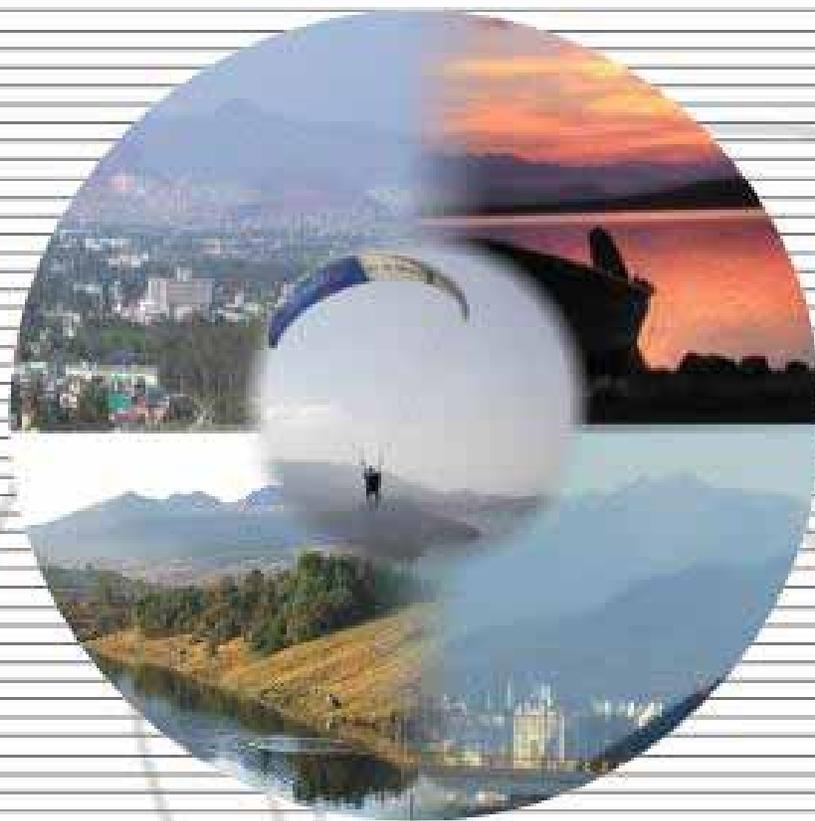




GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

Cuencas Atmosféricas del Estado de México



Secretaría del Medio Ambiente

Dirección General de Prevención y Control de
la Contaminación Atmosférica



Compromiso
Gobierno que cumple

DIRECTORIO

Lic. Enrique Peña Nieto

Gobernador Constitucional del
Estado de México

Mtro. Guillermo Velasco Rodríguez

Secretario del Medio Ambiente

Lic. Roberto Cervantes Martínez

Director General de Prevención y
Control de la Contaminación Atmosférica

Año de elaboración: 2007

Gobierno del Estado de México
Secretaría del Medio Ambiente
Vía Gustavo Baz Prada, 2160, 2° piso
Viveros del Río, Tlalnepantla de Baz
Estado de México, C. P. 54060

Hecho en México

www.edomexico.gob.mx

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	5
II. JUSTIFICACIÓN.....	7
III. ANTECEDENTES.....	9
IV. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DEL TERRITORIO.....	11
FISIOGRAFÍA.....	11
HIDROLOGÍA.....	13
CLIMA	15
VEGETACIÓN	16
PATRONES DE VIENTO	18
V. DELIMITACIÓN DE CUENCAS ATMOSFÉRICAS DEL ESTADO DE MÉXICO.....	21
MAPA DE CUENCAS ATMOSFÉRICAS DEL ESTADO DE MÉXICO.....	23
CUENCAS ATMOSFÉRICAS METROPOLITANAS.....	25
CUENCAS ATMOSFÉRICAS NATURALES.....	26
VI. MODELOS MATEMÁTICOS DE LA CALIDAD DEL AIRE	29
TIPOS DE MODELOS MATEMÁTICOS DE LA CALIDAD DEL AIRE	31
EXPERIENCIAS DE MODELACIÓN DESARROLLADA EN MÉXICO	33
VII. CONCLUSIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	39



I. INTRODUCCIÓN

En el marco del estudio sobre la calidad del aire, a parte de conocer el grado de concentración de los contaminantes atmosféricos y los efectos adversos que ocasionan a la salud de la población y a la biomasa, resulta importante tener bien definidos los límites de influencia que manifiestan las masas de aire que contiene la atmósfera que nos rodea, además de la dinámica que representan los vientos locales dentro de las zonas a estudiar.

Es una tarea muy compleja el comprender el comportamiento de las masas de aire que conforman a la atmósfera, principalmente de la capa troposférica, que está más próxima a la superficie terrestre y que es receptora de cuanto material contaminante en forma de gas o partículas se emite desde las diferentes fuentes tanto naturales como antropogénicas, a parte de los fenómenos meteorológicos que en ella se presentan de manera permanente; y más compleja aún, la tarea de determinar los límites de influencia que implican los movimientos de las masas de aire locales, ajenos a la circulación general de la atmósfera.

Sin embargo, resulta ser bastante ventajoso el tener bien definidas dichas circunstancias dentro de los trabajos que implican las políticas de gestión para mejorar la calidad del aire que encierran primordialmente las atmósferas urbanas, en el sentido de poder comprender la distribución espacial que muestran los principales contaminantes que aquejan a los centros de población, y poder realizar estudios sobre las tendencias que implicaría su comportamiento en la ejecución o no de ciertas medidas planificadas para su control e incluso su mitigación.

En este orden de ideas, el presente documento integró información disponible respecto a los hechos y fenómenos naturales que se manifiestan sobre el territorio que comprende la entidad, para identificar las cuencas atmosféricas que se manifiestan dentro de la atmósfera del territorio mexiquense, en función de una delimitación por fronteras tales como los parteaguas de sistemas hidrográficos, definidos a partir de la orografía que prevalece; de los diferentes tipos de climas que predominan, considerando el comportamiento de la temperatura; los usos del suelo que se presentan, considerando de ellos la textura que muestra la superficie terrestre, y con esto el grado de resistencia que oponen a la circulación de los vientos que operan en la zona.

El contenido de este trabajo introduce de manera general a antecedentes respecto a este tema; muestra las características físicas del territorio estatal; presenta la delimitación de 16 cuencas atmosféricas definidas sobre el territorio del Estado de México complementadas por un conjunto de mapas temáticos involucrados en el análisis para su determinación; describe además este documento, referencias sobre modelos matemáticos de calidad del aire y las experiencias de su aplicación en México, tales como estudios realizados sobre la calidad del aire para atmósferas urbanas como mecanismo de evaluación y seguimiento de los objetivos y metas de instrumentos de gestión para la mejora de la calidad del aire; y finalmente, se integra una serie de conclusiones consideradas importantes.



II. JUSTIFICACIÓN

La atmósfera es receptora de cuanto contaminante se emite constantemente desde la biosfera, la litosfera y la hidrosfera del planeta, sea este en forma gaseosa o de partículas sólidas y de origen natural o por la actividad antropogénica, la dinámica de la atmósfera permite además actuar como medio de dispersión de dichos contaminantes.

Los contaminantes emitidos a la atmósfera tienen graves consecuencias en la salud de los seres vivos, los cuáles están en contacto directo con ella en todo momento de su vida. Por ello, a parte de saber cuáles son los contaminantes atmosféricos, en que cantidades están siendo emitidos y las principales fuentes que los generan; es de primordial interés conocer cuál es la dinámica de sus flujos en la atmósfera, cómo se distribuyen mientras se mantienen en suspensión, así como su disposición o depositación final.

La circulación general de la atmósfera comprende los movimientos de las masas de aire bajo régimen o patrones de viento a escala planetaria, que permiten la transferencia de los contaminantes suspendidos en ella y su distribución a todas las regiones continentales.

Pero sobre la superficie terrestre, a escala regional y local el comportamiento de la atmósfera adquiere ciertas propiedades particulares y ajenas a la colosal circulación general, esta área inmediata receptora de las emisiones de contaminantes es definida como cuenca atmosférica que considera un espacio geográfico delimitado parcial o totalmente por elevaciones montañosas u otros atributos naturales con características meteorológicas y climáticas afines, donde la calidad del aire a nivel estacional está influenciada por las fuentes de emisión antropogénicas y naturales en el interior de la misma, y en ciertos casos, por el transporte de contaminantes provenientes de otras cuencas atmosféricas.

En este orden de ideas, el presente trabajo pretende tener identificada como unidad básica de análisis a la cuenca atmosférica para:

- Ejercer una mejor administración y gestión de mejora en la calidad del aire dentro de los asentamientos humanos que debido a su situación geográfica y demográfica se ven rebasados en los límites permisibles de emisiones a la atmósfera;
- Tener identificada una estimación de la capacidad de carga de elementos indeseables en el aire que conforman las cuencas atmosféricas.

Evaluar las medidas de gestión dentro de la entidad con el fin de cumplir las normas de calidad del aire a través de la participación coordinada de las dependencias involucradas.



III. ANTECEDENTES

Existen diferentes estudios y trabajos sobre gestión para mejorar la calidad del aire de diferentes cuencas atmosféricas metropolitanas elaboradas por autoridades gubernamentales, así como por universidades e investigadores independientes, de manera breve se mencionan a continuación algunos de estos trabajos, que ejemplifican la administración de dichas cuencas como objeto de estudio.

