el municipio de Tlaxcala que presenta un ID muy alto tiene como problema fundamental la contaminación del aire y agua (Componente 3), y le sigue en orden de importancia la componente 1: actividad económica, por dicho orden deben destinarse los recursos recibidos del estado, para los problemas ambientales detectados (ver cuadro 6).

Además, los valores también indican que una caracterización general de la Zona Metropolitana Tlaxcala-Apizaco denota que los componentes ambientales con mayor frecuencia en los municipios del Estado son: características del suelo y su degradación, contaminación del aire y agua, efectos y causas de políticas ambientales (ver gráfica 1).

De acuerdo al orden de los componentes, predominan las características del suelo y su degradación, indicando que 26% de los municipios necesitan mayor atención en los problemas de erosión, deforestación y suelos contaminados, asimismo 26% a la contaminación del aire y agua, 21% causas y efectos de políticas ambientales, 11% su deterioro se debe a la actividad económica, 11% a las condiciones climáticas y 5% a las políticas de conservación (ver gráfica 1).

Gráfica 1. Componentes ambientales que mayor atención deben tener (%)



Fuente: Elaboración de las autoras

De acuerdo al orden de los componentes, predominan las características del suelo y su degradación, indicando que 26% de los municipios necesitan mayor atención en los problemas de erosión, deforestación y suelos contaminados, asimismo 26% a la contaminación del aire y agua, 21% causas y efectos de políticas ambientales, 11% su deterioro se debe a la actividad económica, 11% a las condiciones climáticas y 5% a las políticas de conservación (ver gráfica 1).

Con esta información se contribuye para que las autoridades tomen las mejores decisiones, para propiciar la mitigación de los agudos problemas ambientales existentes en el Estado; ya que la problemática ambiental en la entidad tlaxcalteca y en la ZM Tlaxcala – Apizaco se debe principalmente a: la erosión, la deforestación, la contaminación de suelos, la contaminación del agua y aire, especialmente, la erosión y la contaminación del agua se destacan como los más preocupantes a nivel estatal. El índice de deterioro ambiental es útil en tanto sirve para establecer las medidas en cada uno de los problemas ambientales municipales.

A efecto de ejemplificarse consideremos la situación de los municipios de la región que registran un índice de deterioro alto: Yauhquemecan y Apizaco. En estos uno de los problemas priorizados corresponden a los componentes tres y dos: contaminación de aire y agua, erosión deforestación y contaminación del suelo (ver cuadro 6). Cabe señalar que Apizaco presenta una urbanización intensiva que ha conllevado a que los asentamientos humanos conurbanos se concentren en forma lineal a lo largo de ejes carreteros, lo que ha traído en consecuencia, mayor demanda de suelo urbano y la expansión de éste en zonas no aptas para ello, con la consecuente pérdida de las áreas agrícolas y de pastizales (PEOT, 2003). La colindancia de estos municipios permitiría coordinar sus acciones conjuntas para atenuar los problemas mencionados. Pero también desde el punto de vista interno en cada uno de ellos estos problemas son los que deben abordarse de manera priorizada, por lo que la gestión y asignación presupuestaria debe ir dirigida a ellos.

De igual manera se puede aplicar con otros municipios, no sólo al interior de las regiones, sino de manera intermunicipal, para conformar políticas más coherentes y dirigir los recursos provenientes del Estado hacia grupos de municipios que tienen características en la problemática muy similares.

IV. Consideraciones finales

Tener datos concretos mediante un método científico contribuye a contar con cuantificación ambiental importante. El índice jerárquico de deterioro ambiental (IDA) para los municipios de la ZM Tlaxcala-Apizaco da pauta para que los gobiernos en sus distintos niveles de actuación – estatal y municipal pongan en marcha acciones tendientes a la mitigación para la conservación y la preservación del ambiente.

El índice de deterioro ambiental investigado para los municipios tlaxcaltecas que forman parte de la Zona Metropolitana Tlaxcala-Apizaco permite que:

- El IDA y sus componentes ambientales proporcionen un elemento para el análisis del grado de deterioro y de la problemática ambiental a nivel municipal de manera jerarquizada.