Sobre la frontera entre México y los Estados Unidos, se localiza la región Mexicali–Valle Imperial en cuyo territorio se encuentran asentadas las ciudades de Calexico, El Centro y Brawley, que hacen considerar a la región una única cuenca atmosférica internacional.

Sobre esta cuenca atmosférica binacional se han emprendido acciones por autoridades de ambos países: en 1987 la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos la designó como zona de "no-cumplimiento" de los estándares de calidad del aire para las partículas menores a 10 micras (PM_{10}), debido a lo cual aplicó un Plan de Implementación Estatal en 1990, con medidas de control de emisiones contaminantes. En México, a parte de trabajos como la cooperación técnica a través del Grupo Binacional de Calidad del Aire del Programa Frontera XXI; las autoridades han puesto en marcha un conjunto de lineamientos y acciones contempladas en el Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali, B.C. 2010, involucrando en las responsabilidades de gobierno al ámbito federal, estatal y municipal de ambos países; así como el "Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Mexicali 2000-2005", cuya área de estudio o aplicación es la cuenca atmosférica binacional en mención.

El Instituto de Astronomía y Meteorología, de la Universidad de Guadalajara elaboró en el año 2000 el documento "Cuencas Atmosféricas del estado de Jalisco. Informe Final" correspondiente al "Proyecto de Ordenamiento Ecológico Territorial del estado de Jalisco, México". Dicho estudio identifica 7 cuencas atmosféricas sobre la mencionada entidad a partir del análisis de información de vientos dominantes según altitudes de la zona de estudio y en función de la capa límite de la atmósfera.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) ha publicado documentos denominados "Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes", para los ciclos anuales 1997-1998 y 1998-1999, dentro de los cuales para el análisis de los contaminantes del aire emitidos por las diferentes fuentes, se considera el concepto de cuenca atmosférica para las masas de aire que envuelven a importantes metrópolis del país, sin definir sus límites.



IV. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DEL TERRITORIO.

Localizado en la parte central de la República Mexicana, el Estado de México se encuentra enmarcado por las coordenadas geográficas extremas referidas en la tabla 1; sus colindancias, como se aprecia en la figura 1, son al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo, al sur con el Distrito Federal, Morelos y Guerrero al este con Puebla y Tlaxcala, y al oeste con Michoacán y Guerrero; en total esta entidad ocupa el 1.15% del territorio nacional, con una extensión de 22,499.95 km² de superficie.

Tabla 1. Coordenadas Geográficas Extremas del Estado de México

	Máxima	Mínima
Longitud	100° 36' 45" Oeste	98° 35' 50" Oeste
Latitud	20° 17' 27" Norte	18° 21' 57" Norte

FISIOGRAFÍA

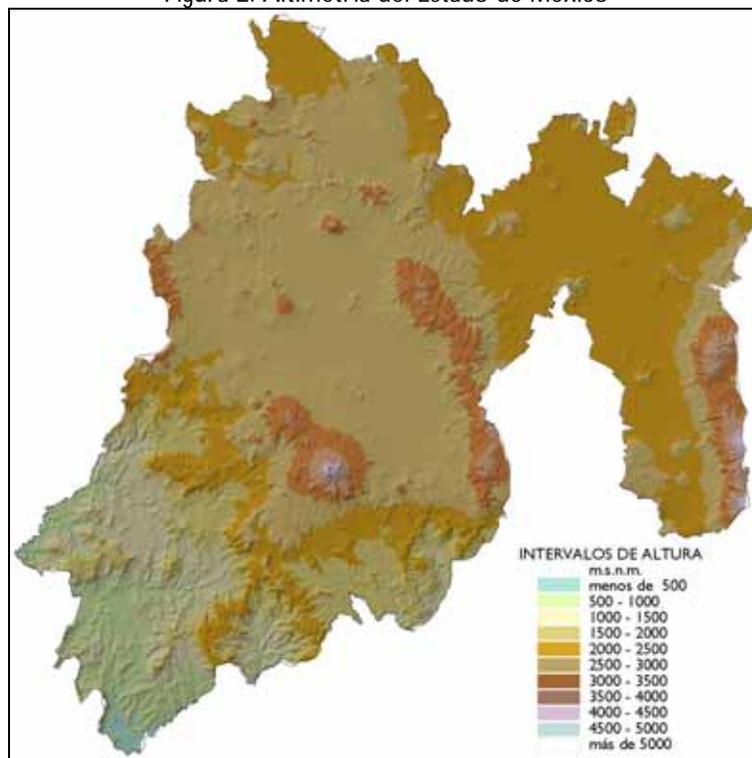
El relieve topográfico del Estado de México, representado en la figura 2, moldea altitudes que van desde los 300 msnm al suroeste del territorio correspondiente a la depresión del Balsas, hasta cúspides de sistemas montañosos y edificios volcánicos independientes cuyos valores fluctúan entre los 3,800 y los 5,500 msnm, caso de los volcanes Jocotitlán y Popocatepetl respectivamente; además las planicies que conforman los valles del río Lerma y de la cuenca de México en promedio mantienen una altitud de 2,400 msnm.

Figura 1. Localización del Estado de México



Esta diferencia de altitudes marca importantes modificaciones al comportamiento de la presión atmosférica, que consiste en que a mayor altitud con respecto al nivel de mar, menor será la cantidad de aire que soporte un cuerpo, y en cambio, mayor será la fuerza ejercida por la atmósfera sobre este mismo cuerpo, cerca del nivel de mar; así como al régimen de temperatura ambiental que se manifiesta en la entidad, considerando que la radiación solar que choca contra la superficie terrestre es absorbida y reflejada en forma de calor según sus propiedades físicas; los materiales opacos como las rocas o los suelos se calientan y enfrían más rápido que los cuerpos de agua ocasionando por lo tanto un acelerado calentamiento o pérdida del mismo en las masas de aire próximas a estos; en cambio los cuerpos de agua de manera más lenta y constante ganan y transmiten calor al aire que los rodea.

Figura 2. Altimetría del Estado de México



Las masas de aire cálido son más ligeras y tienden a ascender mientras que las masas de aire frío que son más densas, se deslizan hacia abajo ocupando el espacio de las desplazadas masas cálidas. La relación que guarda el comportamiento de la presión atmosférica con respecto al grado de calor de la superficie terrestre, es inversamente proporcional, a mayor temperatura menor es la presión atmosférica mientras que a menor temperatura mayor presión atmosférica se presenta.

Estas y otras variaciones ambientales son causantes de vientos locales específicos sobre los diversos paisajes que integran al territorio del Estado de México, que se ubica dentro de las provincias fisiográficas Eje Volcánico Transversal, así como Sierra Madre del Sur, quedando configurado su irregular relieve según se tabula en la tabla 2.

Tabla 2. Fisiografía del Estado de México.

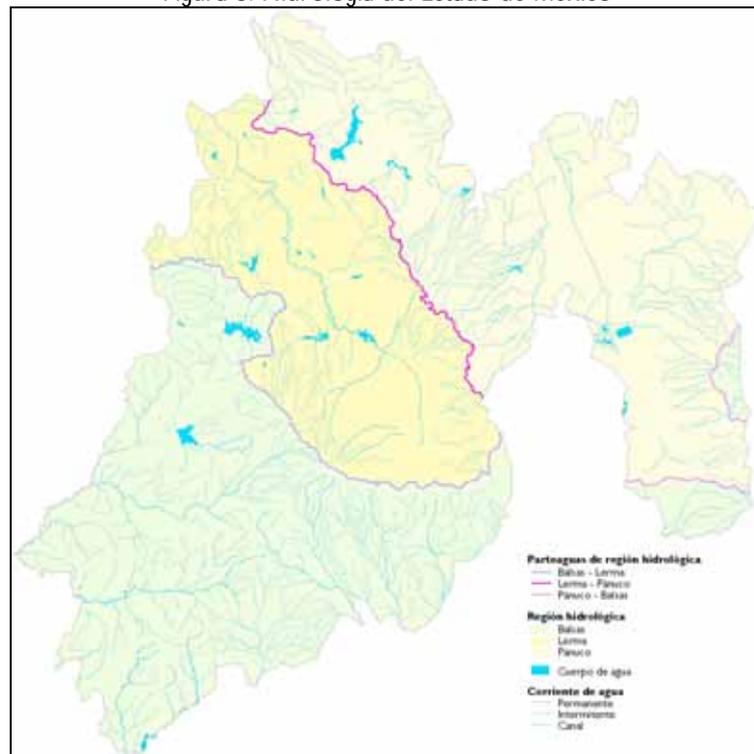
Provincia	Subprovincia	Porcentaje de superficie estatal
X. Eje Volcánico Transversal	Mil Cumbres	6.9
	Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo	10.1
	Lagos y Volcanes del Anáhuac	58.7
XII. Sierra Madre del Sur	Depresión del Balsas	20.2
	Sierras y Valles Guerrerenses	4.1

Fuente: INEGI, 2002

HIDROLOGÍA

Con respecto al sistema fluvial, para un mejor control, la Comisión Nacional del Agua a clasificado a escala nacional las diferentes regiones hidrológicas que integran el territorio, así es como se definen para el espacio que comprende el Estado de México, tres regiones hidrográficas que controlan el drenaje natural del agua, divididas por parte-aguas que son límites naturales precisos. En la figura 3 se muestran estos sistemas naturales, que en gran medida dan forma al comportamiento de las masas de aire superpuestas a la superficie y actúan como barreras que limitan la circulación general de la atmósfera superior.

Figura 3. Hidrología del Estado de México



Región Balsas, localizada al suroeste del Estado de México y con una extensión total de 9,571.5 km² de territorio, caracterizada por un relieve accidentado que define valles angostos con barrancos profundos; sus límites naturales forman el parteaguas, al norte con Sierra Valle de Bravo, al este las sierras de Nanchititla y San Vicente; y al sur la sierras la Goleta y Zacualpan. Se desarrolla en su porción interna la Sierra de Temascaltepec.

Región Lerma, con una extensión total de territorio mexiquense de 5,395.4 km², es limitada por parte-aguas que comprenden la Sierra Matlazinca al sur, al oeste las sierras Nevado de Toluca, Valle de Bravo, Tlalpujahuá y Carimangacho. Sobre su valle se localizan importantes edificios volcánicos para desviar y dividir los flujos de vientos locales, como el volcán cerro Jocotitlán y la Sierra Morelos.

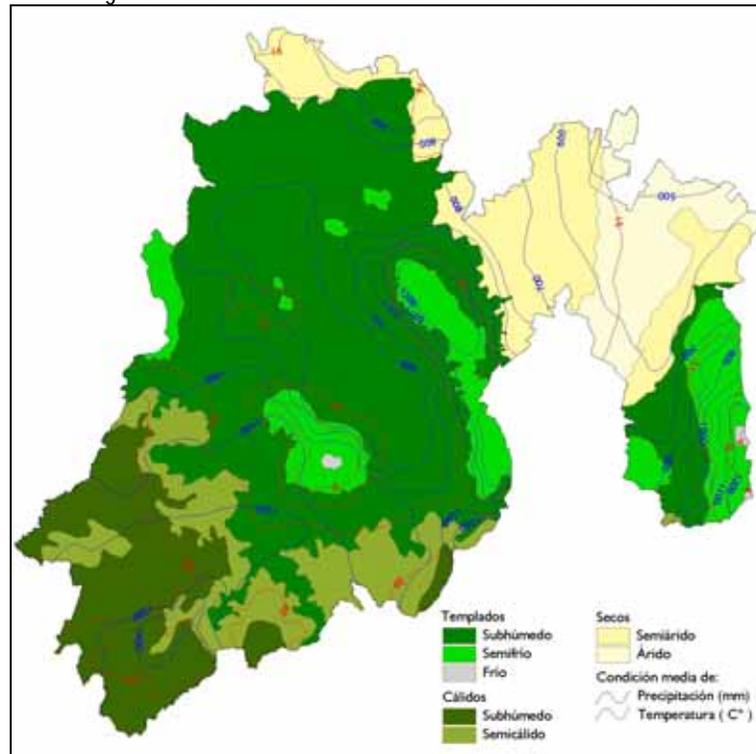
Región Pánuco, localizada al norte y este de la entidad, con una superficie de 9,026.3 km², incluye a la cuenca endorreica de México, tributaria a esta región hidrológica, que presenta en su interior un extenso valle limitado al norte por las sierras de Tepetzotlán y de Pachuca, al sur por la Sierra Chichinautzin; al poniente las Sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, y al oriente por la Sierra Nevada. Al interior de la cuenca de México se presenta un sistema montañoso identificado como Sierra de Guadalupe.



CLIMA

El territorio estatal por su ubicación geográfica con respecto al globo terráqueo, la dinámica de la circulación general de la atmósfera y la situación orográfica tan diversa que presenta, da origen a una diversidad de climas. Considerando la clasificación de Koopen, modificada por Enriqueta García, como se aprecia en la figura 4, se identifican climas templados en los valles elevados; semifríos y fríos en zonas montañosas; semisecos en la región del noreste, semicálidos y cálidos en las regiones del sur y suroeste.

Figura 4. Distribución de climas en el Estado de México.



En cuanto al comportamiento de la temperatura, que como se ha visto ya, es importante identificar porque las diferencias marcadas en el termómetro conllevan a la circulación del aire en forma de viento; en general el Estado de México muestra una temperatura media anual de 16.8°C , con una oscilación de entre 12.2° y 22.5°C . En la transición de épocas cálida a lluvias la temperatura aumenta considerablemente en la mayor parte del territorio, registrándose las temperaturas más elevadas durante el mes de mayo, en cambio en los meses de diciembre y enero, época fría del año, se expresan las temperaturas más bajas.

Con respecto al comportamiento de la precipitación, la época de lluvias corresponde al periodo conformado por los meses de junio a principios de octubre observándose un promedio anual en la entidad de 999 milímetros de lluvia.

VEGETACIÓN

La superficie terrestre representa nula influencia a la dinámica del sistema general de la atmósfera superior. Sin embargo, las masas de aire inmediatas a la superficie ven afectado el comportamiento del viento por el grado de fricción que representan los elementos naturales y antropogénicos que sustentan la zona.

Además de la influencia de la forma o contorno del terreno, se distingue su textura o rugosidad que ocasiona el grado de resistencia que oponen los diferentes tipos de obstáculos al movimiento de las masas de aire en forma de vientos, los cuales se ven frenados en sus velocidades conforme se aproximan a dichas superficies. Dentro del estudio de los vientos como fuente de energía, a manera de escala de rugosidad de mayor a menor grado conforme al tipo de obstáculo, se considera que tanto los bosques como las grandes ciudades obstaculizan y frenan mucho la acción del viento, en tanto que pastizales, arbustos y campos agrícolas detienen su acción de forma considerable, por otra parte las pistas de los aeropuertos y amplias vialidades le oponen ligera resistencia; y las superficies de agua que son incluso más lisas que dichas vías asfaltadas, ofrecen menor resistencia sobre la acción del viento.

Para la definición de las cuencas atmosféricas que imperan sobre el territorio del Estado de México, es importante tener identificadas las diferentes comunidades que conforman la biomasa desarrollada sobre este, como se ha visto anteriormente, para tener en consideración el grado de rugosidad que presenta el territorio modelado por su orografía.

En la figura 5 se muestra la distribución de la biomasa, según comunidad de vegetación predominante en el Estado de México, con base en el Inventario Forestal Nacional 2000 editado por el INEGI, a partir del cual se estima que existe un 31.5% de área forestal de la cual el 27.1% corresponde a comunidades de bosques de coníferas y mixtos, así como mesófilo de montaña, que involucran especies tales como pino, oyamel encino, ayarín y cedro, entre otras. Estas comunidades se ubican dentro de los sistemas serranos de la entidad. El 4.4% restante corresponde a selva baja caducifolia distribuida básicamente en la región suroeste de la entidad, definida como depresión del Balsas y comprende entre otras especies al copal, el tepehuaje, el huamuchil y el amate.

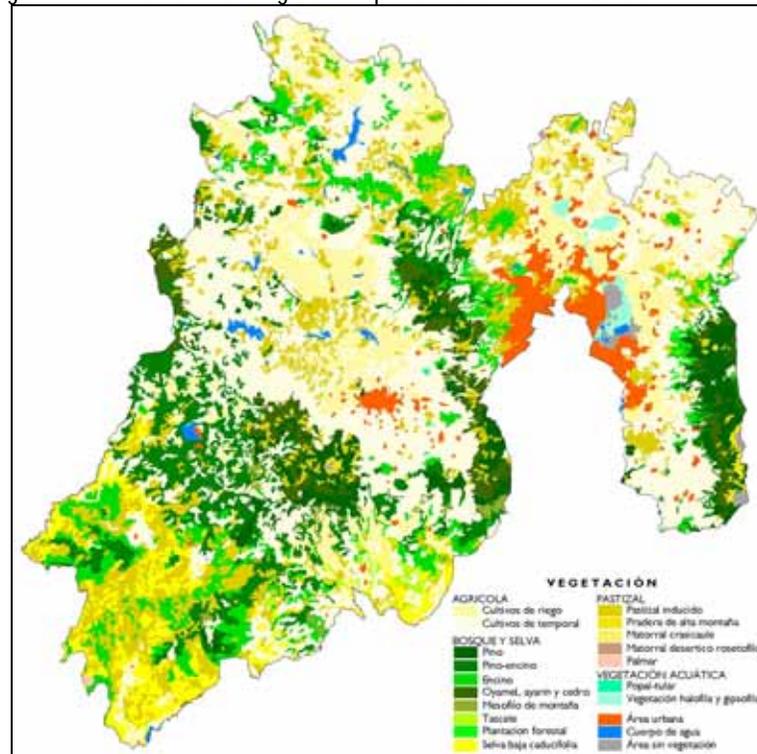
La superficie ocupada por la actividad de agricultura comprende un 47.2% del total estatal, 7,085.8 km² dedicados a cultivos tales como maíz, frijol, cebada, avena y papa. Estos campos se distribuyen en los valles del Lerma, así como de la cuenca de México, además de las faldas de los principales sistemas montañosos, que a través del tiempo, con la actividad de desmonte forestal se ha ido insertando esta actividad económica en dichas zonas.



Con respecto a los pastizales tanto naturales como inducidos y matorrales distribuidos en el territorio estatal, se alcanzan 3,568 km² que corresponde a un 15.9% de superficie que mantiene involucradas a comunidades de matorral crasicaule, que contienen especies de cactáceas tales como nopales, chollas o cardones, además de cenicilla, uña de gato, isotes y magueyes; y otras comunidades más como praderas de alta montaña, que contienen plantas amacolladas en forma de cojín no mayores a un metro de altura.

Dentro de los diversos cuerpos de agua del territorio estatal que en su totalidad involucran un 1.7% de superficie, se desarrolla vegetación que por sus características es importante mencionar, estas comunidades de vegetación se localizan por encima de la superficie del agua y ocasionan un comportamiento de las masas de aire en movimiento por encima de éstas diferente al que se esperaría sobre este tipo de superficies sin su existencia.