- La metodología aplicada permite obtener un índice que sintetiza la situación ambiental de los municipios de la zona de estudio y los elementos para proponer acciones concretas para cada municipio y así puedan resolver paulatinamente sus problemas ambientales.

- Los resultados del índice de deterioro ambiental permiten identificar a los municipios que requieren acciones prioritarias para la conservación y preservación de su ambiente, principalmente aquellos que se encuentra dentro de la categoría de alto y muy alto. No obstante, esto no significa que se obvие totalmente los que no aparecen en los primeros lugares, ya que en éstos también la problemática ambiental es cada vez más aguda.

- En materia de acciones gubernamentales el índice de deterioro ambiental abre el campo para que los funcionarios municipales identifiquen el grado de deterioro que presentan sus municipios, así como sus principales problemas ambientales, lo que permitirá establecer la toma de decisiones para realizar acciones adecuadas y necesarias para lograr un desarrollo sustentable.

Una propuesta concreta de este trabajo es que se constituya una comisión u órgano ambiental de prevención y atención integrada por los municipios de la ZM Tlaxcala-Apizaco con deterioro muy alto y alto, que podría ser la instancia administrativa que coordine las acciones, aunque

también esta función podría recaer en la Coordinación General de Ecología del Estado (CGE).
La información del IDA se convierte en un instrumento para esta Coordinación.

Es importante mencionar que el índice calculado puede variar en el tiempo, debido a un mayor deterioro o por políticas aplicadas adversas a una mejora ambiental. Tal situación plantea una exigencia: la actualización periódica de la base de datos primaria y el posterior recálculo del índice. El segundo aspecto se resuelve fácilmente con el uso de la computación pero el primero requiere inversión de recursos para el trabajo de campo. No obstante, debe analizarse la posibilidad de actualizarla al menos cada seis años.

BIBLIOGRAFÍA

Carsten, Enevoldsen; Jens, Hindhede and Troels, Kristensen (1996) "Dairy Herd Management Types Assessed from Indicators of Health, Reproduction Replacement, and Milk Production", *Journal of Dairy Science*, Vol. 79, No.7, pp. 1221-1236.

Espejel Rodríguez, Adelina. Carrasco Rivas, Guillermo. (1999). "El deterioro ambiental en Tlaxcala y las políticas de desarrollo estatal 1988-1999". En *Gaceta ecológica*, México, D.F. INE-SEMARNAT, No. 52. Pp. 421-52.

Ezcurra Exequiel (2001). *De las Chinampas a la megalópolis. El medio ambiente en la cuenca de México*. Fondo de la cultura económica, SEP, CONACYT. México.

Fernández, J. O. "Comprensión y Manejo del Análisis Factorial", (1988). *Revista Internacional de Sociología*, No. 12, pp. 7-35.

Joseph Hair Jr., Ronald L. Tatham y Willian C. black. (1999). *Análisis multivariante*. Madrid. Prentice Hall.

Gobierno del estado de Tlaxcala. (2002). *Programa de ordenamiento ecológico general del estado de Tlaxcala*. Gobierno del estado de Tlaxcala, SEMARNAT, INE.

Pérez Cesar (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con spss*. Editorial Pearson Prentice Hall. Madrid, España.

Semarnat. (2000). *Sistema de indicadores ambientales y registro de emisiones y transferencias de contaminantes*. INE-SEMARNAT, México.

Sevilla Buitrano, Alvaro. (2000). *Operacionalización del marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales*. Proyecto de fortalecimiento institucional del organismo de control municipal de la municipalidad de san Martín de los Andes.

Vinacua, Visauta. (1998). *Análisis estadístico con SPSS para Windows*. Volumen II, MC GRAW H. ILL. Madrid, Pág. 358.

ⁱ El programa estadístico que se utilizó fue el SPSS para Windows

ⁱⁱ Referidas a las características naturales, económicas, demográficas, sociales y de deterioro ambiental.

ⁱⁱⁱ *Programa de ordenamiento ecológico general del estado de Tlaxcala*. Gobierno del estado de Tlaxcala, SEMARNAT, INE. 2002. Las variables medioambientales elegidas para conformar la matriz de información inicial, alcanzaron la cifra de 87, las cuales consideramos las más pertinentes para caracterizar la problemática ambiental del estado.