Figura 5. Comunidad de vegetación predominante en el Estado de México.



Entre la vegetación acuática presente, se desarrollan comunidades flotantes y plantas ribereñas como la popal-tular que contiene especies latifoliadas como el tule acompañadas de lenteja de agua o chichicastle y lirio acuático. Bordeando estos cuerpos de agua en los alrededores del río Lerma se encuentran también especies arbóreas como sauce, sauce llorón, además de alies y fresno, capiro y amate, que pertenecen a comunidades de tipo riparia.

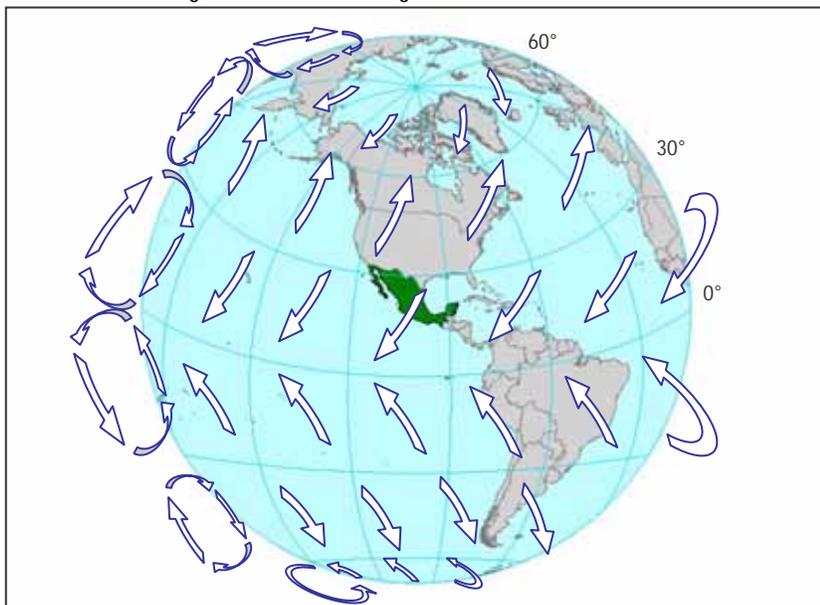
En cuanto a la superficie ocupada por asentamientos humanos, que no es propiamente vegetación, si implica gran importancia su mención, dado el grado de rugosidad que presenta el desarrollo de sus construcciones y resistencia que oponen a las masas de aire desplazadas por encima de estas áreas. Se estima un 3.8% de territorio ocupado por las dos grandes zonas urbanas de México y Toluca, así como aisladas cabeceras municipales que destacan como importantes polos de desarrollo económico regionales, entre ellos Amecameca, Atlacomulco, Ixtapan de la Sal, Texcoco, Valle de Bravo y Zumpango.

PATRONES DE VIENTO

Como explica Jáuregui (2003), los movimientos atmosféricos a escala planetaria son denominados circulación general, gracias a la cual de manera constante se distribuye hasta las regiones polares el calor irradiado por la superficie terrestre a partir de la radiación solar recibida principalmente en zonas ecuatoriales y hasta los trópicos, como consecuencia el planeta mantiene temperaturas relativamente uniformes que dan pauta a la formación de los climas sobre los continentes.

La circulación general de la atmósfera indica que vientos del sur y del norte en el ecuador se encuentran, ascienden y se desplazan en forma de ciclo en las capas más altas de la atmósfera hasta alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios, donde se encuentra un área de altas presiones y la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá, por lo que las masas de aire empiezan a descender de nuevo; rumbo a los polos, cerca de latitudes próximas a los 60° los vientos ascienden de nuevo al enfrentarse con masas de aire frío derivadas de las altas presiones polares. En la figura 6 se muestra un esquema general de las direcciones dominantes del viento a nivel del planeta. Para el hemisferio norte las direcciones de viento indican a partir del ecuador o cero grados de latitud y hasta los 30° una dirección noreste, desde los 30° hasta cerca de los 60° una dirección sur, y a partir de los 60° hasta el polo norte o los 90° un viento con dirección noreste.

Figura 6. Circulación general de la atmósfera.





En cuanto a la predominancia de los vientos sobre el territorio de la entidad, según rige la circulación general de la atmósfera, por encima de los 1,000 metros de la superficie terrestre, donde no se ven influenciadas por ésta, el comportamiento de las corrientes de viento durante el verano mantiene una dirección del este, mientras que para la época de invierno, se ve afectado el territorio por masas de aire frío del norte, ocasionando un cambio de curso de los vientos predominantes para convertirse del noreste y norte.

Sin embargo, dentro de los primeros mil metros a partir de la superficie, los vientos están mucho más influenciados por las características que guarda esta, como se ha visto, el viento es frenado por su rugosidad y por los obstáculos tales como zonas forestales o asentamientos humanos, mientras que las direcciones de estos vientos son ligeramente diferentes a los superiores debido a factores locales tales como el relieve, el grado de respuesta de la superficie en cuanto a la radiación solar, en forma de la temperatura, así como de la presión atmosférica entre otros.

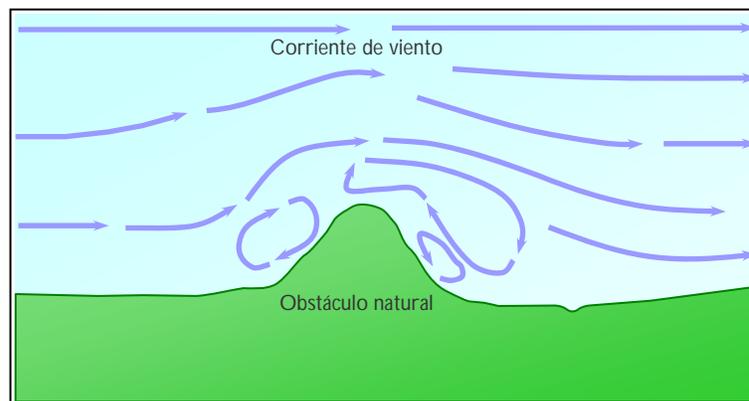
Estas circunstancias llevan a definir unidades del espacio geográfico que por sus rasgos naturales hacen diferente a otras zonas colindantes, el comportamiento de las masas de aire que contienen, y se definen como cuencas atmosféricas.

V. DELIMITACIÓN DE CUENCAS ATMOSFÉRICAS DEL ESTADO DE MÉXICO

Como cuenca atmosférica se considera un espacio geográfico delimitado parcial o totalmente por elevaciones montañosas u otros atributos naturales con características meteorológicas y climáticas afines, donde la calidad del aire a nivel estacional está influenciada por las fuentes de emisión antropogénicas y naturales en el interior de la misma, y en ciertos casos, por el transporte de contaminantes provenientes de otras cuencas atmosféricas.

También se puede definir a una cuenca atmosférica como el espacio ocupado por una región geográfica, delimitada por los obstáculos topográficos de origen natural (líneas costeras, formaciones montañosas etc.), de tal manera que dentro de esta se modifica la circulación general de la atmósfera sobre la superficie (capa límite de la atmósfera), dando lugar a la formación de los vientos locales, diferentes del flujo de la atmósfera libre.

Figura 7. Esquema lateral de una corriente de viento frente a un obstáculo natural



Las barreras naturales del viento como sistemas montañosos, formaciones rocosas, entre otras, desvían y disminuyen la velocidad de la corriente principal de forma significativa y crean turbulencias locales en sus proximidades, como se puede apreciar en la figura 7, las pequeñas corrientes de viento ocasionadas alrededor de un obstáculo, pueden extender su área de influencia y su fuerza en la parte posterior del mismo, más que la porción que le hace frente a la corriente de viento principal.

La situación que presenta el relieve de la entidad, hace propicia la existencia de diferentes espacios geográficos que manifiestan una dinámica diferente del aire próximo a la superficie y ajena a la que presentan masas de aire superiores o de la libre atmósfera. Los vientos locales muestran desviaciones importantes de acuerdo al modelado orográfico presente, pero siempre con la tendencia que muestra la circulación general de la atmósfera. Los movimientos de advección del aire, esto es, desplazamientos verticales de parcelas de aire, se manifiestan según las propiedades de los suelos (cobertura forestal, áreas desprovistas de vegetación, cuerpos de agua, zonas urbanas, entre otros), por ello

fue imprescindible considerar dentro de las tareas de la identificación de cuencas atmosféricas sobre el territorio, las diferentes comunidades de biomasa que se presentan.

En este sentido, se definen para el territorio de la entidad mexiquense 16 cuencas atmosféricas con características propias que las hacen diferentes entre sí, las cuales se muestran en la tabla 3 con un resumen en cifras porcentuales de los diferentes usos de suelo que se desarrollan en cada una de ellas. Los resultados que se presentan a continuación han sido generados por el análisis de sobre-posición de diferentes cartas temáticas que involucran al territorio estatal y cuya existencia se ha justificado ya; por lo que cabe señalar que las cuencas atmosféricas determinadas dentro de esta área dependieron de la similitud de las condiciones climatológicas, metereológicas (temperatura, vientos, radiación solar) y geofísicas del lugar (sistemas montañosos, diferencias de altitudes), entre otras.

Tabla 3. Cuencas atmosféricas sobre el Estado de México y usos de suelo en porcentaje.

Cuenca Atmosférica	Uso de Suelo						Superficie Cuenca Atmosférica (km ²)
	Área sin vegetación	Agrícola	Cuerpo de agua	Forestal	Pecuario	Urbano	
1 Del Alto Lerma	-	69.3	0.7	22.3	4.7	3.0	425.7
2 Del Medio y Bajo Lerma	-	66.3	2.4	16.9	14.4	0.0	2,195.9
3 Del Suroeste	-	14.7	0.1	54.8	30.2	0.2	3,866.0
4 Del valle Atlacomulco	-	63.6	1.9	16.4	17.9	0.3	2,286.1
5 Del valle Cuautitlán	-	24.4	1.4	19.3	49.1	5.8	539.0
6 Del valle de Ixtlahuaca	-	71.2	0.4	15.0	12.4	1.0	1,473.9
7 Del valle Texcoco	3.7	75.0	6.3	1.8	9.7	3.5	965.5
8 Del valle Zumpango	0.2	66.2	3.7	1.8	21.7	6.4	1,449.9
9 Metropolitana valle de Toluca	-	70.1	-	0.9	3.3	25.6	328.6
10 Metropolitana valle de México	4.7	20.5	3.4	1.5	10.0	59.9	773.7
11 Monte Alto - Cruces	-	41.9	0.2	48.0	9.4	0.6	1,855.0
12 Ocuilan - Valle de Bravo	-	42.4	0.6	50.2	6.1	0.6	3,004.9
13 Oriental del Balsas	-	76.9	-	10.2	9.7	3.2	492.8
14 Popo-Izta	2.3	21.3	-	64.3	12.1	0.1	1,064.3
15 Valle del Izta	-	69.4	0.7	8.2	8.1	13.6	371.6
16 Xinaltecatl	0.4	47.5	0.1	41.2	10.6	0.2	1,406.7
Total Estado de México	0.5	47.2	1.3	31.5	15.9	3.8	22,499.6



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE PREVENCIÓN Y CONTROL
DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO

CUENCAS ATMOSFÉRICAS DEL ESTADO DE MÉXICO

SIMBOLOGÍA

Cuenca Atmosférica	Superficie (km ²)
1. Del Aho Lerna	402.7
2. Del Hedo y Lago Lerna	2,195.9
3. Del Sarocota	3,964.0
4. Del valle Atlacomulco	2,286.1
5. Del valle Cuautitlán	5,762.0
6. Del valle de Ixtaccalco	1,473.0
7. Del valle Texcoco	963.5
8. Del valle Zumpango	1,449.9
9. Petropopulaca valle de Toluca	238.6
10. Petropopulaca valle de Mexico	773.7
11. Póme Alto - Cruzes	1,835.0
12. Ocotlán - Valle de Ezeo	3,094.9
13. Ocotlán - Valle de Ezeo	492.3
14. Popocatecalt	1,044.3
15. Villa de Guadalupe	371.6
16. Xonihuatlán	1,484.7
Total	22,697.6

Parques Naturales

Altitud (m s.n.m.)

- menos de 500
- 500 - 1000
- 1000 - 1500
- 1500 - 2000
- 2000 - 2500
- 2500 - 3000
- 3000 - 3500
- 3500 - 4000
- 4000 - 4500
- más de 4500

Clima

- AC(w)
- CAB(s)ab(s)ab(s)
- Seco (s) (s)
- Templado semihúmedo
- Seco templado
- Templado subhúmedo
- Templado húmedo
- Temperatura media anual
- Hidrología
- Corriente permanente
- Corriente intermitente
- Corriente interm. 2º orden
- Campo de agua

Características

- Limite urbano
- Limite municipal
- Acotamiento urbano
- Riesgo Hídrico

Escala

0 5 10 20 30 40 Kilómetros

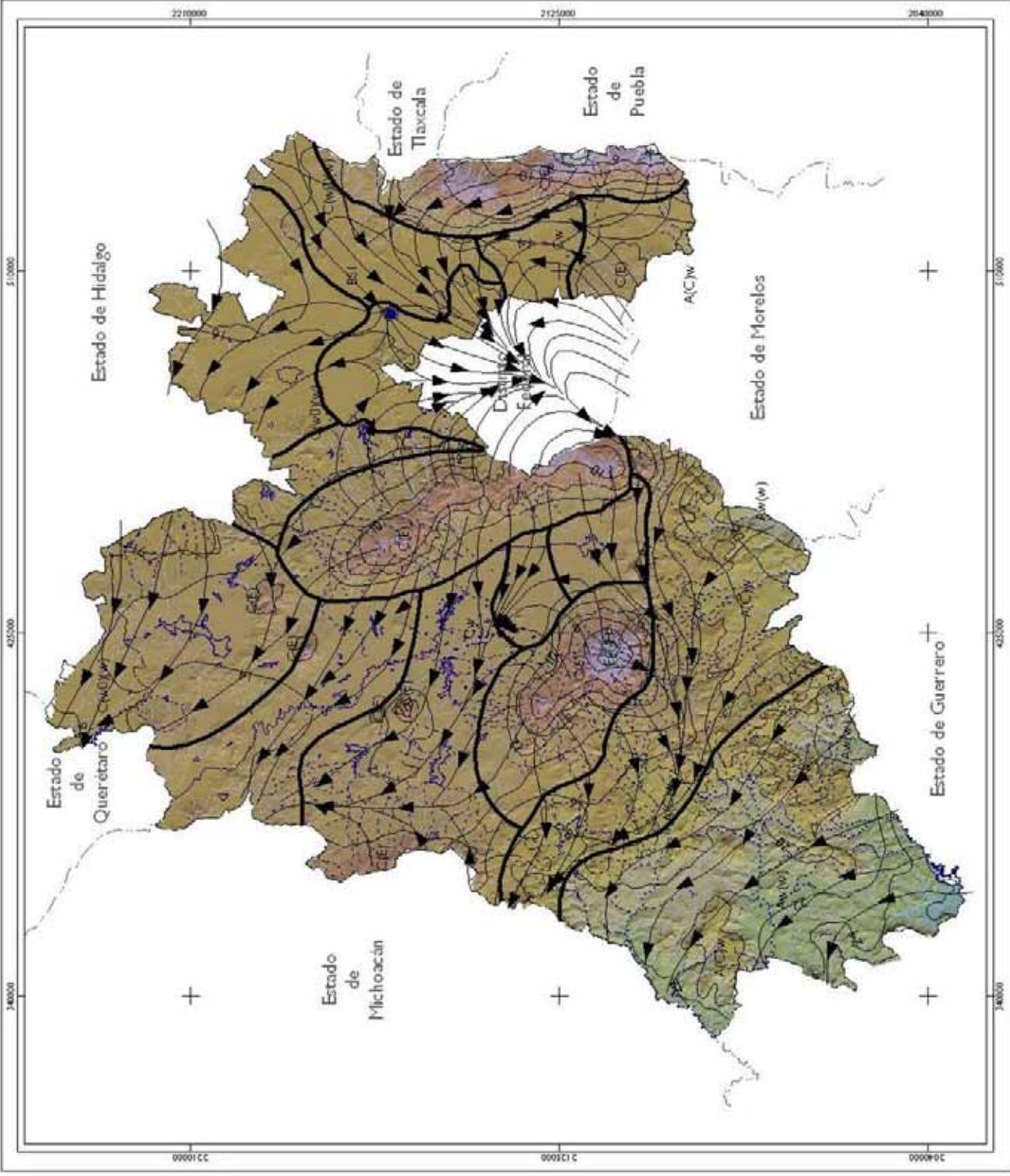
0 5 10 20 30 40 Meters

Proyección

UTM - zona 18Q - UTM - zona 18Q - UTM - zona 18Q

Coordenadas

UTM - zona 18Q - UTM - zona 18Q - UTM - zona 18Q





CUENCAS ATMOSFÉRICAS METROPOLITANAS

Las dos cuencas atmosféricas que se determinaron de este tipo corresponden a los valles de México y de Toluca, y se caracterizan por el efecto de isla de calor ocasionado por dos factores considerados como principales: las superficies asfálticas y pavimentadas que manifiestan un alto grado de absorción de la radiación solar; y la liberación de energía en forma de calor, a partir de las diversas actividades del ser humano tales como la transformación, la iluminación, los servicios y el transporte que se desarrollan dentro de estos centros urbanos; así lo pueden constatar estudios diversos, como el realizado en el año 2004 por el Centro de Ciencias Atmosféricas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que indica una tendencia positiva o de aumento de temperatura en cada uno de los últimos años de 0.07°C al interior de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Estos importantes polos de desarrollo estatal y nacional que han experimentado una expansión de manera vertiginosa en apenas tres décadas; actualmente, con sus diversas actividades antropogénicas, el constante flujo de tránsito vehicular sobre vialidades consideradas importantes por el aforo vehicular que registran, la aglutinación de edificios que por su altura resultan ser obstáculos del viento impidiendo su libre circulación; ocasionan una peculiar atmósfera urbana, invadida de gases y partículas contaminantes suspendidos y en constante movimiento, mezclándose y trasladándose de una a otra zona; estas atmósferas urbanas muestran un movimiento diferente a la dinámica natural de las masas de aire de las cuencas atmosféricas que las rodean.



Imagen 1. Expansión vertiginosa de superficies asfálticas y pavimentadas. (Cuautitlán Izcalli)



Imagen 2. Liberación de energía en centros urbanos, a partir de diversas actividades tales como transformación, iluminación, servicios y transporte. (Nezahualcóyotl)

Aunque los vientos globales son importantes en la determinación de los vientos dominantes de un área determinada, las condiciones climáticas locales pueden influir en las direcciones de viento más comunes. Cerca de la superficie, como se ha visto anteriormente, los vientos locales siempre se superponen en los sistemas eólicos a gran

escala, esto es, la dirección del viento es influenciada por la suma de los efectos global y local.

De manera general se expresa un flujo predominante de vientos según el patrón definido para estas cuencas, en cuanto a la del valle de Toluca con una predominancia del sureste influenciada por considerables masas de aire frío originadas sobre el volcán Xinaltecatl que penetran hacia el interior de la ZMVT por la diferencia de temperaturas y presión que muestra en su comportamiento, mientras que en el valle de México descienden importantes masas de aire de los sistemas montañosos que lo rodean, hacia su interior por la diferencia de presión que se genera conforme avanza el día y el calentamiento a causa de la radiación solar ocasiona una zona de baja presión al interior de este valle.



Imagen 3. Aglutinación de edificios que por su altura resultan ser obstáculos del viento impidiendo su libre circulación (Huixquilucan)

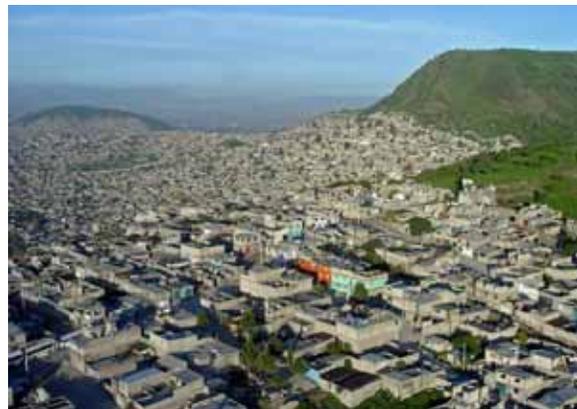


Imagen 4. Atmósfera urbana, diferente a dinámica natural de masas de aire de cuencas atmosféricas que le rodean, invadida de contaminantes que se mezclan y trasladan de una a otra zona. (Ecatepec)

CUENCAS ATMOSFÉRICAS NATURALES

En cuanto al resto de las cuencas atmosféricas, las cuales son definidas como naturales, el comportamiento de sus masas de aire muestra una armonía lógica con la naturaleza que las rodea, ejemplo de esta son los vientos de valle que se originan en las laderas o pies de monte de sistemas montañosos. Durante el día, cuando estas zonas y el aire próximo a ellas están calientes, la densidad del aire disminuye y el aire asciende hasta la cima siguiendo la superficie de su relieve. Durante la noche y a primeras horas del día siguiente, la dirección del viento se invierte, convirtiéndose en un viento que circula hacia abajo y es identificado como viento de montaña. Si el fondo del valle está inclinado, el aire puede ascender y descender por el valle; este efecto es conocido como viento de cañón.

En la tabla 4 se resumen algunas de las características naturales propias de cada una de estas cuencas, que las hacen diferentes a las próximas.

Tabla 4. Características naturales de cuencas atmosféricas definidas

	Altitud (msnm)		Temperatura promedio mensual		Dirección predominante de viento, según época del año.		
	Minima	Máxima	Minima	Máxima	Época fría	Época seca	Época de lluvia
1. Del Alto Lerma	2500	3000	12	14	SO, con algunas invasiones de vientos polares N y NE	SE	SE
2. Del Medio y Bajo Lerma	2500	3500	10	17	SO, con algunas invasiones de vientos polares N y NE	SE	SE
3. Del Suroeste	400	2500	19	26	NE	NE	NE
4. Del valle Atlacomulco	2200	3300	13	16	E - con algunas invasiones de vientos polares N y NE	E - SE	E - SE
5. Del valle Cuautitlán	2200	2900	14	15	SO, con algunas invasiones de vientos polares N y NE	E - NE	E - NE
6. Del valle de Ixtlahuaca	2300	3800	13	15	SO, con algunas invasiones de vientos polares N y NE	E - SE	E - SE
7. Del valle Texcoco	2200	3000	14	16	SE, con algunas invasiones de vientos polares N y NE	SE - E	E
8. Del valle Zumpango	2200	3000	15	16	SE, con algunas invasiones de vientos polares N y NE	E	E - NE
9. Metropolitana de Toluca	2500	2800	12	13	SO, con algunas invasiones de vientos polares N y NE; presenta frecuentes periodos de atmósfera estable	SE	SE
10. Metropolitana valle de México	2200	2900	15	16	SE, con algunas invasiones de vientos polares N y NE; presenta frecuentes periodos de atmósfera estable	NE	NE
11. Monte Alto - Cruces	2500	3700	10	13	Flanco E: dirección O, Flanco O dirección E	Flanco E: dirección E, Flanco O dirección O	Flanco E: dirección E - NE; Flanco O: dirección E
12. Ocuilan - Valle de Bravo	1200	3000	10	21	NE	E - SE	E - SE
13. Oriental del Balsas	1800	3000	13	15	NE	NE	NE
14. Popo-Izta	2400	5200	4	14	E	O	E
15. Valle del Izta	2200	2600	13	15	E - NE	E	E
16. Xinaltecatl	2200	4400	5	17	Flanco NE: dirección SO, Flanco SO dirección NE	Flanco NE: dirección SO, Flanco SO dirección NE	Flanco NE: dirección E - NE, Flanco SO dirección E - SE

Es de considerar importante que si bien el estudio del presente documento consistió en la delimitación de fronteras de la atmósfera del Estado de México implicando solo análisis de la estructura física de su territorio, así como de las características típicas de cada región definida, existen no obstante, cuestiones exactas tales como propiedades químico-físicas de la atmósfera, análisis de variables meteorológicas que involucran modelos matemáticos precisos especializados en movimientos de masa de aire y su posición de acuerdo con la velocidad y dirección del viento entre otras, que pudieran considerarse para precisar de manera más exacta esta delimitación, pero que implican inevitablemente capacitación técnica de personal para la administración y manejo de equipo de cómputo y software, infraestructura tecnológica con la que se debe contar.

Se presenta a continuación una breve referencia respecto a los modelos matemáticos computacionales utilizados en estudios de atmósferas urbanas, que han involucrado las diferentes políticas sobre gestión para la mejora de la calidad del aire.

VI. MODELOS MATEMÁTICOS DE LA CALIDAD DEL AIRE

Los modelos matemáticos de la calidad del aire resultan ser una herramienta de gran utilidad en la planeación y gestión de la política ambiental, porque permiten calcular a partir de la manipulación en los patrones de emisión, según estimaciones ejecutadas previamente, escenarios futuros sobre las concentraciones ambientales de distintas especies químicas suspendidas sobre una porción de la atmósfera en particular y a lo largo de cierto tiempo.

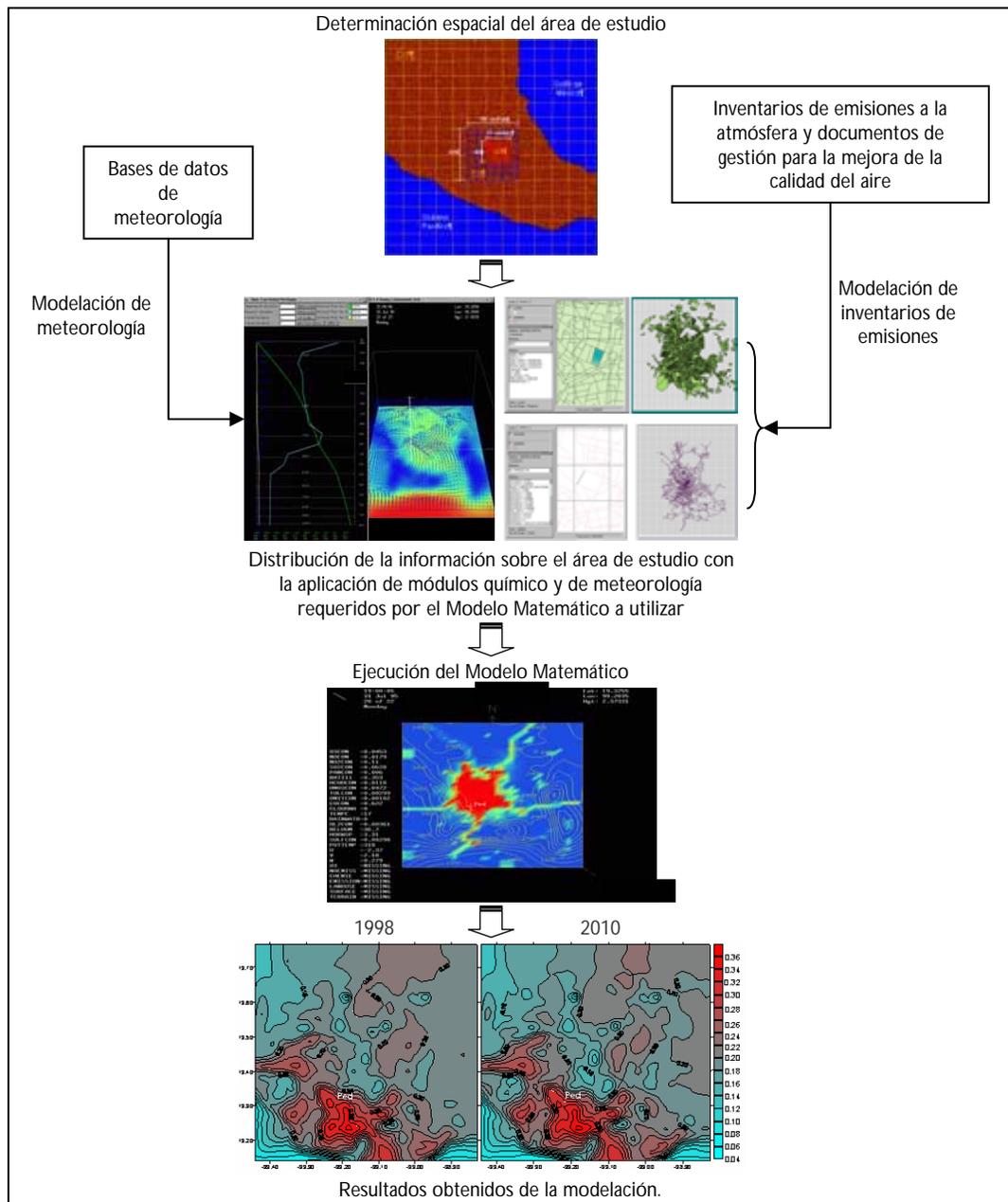
De esta manera, los modelos matemáticos de la calidad del aire posibilitan sondeos sobre ciertas medidas de control en emisiones, planificadas en programas de gestión para la mejora del aire, respecto a su efectividad antes y durante su aplicación, constituyendo así un paso metodológico en la evaluación de dichas medidas y los efectos a la salud y al medio ambiente.

Los modelos de calidad del aire usan técnicas matemáticas para simular los procesos físicos y químicos que afectan a los contaminantes en su dispersión y transformación en la atmósfera. Basados en datos meteorológicos e información de las fuentes de emisión tales como tasas de emisión y parámetros de chimenea, estos modelos caracterizan la dispersión de los contaminantes primarios que son emitidos directamente en la atmósfera y en algunos casos también las reacciones químicas que ocurren en ésta para formar contaminantes secundarios. Finalmente, generan como resultado un escenario de la concentración ambiental del contaminante simulado.

La aplicación de un modelo matemático preciso, es una tarea compleja que demanda la integración sistemática de una gran cantidad de información generada por diferentes fuentes de información, tales como: meteorología, topografía, inventarios de emisiones, uso de suelo, entre otros. Sin embargo, es una potente herramienta de análisis, que tiene un amplio espectro de aplicación que va desde la evaluación de estrategias de control de emisiones y su impacto en la calidad del aire para apoyar la toma de decisiones, hasta la generación de información científica valiosa para comprender mejor la dinámica de la atmósfera y la contaminación en un lugar o región determinada.

La figura 8 muestra en forma general cual es la estructura de un modelo matemático de calidad del aire y el resultado gráfico de la aplicación de la modelación fotoquímica necesaria, el caso del ejemplo que se muestra corresponde a estudios que realizó el grupo de modelación que integró la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), durante los trabajos de estructuración del tercer Programa para mejorar la calidad del aire de la ZMVM 2002 – 2010, y representan la concentración del contaminante secundario ozono (O_3), correspondiente a lo emitido en el año 1998, así como un escenario calculado para el año 2010 que supone la concentración de este contaminante contemplando la aplicación de estrategias planificadas en el programa antes mencionado.

Figura 8. Esquema general de un modelo matemático de calidad del aire.



TIPOS DE MODELOS MATEMÁTICOS DE LA CALIDAD DEL AIRE

Los modelos matemáticos atmosféricos pueden clasificarse de diferentes maneras de acuerdo con el criterio que se tome como referencia, por ejemplo, su escala espacial, o bien, la forma en que plantean las ecuaciones que describen el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera. Por su escala espacial, los modelos matemáticos atmosféricos se pueden clasificar como modelos de micro-escala, meso-escala, regionales, sinópticos y globales, según se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5. Modelos matemáticos atmosféricos de acuerdo con su escala espacial

Modelo	Dominio típico	Resolución típica
Microescala	200 x 200 x 100 m	5 m
Mesoescala (urbano)	100 x 100 x 5 km	2 km
Regional	1000 x 1000 x 10 km	20 km
Sinóptico (continental)	3000 x 3000 x 20 km	80 km
Global	65,000 x 65,000 x 20 km	5° x 5°

Por la forma en que plantean las ecuaciones que describen el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, se les puede clasificar como modelos eulerianos (que usan un sistema de coordenadas fijo con respecto a la tierra) y lagrangianos (que usan un sistema de coordenadas que sigue el movimiento de la atmósfera).

Los modelos eulerianos representan la clase más sofisticada de modelos atmosféricos. En ellos las ecuaciones que describen el movimiento y la transformación química de los contaminantes en la atmósfera se resuelven considerando un sistema fijo de coordenadas y la región a modelar se puede dividir en celdas o cajas, tanto horizontal como verticalmente. La concentración de los contaminantes en cada celda se estima a intervalos específicos de tiempo, tomando en cuenta la información sobre campos meteorológicos tridimensionales, así como las concentraciones iniciales de los contaminantes, las emisiones, el transporte, la dilución y las transformaciones químicas.

La aplicación de estos modelos resulta más conveniente cuando existen patrones complejos de emisión (por ejemplo, numerosas y diversas fuentes de emisión, dispersas en un área geográfica amplia) y/o cuando los procesos de transformación química juegan un papel relevante en la generación y destino de los contaminantes (por ejemplo, para contaminantes secundarios). En general, cuando se cuenta con información suficientemente detallada sobre el inventario de emisiones, la calidad del aire y la meteorología, estos modelos pueden aplicarse para evaluaciones detalladas de calidad del aire en el ámbito urbano o regional.

Algunos ejemplos de modelos eulerianos son:

- Urban Airshed Model - UAM
- Multiscale Climate Chemistry Model - MCCM
- Comprehensive Air Quality Model with Extensions – CAMx
- Third Generation Air Pollution Modeling System - CMAQ
- Regional Acid Deposition Model – RADM

En cuanto a los modelos lagrangianos, éstos se caracterizan por hacer uso de un sistema de referencia que se ajusta al movimiento atmosférico. Es decir, las emisiones, reacciones, deposición y mezclado de los contaminantes se analizan para un volumen de aire que va cambiando su posición de acuerdo con la velocidad y dirección del viento y no para una región entera como en los eulerianos. Bajo este esquema general, los modelos lagrangianos se pueden clasificar como modelos de trayectoria y modelos gaussianos, de acuerdo con la geometría del sistema de modelación. Los procesos antes mencionados se pueden simular para una columna hipotética de aire, como en los modelos de trayectoria, en tanto que cuando la simulación se hace para una pluma de emisión, continua o discreta (como paquetes comúnmente llamados “puffs”), se trata de modelos gaussianos.

En los modelos de trayectoria se define una columna hipotética de aire que se desplaza bajo la influencia de los vientos dominantes y se asume que no hay intercambio de masa entre la columna y sus alrededores, excepto por las emisiones que ingresan a la columna por la base durante su recorrido (Seinfeld y Pandis, 1998). La columna se mueve continuamente de tal forma que el modelo estima la concentración de los contaminantes en diferentes lugares y momentos a partir de las concentraciones iniciales, las emisiones y las transformaciones químicas. Su aplicación es recomendable en evaluaciones de calidad del aire que consideren el transporte a grandes distancias, para modelar el comportamiento de masas individuales de aire e incluso para evaluar la calidad del aire en casos en los que existan limitaciones de información para caracterizar las emisiones y la meteorología de una región completa.

Entre los modelos de trayectoria se encuentran:

- California Institute of Technology Model - CIT, versión de trayectoria
- Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model – HYSPLIT
- Advanced Statistical Trajectory Regional Air Pollution Model –ASTRAP

Finalmente, en los modelos gaussianos se describe el transporte y mezcla de los contaminantes asumiendo que las emisiones presentan, en las direcciones horizontal y vertical, una distribución normal o de curva gaussiana con una concentración máxima en el centro de la pluma. Generalmente estos modelos se aplican para evaluar la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes puntuales, aunque en ocasiones también se aplican para simular emisiones de fuentes de área y de línea. Otra característica de este tipo de

modelos es que normalmente son aplicados para evaluar la dispersión de contaminantes primarios no reactivos, aunque existen versiones que incluyen en su formulación consideraciones especiales para poder simular procesos de deposición y transformación química.

Algunos de los ejemplos de modelos gaussianos son:

- Industrial Source Complex –ISC
- AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD
- The Calpuff Modeling System
- Versatile Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Levels Near Highways and Arterial Streets -CALINE3
- Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations – CTDMPUS

En general, los modelos lagrangianos se han utilizado para las evaluaciones de riesgo a la salud asociadas con emisiones de fuentes individuales, siendo el modelo CALPUFF uno de los modelos más ampliamente usados (Levy et al, 2002; Zhou et al, 2003). En este modelo las emisiones se tratan como “puffs”, que experimentan procesos de transformación química al mismo tiempo que se van desplazando a través de un campo meteorológico tridimensional.

EXPERIENCIAS DE MODELACIÓN DESARROLLADA EN MÉXICO

Dentro de las políticas de gestión ambiental, desde el año 2000 en México diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales e internacionales han participado y colaborado en el desarrollo de varios proyectos de investigación en los cuales se han utilizado modelos de calidad del aire como el modelo fotoquímico MCCM, el sistema de modelación CALMET-CALPUFF o el modelo ISC3o; y más recientemente el modelo CAMx.

Modelación con MCCM

El modelo químico y climático de multiescala (MCCM por sus siglas en inglés), es un sistema de modelación desarrollado en el Instituto Fraunhofer de Alemania con el que es posible simular la evolución de las concentraciones del contaminante ozono y otros compuestos durante el día y permite obtener una descripción de los perfiles verticales de concentración de diferentes contaminantes. La parte meteorológica del modelo se basa en el modulo de mesoescala de quinta generación MM5, en tanto que la parte química es representada con el mecanismo químico RADM2 (regional acid deposition model).

Algunos de los trabajos en los que se ha aplicado esta herramienta de modelación son:

Estudios de Modelación Paramétrica con MCCM en la ZMVM

En el marco del desarrollo del Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010, la CAM, conformó un grupo de trabajo de modelación con personal del Instituto Nacional de Ecología, de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y de la entonces Secretaría de Ecología del Estado de México, el cual se capacitó en el uso del modelo MCCM.

Una de las principales actividades desarrolladas por este grupo de trabajo fue el estudio denominado modelación paramétrica con MCCM en la ZMVM, el cual tuvo como objetivo primordial estimar las reducciones necesarias de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, para lograr una reducción del 10% en la concentración máxima de ozono y PM_{10} de las masas de aire suspendidas sobre la superficie de la ZMVM, así como para lograr el cumplimiento de las normas de calidad del aire establecidas para cada contaminante. Los resultados indican que para lograr los objetivos planteados es necesario diseñar e implementar estrategias de reducción de emisiones extremadamente fuertes.

Simulación numérica de los niveles de ozono en la ZMVM bajo diferentes escenarios de emisión

En este trabajo, desarrollado por el instituto de climatología y meteorología de Alemania (Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Bereich Atmosphärische Umweltforschung), en colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y del Instituto Nacional de Ecología, el objetivo fue evaluar el efecto de las emisiones del año base (1998) y de las proyectadas al 2010 sobre las concentraciones de ozono en la ZMVM. Los resultados obtenidos indican que el incremento en emisiones, según lo proyectado al 2010, provocarían un aumento en el número de horas durante las cuales las concentraciones ambientales de ozono serían superiores a los 200 puntos IMECA (0.23 ppm), más de dos veces el valor de la norma de una hora.

Modelación con CALMET-CALPUFF

El proyecto de evaluación de los efectos de las emisiones provenientes de las plantas de energía en México, desarrollado por el INE, aplicó la metodología de vías de impacto (Impact Pathway approach, en inglés) que se ha utilizado en varios países, para cuantificar los impactos en la salud de la población y su valoración económica. En esta metodología se incluyen los siguientes pasos secuenciales de cálculo:

- Descripción de tecnología de generación y estimación de emisiones.
- Aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes para determinar concentraciones en receptores.



- Utilización de funciones de concentración-respuesta para estimar los efectos en salud y finalmente la valoración económica para llegar a un valor monetario único de daños.

Dentro de la etapa de aplicación de un modelo de dispersión, la Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire del INE empleó los modelos de dispersión ISCST-3 y el sistema CALMET-CALPUFF, que son recomendados por la EPA-US, para dominios locales y regionales, respectivamente.

El uso de este tipo de herramientas también involucra una serie de pasos que constituyen la aplicación de modelos de calidad del aire. Una vez que son aplicados y se analiza la información es importante verificar el desempeño del modelo, para saber cual es la desviación de las concentraciones simuladas con respecto a la realidad. Este análisis final, se realiza en la mayoría de las ocasiones, a través de la comparación de los valores estimados y los valores observados en la región de estudio, esto con el fin de identificar y cuantificar el error asociado a las simplificaciones matemáticas inherentes al modelo y al error que se propaga de los insumos de los modelos durante el proceso de cálculo.

En este sentido se llevo a cabo el proyecto "Verificación de modelos de dispersión de contaminantes", en el cual se identificaron y recomendaron algunas metodologías estadísticas de comparación de resultados de modelos de dispersión y así mismo se realizó un análisis de sensibilidad para identificar los parámetros de mayor influencia en la estimación de concentraciones de los contaminantes en el suelo.



VII. CONCLUSIONES

La troposfera, primer capa de la atmósfera a partir de la superficie terrestre, es receptora de cuanto contaminante arrojan diferentes fuentes emisoras naturales y antropogénicas, actúa además como laboratorio de mezclas y medio de dispersión de dichos contaminantes.

Resulta fundamental el hecho de conocer cuál es la dinámica de las masas de aire próximas a la superficie terrestre, para comprender como se distribuyen los contaminantes que contienen, a fin de poder planificar estrategias que resulten contundentes en la mitigación de dichos contaminantes.

Las variadas y caprichosas características físicas que posee el territorio del Estado de México, como su relieve topográfico de altitudes entre 300 y hasta 5,500 msnm que moldea una diversa serie de sistemas montañosos, valles y lomeríos, que a su vez define un comportamiento de la temperatura media anual de entre 12.2° y 22.5° C, además de los diferentes grados de rugosidad del terreno, que causan importantes variaciones de velocidad y desvíos de dirección de los vientos; ocasionan importantes modificaciones al comportamiento de las masas de aire y favorecen a la identificación de cuencas atmosféricas como unidad básica para el análisis de la atmósfera.

Así es como se identificaron a partir de la similitud de las condiciones climatológicas, meteorológicas (temperatura, dirección de vientos) y geofísicas del lugar (situación de sistemas montañosos); sobre el territorio de la entidad mexiquense, dos cuencas atmosféricas metropolitanas y 14 cuencas atmosféricas naturales.

Existen cualidades de la atmósfera estudiadas de manera más exactas tales como propiedades químico-físicas de la atmósfera y variables meteorológicas que involucran modelos matemáticos automatizados y precisos, especializados en la determinación de los movimientos de las masas de aire, velocidad y dirección de vientos entre otras, que pudieran considerarse para precisar de manera más exacta esta delimitación, pero requieren de capacitación técnica de personal para la administración y manejo de equipo de cómputo y software, infraestructura tecnológica con la que se debe contar.

Para fines de identificación de la estructura y comportamiento de la atmósfera que se manifiesta sobre el Estado de México, así como de los contaminantes suspendidos en ella, por la dimensión y forma que representa el territorio estatal, resulta conveniente la utilización de modelos matemáticos de tipo euleriano, que permiten análisis de regiones de escalas considerables, involucrando cuestiones meteorológicas y características químicas típicas de la atmósfera a estudiar; a diferencia de los modelos de tipo lagrangianos, propios de investigaciones más puntuales.

Es importante iniciar investigaciones precisas sobre las características químicas, físicas y meteorológicas de atmósferas que rodean importantes centros de población como la ZMVT, o municipios que por su ubicación representan polos de desarrollo económico regionales, como Atlacomulco, Zumpango, Amecameca, Valle de Bravo, entre otros, a fin

de tener un sistema de bases de datos robusto para abastecer posibles aplicaciones de modelos matemáticos de calidad del aire que permitan evaluar y comparar experiencias científicas en la búsqueda de estrategias para ofrecer una mejor calidad de aire a los habitantes del Estado de México.



BIBLIOGRAFÍA.

Aguilar Gómez José Andrés (2002). *Uso del modelo fotoquímico MCCM para la modelación de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Toluca, México. 91 pp. (tesis).

Comisión Federal de Mejora Regulatoria [COFEMER] (2006). *Proyecto de reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y la Calidad del Aire*.

Internet

<http://www.cofemermir.gob.mx/uploadtests/9571.59.59.1.VC.%20Reglam.%20de%20Atm%C3%B3sfera.doc>

Gobierno del Estado de México [GEM] (1993) *Atlas general del Estado de México*, Volumen III. Secretaría de Finanzas y Planeación & Instituto de Información e Investigación Geográfica, Económica y Catastral. México. 235 pp.

GEM (2005) *Diagnóstico Ambiental del Estado de México por Regiones Hidrológicas*. Secretaría de Ecología. México. 369 pp.

GEM (1993) *Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma*, Tomo I, Cartografía. Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma. México. 414 pp.

GEM (1993) *Panorámica Socioeconómica del Estado de México*. Secretaría de Finanzas y Planeación. México. 558 pp.

Instituto Nacional de Ecología [INE] (1999) *Reporte de Emisiones y Transferencias de Contaminantes en 1997-1998*.

Internet <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/265/reporte.html>

INE (2000) *Segundo Informe Nacional de Emisiones y Transferencias de Contaminantes en 1998-1999*. Gpo. Noriega Editores. México. 123 pp.

INE (2007). *Modelos Matemáticos de la Calidad del Aire*.

Internet http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/modelos_cal_aire.html

INEGI (2007). *Anuario Estadístico México. Edición 2006*. documento en archivo magnético, formato PDF.

Universidad de Guadalajara [UDG] (2000). *Proyecto de Ordenamiento Ecológico Territorial del estado de Jalisco, México. Cuencas Atmosféricas del estado de Jalisco*, México. Informe Final. 5 pp.

Internet <http://www.acude.udg.mx/jalisciencia/diagnostico/fisico.html>

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] (2003). *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía. No. 50. México. 121-143 pp.

UNAM (2004). *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía. No. 55. México. 46-60 pp.

Integración Técnica

Departamento de Diagnóstico

Para cualquier duda o comentario sobre el contenido de este documento favor de dirigirse a:

Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Prevención y
Control de la Contaminación Atmosférica
Departamento de Diagnóstico
Vía Gustavo Baz Prada, 2160, 2° piso
Viveros del Río, Tlalnepantla de Baz
Estado de México, C. P. 54060
TEL. 53 66 82 64